

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 21 juillet 2020

## **AVIS** **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

**relatif « à la teneur maximale en cadmium pour les algues destinées à l'alimentation humaine »<sup>1</sup>**

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 04 avril 2017 par la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes pour la réalisation de l'expertise suivante : demande d'avis relatif à la teneur maximale en cadmium pour les algues destinées à l'alimentation humaine.

### **1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE**

La consommation d'algues alimentaires est un phénomène émergent en France et en Europe notamment en raison du succès de la restauration japonaise et de la consommation de sushis.

Actuellement, la réglementation de l'Union européenne ne fixe pas de teneur maximale en cadmium dans les algues alimentaires destinées à la consommation humaine directe ou utilisées comme ingrédients de denrées alimentaires.

Le règlement (CE) n°1881/2006<sup>2</sup> prévoit une teneur maximale en cadmium de 3,0 mg.kg<sup>-1</sup> dans les compléments alimentaires tels que vendus, composés exclusivement ou principalement d'algues marines séchées ou de produits issus d'algues marines.

Par ailleurs, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) avait émis suite à ses réunions du 14 juin 1988, du 13 décembre 1988 et du 9 janvier 1990 une liste d'algues alimentaires autorisées en alimentation humaine, assortie de recommandations liées à des teneurs maximales en éléments traces métalliques. Le CSHPF préconise une concentration en cadmium dans les algues alimentaires inférieure à 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec.

---

<sup>1</sup> Annule et remplace l'avis du 02 mars 2020 (les modifications apportées au texte sont listées dans le tableau de l'annexe 3).

<sup>2</sup> Règlement (CE) n° 1881/2006 modifié portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

Des dépassements fréquents de cette concentration en cadmium recommandée par le CSHPF sont constatés par la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) à la suite de prélèvements et d'analyse des algues alimentaires.

Les informations fournies par les tutelles dans le courrier de saisine indiquent que « *les résultats des analyses, disponibles dans la base de données « CONTAMINE », mettent en évidence des dépassements très fréquents de la concentration maximale en cadmium recommandée par le CSHPF (0,5 mg.kg<sup>-1</sup> poids sec).*

*En 2013 : 6 échantillons d'algues sur les 13 analysés contenaient une concentration en cadmium supérieure à 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec, avec :*

- 1 algue nori d'Argentine : 9,4 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 2 algues wakamé de Chine : 1,7 et 2,2 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 3 algues séchées de Chine : 2,6, 3 et 3,1 mg.kg<sup>-1</sup>.

*En 2014 : 2 échantillons d'algues sur les 9 analysés contenaient une concentration en cadmium supérieure à 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec, avec :*

- 1 algue nori d'origine inconnue : 2,1 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 1 algue wakamé du Japon : 2,9 mg.kg<sup>-1</sup>.

*En 2015 : 4 échantillons d'algues sur les 6 analysés contenaient une concentration en cadmium supérieure à 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec, avec :*

- 1 algue nori de Chine : 2,8 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 1 échantillon d'algues marines grillées de Chine : 1,9 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 1 échantillon d'algues séchées de Chine : 1,7 mg.kg<sup>-1</sup> ;
- 1 échantillon de mélanges d'algues séchées françaises : 1 mg.kg<sup>-1</sup>.

*Ces constatations sont confirmées par les résultats d'analyses transmis par le Centre d'Etude et de Valorisation des Algues (CEVA) joints à la saisine. Parmi les 343 échantillons d'algues analysés, 108 (soit 31 %) contenaient une concentration en cadmium supérieure à 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec. Les services de la DGCCRF rencontrent des difficultés pour gérer les dépassements constatés et définir les suites à donner. En effet, il est délicat de conclure à un risque potentiel pour la sécurité des consommateurs sur la base du seul dépassement de la valeur recommandée par le CSHPF qui est particulièrement ancienne (1990) et qui n'a peut-être pas été établie selon une évaluation des risques rigoureuse. Par ailleurs, cette valeur est contestée par les opérateurs qui rencontrent des difficultés pour la respecter. »*

L'Anses est saisie pour un avis relatif à la teneur maximale en cadmium mis à la lumière de la valeur recommandée en 1990 par le CSHPF pour les algues destinées à l'alimentation humaine.

L'avis de l'Anses est notamment sollicité :

- *Sur l'opportunité de maintenir les conclusions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, émises lors de ses séances des 14 juin 1988 et 9 janvier 1990, préconisant une concentration maximale en cadmium dans les algues alimentaires de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec ;*
- *Sur la définition d'une concentration en cadmium au-delà de laquelle les algues ne devraient pas être mises sur le marché. Les modalités de consommation des algues pourraient être, le cas échéant, prises en compte pour déterminer des teneurs différenciées ;*
- *Sur l'opportunité de définir des recommandations de consommation des algues.*

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise collective a été réalisée par le comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des Risques Chimiques liés aux Aliments (ERCA) ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre mai 2017 et juillet 2019. Ils ont été adoptés par le CES ERCA réuni le 11 juillet 2019.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)). Deux experts du CES ERCA ont présenté un lien d'intérêt considéré comme majeur avec l'expertise de ce sujet et n'ont, par conséquent, pas participé à l'expertise scientifique et collective liée à cette saisine.

Il a été joint à la saisine les données suivantes :

- *Données de contamination transmises par le CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues) ;*
- *Etude de la consommation des algues alimentaires en France publiée par le pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST en 2014 ;*
- *Etude du marché français des algues alimentaires publiée par le pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST en 2014 :*
  - Tome 1 : Panorama de la distribution en magasin ;
  - Tome 2 : Catalogue et analyse des produits existants.

Dans le cadre de cette expertise, une audition du CEVA a été réalisée le 13 novembre 2018, permettant d'apporter des éléments complémentaires à l'étude de contamination des algues.

## 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ERCA

### 3.1. Les algues alimentaires

#### 3.1.1. La filière des algues

##### 3.1.1.1. Production

La filière des algues est très diversifiée, en termes de production et de valorisation.

La France produit chaque année entre quarante et soixante-dix mille tonnes d'algues fraîches (14 % de la production européenne). En comparaison, la production mondiale en 2010 était de vingt millions de tonnes (par rapport à deux millions de tonnes produites en 1970) dont 95 % sont produits par phycoculture<sup>3</sup> en Asie (FAO, 2014) .

L'indication de l'origine géographique ou du mode de production des algues est rarement précisée sur l'étiquette des produits. Seul 1 % de la production française est destinée à la consommation humaine (Ceva, 2014) alors qu'au niveau mondial, les algues destinées à l'alimentation humaine directe (en tant que légume) représentent entre 20 et 45 % de la production.

Deux techniques de production sont actuellement utilisées pour produire des algues à destination de l'alimentation humaine : la récolte manuelle des algues de rive et l'algoculture. La France, comme les autres pays européens, est encore essentiellement basée sur la collecte d'algues dans le milieu

<sup>3</sup> Phycoculture ou algoculture désigne la culture en masse des algues dans un but industriel et commercial.

naturel. L'intérêt de la récolte manuelle est qu'elle permet de valoriser la diversité des algues. Un guide de bonnes pratiques a été édité par l'association professionnelle Inter Bio Bretagne en 2011 (Philippe, 2011). Au niveau mondial, l'algoculture totalise plus de 95 % des algues produites (FAO statistics, 2014). Bien que la France possède le savoir-faire et les connaissances pour développer l'algoculture, la production reste pour l'instant limitée en termes d'acteurs et de volumes (Le Bras *et al.* 2015). Les principales espèces cultivées en France sont des laminaires comme le kombu royal (*Saccharina latissima*), le wakamé (*Undaria pinnatifida*), ou le wakamé atlantique (*Alaria esculenta*).

### 3.1.1.2. Utilisation

Les algues sont utilisées pour de nombreuses applications dans :

- La filière cosmétique ;
- L'agriculture comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail ;
- L'industrie agroalimentaire, la chimie et la microbiologie comme phycocolloïdes (alginates, agar-agar, carraghénanes), qui représentent 75 % du marché des macroalgues (produites et importées) ;
- Le secteur de l'alimentation dans lequel certaines espèces d'algues peuvent être consommées comme des légumes ou transformées (séchées, salées...) ou sous forme de compléments alimentaires.

En pratique, une même espèce d'algue peut avoir plusieurs utilisations, *Laminaria japonica* par exemple est utilisé pour la production d'alginates, mais aussi pour l'alimentation humaine où elle est nommée kombu. Il en est de même pour plusieurs autres espèces. Il est ainsi difficile de savoir précisément quelle proportion de la production mondiale est destinée à quelle utilisation (Le Bras *et al.* 2014). Il est toutefois estimé que les algues destinées à l'alimentation humaine directe (en tant que légume) constituent entre 20 et 45 % de la part de la production mondiale totale tandis que l'industrie des phycocolloïdes consomme de 40 à 70 % de la production mondiale et les utilisations autres comme l'agrofourniture ou les cosmétiques utilisent entre 10 et 15 % du tonnage total (Le Bras *et al.* 2014).

Depuis les années 1960, ce sont surtout les propriétés technologiques des extraits d'algues qui sont valorisées par le secteur des industries agroalimentaires. Leurs comportements rhéologiques très variés en font des additifs texturants très utilisés dans les aliments transformés.

### 3.1.1.3. Consommation

Certaines espèces d'algues peuvent être consommées comme des légumes. Plusieurs processus de conservation des algues peuvent être utilisés : elles peuvent être séchées, congelées, mises en bocaux, salées ou servies fraîches.

La consommation des algues est traditionnelle dans de nombreux pays asiatiques. Au Japon, la consommation d'algues est estimée entre 1,5 et 2,5 kg d'algues sèches par personne et par an (Zava et Zava, 2011). La consommation des algues alimentaires est un phénomène émergent en France et en Europe, notamment induit par le développement de la restauration japonaise et de la consommation de certains sushis. Dans ce contexte, une étude nationale de consommation des algues alimentaires a été menée auprès de 825 personnes à travers la France (Le Bras *et al.*, 2014). Cette étude concerne aussi les comportements et les motivations des consommateurs, mais aussi la perception des algues alimentaires par la population, ainsi que les freins à la consommation. Les résultats de cette étude montrent que plus de la moitié de la population (58 %) consomme des algues alimentaires au moins une fois par an. Néanmoins, seuls 20 % en consomment régulièrement (au moins une fois par mois), dont une faible proportion de consommateurs (9 %) intègre les algues dans leur alimentation (au moins une fois par semaine). Une grande partie des consommateurs (91 %) mange des algues exclusivement dans le contexte de la cuisine japonaise. L'étude Idealg (Le Bras *et al.* 2014) montre que 22 % des consommateurs n'ont pas conscience du fait de consommer des algues, notamment lors de la consommation de produits asiatiques.

Les principales algues alimentaires utilisées pour l'alimentation humaine en France (Le Bras *et al.* 2014) sont les suivantes :

- Le haricot de mer ou spaghetti de mer (*Himanthalia elongata*) ;
- La laitue de mer ou ulve (*Ulva* spp.) ;
- La dulse (*Palmaria palmata*) ;
- Le nori (*Porphyra* spp.) ;
- Le wakamé (*Undaria pinnatifida*) ;
- Le kombu royal (*Saccharina latissima*, anciennement *Laminaria saccharina*).

Selon l'Autorité européenne de sécurité des aliments (Efsa, 2016), en Europe, la consommation moyenne des produits alimentaires aux algues pour le consommateur varie de 0,05 à 211 g.j<sup>-1</sup> et pour les sushis de 4,46 à 80,71 g.j<sup>-1</sup> pour l'ensemble des enquêtes intégrées dans la base de données de consommation de l'Efsa (« Efsa Comprehensive Food Consumption database »). La consommation des algues alimentaires est reportée en tant qu'aliment seul (nori (*Porphyra* spp.), wakamé (*Undaria pinnatifida*), kombu royal (*Saccharina latissima*)) ou incorporé comme ingrédient (sushis). Il est toutefois noté que le nombre de consommateurs reporté dans cette base de données est très faible.

Dans cette saisine, le champ d'expertise couvre les algues alimentaires :

- Destinées à la consommation humaine directe ;
- Employées comme ingrédients de denrées alimentaires ;
- Utilisées dans les compléments alimentaires.

### **3.1.2. Les espèces d'algues considérées pour la consommation humaine en France**

Les espèces considérées sont identifiées comme vivant dans un biotope marin et sont appelées « algues » par le grand public (Le Bras *et al.*, 2014). Celles-ci correspondent à des microalgues, macroalgues et plantes halophytes. Le terme générique « algues » sera régulièrement utilisé dans cet avis.

En France, initialement, les historiques de consommation significative avant l'entrée en vigueur du règlement Novel Food (règlement (CE) n°258/97<sup>4</sup>) ainsi qu'un certain nombre d'évaluation par le CSHPF (avis du CSHPF, 1997) ont permis d'établir une liste d'algues utilisables pour la consommation humaine. Douze espèces de macroalgue et une espèce de microalgue ont fait l'objet d'un avis favorable du CSHPF (CSHP, 1997) pour une utilisation en alimentation humaine comme légume ou condiment. D'autres algues ont ensuite fait l'objet d'avis favorables de l'Afssa<sup>5</sup> et d'une autorisation selon le règlement (CE) n°258/97 (UE, 1997). D'autres espèces considérées sont issues de la liste des plantes autorisées dans les compléments alimentaires de l'arrêté du 24 juin 2014<sup>6</sup>, élargie à la liste du projet Belfrit<sup>7</sup> et à la liste de la DGCCRF recensant les plantes éligibles à l'article 15 du décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires<sup>8</sup>.

L'ensemble des macroalgues, microalgues et plantes halophytes susceptibles d'être consommées en France (Anses, 2018) est présenté dans le tableau suivant.

<sup>4</sup> Règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires.

<sup>5</sup> Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.

<sup>6</sup> L'arrêté du 24 juin 2014, nommé arrêté « plantes », établit la liste des plantes, autres que les champignons, autorisées dans les compléments alimentaires et les conditions de leur emploi. Dans cet arrêté, il est considéré par « plantes », les plantes entières incluant les algues et les microalgues. Les algues présentes dans la liste de l'annexe I de l'arrêté « plantes », sont connues comme des espèces végétales qui peuvent être consommées comme aliments, condiments, compléments alimentaires ou ingrédients alimentaires.

<sup>7</sup> Liste harmonisée de 1025 plantes répertoriées en Belgique, en France et en Italie, pouvant être employées dans les compléments alimentaires.

<sup>8</sup> [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/dgccrf/secure/teleicare/Table-Plantes.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/dgccrf/secure/teleicare/Table-Plantes.pdf)



**Tableau 1.** Liste des macroalgues, microalgues et plantes halophytes, susceptibles d'être consommées en France.

Nom scientifique	Nom commun	Type d'algues	Statut*
<i>Alaria esculenta</i> (L.) Grev.	Wakamé atlantique	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Ascophyllum nodosum</i> (L.) Le Jolis	Ascophyllum noueux	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Chondrus crispus</i> Stackhouse	Mousse d'Irlande, piocha, lichen	rouge	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Corallina officinalis</i> L.	-	rouge	Belfrit Art-15
<i>Enteromorpha</i> spp.	Aonori	verte	Algue alimentaire
<i>Fucus serratus</i> L.	Fucus, varech denté	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Fucus vesiculosus</i> L.	Fucus, varech vésiculeux	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Gelidium corneum</i> (Hudson) J.V.Lamouroux	Agar-agar	rouge	Arrêté « plantes »
<i>G. amansii</i> J.V.Lamouroux	-	rouge	Arrêté « plantes »
<i>G. sesquipedale</i> (Clemente) Thuret	-	rouge	Arrêté « plantes »
<i>Gracilaria gracilis</i> (Stackhouse) Steentoft, L.M. Irvine & Farnham	Ogonori	rouge	Arrêté « plantes »
<i>Gracilaria verrucosa</i> (Hudson) Papenfuss	Gracilaire, ogo, ogonori	rouge	Algue alimentaire
<i>Himanthalia elongata</i> (L.) S.F.Gray	Haricot, Spaghetti de mer	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Hizikia fusiformis</i> (Harvey) Okamura	-	brune	Belfrit
<i>Laminaria digitata</i> (L.) J.V. Lamouroux	Laminaire	brune	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Laminaria hyperborea</i> (Gunnerus) Foslie	-	brune	Arrêté « plantes »
<i>Laminaria palmata</i> Bory	-	brune	Belfrit Art-15
<i>Macrocystis pyrifera</i> (L.) C.Agardh	Kelp	brune	Arrêté « plantes »
<i>Mastocarpus stellatus</i> (Stackh.) Guiry	Steack de mer	rouge	Arrêté « plantes »
<i>Padina pavonica</i> (L.) Thivy	-	brune	Algue alimentaire
<i>Palmaria palmata</i> (L.) F.Weber & D.Mohr	Dulse	rouge	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Phymatolithon calcareum</i> (Pallas) W.H.Adey & D.L.McKibbin ex Woelkering & L.M.Irvine Syn. <sup>9</sup> <i>Lithothamnium calcareum</i>	-	rouge	Arrêté « plantes », Belfrit et Art-15 Algue alimenraire
<i>Porphyra dioica</i> J.Brodie & L.M.Irvine	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Porphyra laciniata</i> (Lightfoot) C.Agardh	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Porphyra leucosticta</i> Thuret	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Porphyra purpurea</i> (Roth) C.Agardh	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Poryphora tenera</i> (Kjellman) N.Kikuchi, M.Miyata, M.S.Hwang & H.G.Choi	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Poryphora umbilicalis</i> Kützing	Nori	rouge	Algue alimentaire Arrêté « plantes »
<i>Poryphora yezoensis</i> (Ueda) M.S.Hwang & H.G.Choi	Nori	rouge	Algue alimentaire
<i>Pyropia tenera</i> (Kjellman) N.Kikuchi, M.Miyata, M.S.Hwang & H.G.Choi	Nori	rouge	Belfrit Art-15

<sup>9</sup> Syn. : correspond à une dénomination antérieure obsolète

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2017-SA-0070**

Nom scientifique	Nom commun	Type d'algues	Statut*
<i>Saccharina latissima</i> (L.) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders Syn. <i>Laminaria saccharina</i>	Laminaire sucrée, boudrier de Neptune, kombu royal	brune	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Saccharina japonica</i> (Areschoug) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders Syn. <i>Laminaria japonica</i>	Kombu	brune	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Sargassum fusiforme</i> (Harvey) Setchell	Hizijii	brune	Arrêté «plantes»
<i>Ulva lactuca</i> L.	Laitue de mer, ulve	verte	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Undaria pinnatifida</i> (Harvey) Suringar	Wakamé, fougère de mer	brune	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Crambe maritima</i> L.	Chou marin	plante halophyte	Belfrit
<i>Crithmum maritimum</i> L.	Criste marine Fenouil marin	plante halophyte	Arrêté «plantes»
<i>Salicornia</i> spp.	Salicorne	plante halophyte	Plantes halophytes
<i>Dunaliella salina</i> (Dunal) Teodoresco	-	microalgue	Arrêté «plantes»
<i>Haematococcus pluvialis</i> Flotow, syn. <i>Haematococcus lacustris</i> (Girod-Chantrons) Rostafinski	-	microalgue	Arrêté «plantes»
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C.Agardh	-	microalgue	Algue alimentaire
<i>Parachlorella kessleri</i> (Fott & Nováková) Krienitz, E.H.Hegewald, Hepperle, V.Huss, T.Rohr & M.Wolf	-	microalgue	Art-15
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	Algue bleu-vert du lac Klamath, AFA	microalgue	Arrêté «plantes»
<i>Auxenochlorella protothecoides</i> (Krüger) Kalina & Puncová	-	microalgue	Art-15
<i>Auxenochlorella pyrenoidosa</i> (H.Chick) Molinari & Calvo-Pérez	-	microalgue	Art-15
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	Chlorelle	microalgue	Arrêté «plantes»
<i>Chlorella sorokiniana</i> Shihira & R.W.Krauss	-	microalgue	Art-15
<i>Scenedesmus vacuolatus</i> Shihira & Krauss	-	microalgue	Art-15
<i>Arthrospira major</i> (Kützing ex Gomont) W.B.Crow Syn. : <i>Spirulina major</i> Kützing ex Gomont	Spiruline	microalgue	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Arthrospira maxima</i> Setchell & N.L.Gardner Syn. : <i>Spirulina maxima</i> (Setchell & N.L.Gardner) Geitler	Spiruline	microalgue	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Arthrospira fusiformis</i> (Voronikhin) Komarek & J.W.G.Lund Syn. : <i>Spirulina platensis</i> (Gomont) Geitler	Spiruline	microalgue	Algue alimentaire Arrêté «plantes»
<i>Spirulina</i> P.J.F.Turpin ex M.Gomont	Spiruline	microalgue	Art-15

\* Le statut des algues, microalgues ou plantes halophytes :

- alimentaire selon le CEVA, issue de l'historique de consommation, ou d'avis du CSHPF ou de l'Anses ;

- algues présentes dans la liste de l'arrêté « plantes » ou dans les listes Belfrit ou « Article 15 » (Art-15) de la DGCCRF.

### 3.1.2.1. Les microalgues

Les microalgues d'eaux douces, terrestres ou marines sont des organismes unicellulaires appartenant aux groupes des cyanobactéries et des algues microscopiques.

La spiruline, dont le nom couvre les cyanobactéries du genre *Arthrospira* (anciennement *Spirulina*), est la microalgue la plus employée comme ingrédient alimentaire ou complément alimentaire en raison de son historique de consommation dans des pays tiers et de son potentiel nutritif. En France, la spiruline est commercialisée en vrac, sous forme de poudre ou de compléments alimentaires en gélules ou comprimés (Cornillier, Korsia-Meffre, et Senart 2008). Compte tenu de sa teneur quasi nulle en iode, le risque d'excès d'apport en iode semble négligeable pour cette microalgue. Par ailleurs, en dehors du risque de contamination, la spiruline ne présente pas de risque sanitaire aux doses usuelles employées (Anses, 2016b).

### 3.1.2.2. Les macroalgues

Les macroalgues marines sont des organismes végétaux pluricellulaires. Contrairement aux microalgues, la plupart de ces algues marines présente la particularité de se développer de manière sédentaire. Leur recouvrement peut s'étendre sur des grands espaces formant des champs ou forêts, souvent comparés à ceux du système terrestre. Néanmoins, du fait de la nécessité de lumière, la colonisation de la majorité des macroalgues se limite au rivage et jusqu'à environ trente mètres de profondeur en mer. Elles présentent des structures biologiques diverses allant de simples filaments de quelques centimètres à des thalles<sup>10</sup> mesurant plusieurs dizaines de mètres de long, avec des couleurs très variables (Kornprobst, 2005).

Les macroalgues sont divisées en trois groupes (phyla) selon leur pigmentation : algues vertes (proches de la surface), algues brunes (en profondeur intermédiaire) et algues rouges (jusqu'à 200 m de profondeur).

Elles sont connues pour leur capacité à concentrer les métaux lourds et l'iode (Besada *et al.* 2009). Les laminaires sont celles qui concentrent le plus l'iode. Cette capacité de concentration de l'iode est fonction de l'espèce, du lieu, des conditions de culture et du cycle de développement (Teas *et al.* 2004).

### 3.1.2.3. Les plantes halophytes

Les plantes halophytes sont des végétaux supérieurs adaptés aux milieux salés et dont l'habitat correspond à des sols littoraux ou à des sols salés continentaux. Trois espèces sont susceptibles d'être consommées en France, *Crambe maritima* (nom commun : chou marin), *Crithmum maritimum* (nom commun : fenouil marin ou criste marine) et *Salicornia* spp. (nom commun : salicorne).

## 3.1.3. Le marché français des algues alimentaires

Deux types de produits existent sur le marché français, les produits d'inspiration asiatique répondant à un contexte de consommation de produits exotiques d'une part, et d'autre part, ceux d'inspiration française, s'adaptant à la culture culinaire occidentale (Le Bras *et al.* 2015).

Le tableau suivant présente les produits à base d'algues alimentaires identifiés sur le marché français.

**Tableau 2.** Catégorisation des produits alimentaires aux algues (source : Le Bras *et al.* 2015).

Catégorie des produits	Sous-catégorie des produits	
Produits bruts	Feuilles de Nori	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
	Algues sèches en paillette	Produits majoritairement d'inspiration asiatique et française

<sup>10</sup> Thalle : Appareil végétatif des plantes inférieures sans feuilles, tiges ni racines



<b>Catégorie des produits</b>	<b>Sous-catégorie des produits</b>	
	Algues sèches entières	Produits majoritairement d'inspiration asiatique et française
	Algues fraîches (saumure)	Produits majoritairement d'inspiration française
	Algues en bocaux	Produits majoritairement d'inspiration française
	Algues lactofermentées	Produits majoritairement d'inspiration française
Soupes	Soupes Miso	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
	Potages	Produits majoritairement d'inspiration française
	Nouilles	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
Tartinables	Tartares	Produits majoritairement d'inspiration française
	Rillettes	Produits majoritairement d'inspiration française
Boissons	Thé	Produits majoritairement d'inspiration française
	Bières	Produits majoritairement d'inspiration française
Condiments	Courts-bouillons	Produits majoritairement d'inspiration française
	Aromates	Produits majoritairement d'inspiration asiatique et française
	Sels	Produits majoritairement d'inspiration française
	Moutardes	Produits majoritairement d'inspiration française
	Beurres	Produits majoritairement d'inspiration française
Salades d'algues	Algues fraîches	Produits majoritairement d'inspiration asiatique et française
	Algues congelées	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
Biscuits	Apéritifs	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
	Biscuits sucrés	Produits majoritairement d'inspiration française
	Barres énergétiques	Produits majoritairement d'inspiration française
Plats préparés	Sushis	Produits majoritairement d'inspiration asiatique
	Conserves de poissons	Produits majoritairement d'inspiration française
	Tofu	Produits majoritairement d'inspiration française
Pâtes	Pâtes	Produits majoritairement d'inspiration française
Autres	Indéterminé	Produits majoritairement d'inspiration française
	Féculents	Produits majoritairement d'inspiration française
	Kits sushis	Produits majoritairement d'inspiration asiatique

### 3.1.4. Les dangers identifiés liés aux algues destinées à l'alimentation humaine

La composition des algues alimentaire pose la question du risque pour le consommateur lié à l'excès d'apport en iode et à l'identification de contaminants exogènes (chimiques, microbiologiques) (NIFES, 2016) (Anses, 2018).

Les éléments traces (notamment cadmium, arsenic, mercure, plomb et étain), les résidus de produits phytosanitaires, les toxines marines ou encore les toxines de cyanobactéries sont des contaminants que l'on peut retrouver dans les algues (Anses, 2016b). Les algues sont des bio-indicateurs de la qualité de l'environnement marin (Almela *et al.*, 2006 ; NIFES, 2016).

Dans le cadre d'une autosaisine, l'Anses a évalué le risque d'excès d'apport en iode lié à la consommation d'algues dans les denrées alimentaires (Anses, 2018).

La composition des algues peut influencer sur les niveaux de contaminants (NIFES, 2016). Les algues fraîches contiennent 70 à 90 % d'eau (Arne Jensen, 1993 ; Stévant *et al.*, 2017 ; Qing Chen *et al.*, 2018, Roleda *et al.*, 2019). La composition chimique des algues se caractérise par une teneur élevée en polysaccharides spécifiques dans les composants structurels des algues. Les types de polysaccharides diffèrent entre les macroalgues brunes, rouges et vertes ; l'alginate étant le composant majoritaire de la macroalgue brune. Les polysaccharides ont une propension à lier les métaux qui peuvent affecter à la fois les concentrations de métaux et la disponibilité de ces métaux liés à l'algue. Les algues ont généralement de faibles niveaux de lipides et donc de faibles concentrations en composés lipophiles.

Les concentrations de métaux dans les macroalgues varient selon les espèces. Toutefois, au sein d'une même espèce, les variations des concentrations de métaux semblent être spécifiques à chaque site, liées aux taux de croissance des algues et diffèrent d'une partie de l'algue à l'autre. Par ailleurs, en présence d'une grande surface de l'algue en contact avec l'eau, l'absorption de contaminants est facilitée (NIFES, 2016). Aussi, les facteurs environnementaux (localisation, température, salinité, lumière...) peuvent influencer le niveau de contamination des algues (NIFES, 2016, Roleda *et al.*, 2019).

Au niveau réglementaire, le règlement (CE) n°629/2008, modifiant le règlement (CE) n°1881/2006<sup>2</sup>, fixe une teneur maximale en cadmium de 3,0 mg.kg<sup>-1</sup> dans les compléments alimentaires tels que vendus, composés exclusivement ou principalement d'algues marines séchées ou de produits issus d'algues marines. Par ailleurs, le CSHPF a émis à l'issue des séances des 14 juin 1988 et 9 janvier 1990 des recommandations liées à des valeurs maximales en iode et en éléments traces dans les algues alimentaires (tableau 3). Il définit aussi des critères microbiologiques afin d'assurer la sécurité des algues alimentaires.

**Tableau 3.** Valeurs maximales en éléments traces et en iode dans les algues légumes ou condiments recommandées par le CSHPF, en mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS).

Eléments	Teneurs maximales (mg.kg <sup>-1</sup> MS)
Arsenic inorganique	3
Cadmium	0,5
Mercurure	0,1
Plomb	5
Etain	5
Iode	2000

Enfin, actuellement, la Commission européenne recommande<sup>11</sup> que les États membres, en coopération avec les exploitants du secteur alimentaire et du secteur de l'alimentation animale,

<sup>11</sup> Recommandation (UE) 2018/464 de la Commission du 19 mars 2018 sur la surveillance des métaux et de l'iode dans les algues marines, les halophytes et les produits à base d'algues marines.

surveillent, au cours des années 2018, 2019 et 2020, la présence d'arsenic, de cadmium, d'iode, de plomb et de mercure dans les algues marines, les halophytes et les produits à base d'algues marines. Cette surveillance devrait porter sur les halophytes comestibles, y compris *Salicornia europaea* et *Tetragonia tetragonoides*, ainsi que sur un large éventail d'espèces d'algues marines permettant de refléter les habitudes de consommation et d'utilisation dans l'alimentation animale, dont *Ecklonia bicyclis* (aramé), *Fucus vesiculosus* (fucus/varech vésiculeux), *Palmaria palmata* (dulse, goémon à vache), *Hizikia fusiforme* (hijiki ou hiziki), *Chondrus crispus* (pioka, mousse d'Irlande, goémon blanc), *Laminaria digitata* (kombu breton, laminaire digitée, fouet de sorcier), *Laminaria japonica/Saccharina japonica* (kombu), *Porphyra* et *Pyropia spp.* (nori, algues rouges des deux genres), *Ascophyllum nodosum* (goémon noir), *Ulva spp.* (laitue de mer, ulve), *Himanthalia elongata* (haricot de mer, spaghetti de mer, himanthale), *Fucus serratus* (fucus/varech dentelé), *Codium spp.* (codiums), *Saccharina latissima* (kombu royal, laminaire sucrée, baudrier de Neptune), *Undaria pinnatifida* (wakamé, fougère de mer) et *Alaria esculenta* (wakamé atlantique/irlandais, varech ailé) afin de permettre une estimation précise de l'exposition. Il convient également de recueillir des données sur la présence des substances concernées dans les additifs alimentaires à base d'algues marines, notamment les E 400, E 401, E 403, E 404, E 405, E 406, E 407, E 407a et E 160a(iv).

### 3.2. Evaluation du risque alimentaire lié au cadmium identifié dans les algues destinées à la consommation

#### 3.2.1. Caractéristiques toxicologiques du cadmium

Le cadmium (Cd) est un élément trace métallique (ETM) ubiquitaire, qui se retrouve dans les différents compartiments de l'environnement (sol, eau, air) du fait de sa présence à l'état naturel dans la croûte terrestre et des apports anthropiques (activités industrielles et agricoles).

La population générale est majoritairement exposée du fait de l'inhalation active et passive de fumée de tabac et de la consommation d'eau et d'aliments contaminés d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS/WHO, 2010). Le cadmium a un comportement bioaccumulable et se révèle être un contaminant de la chaîne alimentaire potentiellement préoccupant (EFSA, 2009).

Une exposition prolongée par voie orale au cadmium induit une néphropathie, une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction. Le cadmium et ses composés sont classés « cancérigène pour l'Homme » (groupe 1, principalement poumon, prostate et rein) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (IARC/CIRC, 2012a).

En 2009, l'Efsa a abaissé la Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire (DHTP) de  $7 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  à une Dose Hebdomadaire Tolérable (DHT) de  $2,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  ( $0,36 \mu\text{g Cd.kg p.c}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ), toutes deux basées sur l'observation des effets rénaux consécutifs à une exposition chronique au cadmium. La DHT avait été établie suivant une approche « Benchmark Dose » (BMD) en modélisant la relation entre la concentration urinaire de cadmium et celle de la  $\beta$ -2- $\mu$ globuline qui représentait un bon marqueur de l'atteinte tubulaire rénale (EFSA, 2009a).

En 2019, l'Anses (Anses, 2019) retient les effets osseux comme les effets critiques les plus pertinents sur la base des études épidémiologiques d'Engström *et al.* (2011 et 2012). Engström *et al.* (2011 et 2012) mettent en évidence une corrélation entre une exposition au cadmium et une baisse de la densité osseuse (pouvant entraîner une augmentation du risque d'ostéoporose ou de fractures) chez des femmes suédoises âgées de 56 à 69 ans (2 688 individus). Cette association a également été démontrée chez les hommes (âge > 69 ans) dans l'étude de Wallin *et al.*, 2016. La relation entre une exposition prolongée au cadmium et un risque d'ostéoporose ou de fractures osseuses à partir des articles d'Engström *et al.* (2011 et 2012) a été analysée. La concentration en cadmium urinaire de  $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$  de créatinine a été considérée comme la dose maximale sans effet

néfaste observable (No Observed Adverse Effect Level (NOAEL)) et choisie comme point de départ toxicologique.

La VTR par voie orale a été construite en utilisant le modèle cinétique de Kjellström et Nordberg (1978). Ce modèle a permis de faire le lien entre les concentrations urinaires de cadmium et les valeurs d'exposition pour la voie orale ainsi qu'il a permis également d'estimer depuis la naissance l'évolution de la concentration urinaire limite de cadmium (en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de créatinine en fonction de l'âge) à ne pas dépasser afin d'éviter d'atteindre un dépassement de  $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$  de créatinine à l'âge adulte.

Une Dose Journalière Tolérable (DJT) de  $0,35 \mu\text{g Cd.kg p.c}^{-1}.\text{j}^{-1}$  ou une DHT de  $2,45 \mu\text{g Cd.kg p.c}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  entraînant une concentration urinaire de cadmium de  $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$  de créatinine, chez un adulte de 60 ans en supposant que l'ingestion soit la seule source d'exposition de cadmium est dorénavant établie.

### **3.2.2. Evaluation et caractérisation du risque alimentaire au cadmium identifié dans les algues**

L'étude d'une concentration en cadmium limite dans les algues s'appuie sur une évaluation de l'exposition du consommateur.

A partir des données de consommation, de poids corporels individuels et des données de contamination disponibles, l'exposition du consommateur peut être estimée puis comparée avec la valeur toxicologique de référence afin d'évaluer le risque sanitaire lié à la présence de cadmium dans les algues.

#### **3.2.2.1. Etude des données de contamination en cadmium des algues alimentaires**

Le CEVA a compilé toutes les données de contamination existantes dans les algues de 1984 à 2016, ces données sont issues de publications scientifiques et des études scientifiques coordonnées par le CEVA. D'autre part, la base de données de l'Anses « CONTAMINE » recense les résultats des prélèvements d'algues intégrés depuis 2010 au plan annuel de surveillance et de contrôle de la contamination de certaines denrées alimentaires par les éléments traces métalliques mis en place par la DGCCRF.

##### **3.2.2.1-1 Etude de la base de données de contamination du CEVA**

Le jeu de données recense 343 résultats d'analyse sur au moins un de ces éléments : cadmium, plomb, mercure, arsenic, arsenic inorganique et iode, en fonction des catégories, famille et espèces d'algues analysées (macroalgues brunes, rouges, vertes, microalgues, plantes halophytes) et de leurs origines.

##### *Echantillonnage des données de contamination en cadmium dans les algues*

Le jeu de données comprend 343 résultats d'algues analysés pour le cadmium en Europe et en Asie entre 1984 et 2016. Seuls 186 résultats de contamination en cadmium des algues analysés entre 1996 et 2016 peuvent être étudiés, s'appuyant sur les résultats des études coordonnées par le CEVA et une publication scientifique (Rodenas de la Rocha *et al.*, 2009) ; les études des 157 résultats restants n'étant pas disponibles ou utilisables (méthodes d'analyse non validées).

##### *Etude des méthodes d'analyse et qualité des données*

Les informations liées aux 186 échantillons permettent d'évaluer et d'apprécier les méthodes d'analyses utilisées ainsi que leurs critères de performance.

Les limites de détection (LD) et limites de quantification (LQ) ne sont pas précisées pour certains résultats. Celles-ci sont, en général, respectivement comprises entre 0,03 et 0,06/0,15 mg.kg<sup>-1</sup> poids sec. Bien qu'il y ait des indications sur l'expression de l'incertitude de mesure, les résultats compilés dans la base de données manquent parfois d'information ne permettant pas de déterminer s'il s'agit bien de l'incertitude élargie U. Selon le règlement (CE) n° 333/2007<sup>12</sup> : « Le résultat analytique doit être consigné en utilisant la formule  $x \pm U$  dans laquelle x est le résultat d'analyse et U l'incertitude de mesure élargie et en employant un facteur d'élargissement de 2 qui donne un niveau de confiance d'environ 95 % ( $U = 2u$ ) ». Bien qu'il y ait des indications sur l'incertitude, il n'est parfois pas indiqué s'il s'agit bien de l'incertitude élargie.

*In fine*, 180 résultats d'analyse en cadmium dans les algues sont exploitables.

Sur ces 180 échantillons d'algues, les résultats de contamination en cadmium liés à l'analyse de 124 macroalgues brunes (69 %), 35 macroalgues rouges (19,4 %), 18 macroalgues vertes (10 %) et 3 plantes halophytes (salicorne, 1,7 %) sont inclus.

Il est possible de s'assurer que les caractéristiques de l'échantillon d'algues ne soient pas trop éloignées de celles consommées par la population française. Plusieurs paramètres peuvent être comparés tels que le mode de consommation, le groupe d'algues, l'espèce, le lieu d'origine. La comparaison de ces différents paramètres s'est basée sur des données nationales issues de l'étude nationale de consommation des algues alimentaires conduite par Le Bras *et al.* (2014, 2015).

Considérant le tableau 2 catégorisant l'ensemble des produits alimentaires à base d'algues (d'inspiration asiatique et/ou française), Le Bras *et al.* (2014, 2015) font état que, sur 746 produits référencés linéaires (dont 54 % d'entre eux classés dans la catégorie produits asiatiques et 46 % comme des produits d'inspiration française), 50% de ces produits sont liés à la consommation d'algues sous sa forme brute liées aux algues sèches (entières ou en paillettes). Toutes les algues de l'échantillon CEVA sont analysées sous leur forme brute à l'état séché.

Selon Le Bras *et al.* (2014, 2015), les principales espèces utilisées pour l'élaboration de produits aux algues d'inspiration asiatique sont le nori (macroalgue rouge) et le wakamé (macroalgue brune), respectivement présents dans 74 % et 30 % des produits. Concernant les produits d'inspiration française : la dulse (macroalgue rouge), la laitue de mer (macroalgue verte), le nori (macroalgue rouge) et le wakamé (macroalgue brune) (présence dans environ 30-35 % des produits) sont les algues les plus utilisées. En revanche, le kombu (macroalgue brune) figure parmi les algues les moins utilisées. Dans l'échantillon issu de la base de données du CEVA, les familles des macroalgues brunes et rouges sont majoritairement représentées (jusqu'à hauteur de 88,4% du jeu de données). Le wakamé (macroalgue brune) est l'espèce majoritairement présente dans l'échantillon (10%), suivi de la laitue de mer (macroalgue verte) (8%) et de la dulse (7,7%) (macroalgue rouge). Le haricot de mer (macroalgue brune) représente en revanche près de 10% du jeu de données. Le nori (macroalgue rouge) représente moins de 3% de l'échantillon. Le kombu (macroalgue brune) est également moins représenté (2%) au même titre que la salicorne (plante halophyte) (<2%).

Aussi, les produits d'inspiration française sont riches en mélange d'espèces, car 35 % des produits sont constitués d'un mélange d'au moins deux espèces. Le mélange le plus courant est constitué de dulse, de laitue de mer et de nori. Aucun mélange d'espèces n'a été échantillonné dans la base de données du CEVA.

<sup>12</sup> 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



Concernant l'indication de l'origine géographique des produits, celle-ci est parfois peu précise, voire inexistante sur certains produits d'après Le Bras *et al.* (2014, 2015) qui fait état que 80% des produits alimentaires à base d'algues d'inspiration française sont produits en France. La qualité des données en rapport avec l'origine géographique est très variable. 96% des échantillons retenus de la base de données du CEVA ont été échantillonnés en France.

La comparabilité de l'échantillon issu de la base de données du CEVA avec les algues consommées par la population française liée à l'étude nationale de consommation des algues alimentaires reste toutefois limitée.

#### Données de contamination en cadmium dans les algues

L'analyse des données sur le cadmium s'est faite uniquement par groupe d'algues et selon l'approche upper bound (UB). Le traitement des données a porté sur les 180 échantillons analysés en cadmium entre 1996 et 2016. 35 valeurs sur 180 sont reportées comme < LQ de 0,15 (n=32) ou de 0,06 mg.kg<sup>-1</sup> poids sec (n=3). La valeur « inférieure à » a donc été retenue dans les calculs (p.e. < 0,06 a été remplacé par 0,06).

Le tableau suivant présente l'analyse des données de contamination en cadmium dans les catégories d'algues de la base de données CEVA.

**Tableau 4.** Analyse des concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CEVA.

	Total	Macroalgues brunes	Macroalgues rouges	Macroalgues Vertes*	Plantes halophytes*
<b>n</b>	180	124	35	18	3
<b>Concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>					
<b>Médiane</b>	0,21	0,27	0,12	0,13	0,17
<b>Moyenne</b>	0,41	0,46	0,39	0,14	0,18
<b>Percentile 95</b>	1,44	1,00	2,94	-	-
<b>Min</b>	0,01	0,01	0,03	0,03	0,16
<b>Max</b>	3,18	2,95	3,18	0,60	0,21
<b>Répartition des effectifs selon les classes de concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup>MS) inférieures ou supérieures à la valeur de référence du CSHPF de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>MS</b>					
<b>concentration &lt; 0,5</b>	141	89	32	17	3
<b>0,5 &lt; concentration &lt; 1</b>	20	19	0	1	0
<b>1 &lt; concentration &lt; 2</b>	14	14	0	0	0
<b>2 &lt; concentration &lt; 3</b>	3	2	1	0	0
<b>3 &lt; concentration &lt; 4</b>	2	0	2	0	0
<b>4 &lt; concentration &lt; 5</b>	0	0	0	0	0
<b>concentration &gt; 5</b>	0	0	0	0	0

Total : Toutes catégories d'algues confondues ; Macroalgues brunes : algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; Macroalgues rouges : algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; Macroalgues vertes : algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; Plantes halophytes : liée à la salicorne.

\*En raison du faible nombre d'échantillons, le 95<sup>è</sup> percentile n'a pas été calculé.

Sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination en cadmium de toutes catégories d'algues confondues sont respectivement de 0,41 et 0,21 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (min-max de 0,01-3,18 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec).

Les macroalgues rouges et macroalgues brunes sont les plus contaminées en cadmium avec des valeurs moyennes supérieures à 0,39 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche contre des valeurs moyennes inférieures à 0,20 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche pour les deux autres groupes (macroalgues vertes et plantes halophytes).

La concentration maximale de 3,18 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche a été observée dans un échantillon de macroalgues rouges (Nori) en provenance du Japon. Avec 3,07 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche, un autre échantillon de macroalgues rouges présente une contamination supérieure à 3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (Nori en provenance de Corée). Ces résultats sont issus d'une publication scientifique (Rodenas de la Rocha *et al.*, 2009). Au regard de l'analyse de l'incertitude de mesure élargie, aucun de ces deux échantillons ne dépasserait le seuil de 3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> prévu par le règlement (CE) n°1881/2006<sup>2</sup> dans les compléments alimentaires à base d'algues marines séchées.

Trois autres échantillons présentent des contaminations en cadmium supérieures à 2 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Il s'agit d'un échantillon de macroalgues rouges (Nori en provenance de France avec une concentration de 2,88 mg Cd.kg<sup>-1</sup> matière sèche) et de deux échantillons de macroalgues brunes (1 échantillon de wakamé provenant de France avec une concentration de 2,07 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche et un échantillon de kombu en provenance du Japon avec une concentration de 2,95 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche).

Seuls les échantillons de la catégorie plante halophyte (analyse uniquement de salicorne) ne dépassent pas la valeur de référence du CSHPF de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (n = 3).

Pour les macroalgues vertes analysées, seul 1 échantillon sur les 18 analysés présente une concentration supérieure à 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (0,6 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche identifiée dans un échantillon de laitue de mer en provenance de France).

Au total, 39 résultats sur 180 échantillons d'algues analysés (soit 22 %) dépassent la concentration de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF. Les dépassements sont majoritairement constatés pour la catégorie des macroalgues brunes (35 dépassements sur 124 échantillons, avec 33 échantillons présentant un niveau de contamination compris entre 0,5 et 2 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche) et les niveaux de contamination les plus élevées, supérieures à 2 voire 3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matières sèches, observés pour trois macroalgues rouges.

Il est toutefois rappelé que pour comparer avec la valeur de référence, il conviendrait d'être en mesure de connaître l'incertitude élargie U de chaque résultat.

### **3.2.2.1-2 Etude de la base de données de contamination « CONTAMINE »**

La base de données CONTAMINE comporte 525 résultats de concentration en cadmium, plomb, arsenic (total et inorganique) et mercure (total) dans les algues.

#### *Echantillonnage des données de contamination en cadmium dans les algues*

Le jeu de données recense 131 résultats de contamination en cadmium dans les algues (macroalgues, spiruline, salicorne), incluant des algues utilisées en tant que telles (à l'état frais, sec ou grillé), en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires (agar-agar, boissons) et en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires, et échantillonnées en France entre 2009 et 2017 puis analysées entre 2010 et 2018.

### Etude des méthodes d'analyse et qualité des données

Les 131 échantillons ont été analysés par quatre laboratoires accrédités COFRAC du Service Commun des Laboratoires (SCL) de la DGCCRF (L67 (n=53), L33 (n=75), L59 (n=1) et L974 (n=2)), essentiellement par Spectrométrie d'Absorption Atomique Electrothermique, mais aussi par Spectrométrie de masse à plasma induit (ICP-OES/MS) (n=33).

Les limites de détection (LD) et limites de quantification (LQ) (entre 0,0002 et 0,035 mg.kg<sup>-1</sup> poids total) sont mentionnées lorsque les concentrations sont inférieures à ces limites. Bien qu'il y ait des indications sur l'expression de l'incertitude de mesure, les résultats compilés dans la base de données manquent parfois de clarté sur l'information s'il s'agit bien de l'incertitude élargie U et sur l'expression de celle-ci où certaines sont probablement exprimées en %, d'autres en mg.kg<sup>-1</sup>.

Sur ces 131 échantillons analysés (tous exploitables), 39 résultats d'analyse portent sur des macroalgues (brunes, rouges, vertes) en tant que telles tandis que 11 et 3 résultats d'analyse sont respectivement liés aux microalgues (spiruline uniquement) et plantes halophytes (salicorne uniquement). La catégorie d'algue n'est pas précisée ou inconnue pour 20 échantillons analysés. 53 résultats d'analyse sont liés aux compléments alimentaires à base d'algues. 2 échantillons de mélanges d'algues, 1 échantillon de poudre à base d'algue, 1 échantillon d'agar-agar et 1 échantillon de boisson à base d'algue ont été aussi analysés pour le cadmium.

Il en ressort que les groupes analysés, par ordre croissant d'importance (%) sont les suivants : Compléments alimentaires (CA) (40,5 %) > algues inconnue (15,3 %) > macroalgues brunes (13 %) = macroalgues rouges (13 %) > microalgues (spiruline) (8,4 %) > macroalgues vertes (3,8 %) > plantes halophytes (salicorne) (2,3 % ; n = 3) > mélanges d'algues (1,5 % ; n = 2) > poudre, agar-agar et boissons (0,8 % chaque (n = 1 chaque)).

Il est possible de s'assurer que les caractéristiques de l'échantillon d'algues ne soient pas trop éloignées des algues consommées dans la population française lorsqu'elles sont connues. Les paramètres suivants liés au mode de consommation, au groupe d'algues, à l'espèce, et le lieu d'origine ont été comparés, en s'appuyant sur des données nationales issues de l'étude nationale de consommation des algues alimentaires conduite par Le Bras *et al.* (2014, 2015).

Considérant le tableau 2 catégorisant l'ensemble des produits alimentaires à base d'algues (d'inspiration asiatique et/ou française), Le Bras *et al.* (2014, 2015) font état que, sur 746 produits référencés linéaires (dont 54 % d'entre eux classés dans la catégorie produits asiatiques et 46 % comme des produits d'inspiration française), 50% de ces produits sont liés à la consommation d'algues sous sa forme brute liées aux algues sèches (entières ou en paillettes). Près de 50% du jeu de données CONTAMINE sont analysées sous leur forme brute à l'état séché.

Selon Le Bras *et al.* (2014, 2015), les principales espèces utilisées pour l'élaboration de produits aux algues d'inspiration asiatique sont le nori (macroalgue rouge) et le wakamé (macroalgue brune), respectivement présents dans 74 % et 30 % des produits. Concernant les produits d'inspiration française : la dulse (macroalgue rouge), la laitue de mer (macroalgue verte), le nori (macroalgue rouge) et le wakamé (macroalgue brune) (présence dans environ 30-35 % des produits) sont les algues les plus utilisées. En revanche, le kombu (macroalgue brune) figure parmi les algues les moins utilisées. Dans l'échantillon issu de la base de données CONTAMINE, les familles des macroalgues brunes et rouges sont majoritairement représentées (jusqu'à hauteur de 26% du jeu de données). Le nori (macroalgue rouge) est l'espèce majoritairement présente dans l'échantillon (8%), suivi du wakamé (macroalgue brune) (7%) et de la dulse (6%) (macroalgue rouge). La laitue de mer (macroalgue verte) représente 5% du jeu de données. Le kombu (macroalgue brune) est également moins représenté (1,5%) au même titre que la salicorne (plante halophyte) (2,3%).

Aussi, les produits d'inspiration française sont riches en mélange d'espèces, car 35 % des produits sont constitués d'un mélange d'au moins deux espèces. Le mélange le plus courant est constitué

de dulse, de laitue de mer et de nori. Deux échantillons de mélange d'espèces ont été collectés dans la base de données CONTAMINE, dont un mélange composé de dulse, de laitue de mer et de nori.

Concernant l'indication de l'origine géographique des produits, celle-ci est parfois peu précise, voire inexistante sur certains produits d'après Le Bras *et al.* (2014, 2015) qui fait état que 80% des produits alimentaires à base d'algues d'inspiration française sont produits en France. La qualité des données en rapport avec l'origine géographique est très variable. 52% d'algues échantillonnés dans CONTAMINE sont originaires de France, et près de 37% sont originaires d'Asie (Chine, Japon, Corée).

La comparabilité de l'échantillon issu de la base de données CONTAMINE avec les algues consommées par la population française liée à l'étude nationale de consommation des algues alimentaires reste toutefois limitée.

#### Données de contamination en cadmium dans les algues

L'analyse des données sur le cadmium s'est faite par groupe d'algues et selon l'approche upper bound (UB). Le traitement des données a porté sur les 131 échantillons analysés en cadmium, excepté pour les échantillons uniques de poudre, agar-agar et boissons. 26 résultats sur les 131 échantillons analysés n'ont pas été quantifiés ( $n = 17$ ) ou détectés ( $n = 9$ ) (LD / LQ entre 0,001 et 0,090 mg/kg). L'ensemble des données a été converti en  $\text{mg.kg}^{-1}$  de matière sèche en appliquant lorsque nécessaire un facteur de conversion des données transmises en poids humide. Le choix de ce facteur s'est appuyé après étude de la littérature (Arne Jensen, 1993 ; Stévant *et al.*, 2017 ; Qing Chen *et al.*, 2018, Roleda *et al.*, 2019) et considère un taux moyen de matière sèche de 20 % dans une algue fraîche. Cette conversion en matière sèche permet de comparer ces données avec celles du CEVA.

Le tableau suivant présente l'analyse des données de contamination en cadmium dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

**Tableau 5.** Analyse des concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

	Total	Inconnue	Macroalgues Brunes*	Macroalgues Rouges*	Macroalgues Vertes*	Micro Algues*	Plantes halophytes*	Mélanges*	CA
<i>n</i>	75	20	17	17	5	11	3	2	53
<b>Concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>									
<b>Médiane</b>	0,230	0,360	0,365	1,10	0,140	0,028	0,045	0,534	0,051
<b>Moyenne</b>	1,07	1,32	1,14	1,59	1,11	0,029	0,122	0,534	0,112
<b>Percentile 95</b>	2,90	-	-	-	-	-	-	-	0,500
<b>Min</b>	0,001	0,008	0,022	0,007	0,055	0,001	0,035	0,077	0,004
<b>Max</b>	9,4	4,6	4,4	9,4	4,250	0,088	0,285	0,990	0,588
<b>Répartition des effectifs selon les classes de concentrations en cadmium (mg.kg<sup>-1</sup>MS) inférieures ou supérieures à la valeur de référence du CSHPF de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup>MS</b>									
<b>concentration &lt; 0,5</b>	46	11	9	8	3	11	3	1	50
<b>0,5 &lt; concentration &lt; 1</b>	2	0	0	0	0	0	0	1	3
<b>1 &lt; concentration &lt; 2</b>	9	2	4	3	1	0	0	0	0
<b>2 &lt; concentration &lt; 3</b>	12	4	3	5	0	0	0	0	0
<b>3 &lt; concentration &lt; 4</b>	2	2	0	0	0	0	0	0	0
<b>4 &lt; concentration &lt; 5</b>	3	1	1	0	1	0	0	0	0
<b>concentration &gt; 5</b>	1	0	0	1	0	0	0	0	0

**Total :** Toutes catégories d'algues confondues hors compléments alimentaires, agar-agar, boissons et poudre à base d'algue ; **Inconnues :** Algues dont le groupe d'appartenance n'est pas précisée ; **Macroalgues brunes :** algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; **Macroalgues rouges :** algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; **Macroalgues vertes :** algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; **Microalgues :** liée à la spiruline dans CONTAMINE ; **Plantes halophytes :** liée à la salicorne dans CONTAMINE ; **Mélanges :** Mélanges d'algues séchées ; **CA :** compléments alimentaires à base d'algues séchées.

\*En raison du faible nombre d'échantillons, le 95<sup>e</sup> percentile n'a pas été calculé.

Sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination en cadmium pour toutes catégories d'algues confondues hors compléments alimentaires, agar-agar, boissons et poudre à base d'algue sont de 1,07 et 0,23 mg.kg<sup>-1</sup> MS (min-max de 0,001-9,4 mg Cd.kg<sup>-1</sup> matière sèche).

Les macroalgues rouges, brunes et inconnues sont les plus contaminées en cadmium avec des valeurs moyennes supérieures à 1,14 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

La teneur maximale en cadmium de 9,4 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche a été observée dans un échantillon de macroalgues rouges (algues sauvages *Porphyra flakes*, Nori) en provenance d'Argentine. C'est le seul échantillon qui dépasse la concentration de 5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Trois autres échantillons excèdent la concentration de 4 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche, dont une macroalgue verte (4,25 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche, liée à une algue de culture destinée à l'alimentation humaine correspondant à une laitue de mer en provenance de France), une macroalgue brune (4,4 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche dans une algue marine séchée wakamé en provenance de Chine) et une algue inconnue (4,6 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche dans une algue en provenance de Chine). Deux autres échantillons d'algues inconnues (algues sauvages-algues argent provenant de Chine ; algue grillée pour sushi provenant de Corée) présentent des niveaux en cadmium supérieurs à 3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Un troisième échantillon d'algues inconnues (algues de culture, algues rôties en provenance de Chine) présente, quant à lui, une teneur de 2,99 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière



sèche. En tout, 12 échantillons d'algues ont des teneurs comprises entre 2 et 3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (macroalgues rouges (n=5), macroalgues brunes (n=3), algues inconnues (n=4)). Les niveaux de contamination des groupes des plantes halophytes et microalgues ne dépassent pas la valeur de référence du CSHPF de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Toutefois, le nombre d'échantillon analysés est restreint (n < 12). Enfin, les concentrations en cadmium des échantillons uniques de poudre, agar-agar et boissons à base d'algue ne dépassent pas cette valeur de référence de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Au total, 29 échantillons sur 75 échantillons d'algues analysées toutes catégories d'algues confondues hors compléments alimentaires, agar-agar, boissons et poudre à base d'algue (soit 38 %) dépassent la valeur de référence de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF, avec des groupes de macroalgues rouges (n=9), macroalgues brunes (n=8), macroalgues vertes (n=2) et des algues à la classification inconnue (n=9). Un échantillon de mélange d'algues a des concentrations en cadmium dépassant la valeur de référence de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF mais inférieure à 1 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Quant aux niveaux de contamination en cadmium observés dans les compléments alimentaires à base d'algues séchées, ces derniers ne dépassent pas la teneur maximale en cadmium de 3,0 mg.kg<sup>-1</sup> dans les compléments alimentaires tels que vendus, composés exclusivement ou principalement d'algues marines séchées ou de produits issus d'algues marines fixée dans le règlement (CE) n°1881/2006<sup>2</sup>.

Il est toutefois à noter que pour comparer avec la valeur de référence, il conviendrait d'être en mesure de connaître l'incertitude élargie U de chaque résultat car selon le règlement (CE) n° 333/2007<sup>13</sup> « Le résultat analytique doit être consigné en utilisant la formule x +/- U dans laquelle x est le résultat d'analyse et U l'incertitude de mesure élargie et en employant un facteur d'élargissement de 2 qui donne un niveau de confiance d'environ 95 % (U = 2u). » Bien qu'il y ait des indications sur l'incertitude, il n'est parfois pas indiqué s'il s'agit bien de l'incertitude élargie.

### 3.2.2.1-3 Synthèse

Le tableau suivant résume les concentrations en cadmium observées dans les algues destinées à la consommation humaine pour l'ensemble du jeu de données utilisé dans le cadre de cette saisine (issu des bases de données du CEVA et CONTAMINE).

**Tableau 6.** Résumé des concentrations en cadmium observées dans les algues destinées à la consommation humaine issues de la totalité du jeu de données de la saisine.

		Concentration en cadmium (mg.kg <sup>-1</sup> de matière sèche MS)			
		Min	Moyenne	Percentile 95	Max
<b>Algues non transformées (toutes espèces confondues)</b>	N=255	0,001	0,604	2,700	9,400
<b>Compléments alimentaires à base d'algues séchées</b>	N=53	0,004	0,112	0,500	0,588

Sur l'ensemble des données, la moyenne de contamination en cadmium pour toutes les catégories d'algues confondues non transformées est de 0,604 mg.kg<sup>-1</sup> (min-max de 0,001-9,4 mg Cd.kg<sup>-1</sup>

<sup>13</sup> 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

matière sèche). Quant aux compléments alimentaires à base d'algues séchées, celle-ci est de 0,112 mg.kg<sup>-1</sup> (min-max de 0,004-0,588 mg Cd.kg<sup>-1</sup> matière sèche).

Les données montrent des dépassements fréquents de la valeur de référence de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF (représentant 26 % des échantillons du jeu de données total), principalement observés pour des échantillons de macroalgues brunes et rouges. Il est constaté des niveaux en cadmium plus élevés chez les algues appartenant aux catégories des macroalgues brunes et rouges.

Ces constatations, particulièrement en termes de dépassements fréquents de la valeur préconisée par le CSHPF et de niveaux en contamination en cadmium plus élevés des espèces d'algues liées aux groupes de macroalgues brunes et rouges, sont également observées dans la littérature (Almela *et al.*, 2006 ; Superior Health Council, 2015 ; NIFES, 2016 ; Paz *et al.*, 2018 ; Roleda *et al.*, 2019).

Par ailleurs, les données exploitables de contamination en plomb, arsenic (total et inorganique) et mercure (total) dans les algues ont été étudiées et sont présentées en annexe 2.

### **3.2.2.2. Etude des données de consommation des algues alimentaires**

Les données de consommation d'algues alimentaire et d'ingrédients à base d'algue ainsi que sur les compléments alimentaires à base d'algue sont issues de la troisième étude Individuelle et Nationale des Consommations Alimentaires (INCA3) (Anses, 2017).

#### *Données de consommation alimentaires relatives aux aliments et ingrédients : Etude INCA3*

L'étude INCA3 a été menée entre février 2014 et septembre 2015 auprès d'un échantillon représentatif d'individus vivant en France métropolitaine (hors Corse). Au total, 5 855 individus, répartis en 2 698 enfants de la naissance à 17 ans et 3 157 adultes âgés de 18 à 79 ans, ont participé à l'étude. Les individus ont été sélectionnés selon un plan de sondage aléatoire à trois degrés (unités géographiques, logements puis individus), à partir du recensement annuel de la population de 2011, en respectant une stratification géographique (région, taille d'agglomération) afin d'assurer la représentativité sur l'ensemble du territoire. Deux échantillons indépendants ont été constitués : un échantillon « Enfants » (0-17 ans) et un échantillon « Adultes » (18-79 ans).

Les consommations alimentaires des individus ont été recueillies sur 3 jours non consécutifs (2 jours de semaine et 1 jour de week-end) répartis sur environ 3 semaines, par la méthode des rappels de 24 heures pour les individus âgés de 15 à 79 ans et par la méthode des enregistrements de 24h (*via* un carnet alimentaire) pour les individus âgés de 0 à 14 ans. Pour les 3 jours sélectionnés, les individus devaient décrire leurs consommations alimentaires en identifiant tous les aliments et boissons consommés dans la journée et la nuit précédentes. Parmi les 5 855 individus inclus dans l'étude, 4 114 (2 121 adultes et 1 993 enfants) ont validé le volet consommation en répondant à au moins 2 interviews alimentaires.

En parallèle de l'étude INCA3, une convention de recherche et de développement (CRD) a été mise en place avec le centre de recherche pour l'étude et l'observatoire des conditions de vie (CREDOC) pour décomposer en ingrédients les aliments complexes déclarés faits maison les plus cités dans l'étude INCA3 (exemple : tarte aux pommes = pâte à tarte, crème pâtissière, pommes). Chaque recette fournie par le CREDOC correspond à une recette générique moyenne résultant de la combinaison des cinq recettes les plus consultées sur internet. La méthodologie précise définie par l'Anses a permis de standardiser la décomposition des recettes et de s'assurer d'obtenir des recettes génériques représentatives de ce que pourraient être les recettes maison de ces aliments (Anses, 2017).

#### *Données sur les compléments alimentaires : Etude INCA3*

Les données de consommation de compléments alimentaires recueillies dans l'étude INCA3 ne correspondent pas strictement à la définition réglementaire, mais comprennent également les

médicaments pouvant apporter des nutriments ou extraits de plantes. Les données sur la consommation de compléments alimentaires ont été recueillies pour les 5 855 participants à l'étude INCA3. Pour chaque produit cité, ont été recueillis : le nom, la marque, la forme de présentation, le lieu d'achat, la fréquence de consommation et la quantité consommée.

Concernant les données de composition des compléments alimentaires, les emballages des compléments alimentaires consommés ont été recueillis par les enquêteurs lorsqu'ils en avaient la possibilité. Les informations disponibles sur les emballages (nom, marque, industriel, forme de présentation, posologie, liste d'ingrédients, liste de constituants, etc.) ont été saisies dans une base de données. Tous les compléments alimentaires cités au cours de l'étude INCA3 (1 102 produits différents sur la base de la marque, du nom et de la forme de présentation) n'apparaissent pas encore dans la base qui est en cours de finalisation en interne.

### Identification des aliments et ingrédients considérés comme des algues alimentaires

Les algues alimentaires identifiées en France (cf. section 3.1.2) ont été comparées aux listes d'aliments cités dans l'étude INCA3, aux ingrédients utilisés pour décomposer les recettes par le CREDOC et aux listes de constituants et ingrédients des compléments alimentaires disponibles à l'heure actuelle, afin d'identifier les aliments et ingrédients considérés comme des algues alimentaires ainsi que les compléments alimentaires à base d'algues.

Les aliments libellés « algues » et « salicorne » dans l'étude INCA3 ont été sélectionnés en tant qu'algues alimentaire. L'aliment agar-agar en tant que tel n'a pas été considéré lors de l'étude des consommations alimentaires dans le rapport INCA3 publié en juin 2017 et n'est pas considéré dans cette saisine.

Sur la base des données transmises par le CREDOC, les recettes citées au moins 1 fois comme ayant été réalisées maison et faisant intervenir des algues ont été considérées, comme notamment les « entremets et desserts cuits », les « confitures de fruits » (non sucrées ou à teneur réduite en sucre), les « flans gélifiés », les « makis » et « california maki », faisant systématiquement intervenir une algue dans leur composition. Etant donnée la non prise en compte de l'agar-agar, seuls les « makis » et « California maki » ont été gardés pour la suite de l'évaluation.

Enfin, à partir des données disponibles dans la base de composition des compléments alimentaires, une trentaine de produits a été identifiée comme contenant au moins 1 algue alimentaire.

### Estimation des données de consommation des algues alimentaires

En fonction des quelques données disponibles pour chaque cas de figure, à savoir : les algues consommées en tant qu'aliments, les algues consommées en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires ou les algues consommées en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires, il a été estimé séparément pour les adultes et pour les enfants. :

- Le nombre d'actes de consommation ;
- Les taux de consommateurs (assortis d'un intervalle de confiance à 95 %) ;
- Le nombre de consommateurs.

*In fine*, les quantités d'algues consommées sous forme d'aliments, d'ingrédients ou de compléments alimentaires au niveau individuel ont été estimées.

### Résultats

Le tableau 7 présente le nombre d'actes de consommation, taux de consommateurs et consommation moyenne d'algues alimentaires sous forme d'aliments, sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires et sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires chez les adultes et chez les enfants obtenus avec l'étude INCA3.

Les actes de consommation ainsi que les taux de consommateurs d'algues alimentaires sont très faibles chez les adultes (0,3 % de consommateurs), et plus particulièrement encore chez les enfants (0,07 % de consommateurs). L'item « algue » est le principal représentant des algues alimentaires consommées, la consommation de la salicorne semblant anecdotique.

La consommation d'algues alimentaires se fait davantage sous forme d'ingrédients que sous forme d'aliments, bien que les actes de consommation et les taux de consommateurs soient peu élevés.

La consommation d'algues *via* les compléments alimentaires est, elle aussi, relativement faible et proche de 1 % chez les adultes et inférieure à 0,1 % chez les enfants.

**Tableau 7.** Nombre d'actes de consommation, taux de consommateurs et consommation moyenne d'algues alimentaires sous forme d'aliments, sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires et sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires chez les adultes et chez les enfants d'après l'étude INCA3 (2014-2015).

Echantillon	Libellé INCA 3	Nombre de consommateurs	Taux de consommateurs (IC 95%)	Nombre d'actes de consommation	Consommation moyenne
Adultes (n=2 121)	Algues (« Algues » + « Salicorne »)	10	0,30 % (0,1 % - 0,8 %)	14	6,1 g
Enfants (n=1 993)	Algues (« Algues » + « Salicorne »)	4	0,07 % (0,02 % - 0,2 %)	4	5,4 g
Adultes (n=2 121)	Algues alimentaires sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires	33	1,7 % (1,1 % - 2,6 %)	42	0,47 g
Enfants (n=1 993)	Algues alimentaires sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires	16	0,4 % (0,2 % - 0,7 %)	75	0,36 g
Adultes (n=3 157)	Algues alimentaires sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires	29	0,7 % (0,4 % - 1,1 %)	30	198 mg
Enfants (n=2 698)	Algues alimentaires sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires	3	0,06 % (0,02 % - 0,25 %)	3	295 mg

En combinant toutes les formes d'apports d'algues alimentaires (aliment, ingrédient, complément alimentaire), 2,5 % des adultes et 0,5 % des enfants ont rapporté un acte de consommation dans l'étude INCA3 d'au moins un aliment ou complément alimentaire à base d'algue (cf. tableau 8).

**Tableau 8.** Nombre d'actes de consommation et taux de consommateurs d'algues alimentaires toutes formes confondues (aliments, ingrédients de recettes et ingrédients de compléments alimentaires), chez les adultes et chez les enfants d'après l'étude INCA3 (2014-2015).

Echantillon	Nombre d'actes de consommation	Taux de consommateurs (IC 95%)
Adultes (n=2 121)	53	2,50 % (1,8 % - 3,5 %)
Enfants (n=1 993)	112	0,50 % (0,3 % - 0,8 %)

En conclusion, peu de données de consommation des algues alimentaires ou produits alimentaires incluant des algues ont pu être dérivées de l'étude INCA 3 (Anses, 2017). Compte tenu des évolutions des habitudes alimentaires des consommateurs français, une enquête permettant de rechercher spécifiquement la fréquence, le mode de consommation et la quantité consommée d'algues en fonction du type d'algue utilisé selon le produit alimentaire auprès de la population française est nécessaire. Un recueil qualitatif et quantitatif plus précis de ces données permettra d'affiner les résultats et les recommandations de consommation des algues alimentaires.

### 3.2.2.3. Evaluation de l'exposition alimentaire au cadmium identifié dans les algues alimentaires

#### Préambule

La source principale d'exposition de la population générale au cadmium est l'alimentation, hors tabagisme (EFSA, 2009a, 2012a). Le cadmium est bioaccumulable et se révèle être un contaminant de la chaîne alimentaire potentiellement préoccupant. Selon l'avis et le rapport de l'Anses relatifs à la deuxième étude de l'alimentation totale (EAT2) de juin 2011 (Anses, 2011a), un dépassement de la DHT définie par l'Efsa en 2009 est constaté chez 0,6 % des adultes et 15 % des enfants. Le cadmium est un élément ubiquitaire retrouvé dans une grande partie des aliments. Les aliments contribuant majoritairement à l'exposition au cadmium identifiés sont les pains et produits de panification sèche, les pommes de terre et produits apparentés ainsi que les légumes (Anses, 2011a, b). A l'issue de l'EAT2, celle-ci recommande que la mise en place ou le renforcement de mesures de gestion visant à limiter les niveaux d'exposition au cadmium s'avèrent ainsi nécessaires.

Plus récemment, les conclusions de l'étude de l'alimentation totale infantile (EATi) publiée en septembre 2016 (Anses, 2016a) confirment celles de l'EAT2, à savoir que le risque sanitaire lié au cadmium ne peut être écarté pour les enfants de moins de trois ans. Dans l'EATi, les principaux contributeurs à l'exposition au cadmium pour les enfants de plus de 5 mois sont identiques à ceux identifiés pour la population générale. L'Anses avait conclu que les recommandations émises pour réduire l'exposition alimentaire de la population générale étaient également pertinentes pour les enfants de moins de 3 ans afin de limiter l'accumulation du cadmium dès le plus jeune âge.

#### Estimation des expositions alimentaires au cadmium liées à la consommation d'algues alimentaires

Les données d'entrée des estimations des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues sont explicitées dans le tableau suivant :



**Tableau 9.** Données d'entrées des estimations des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues.

	Données d'entrée de contamination		Données d'entrée de consommation	
	Source	N	Source	N*
<b>Scénario algue consommée sous forme d'aliment</b>	Jeu de données CEVA (1996-2016) et CONTAMINE (2010-2018)	N=255 concentrations en cadmium dans les algues non transformées (toutes espèces confondues)	Etude INCA 3	N= 14 actes de consommation des algues sous forme d'aliment (« Algues » + « Salicorne ») chez l'adulte
<b>Scénario algue consommée sous forme d'ingrédient de denrées alimentaires</b>	Jeu de données CEVA (1996-2016) et CONTAMINE (2010-2018)	N=255 concentrations en cadmium dans les algues non transformées (toutes espèces confondues)	Etude INCA 3	N= 42 et 75 actes de consommation des algues sous forme d'ingrédient de denrées alimentaires chez l'adulte et l'enfant respectivement
<b>Scénario algue consommée sous forme d'ingrédient de compléments alimentaires</b>	Jeu de données CONTAMINE (2010-2018)	N=53 concentrations en cadmium dans les compléments alimentaires à base d'algues séchées	Etude INCA 3	N= 30 actes de consommation des algues sous forme d'ingrédient de compléments alimentaires chez l'adulte
<b>Scénario algue consommée sous toute forme combinée (aliment, ingrédient, complément alimentaire)</b>	Jeu de données CEVA (1996-2016) et CONTAMINE (2010-2018)	N=310 concentrations en cadmium dans les algues non transformées (toutes espèces confondues) et dans les compléments alimentaires à base d'algues séchées	Etude INCA 3	N= 53 et 75** actes de consommation des algues sous toute forme combinée chez l'adulte et l'enfant respectivement

\*Actes de consommation

\*\*Du fait du faible nombre de consommateurs d'algues en tant que telles ou en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires dans la population des enfants, seuls les consommateurs d'ingrédients ont été pris en compte dans cette évaluation.

Les données d'entrées liées aux niveaux de contamination en cadmium des algues, lorsqu'elles sont censurées dans le jeu de données, sont exprimées en hypothèse haute (conservatrice) selon l'approche upper bound (UB). En effet, le jeu de données ne dispose pas des indications sur les valeurs des limites de détection. Dans ce scénario UB, les résultats de type « non détecté » ou « non quantifié » sont remplacés par la limite de quantification (LQ).

Concernant les données de consommation, en raison du faible jeu de données disponibles :

- Ont été pris en compte les actes de consommation individuels et non les consommateurs en tant que tels ;
- Seuls les actes de consommation des consommateurs adultes d'algues sous forme d'aliment ou d'ingrédient de complément alimentaire sont considérés pour l'estimation des expositions au cadmium associée.

Les expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues ont été estimées sur la base des scénarios de consommation suivants, en considérant :

- 1) L'algue consommée directement sous forme d'aliment, sans transformation, en tant que telle ;
- 2) L'algue consommée sous forme d'ingrédient de denrées alimentaires (maki, california maki) ;
- 3) L'algue consommée sous forme d'ingrédient de compléments alimentaires ;
- 4) L'algue consommée sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire).

Pour chaque scénario, l'exposition alimentaire au cadmium a été estimée selon une approche probabiliste.

Le principe de cette approche est de générer une distribution de probabilités des valeurs possibles d'exposition. Cette méthode consiste à tirer de manière aléatoire un grand nombre de valeurs possibles de contamination et de consommation en fonction d'une loi de probabilité qui leur a été attribuée à partir des données disponibles<sup>14</sup>. Cette approche permet de tenir compte des différents facteurs entrant dans le calcul de l'exposition (contamination, consommation, poids corporel), et d'intégrer leurs distributions dans le calcul.

Ainsi, pour chaque acte de consommation et chaque aliment, 100 000 valeurs de contamination et de consommation sont tirées aléatoirement dans des distributions de probabilités définies à partir des données disponibles (cf. tableau 10). Cette procédure permet d'obtenir 100 000 valeurs d'expositions décrivant une distribution d'expositions à partir de laquelle il est possible de calculer des paramètres classiques tels que la moyenne, la médiane et les centiles de la distribution, ainsi que leurs intervalles de confiance. Cette démarche a été appliquée pour chaque sous-population (enfants de 3 à 17 ans, adultes), et chaque scénario (algues, ingrédients, compléments alimentaires, toutes sources confondues).

**Tableau 10.** Distributions de probabilités définies pour les données disponibles

Variable	Distribution ajustée
Contamination algues en tant qu'aliments	inverse-gaussienne <sup>a</sup> (0,62695;0,2202)
Consommation algues en tant qu'aliments chez les adultes	inverse-gaussienne (0,086378;0,012977)
Contamination algues en tant qu'ingrédients	inverse-gaussienne (0,62695;0,2202)
Consommation algues en tant qu'ingrédients chez les adultes	Log-normale <sup>b</sup> (0,0096244;0,0078926)
Consommation algues en tant qu'ingrédients chez les enfants	Log-normale (0,010748;0,0058055)
Contamination CA contenant des algues	Log-normale (0,15225;0,58499)
Consommation CA contenant des algues	Log-normale (38,486;3464)
Exposition bruit de fond chez les adultes	Log-logistique <sup>c</sup> (-0,023257;0,17141;5,5617)

<sup>a</sup> Distribution inverse-gaussienne ( $\mu$ ,  $\lambda$ ) ; <sup>b</sup> Distribution log-normale (moyenne, écart-type), <sup>c</sup> distribution log-logistique ( $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ )

Les simulations ont été effectuées sur les logiciels @Risk 7.5 et R (package R fitdistrplus).

La même démarche a été utilisée pour calculer les expositions alimentaires chez les consommateurs d'algues à l'arsenic inorganique, au méthylmercure et au plomb, en s'appuyant sur les distributions des contaminations disponibles pour ces éléments traces dans les algues. Les résultats d'analyse des données de contamination et des estimations des expositions chez les consommateurs d'algues sont présentés en annexe 2.

<sup>14</sup> La loi de distribution qui est attribuée est celle qui s'ajuste le mieux aux données disponibles en fonction de critères statistiques.

### 3.2.2.4. Risque sanitaire lié à l'exposition au cadmium présent dans les algues

Les expositions alimentaires liées au cadmium présent dans les algues ont été comparées avec la Dose Journalière Tolérable (DJT) du cadmium retenue par l'Anses de 0,35 µg Cd.kg p.c<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> (Anses, 2019).

Estimation des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues selon le scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport à la dose journalière tolérable du cadmium

Le tableau ci-dessous présente les résultats d'exposition pour chaque scénario chez les consommateurs d'algues adultes et uniquement pour le scénario « ingrédients » chez les enfants, s'appuyant sur la combinaison des distributions des contaminations en cadmium observées dans les algues et des actes de consommation des algues disponibles dans INCA3 (cf. tableau 9).

Chez les adultes consommateurs d'algues, l'exposition au cadmium *via* les algues consommées en tant qu'aliments représente en moyenne près de 16 % de la DJT et entre 1,6 et 1,7 % lorsque les algues sont consommées sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires ou de compléments alimentaires. Le cadmium apporté par toutes les sources d'algues (aliment, ingrédient, complément alimentaire) représente en moyenne près de 19 % de la DJT. Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport, en faisant un fort contributeur.

Chez les enfants consommateurs d'algues, l'apport moyen en cadmium par les algues en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires représente moins de 2 % de la DJT.

Il est à rappeler que ces estimations ont été réalisées sous l'hypothèse UB, la plus protectrice car la plus maximaliste.

**Tableau 11.** Estimation des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues par scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport à la DJT du cadmium.

	Adultes			Enfants		
	Moy	P95	% DJT	Moy	P95	% DJT
Exposition aux algues sous forme d'aliment en µg/kg pc/j	0,05	0,20	15,5 %			
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires en µg/kg pc/j	0,006	0,023	1,6 %	0,006	0,024	1,7 %
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de CA <sup>15</sup> en µg/kg pc/j	0,006	0,005	1,7 %			
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en µg/kg pc/j	0,07	0,22	18,8 %	0,006	0,024	1,7 %

<sup>15</sup> Compléments alimentaires

Si l'on considère la valeur limite du CSHPF de 0,5 mg de cadmium.kg<sup>-1</sup> de matière sèche comme étant le niveau maximal de contamination des algues aliments ou condiments non transformés, les estimations des expositions alimentaires moyennes au cadmium chez les consommateurs d'algues montrent une contribution par rapport à la dose journalière tolérable du cadmium jusqu'à 15,4 % de la DJT lorsque les algues sont consommées sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire) (cf. tableau 12), restant un fort contributeur. L'exposition moyenne au cadmium lorsque les algues sont consommées sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires ou de compléments alimentaires représente 1,3 % de la DJT, respectivement. Chez les enfants consommateurs d'algues, l'apport moyen en cadmium par les algues en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires représente 1,4 % de la DJT.

**Tableau 12.** Estimation des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues par scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport à la DJT du cadmium, en considérant la valeur limite de 0,5 mg de cadmium.kg<sup>-1</sup> de matière sèche d'algues recommandée par le CSHPF.

	Adultes			Enfants		
	Moy	P95	% DJT	Moy	P95	% DJT
Exposition aux algues sous forme d'aliment en µg/kg pc/j	0,045	0,19	12,7 %			
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires en µg/kg pc/j	0,0046	0,012	1,3 %	0,0048	0,01	1,4 %
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de CA <sup>16</sup> en µg/kg pc/j	0,005	0,005	1,3 %			
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en µg/kg pc/j	0,054	0,21	15,4 %	0,0048	0,01	1,4 %

Estimation de la concentration maximale en cadmium des algues pour la population consommatrice d'algues par rapport à la DJT de 0,35 µg Cd.kg p.c<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>

La concentration maximale en cadmium des algues consommées en tant que telles a été calculée afin de ne pas augmenter l'exposition alimentaire initiale au cadmium des consommateurs d'algues. Pour cela, il a été pris en compte la distribution de l'exposition au cadmium de la population générale adulte estimée dans l'EAT2 (Anses, 2011a), celle-ci étant le reflet de l'exposition basale de la population dite également « exposition bruit de fond », c'est-à-dire, l'exposition au cadmium à partir de l'ensemble du régime alimentaire. A noter que cette exposition globale, sans consommation d'algues alimentaires, présente déjà des dépassements de la DJT de 0,36 µg Cd.kg p.c<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> de l'Efsa (2009a) dans la population générale (0,6 % des adultes et 15 % des enfants dans l'EAT2), avec,

<sup>16</sup> Compléments alimentaires

chez les consommateurs adultes, une exposition moyenne estimée à  $0,15 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  et un P95 à  $0,27 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ , et chez les consommateurs enfants une exposition moyenne à  $0,24 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  et un P95 à  $0,45 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (Anses, 2011a).

Ce calcul n'a pas pu être effectué chez les enfants, ceux-ci n'ayant pas été pris en compte dans le scénario « algues ».

Ce rétro calcul<sup>17</sup> a été effectué avec une approche probabiliste similaire à celle utilisée pour le calcul d'exposition mais qui tient compte ici de la distribution de l'exposition basale de la population. Le résultat se présente sous la forme d'une distribution de la concentration maximale en cadmium des algues non transformées destinées à la consommation humaine qui permet de ne pas dépasser la DJT, en ajoutant une source supplémentaire de cadmium représentée par les algues.

La figure 1 présente la distribution de la concentration maximale en cadmium des algues légumes ou condiments non transformés et son intervalle de confiance dérivés du rétro calcul par l'approche probabiliste, en fonction du centile de la population pour lequel l'exposition ne devrait pas dépasser la DJT du cadmium en considérant l'ensemble du régime alimentaire. La courbe rouge de la figure 1 présente les valeurs estimées des concentrations maximales en cadmium des algues légumes ou condiments non transformées, issues du calcul probabiliste décrit ci-dessus pour des valeurs de probabilité de dépassement de la DJT comprises entre 0.05 et 0.25. Ces concentrations maximales correspondent à des pourcentages de consommateurs dépassant la DJT compris entre 5% (à gauche du graphique) et 25% (à droite du graphique) ou, de manière équivalente, à des pourcentages de consommateurs ne dépassant pas la DJT compris entre 95% (à gauche du graphique) et 75% (à droite du graphique). L'axe des ordonnées présente les valeurs des concentrations maximales et l'axe des abscisses présente les valeurs probabilités correspondantes. Les courbes en tirets bleues de la figure 1 représentent les intervalles de confiance (à 95%) des valeurs estimées de concentrations maximales. Les calculs ont été réalisés en considérant l'ensemble du régime alimentaire.

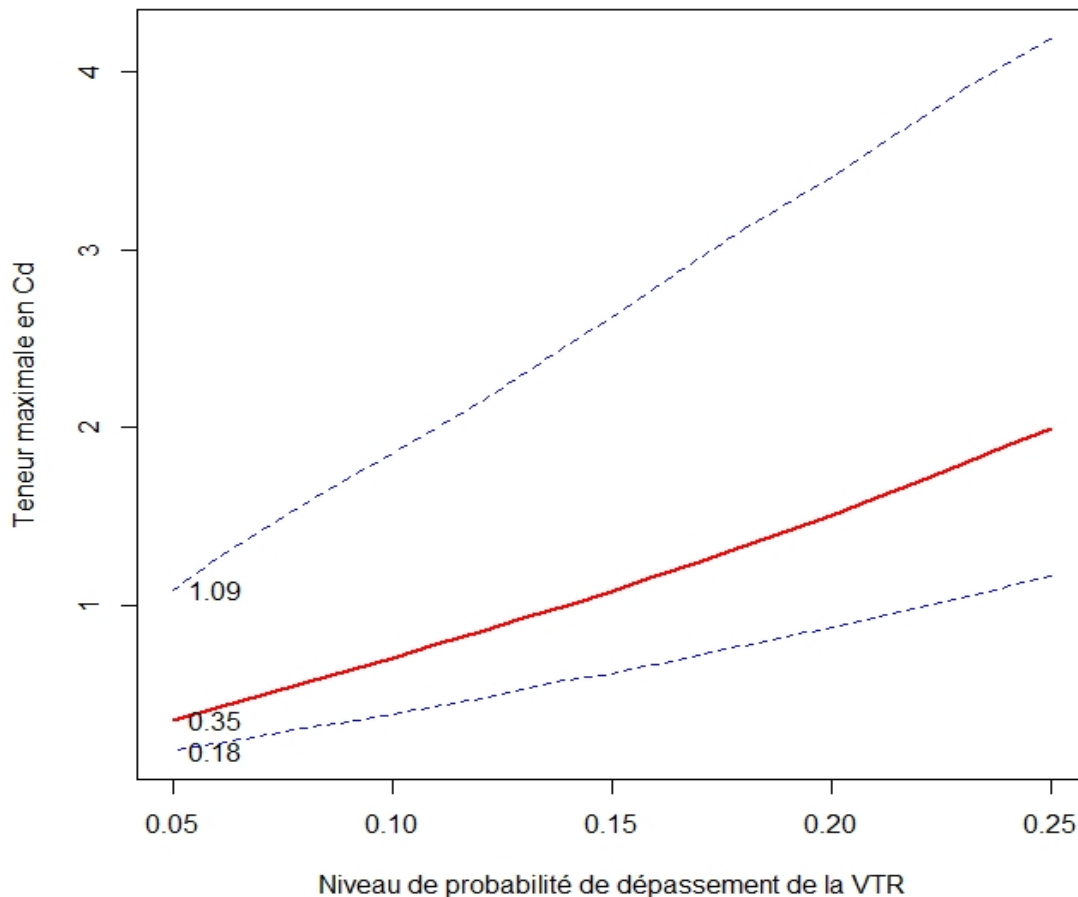
La valeur estimée au 5<sup>ème</sup> centile de cette distribution est égale à  $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche avec un intervalle de confiance à 95 % de [0.18,1.09] (Figure 1). Cette concentration maximale permet pour 95 % de la population consommatrice d'algues légumes ou condiments non transformés de ne pas dépasser la DJT du cadmium en étant simultanément exposés aux autres sources alimentaires de cadmium. Toutefois, l'intervalle de confiance incluant la concentration maximale de  $0,5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$  de matière sèche d'algues, il n'est pas exclu que cette concentration permette à 95 % de la population de ne pas dépasser la DJT du cadmium.

94 échantillons d'algues non transformées toutes espèces confondues sur 255 échantillons du jeu de données de contamination utilisé (issu des bases de données du CEVA et CONTAMINE) dépassent la concentration de  $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche d'algues (soit 36,8% du jeu de données).

---

<sup>17</sup>  $TM = \frac{(VTR - \text{Bruit de fond}) \times \text{Poids corporel}}{\text{Consommation}}$





**Figure 1.** Distribution de la concentration maximale en cadmium des algues légumes ou condiments non transformés ( $\text{mg.kg}^{-1}$  MS) et son intervalle de confiance, en fonction du centile de la population pour lequel l'exposition ne devrait pas dépasser la DJT du cadmium en considérant l'ensemble du régime alimentaire (explication dans le texte ci-dessus).

A noter que ce rétro calcul intègre deux échantillons de population différents liés d'une part aux consommateurs d'algues s'appuyant sur les données de consommation INCA3 et d'autre part, sur l'exposition bruit de fond au cadmium par le régime alimentaire total (les algues n'en faisant pas partie) de la population générale se basant sur les données de consommation INCA2.

En considérant la concentration maximale en cadmium dans les algues alimentaires légumes ou condiments non transformées de  $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche préconisée par le CSHPF, en s'appuyant sur ce rétro calcul, il apparaît que l'exposition au cadmium de la population consommatrice d'algues ne dépasserait pas la DJT dans 93 % des cas en tenant compte des autres sources alimentaires de cadmium.

Enfin, une concentration en cadmium de  $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche d'algues légumes ou condiments non transformées contribuerait, en termes d'exposition alimentaire chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire) en moyenne à hauteur de 11,5 % de la DJT du cadmium (tableau 13), (contre 18,8 % avec les distributions de contamination en cadmium observées dans les algues et contre 15,4 % pour une concentration maximale de  $0,5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$  de matière sèche d'algues préconisée par le CSHPF).

**Tableau 13.** Estimation des expositions alimentaires au cadmium chez les consommateurs d'algues par scénario en considérant une concentration maximale dans les algues de 0,35 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche et comparaison des contributions des expositions moyennes par rapport à la DJT du cadmium chez les consommateurs en fonction des concentrations dans les algues.

	Adultes					Enfants				
	Concentration maximale dans les algues de 0,35 mg Cd.kg <sup>-1</sup> de matière sèche calculée dans le cadre de ce travail			Concentration maximale dans les algues de 0,5 mg Cd.kg <sup>-1</sup> de matière sèche recommandée par le CHSPF	Distribution des concentrations en Cd observées dans les algues	Concentration maximale dans les algues de 0,35 mg Cd.kg <sup>-1</sup> de matière sèche calculée dans le cadre de ce travail			Concentration maximale dans les algues de 0,5 mg Cd.kg <sup>-1</sup> de matière sèche recommandée par le CHSPF	Distribution des concentrations en Cd observées dans les algues
	Moy	P95	% DJT	% DJT	% DJT	Moy	% DJT	% DJT	% DJT	% DJT
Exposition aux algues sous forme d'aliment en µg/kg pc/j	0,03	0,13	8,9 %	12,7 %	15,5 %					
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires en µg/kg pc/j	0,003	0,008	0,9 %	1,3 %	1,6 %	0,003	0,007	1,0 %	1,4 %	1,7 %
Exposition aux algues en tant qu'ingrédients de CA <sup>18</sup> en µg/kg pc/j	0,006	0,005	1,6 %	1,3 %	1,7 %					
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en µg/kg pc/j	0,04	0,15	11,5 %	15,4 %	18,8 %	0,003	0,007	1,0 %	1,4 %	1,7 %

### 3.2.3. Traitement des incertitudes

Pour apprécier l'exposition du consommateur au cadmium par la consommation d'algues alimentaires, des incertitudes ont été identifiées. Leurs impacts sur l'estimation de l'exposition des consommateurs et de la concentration maximale en cadmium à recommander dans les algues destinées à la consommation humaine ont été qualifiés.

**Tableau 14.** Incertitudes liées à l'évaluation de l'exposition alimentaire au cadmium associé à la consommation d'algues alimentaires et impact sur les estimations de l'exposition et de la concentration maximale en cadmium à recommander.

Sources d'incertitudes	Impact sur l'estimation de l'exposition
Données d'entrées de contamination	
- Limites de détection (LD) non précisées pour certains résultats -> Analyse selon l'hypothèse conservatrice UB	+
- Incertitude élargie U non connue pour certains résultats	+/-
- Représentativité des échantillons	-

<sup>18</sup> Compléments alimentaires

Sources d'incertitudes	Impact sur l'estimation de l'exposition
Données d'entrées de consommation <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu de connaissance sur la fréquence, le mode de consommation et la quantité consommée des algues en fonction du genre d'algue</li> <li>- Connaissance insuffisante des recettes pour la prise en compte de tous les ingrédients à base d'algues</li> </ul>	- -
Données d'entrées des estimations des expositions <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intégration des actes de consommation au regard de la quantité de données</li> <li>- Non intégration des données de consommation des enfants pour les estimations des expositions liées à la consommation d'algues non transformées et de compléments alimentaires à base d'algues au regard de la quantité de données</li> </ul>	+ -
Estimation d'une concentration maximale en cadmium dans les algues destinées à la consommation humaine <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rétro calculs intégrant deux échantillons de population différents liés d'une part aux consommateurs d'algues s'appuyant sur les données de consommation INCA3 et d'autre part sur l'exposition de fond au cadmium par le régime alimentaire total de la population générale se basant sur les données de consommation INCA 2</li> </ul>	+/-

+ : incertitude pouvant entraîner une surestimation de l'exposition ; - : incertitude pouvant entraîner une sous-estimation de l'exposition

### 3.3. Conclusions et recommandations

Dans la population générale, un risque pour le consommateur lié au cadmium, élément ubiquitaire retrouvé dans une grande partie des aliments, n'est pas écarté dans la deuxième étude alimentation totale (Anses, 2011a), avec, un dépassement de la dose hebdomadaire tolérable ( $2,5 \mu\text{g Cd.kg p.c}^{-1} \cdot \text{sem}^{-1}$ ) définie par l'Efsa en 2009 de 0,6 % chez les adultes et 15 % chez les enfants. En effet, l'exposition moyenne globale du consommateur (exposition dite de bruit de fond) au cadmium est forte et estimée à 0,15 et 0,24  $\mu\text{g.kg pc}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  chez le consommateur adulte et enfant, respectivement (Anses, 2011a). La mise en place ou le renforcement de mesures de gestion visant à limiter les niveaux d'exposition au cadmium dans la population générale s'avèrent ainsi nécessaires.

Chez les adultes consommateurs d'algues, la part de l'exposition alimentaire moyenne au cadmium contribue jusqu'à 19 % de la dose journalière tolérable (DJT) du cadmium retenue par l'Anses de  $0,35 \mu\text{g Cd.kg p.c}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  (Anses, 2019) par la consommation d'algues alimentaires sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire). Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport. En effet, chez les adultes consommateurs d'algues, l'exposition au cadmium par les algues consommées en tant qu'aliments représente en moyenne près de 16 % de la DJT et entre 1,6 et 1,7 % lorsque les algues sont consommées sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires ou de compléments alimentaires.

En raison, d'une part, d'une forte exposition de la population générale à cet élément ubiquitaire qu'est le cadmium, et d'autre part, d'incertitudes identifiées à l'évaluation de l'exposition alimentaire au cadmium associées à la consommation d'algues alimentaires en termes de qualité et de quantité de données (liées aux données de contamination et de consommation des algues), il est difficile d'estimer de façon robuste les expositions au cadmium liées à la consommation d'algues ainsi que la concentration maximale en cadmium dans les algues destinées à la consommation humaine.

**Il est donc recommandé une concentration maximale en cadmium dans les algues aussi basse que possible.**

A partir des scénarios d'exposition construits et simulés selon une approche probabiliste en fonction des hypothèses associées et des limites identifiées, quelques éléments de réponse peuvent être indiqués au regard des questions posées dans la saisine.

### **3.3.1. Recommandations sur la teneur maximale en cadmium pour les algues destinées à l'alimentation humaine**

L'avis de l'Anses est notamment sollicité sur:

- 1) *« l'opportunité de maintenir les conclusions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, émises lors de ses séances des 14 juin 1988 et 9 janvier 1990, préconisant une concentration maximale en cadmium dans les algues alimentaires de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec »*

En considérant la concentration maximale en cadmium dans les algues alimentaires légumes ou condiments non transformées de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF, il apparaît que l'exposition au cadmium de la population consommatrice d'algues ne dépasserait pas la DJT dans 93 % des cas en tenant compte de l'exposition bruit de fond apportée par le reste du régime alimentaire.

Cette concentration de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche dans les algues légumes ou condiments non transformées préconisée par le CSHPF contribuerait, en moyenne en termes d'exposition alimentaire chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire) à hauteur de 15,4 % de la DJT du cadmium, ce qui en fait un fort contributeur.

Toutefois, l'analyse des données de contamination en cadmium dans les algues non transformées destinées à la consommation humaine montre un dépassement fréquent de cette valeur dans les algues alimentaires de 0,5 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche, représentant environ 26 % des échantillons du jeu de données disponible (majoritairement dans les algues appartenant aux catégories des macroalgues brunes et rouges). La moyenne de contamination en cadmium pour toutes catégories d'algues confondues non transformées observée dans le jeu de données de la saisine est de 0,604 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (min-max de 0,001-9,4 mg Cd.kg<sup>-1</sup> matière sèche).

Par ailleurs, les niveaux de contamination en cadmium observés dans les compléments alimentaires à base d'algues séchées dans le jeu de données utilisé pour la saisine, ne dépassent pas la teneur maximale en cadmium de 3,0 mg.kg<sup>-1</sup> fixée dans le règlement (CE) n° 1881/2006 pour les compléments alimentaires tels que vendus, composés exclusivement ou principalement d'algues marines séchées ou de produits issus d'algues marines (concentration moyenne en cadmium observée dans le jeu de données de la saisine de 0,112 mg.kg<sup>-1</sup> (min-max de 0,004-0,588 mg Cd.kg<sup>-1</sup> poids sec)).

- 2) *« la définition d'une concentration en cadmium au-delà de laquelle les algues ne devraient pas être mises sur le marché. Les modalités de consommation des algues pourraient être, le cas échéant, prises en compte pour déterminer des teneurs différenciées »*

Compte-tenu d'un risque sanitaire au cadmium non écarté pour la population française par son régime alimentaire total (Anses, 2011a), il est recommandé une concentration maximale en cadmium aussi basse que possible dans les algues.

Considérant les hypothèses du rétro calcul par une approche probabiliste, il apparaît, en tenant compte de l'ensemble du régime alimentaire, que le niveau de contamination en cadmium doit rester inférieur à 0,35 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche [0.18,1.09] d'algues légumes ou condiments non transformées toutes espèces confondues pour que l'exposition au cadmium de la population consommatrice d'algues ne dépasse pas la DJT dans 95 % des cas.

Une concentration en cadmium de 0,35 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche d'algues en tant qu'aliment non transformé contribuerait, en moyenne en termes d'exposition alimentaire chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédient, complément alimentaire) à hauteur de 11,5 % de la DJT du cadmium (contre 15,4 % pour une concentration maximale de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche d'algues). Toutefois, l'intervalle de confiance incluant la concentration maximale de 0,5 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche d'algues, il n'est pas exclu que cette concentration permette à 95 % de la population de ne pas dépasser la DJT du cadmium.

Il est rappelé que les contaminations en cadmium sont plus élevées dans les algues appartenant aux catégories des macroalgues brunes et rouges, souvent retrouvées dans l'assiette du consommateur (exemples : makis, soupes...).

3) « *l'opportunité de définir des recommandations de consommation des algues.* »

En raison du faible jeu de données de consommation liées aux algues alimentaires dérivées de l'étude INCA 3 (Anses, 2017) pour l'estimation de l'exposition au cadmium, il est difficile d'établir des recommandations de consommation d'algues selon le type d'algues et le mode de consommation. Compte tenu des évolutions des habitudes alimentaires des consommateurs français, une enquête permettant de rechercher spécifiquement la fréquence, le mode de consommation et la quantité consommée d'algues en fonction du type d'algue utilisé selon le produit alimentaire auprès de la population française est nécessaire. Le recueil qualitatif et quantitatif plus précis de ces données permettra d'affiner les résultats et les recommandations de consommation des algues alimentaires.

**3.3.2. Recommandations sur l'opportunité de définir des concentrations maximales en contaminants (éléments traces) identifiés dans les algues destinées à l'alimentation humaine**

La consommation d'algues alimentaires en tant que telles ou bien incorporées en tant qu'ingrédient alimentaire ou de compléments alimentaires peut exposer le consommateur à d'autres contaminants hors cadmium, faisant l'objet d'étude de cette saisine. Les algues ont une composition élevée en polysaccharides, cela se caractérisant par une affinité de liaison aux éléments traces métalliques présents dans l'environnement. Du fait de leur origine naturelle et anthropique, en plus du cadmium, les éléments traces comme l'arsenic, le mercure ou encore le plomb sont retrouvés dans les algues (Almela *et al.*, 2006 ; Superior health council, 2015 ; NIFES, 2016, Paz *et al.*, 2018 ; Roleda *et al.*, 2019). Les bases de données de contamination du CEVA et CONTAMINE présentent l'avantage de disposer des résultats des niveaux de contaminations en arsenic (total et inorganique), mercure (total) et plomb analysés dans les algues. Une évaluation de l'exposition du consommateur par substance à l'arsenic, au mercure et au plomb a donc été menée dans le but d'émettre des recommandations vis-à-vis de ces éléments traces identifiés dans les algues alimentaires, afin de protéger la santé du consommateur au regard de l'émergence de consommation de cette denrée.

L'évaluation est présentée en annexe 2 de cet avis.

Hormis l'observation, uniquement pour le cadmium ; de dépassements fréquents de la valeur maximale dans les algues alimentaires préconisée par le CSHPF et constaté également dans la littérature (Almela *et al.*, 2006 ; Superior health council, 2015 ; NIFES, 2016, Paz *et al.*, 2018 ; Roleda *et al.*, 2019), l'analyse des données de contamination en arsenic inorganique, mercure,



plomb montre très peu de dépassements des valeurs recommandées par le CSHPF (cf. tableau 3 section 3.1.4 et annexe 2).

L'évaluation a porté sur le plomb, l'arsenic inorganique, méthylmercure, selon les caractéristiques toxicologiques des formes de l'espèce chimique et des résultats des niveaux de contamination disponibles et exploitables par l'intermédiaire de la base de données CONTAMINE.

Hors consommation d'algues, un risque sanitaire lié à l'exposition à l'arsenic inorganique, au méthylmercure (par la consommation de poissons et produits de la mer) et au plomb par l'alimentation totale n'est pas écarté pour le consommateur selon la seconde étude alimentation totale de l'Anses (Anses, 2011a).

L'estimation des expositions à ces éléments traces à la suite de consommation d'algues alimentaire (sur la base des scénarios construits dans le cas du cadmium) dans ce travail montre que :

- La part de l'exposition moyenne à l'arsenic inorganique chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue entre 2 et 54 % des valeurs repères établies par le Jecfa de  $0,3$  et  $8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  respectivement, pour estimer le risque lié à l'arsenic inorganique. Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport.
- La part de l'exposition moyenne au méthylmercure chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue à hauteur de 3 % de la DHTP de  $1,3 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ .
- La part de l'exposition moyenne au plomb chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue à hauteur de 78 % chez les adultes et 8 % chez les enfants des valeurs repères établies par l'Efsa pour estimer le risque lié à l'ingestion de plomb ( $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  et  $0,50 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  pour les adultes et les enfants, respectivement).

Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport.

Les données de contamination des algues destinées à la consommation humaine montrent que l'arsenic inorganique, le mercure et le plomb ne sont pas détectés ou quantifiés respectivement dans 53 %, 80 % et 40 % des échantillons. L'estimation de l'exposition est basée sur l'hypothèse UB qui maximise les calculs.

En raison, d'une part, d'une forte exposition de la population générale à ces éléments traces , et d'autre part, d'incertitudes identifiées à l'évaluation de l'exposition alimentaire (comme pour le cadmium) associé à la consommation d'algues alimentaires en termes de qualité et de quantité de données (liées aux données de contamination et de consommation des algues), il est difficile d'estimer de façon robuste les expositions à ces contaminants liées à la consommation d'algues ainsi que leurs concentrations maximales dans les algues destinées à la consommation humaine. Il est donc recommandé une concentration maximale en ces éléments traces aussi basse que possible dans les algues.

Enfin, il est noté que l'algue Hijiki *Hizikia fusiforme* (macroalgue brune) est identifiée dans la littérature parmi toutes les espèces d'algues comme une espèce particulièrement accumulatrice d'arsenic inorganique (Almela *et al.*, 2006 ; EFSA, 2009b, 2014 ; Esther *et al.*, 2014, Superior health council, 2015 ; NIFES, 2016, Roleda *et al.*, 2019) ; les autres espèces d'algues contenant de façon générale plutôt la forme organique de l'arsenic. Almela *et al.* (2006), l'Efsa (2009b, 2014), Esther *et al.* (2014), le Superior health council (2015), le NIFES (2016) et Roleda *et al.* (2019) font état d'un risque pouvant être élevé pour le consommateur lié à la consommation de cette espèce accumulant de fortes quantités d'arsenic inorganique. Certaines Agences sanitaires recommandent d'éviter la consommation de cette espèce d'algue Hijiki *Hizikia fusiforme* (FSA, 2004 ; EFSA 2009b, 2014, Superior health council, 2015). Cette espèce, susceptible d'être retrouvée dans l'assiette du consommateur (cf. tableau 1) n'était pas présente dans les échantillons prélevés et analysés dans les plans annuels de surveillance et de contrôle en France et nécessiterait d'y être incluse.

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

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions du CES ERCA.

L'Anses a été saisie par la DGCCRF pour une expertise relative à la teneur maximale en cadmium (Cd) pour les algues destinées à la consommation humaine.

La consommation d'algues alimentaires sous différentes formes (en tant qu'aliment, en tant qu'ingrédient alimentaire ou en tant qu'ingrédient de complément alimentaire) est une évolution encore récente des habitudes de consommation en France comme en Europe. Les algues ainsi consommées sont variées par leur provenance (locale et importation) et leurs types (macro-algues brunes, rouges, vertes, micro-algues, plantes halophytes, ...), qui peuvent présenter des spécificités en termes de teneurs en contaminants.

Du fait notamment de leur teneur élevée en polysaccharides, molécules qui présentent une forte affinité de liaison aux éléments traces métalliques (ETM), et de la présence soit naturelle, soit accrue par les activités anthropiques de ces éléments dans les océans, les algues peuvent contenir des teneurs significatives en différents ETM. Mais, certains ETM font d'ores et déjà l'objet de recommandations de l'Anses à l'issue des évaluations de risques faisant suite aux enquêtes d'alimentation totale compte tenu des niveaux d'exposition calculés, indépendamment de toute consommation d'algues (l'enquête INCA2 n'en identifiait pas qui soit statistiquement significative).

A ce jour, seule la teneur en cadmium des algues entrant dans les compléments alimentaires est encadrée par la réglementation européenne (règlement (CE) n°1881/2006 modifié). En France, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (instance remplacée depuis par le Haut conseil de santé publique) avait émis en 1990 une liste d'algues pouvant être autorisées en alimentation humaine, assortie des recommandations sur les teneurs maximales (en poids / kg de matière sèche) pour les ETM suivants : Arsenic inorganique ( $3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Cadmium ( $0.5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Mercure  $0.1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Plomb ( $5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

De plus, la Commission européenne partant du même constat d'une « contribution [des algues et halophytes] de plus en plus importante aux modes de consommation de certains consommateurs de l'UE » a émis en mars 2018 une recommandation (RECOMMANDATION (UE) 2018/464) aux états-membres pour qu'ils recueillent des données de surveillance et les transmettent à l'EFSA dans la perspective « d'évaluer si la contribution de l'arsenic, du cadmium, de l'iode, du plomb et du mercure provenant d'algues marines et d'halophytes dans l'exposition totale à ces substances est de nature à nécessiter la fixation de teneurs maximales en arsenic, en cadmium et en plomb de ces produits, la modification de la LMR applicable au mercure dans les algues et les organismes procaryotes ou toute action liée à l'exposition à l'iode provenant de ces produits. »

Sur la base des données de prélèvement disponibles (un peu moins de 500 échantillons issus des résultats des plans de surveillance et de contrôle centralisés dans la base CONTAMINE, d'une part, et d'une enquête du CEVA, d'autre part), dont les experts considèrent que la comparabilité avec les algues effectivement consommées reste limitée, les experts ont calculé une contribution de l'exposition – pour les consommateurs d'algues – en termes de pourcentage des valeurs sanitaires de référence pour le cadmium, le plomb, le mercure et l'arsenic.

L'agence observe dès ce stade de l'analyse, qu'une fraction non négligeable des algues ne respecte pas les valeurs maximales établies par le CHSPF. Pour ces différents ETM, la fraction ainsi calculée

que peut représenter l'exposition estimée des consommateurs d'algues par rapport aux valeurs sanitaires de référence s'établit respectivement à : 3% (Mercure), 19% (Cadmium), entre 3% et 54% (Arsenic), 80% (Plomb). La contribution des compléments alimentaires incluant des algues y est à chaque fois minoritaire chez les consommateurs adultes. Les données de consommation d'algues sous forme d'aliment et en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires chez les enfants étaient trop peu nombreuses.

De ce fait, compte tenu du fait qu'un risque pour le consommateur lié au cadmium, au plomb, au mercure et à l'arsenic, n'était pas écarté au vu de la deuxième étude alimentation totale (EAT2), les experts ont rappelé leur recommandation de renforcer les mesures de gestion visant à limiter les expositions à ces éléments 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 plus spécifiquement du cadmium, qui était l'objet principal de la saisine, les experts ont développé une approche probabiliste pour rendre compte au mieux des sources de variabilité dans l'exposition au cadmium (tant pour la consommation de base que pour la consommation ajoutée). Cette approche, complétée par une méthode de rétro-calcul les a conduit à identifier la concentration en cadmium de  $0,35 \text{ mg.kg}^{-1}$  de matière sèche (intervalle de confiance : [0.18 ; 1.09]) qui doit permettre que la population consommatrice d'algues ne dépasse pas la Dose Journalière Tolérable (DJT) du cadmium dans 95% des cas. Dans ce cas, la contribution des consommateurs d'algues par rapport à la DJT est donc réduite de 19% (liée à la distribution des concentrations en cadmium observées dans les algues) à 11,5 % avec une concentration maximale dans les algues de  $0,35 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$  de matière sèche, tandis qu'il est observé une contribution à hauteur de 15,5% de la DJT avec une concentration maximale dans les algues de  $0,5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$  de matière sèche préconisée par le CSHPF. Les experts ont souligné que les contaminations au cadmium étaient plus importantes pour les macro-algues brunes et rouges.

L'expertise souligne le risque d'une sur-exposition plus élevée aux contaminants chimiques en combinant la consommation d'algues avec d'autres aliments, tel que notamment la combinaison de consommation de l'algue Hijiki *Hizikia fusiforme* accumulatrice d'arsenic inorganique avec du riz contaminé en arsenic inorganique.

L'Agence souligne, tous contaminants confondus, qu'il appartient à l'autorité compétente - en situation où des dépassements de valeurs sanitaires de référence sont observées pour une fraction de la population - d'identifier et de définir les leviers de gestion appropriés, pour les aliments qui constituent des nouveaux entrants par rapport à l'existant : mise en œuvre de teneurs maximales basées sur la statistique des contrôles dans une démarche ALARA (par exemple en fixant une valeur de type P95), utilisation de teneurs limites existantes dans d'autres catégories alimentaires (par ex. les légumes) ou dispositions spécifiques à différentes catégories plus fortement contributrices (recommandations ou teneurs maximales spécifiques).

Enfin, les experts ont considéré que la faiblesse du jeu de données de consommation (issue de l'étude INCA3) ne permettait pas d'établir des recommandations de consommation selon le type d'algues et de modes de consommation. Ils ont recommandé la mise en œuvre d'une enquête visant à accroître les données sur la fréquence, la quantité consommée et le mode de consommation en fonction des types d'algues. Ces données permettront d'affiner l'exposition liée aux différents types de consommation d'algues pour les populations concernées et, le cas échéant, les concentrations limites en ETM dans les algues alimentaires.

L'Agence souligne que cette recommandation rejoint plus largement celle émise par l'Union européenne en mars 2018, qui est susceptible d'être suivie de propositions de teneurs maximales établies au niveau européen dans le cadre de règlements pertinents.

Dr Roger Genet

## **MOTS-CLES**

Algues, alimentation humaine, contaminants, cadmium  
Algae, food, contaminants, cadmium

## **BIBLIOGRAPHIE**

Afssa. (2008). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'évaluation d'un projet d'arrêté relatif à l'emploi de substances à but nutritionnel ou physiologique et de plantes et préparations de plantes dans la fabrication de compléments alimentaires. Saisine n° 2007-SA-0231.

Afssa. (2009). Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la teneur maximale en arsenic inorganique recommandée pour les algues laminaires et aux modalités de consommation de ces algues compte tenu de leur teneur élevée en iode. Saisine n° 2007-SA-0007.

Almela C., Clemente M., Vélez D., Montoro R. (2006). Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed soils in Spain. *Food and Chemical Toxicology* 44 (2006) 1901-1908

ANSES. (2011a). Avis de l'Anses et rapport d'expertise relatifs à l'Etude de l'Alimentation Française 2 (EAT2) - Tome 1 : Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

ANSES. (2011b). Avis de l'Anses relatif à la révision des teneurs maximales en cadmium des denrées alimentaires destinées à l'homme. (saisine n°2011-SA-0194), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

ANSES. 2013. Avis de l'ANSES et rapport d'expertise collective relatifs aux expositions au plomb : effets sur la santé associés à des plombémies inférieures à 100 µg/L. (saisine n°2011-SA-0219). Maisons-Alfort, France: ANSES. 146 p.

ANSES. (2016a). Avis et rapport de l'Anses relatif à l'exposition alimentaire des enfants de moins de 3 ans à certaines substances – Etude de l'Alimentation Totale Infantile (EAT infantile).

ANSES. (2016b). "Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline. Saisine n°2014-SA-0096."

ANSES (2017). Avis et rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatifs à l'Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3)

ANSES. (2018). Avis de l'Anses relatif au risque d'excès d'apport en iode lié à la consommation d'algues dans les denrées alimentaires. (saisine n°2017-SA-0086), Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.

ANSES. (2019). Avis et rapports de l'Anses relatifs à l'exposition au cadmium (CAS n°7440-43-9) – Propositions de valeurs toxicologiques de référence (VTR) par ingestion, de valeurs sanitaires repères dans les milieux biologiques (sang, urine, ...) et de niveaux en cadmium dans les matières fertilisantes et supports de culture permettant de maîtriser la pollution des sols agricoles et la contamination des productions végétales. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.



- Arne Jensen. (1993). Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260/261: 15-23, 1993.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2012). Toxicity profile for cadmium. U.S. Department of Health and Human Services.
- Besada, V., J. M. Andrade, F. Shultze, et J. J. González. (2009). "Heavy metals in edible seaweeds commercialised for human consumption." *Journal of Marine Systems* 75 (1-2):305-313.
- Budtz-Jorgensen, E., D. Bellinger, B. Lanphear, P. Grandjean, and Investigators International Pooled Lead Study. (2013). "An international pooled analysis for obtaining a benchmark dose for environmental lead exposure in children." *Risk Anal* 33 (3):450-61. doi: 10.1111/j.1539-6924.2012.01882.x.
- Canfield, R. L., C. R. Henderson, Jr., D. A. Cory-Slechta, C. Cox, T. A. Jusko, and B. P. Lanphear. (2003). "Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 microg per deciliter." *N Engl J Med* 348 (16):1517-26. doi: 10.1056/NEJMoa022848.
- Ceva. (2014). "Synthèse du centre d'étude et de valorisation des algues : Réglementation algues alimentaires."
- Cornillier, Y., S. Korsia-Meffre, et S. Senart. (2008). "Les ingrédients de A à Z - Spiruline." Dans *Le guide des compléments alimentaires*, édité par Vidal.
- CSHP. (1997). "Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique émis lors des séances du 14 juin 1988, du 13 décembre 1988, du 9 janvier 1990 et du 14 octobre 1997 publié dans le Bulletin Officiel du Ministère de la Santé (n°90/45, p. 103), B.I.D n°2/98-030 et BID n° 4/99-079." *Bulletin Officiel du Ministère de la Santé n°90/45 (B.I.D n°2/98-030):103.*
- Engström A., Michaëlsson K., Suwazono Y., Wolk A., Vahter M., Åkesson A.(2011). Longterm cadmium exposure and the association with bone mineral density and fractures in a population-based study among women. *J Bone Miner Res* 2011;26: 486–95.
- Engström A., Michaëlsson K., Vahter M., Julin B., Wolk A., Åkesson A. (2012). Associations between dietary cadmium exposure and bone mineral density and risk of osteoporosis and fractures among women. *Bone* 50 (2012) 1372–1378.
- Esther F.A., Brandon Paul J.C.M., Janssen & Lianne de Wit-Bos. (2014). Arsenic: bioaccessibility from seaweed and rice, dietary exposure calculations and risk assessment. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31:12, 1993-2003, DOI: 10.1080/19440049.2014.974687
- European Food Safety Authority, EFSA. (2009a). Cadmium in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal* 980, 1-139.
- European Food Safety Authority, EFSA. (2009b). Scientific Opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on Arsenic in Food. In *The EFSA journal*, N°7 (10). Parma: EFSA
- European Food Safety Authority, EFSA. (2012a). Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA Journal* 2012;10(1):2551. [37 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2551.
- EFSA. (2012b). Scientific Opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. In *The EFSA journal*, N°10 (12). Parma: EFSA.
- European Food Safety Authority, EFSA. (2013). "Scientific Opinion of EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on lead in Food". In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.
- European Food Safety Authority, EFSA. (2014). Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal* 2014;12(3):3597, 68 pp. doi:10.2903/j.efsa.2014.3597
- European Food Safety Authority, EFSA. (2016). BRIEFING note on emerging Issues. Potential risks associated to uses of Seaweed (ID-351).
- FAO. (2014). "Food and Agriculture Organization of the United Nations: The state of world Fisheries and Aquaculture. Opportunities and challenges."

- FAO STATISTICS. (2014). Données complètes de l'activité de pêche et d'aquaculture dans le monde. Extraction des données via le logiciel Fish Stat J disponible gratuitement sur le site internet du département des pêches et de l'aquaculture de la FAO à l'adresse suivante : <http://www.fao.org/fishery/statistics/fr>
- FSA (Food Standard Agency), 2004. Committee on toxicity of chemicals in food, consumer products and the environment. Urgent COT opinion on arsenic in seaweed. Available online: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/TOX-2004-35.pdf>
- Gutow, L., A. Eckerlebe, *et al.* (2016). "Experimental Evaluation of Seaweeds as a Vector for Microplastics into Marine Food Webs." *Environmental science & technology* 50(2): 915-923.
- HCSP. (2014). Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. (2012a). Cadmium. Vol 100C.121-145.
- IARC, International Agency for Research on Cancer. (2012b). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. N°100C. Lyon, France: IARC.
- Jarvis T.A, Bielmyer-Fraser G.K. (2015). Accumulation and effects of metal mixtures in two seaweed species. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C* 171 (2015) 28–33
- JECFA (2011a) Evaluation of certain food additives and contaminants. 73rd report of the joint FAO/WHO expert committee on food additive. WHO Technical Report Series 960.
- JECFA. (2011b). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In WHO food additives series, N°63 (72nd meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- Kjellström T., Nordberg GF. (1978). A kinetic model of cadmium metabolism in the human being. *Environ Res* 16:248–269.
- Kornprobst, J. M. (2005). "Substances naturelles d'origine marine: chimiodiversité, pharmacodiversité, biotechnologies." Tec & Doc - Lavoisier Les milieux marins. 2 vol.:246 p
- Lanphear, B. P., R. Hornung, J. Khoury, K. Yolton, P. Baghurst, D. C. Bellinger, R. L. Canfield, K. N. Dietrich, R. Bornschein, T. Greene, S. J. Rothenberg, H. L. Needleman, L. Schnaas, G. Wasserman, J. Graziano, and R. Roberts. (2005). "Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: an international pooled analysis." *Environ Health Perspect* 113 (7):894-9.
- Le Bras, Q., L. Ritter, D. Fasquel, M. Lesueur, S. Lucas, et S. Gouin. (2014). "Etude de la consommation des algues alimentaires en France. Programme IDEALG Phase 1. Etude nationale." Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°35, 72 p.
- Le Bras, Q., M. Lesueur, S. Lucas, et S. Gouin. (2015). "Etude du marché français des algues alimentaires. Panorama de la distribution. Programme IDEALG Phase 2." Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°36, 42 p.
- Le Bras, Q., L. Ritter, D. Fasquel, M. Lesueur, S. Lucas, et S. Gouin. (2015). "Etude du marché français des algues alimentaires. Catalogue et analyse des produits existants. Programme IDEALG Phase 2." Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°37, 41 p.
- National institute of nutrition and seafood research, NIFES. (2016). Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food – a norwegian perspective
- Philippe M. (2011). Récolte des algues de rive, Guide des Bonnes Pratiques. Edition Inter Bio Bretagne, 47 p. (Document mis à jour en 2013).
- Qing Chen, Xiao-Dong Pan, Bai-Fen Huang & Jian-Long Han. (2018). Distribution of metals and metalloids in dried seaweeds and health risk to population in southeastern China. *Scientific reports*, 8, 3578.
- SUPERIOR HEALTH COUNCIL. (2015). PUBLICATION OF THE SUPERIOR HEALTH COUNCIL No. 9149. Arsenic and other elements in algae and dietary supplements based on algae.

- Rodenas de la Rocha S., Sanchez-Muniz F.J., Gomez-Juaristi M., Larrea Marin M.T. (2009). Trace elements determination in edible seaweeds by an optimized and validated ICP-MS method. *Journal of Food Composition and Analysis* 22 (2009) 330–336
- Roleda M. Y., Marfaing H., Desnica N., Jónsdóttir R., Skjermoe J., Reboursa C., Nitschkeg U. (2019). Variations in polyphenol and heavy metal contents of wild-harvested and cultivated seaweed bulk biomass: Health risk assessment and implication for food applications. *Food Control* 95 (2019) 121–134
- Stévant P., Marfaing H., Rustad T., Sandbakken I., Fleurence J., Chapman A. (2017). Nutritional value of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* and effects of short-term storage on biomass quality. *J Appl Phycol* DOI 10.1007/s10811-017-1126-2
- Paz Soraya, Rubio Carmen, Frías Inmaculada, Gutierrez Angel J., Gonzalez-Weller Dailos, Martín Veronica, Revert Consuelo, Hardisson Arturo. (2019). Toxic metals (Al, Cd, Pb and Hg) in the most consumed edible seaweeds in Europe. *Chemosphere* 218 (2019) 879-884
- Teas, J., S. Pino, A. Critchley, et L. E. Braverman. (2004). "Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds." *Thyroid* 14 (10):836-41. doi: 10.1089/thy.2004.14.836.
- UE. (1997). "Règlement (CE) n° 258/97 du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 1997 relatif aux nouveaux aliments et aux nouveaux ingrédients alimentaires."
- Wallin M, Barregard L, Sallsten G, Lundh T, Karlsson MK, Lorentzon M, Ohlsson C, Mellström D. (2016). Low-Level Cadmium Exposure Is Associated With Decreased Bone Mineral Density and Increased Risk of Incident Fractures in Elderly Men: The MrOS Sweden Study. *J Bone Miner Res.* 2016 Apr; 31(4):732-41.
- Zava, T. T., et D. T. Zava. (2011). "Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis." *Thyroid Res* 4:14. doi: 10.1186/1756-6614-4-14.

## ANNEXE 1

### Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

#### RAPPORTEURS

---

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche – compétences en statistiques, modélisation

#### COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

**CES « Evaluation des risques physico-chimiques liés aux aliments »** – 11 juillet 2019

#### Président

M. Bruno LE BIZEC - Professeur des universités - compétences en chimie analytique

#### Vice-présidents

M. Fabrice NESSLANY- Directeur de laboratoire - compétences en toxicologie

Mme Karine TACK - Chercheuse - compétences en chimie analytique et environnementale, évaluation des risques sanitaires

#### Membres

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – compétences en toxicologie

M. Pierre-Marie BADOT - Professeur des universités – compétences en transfert de contaminants et écotoxicologie

Mme Marie-Yasmine DECHRAOUI BOTTEIN – Chercheuse en toxicologie environnementale – compétences en biotoxines marines

Mme Martine CLAUW - Professeur des universités - compétences en toxicologie

M. Nicolas DELCOURT – Maître de conférences des universités, pharmacien hospitalier – compétences en biochimie et toxicologie clinique

Mme Christine DEMEILLIERS – Maître de conférences des universités – compétences en toxicologie

M. Erwan ENGEL – Directeur de recherche – compétences en chimie analytique

M. Jérôme GAY- QUEHEILLARD - Maître de conférences des universités - compétences en impacts digestifs, métabolisme, immunité ; impacts des pesticides sur la santé

M. Petru JITARU – Responsable de Laboratoire – Compétences en chimie analytique

Mme Sonia KHIER – Maitresse de conférences des universités – compétences en pharmacocinétique

Mme Emilie LANCE – Maître de conférences des universités – compétences en écotoxicologie et cyanotoxines

Mme Caroline LANIER – Maître de conférences des universités – compétences en évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement et l'alimentation

Mme Raphaële LE GARREC - Maître de conférences des universités - compétences en toxicologie

M. Ludovic LE HEGARAT – Responsable de laboratoire – compétences en toxicologie

M. Nicolas LOISEAU – Chargé de recherche – compétences en toxicologie

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche – compétences en statistiques, modélisation

M. Eric MARCHIONI - Professeur des universités - compétences en chimie analytique

M. Jean-François MASFARAUD – Maître de conférences des universités – compétences en transfert de contaminants et écotoxicologie

M. César MATTEI - Maître de conférences des universités - compétences en toxicologie

M. Alain-Claude ROUDOT - Professeur des universités - compétences en modélisation mathématique, expologie

M. Yann SIVRY – Maître de conférences des universités – compétences en chimie analytique

Mme Paule VASSEUR - Professeur émérite - compétences en toxicologie

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination et contribution scientifique**

Mme Géraldine CARNE – Chargée de projets scientifique – Anses

### **Contribution scientifique**

Mme Eleni ANASTASIS - Anses

Mme Nawel BEMRAH – Chef de projets scientifique – Anses

Mme Sandrine CARRILLO – Chargée de projets scientifique – Anses

M. Thierry GUERIN – Chef du département contaminants chimiques des aliments – Anses

M. Petru JITARU – Chef de l'unité Eléments Traces Métalliques et Minéraux - Anses

Mme Karine VIN - Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses

### **Secrétariat administratif**

Mme Angélique LAURENT – Anses

## **AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES**

---

Mme Hélène MARFAING – Chef de projets agroalimentaire et nutrition au CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues), auditionnée le 13 novembre 2018

M. Ronan PIERRE - Responsable du pôle innovation et produits au CEVA (Centre d'Etude et de Valorisation des Algues), auditionnée le 13 novembre 2018



## ANNEXE 2

### Evaluation de l'exposition du consommateur aux éléments traces (arsenic, mercure, plomb) identifiés dans les algues destinées à la consommation humaine

La consommation d'algues alimentaires en tant que telles ou bien incorporées en tant qu'ingrédient alimentaire ou de compléments alimentaires peut exposer le consommateur à d'autres contaminants hors cadmium, faisant l'objet d'étude de cette saisine. Les algues ont une composition élevée en polysaccharide, cela se caractérisant par une affinité de liaison aux éléments traces présents dans l'environnement. Du fait de leur origine naturelle et anthropique, en plus du cadmium, les éléments traces comme l'arsenic, le mercure ou encore le plomb sont identifiés dans les algues (Almela *et al.*, 2006 ; Superior health council, 2015 ; NIFES, 2016, Paz *et al.*, 2018 ; Roleda *et al.*, 2019). Les bases de données de contamination du CEVA et CONTAMINE ont l'avantage de disposer des résultats des niveaux de contaminations en arsenic (total et inorganique), mercure (total) et plomb analysés dans les algues. Une évaluation de l'exposition du consommateur par substance à l'arsenic, au mercure et au plomb a donc été menée, dans le but de préconiser des recommandations vis-à-vis de ces éléments traces identifiés dans les algues alimentaires, afin de protéger la santé du consommateur au regard de l'émergence de consommation de cette denrée.

#### o Arsenic

##### Caractérisation du danger

L'arsenic (As) est un métalloïde largement répandu dans la croûte terrestre (2 mg.kg<sup>-1</sup> en moyenne) et très présent dans certaines zones deltaïques. Il provient également d'apports anthropiques (activités industrielles, combustion de produits fossiles, anciennes utilisations agricoles, etc.). Il existe sous différentes formes chimiques, organiques ou inorganiques, et sous quatre états de valence [(-3), (0), (+3) et (+5)]. La spéciation de l'arsenic – la forme sous laquelle il est présent – détermine son comportement dans l'environnement, sa biodisponibilité et sa toxicité.

L'arsenic, généralement absorbé rapidement et quasi totalement après ingestion, se distribue dans le foie, le rein, la rate, le poumon et secondairement dans la peau et les phanères. Il est ensuite détoxifié principalement dans le foie, avec une efficacité variable selon les espèces, l'âge, le sexe ou l'état nutritionnel des individus, puis est excrété dans l'urine principalement sous forme d'acide diméthylarsinique et d'acide monométhylarsonique.

Par ailleurs, l'arsenic inorganique et ses métabolites méthylés franchissent facilement la barrière placentaire et la barrière hémato-encéphalique immature du fœtus.

L'ingestion chronique d'arsenic peut entraîner un large spectre d'effets non néoplasiques : lésions cutanées, neurotoxicité, pathologies cardiovasculaires, respiratoires et gastrointestinales, désordres immunologiques, hématologiques et du métabolisme du glucose, altérations de la reproduction et du développement. L'apparition de ces effets est tributaire des formes chimiques de l'arsenic et des niveaux d'exposition. L'arsenic inorganique est un cancérogène avéré pour l'Homme, classé en catégorie 1 par le CIRC sur la base de preuves épidémiologiques d'induction de cancers de la peau, du poumon et de la vessie (IARC, 2012b).

Retenant comme point de référence, les effets cancérogènes de l'ingestion d'arsenic inorganique sur la peau, le poumon et la vessie et considérant le peu de données sur les expositions des populations étudiées (mesures de l'arsenic total dans l'eau de boisson), l'EFSA a retenu, en 2009, sur la base d'une modélisation des relations doses-réponses des études épidémiologiques clés, une BMDL<sub>01</sub> variant<sup>19</sup> de 0,3 à 8 µg.kg pc<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> (EFSA, 2009b), sans spécifier de marges d'exposition au-

<sup>19</sup> en fonction des effets adverses retenus (cancers du poumon, de la vessie et de la peau)

delà desquelles le risque peut être exclu. De plus, bien que la cancérogénicité de l'arsenic inorganique relève vraisemblablement d'un mécanisme d'action à seuil et non d'une génotoxicité directe, aucune dose seuil n'a été définie compte tenu des incertitudes sur la forme de la relation dose-effet. En conséquence, l'Efsa recommande de procéder à l'évaluation du risque sanitaire en se basant sur les marges d'exposition alimentaire de la population et des points de référence identifiés par l'épidémiologie. En 2011, le Jecfa retient une BMDL<sub>0.5</sub> variant de 2 à 7 µg.kg pc<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> sur la base d'une augmentation du nombre de cancers du poumon (JECFA, 2011b) ce qui ce qui rentre dans la gamme des valeurs retenues par l'Efsa.

Concernant l'arsenic organique, les données sont insuffisantes pour établir une VTR.

Selon la seconde étude alimentation totale (Anses, 2011a), chez les adultes comme chez les enfants, les contributeurs majoritaires à l'exposition à l'arsenic total sont le poisson (30 % et 42 %, respectivement), et les mollusques et crustacés (17 % et 7 %, respectivement). L'eau apparaît aussi être un contributeur non négligeable (8 % chez les adultes et 6 % chez les enfants) ainsi que le lait chez les enfants (6 %). L'eau est le contributeur majoritaire à l'exposition à l'arsenic inorganique chez les adultes comme chez les enfants. Cette étude indique que la possibilité d'un risque lié à l'exposition à l'arsenic inorganique ne peut pas être exclue pour certains groupes de consommateurs, et qu'il convient de poursuivre les efforts pour réduire les apports alimentaires d'arsenic inorganique. L'étude alimentation totale infantile (Anses, 2016a), quant à elle, indique une situation préoccupante aux enfants de moins de 3 ans. Par ailleurs, il apparaît nécessaire de mettre en œuvre des méthodes analytiques de routine permettant de quantifier les différentes formes de spéciation de l'arsenic afin d'affiner les expositions et de poursuivre les efforts.

L'Efsa (2009b, 2014) identifie les algues parmi les aliments contributeurs majeurs à l'exposition du consommateur à l'arsenic total. Les algues ont été identifiées par l'Efsa comme des matrices contenant de forts niveaux de contamination en arsenic, essentiellement sous forme d'arsenic organique (plus spécifiquement sous forme d'arsenosugar<sup>20</sup>) ; à l'exception de la macroalgue brune Hiziki ou Hijiki (*Hizikia fusiforme*) qui contient de très fortes teneurs en arsenic inorganique. Almela *et al.*, (2006), Esther *et al.*, (2014), Superior health council (2015), NIFES (2016), Roleda *et al.*, (2019) font également les mêmes observations.

L'Efsa (2014) retient comme hypothèse de spéciation que 1 % de l'arsenic total analysé dans les algues est considéré sous forme inorganique, hors espèce Hijiki accumulant spécifiquement l'arsenic inorganique.

### Contamination

Les données issues des plans de surveillance et de contrôle compilées dans CONTAMINE disposent d'information analytique pour cet élément (méthodes d'analyse, critères de performance etc) permettant ainsi d'apprécier la qualité des données et de constituer un support d'exploitation des niveaux de contaminations observés dans les algues.

Ce jeu de données recense 120 résultats des niveaux de contamination analysés en arsenic total et 41 résultats des niveaux de contamination analysés en arsenic inorganique dans les algues, incluant des algues utilisées en tant que telles, en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires et en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires, et échantillonnées en France entre 2009 et 2017 puis analysées entre 2010 et 2018.

Les échantillons ont été analysés par des laboratoires accrédités selon la norme ISO/IEC17025 (59 % des échantillons) ou par des laboratoires ayant une accréditation interne (17,5 % de données). Dans 23,5 % de cas, les laboratoires ont été classés accrédité sans information sur le type d'accréditation (ISO17025 ou interne).

---

<sup>20</sup> Composés glucidiques contenant de l'arsenic

Les échantillons d'algues ont été analysés par des méthodes de Spectrométrie d'Absorption Atomique Electrothermique et aussi de spectrométrie de masse à plasma induit (ICP-OES/MS) produisant des données de qualité satisfaisante pour ce type d'analyses.

Les limites de détection (LD) et limites de quantification (LQ) sont mentionnées lorsque les concentrations sont inférieures à ces limites. Bien qu'il y ait des indications sur l'expression de l'incertitude de mesure, les résultats compilés dans la base de données manquent parfois de clarté sur l'information s'il s'agit bien de l'incertitude élargie U et sur l'expression de celle-ci où certaines sont probablement exprimées en %, d'autres en mg.kg<sup>-1</sup>.

*In fine*, les 120 résultats des niveaux de contamination analysés en arsenic total et 41 résultats des niveaux de contamination analysés en arsenic inorganique dans les algues sont exploitables.

Il en ressort que les groupes analysés pour l'arsenic total, par ordre croissant d'importance (%) sont les suivants :

Compléments alimentaires (CA) (44 %) > algues inconnue (17,5 %) > macroalgues brunes (12,5 %) > macroalgues rouges (10,8 %) > microalgues (spiruline) (6,6 %) > macroalgues vertes (3,3 %) > plantes halophytes (salicorne) (2,5 %) > mélanges d'algues (0,8 % ; n = 1) > poudre, agar-agar et boissons (0,8 % chaque (n = 1 chaque)).

Il en ressort que les groupes analysés pour l'arsenic inorganique, par ordre croissant d'importance (%) sont les suivants :

Algues inconnue (30 %) > macroalgues brunes (24,3 %) > macroalgues rouges (19,5 %) > microalgues (spiruline) (12,1 %) > compléments alimentaires (CA) (7,3 %) > macroalgues vertes (4,8 %) > mélanges d'algues (2,4 % ; n = 1) > plantes halophytes (salicorne) (0 %) > poudre, agar-agar et boissons (0 %).

La comparabilité de l'échantillon issu de la base de données CONTAMINE avec les algues consommées par la population française liée à l'étude nationale de consommation des algues alimentaires (Le Bras *et al.*, 2014, 2015) reste toutefois limitée.

L'analyse des données s'est faite ensuite par groupe d'algues et selon l'approche upper bound (UB). Le traitement des données a porté sur l'ensemble des échantillons analysés en arsenic total et arsenic inorganique, excepté pour les échantillons uniques de poudre, agar-agar et boissons. 39 résultats sur les 120 échantillons analysés en arsenic total n'ont pas été quantifiés (n = 31) ou détectés (n = 8) (LD / LQ entre 0,04 et 2,65 mg.kg<sup>-1</sup>) et 22 résultats sur les 41 échantillons analysés en arsenic inorganique n'ont pas été quantifiés (n = 21) ou détectés (n = 1) (LD / LQ entre 0,08 et 1 mg.kg<sup>-1</sup>). L'ensemble des données a été converti en mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche en appliquant lorsque nécessaire un facteur de conversion des données transmises en poids humide. Le choix de ce facteur s'est appuyé après étude de la littérature (Arne Jensen, 1993 ; Stévant *et al.*, 2017 ; Qing Chen *et al.*, 2018, Roleda *et al.*, 2019) et considère un taux moyen de matière sèche de 20 % dans une algue fraîche.

Les tableaux suivants présentent l'analyse des données de contamination en arsenic total et arsenic inorganique dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

**Tableau 2-1.** Analyse des concentrations en arsenic total (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

	Total	Inconnue	Macroalgues brunes	Macroalgues rouges	Macroalgues vertes	Micro algues	Plantes halophytes	Mélanges	CA
<b>n</b>	120	21	15	13	4	8	3	1	53
<b>Concentrations en arsenic total (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>									
<b>Médiane</b>	2,89	14,5	23,5	14,6	10,1	0,18	0,25	10,9	0,66
<b>Moyenne</b>	10,3	15,1	22,4	15,2	14,7	0,22	0,21	10,9	5,92
<b>Min</b>	0,035	0,040	0,075	0,052	1,55	0,035	0,055	10,9	0,11
<b>Max</b>	50,0	50,0	45,0	35,4	37,0	0,55	0,34	10,9	48,7

Total : Toutes catégories d'algues confondues; Inconnues : Algues dont le groupe d'appartenance n'est pas précisée ; Macroalgues brunes : algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; Macroalgues rouges : algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; Macroalgues vertes : algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; Microalgues : liée à la spiruline dans CONTAMINE ; Plantes halophytes : liée à la salicorne dans CONTAMINE ; Mélanges : Mélanges d'algues séchées ; CA : compléments alimentaires à base d'algues séchées.

**Tableau 2-2.** Analyse des concentrations en arsenic inorganique (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

	Total	Inconnue	Macroalgues brunes	Macroalgues rouges	Macroalgues vertes	Micro algues	Plantes halophytes	Mélanges	CA
<b>n</b>	41	12	10	8	2	5	0	1	3
<b>Concentrations en arsenic inorganique (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>									
<b>Médiane</b>	0,50	0,56	0,50	0,21	0,50	0,10	0	5,30	0,10
<b>Moyenne</b>	1,48	0,86	3,95	0,38	0,50	0,09	0	5,30	0,35
<b>Min</b>	0,039	0,10	0,100	0,039	0,50	0,08	0	5,30	0,10
<b>Max</b>	20,0	3,80	20,0	1,20	0,50	0,10	0	5,30	0,86

**Répartition des effectifs selon les classes de concentrations en arsenic inorganique (mg.kg<sup>-1</sup>MS) inférieures ou supérieures à la valeur de référence du CSHPF de 3 mg.kg<sup>-1</sup>MS**

<b>concentration &lt; 3</b>	37	11	8	8	2	5	0	0	3
<b>3 &lt; concentration &lt; 4</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>concentration &gt; 4</b>	3	0	2	0	0	0	0	1	0

Total : Toutes catégories d'algues confondues; Inconnues : Algues dont le groupe d'appartenance n'est pas précisée ; Macroalgues brunes : algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; Macroalgues rouges : algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; Macroalgues vertes : algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; Microalgues : liée à la spiruline dans CONTAMINE ; Plantes halophytes : liée à la salicorne dans CONTAMINE ; Mélanges : Mélanges d'algues séchées ; CA : compléments alimentaires à base d'algues séchées

Sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination en arsenic total pour toutes catégories d'algues sont de 10,2 et 2,89 mg.kg<sup>-1</sup> MS (min-max de 0,035-50 mg.kg<sup>-1</sup> matière sèche).

Les macroalgues brunes sont les plus contaminées en arsenic total avec une valeur moyenne de 22,4 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Suivent ensuite les groupes des macroalgues rouges et vertes, qui sont largement plus contaminés (concentration moyenne en arsenic total supérieure à 14 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche) que les groupes des microalgues et plantes halophytes qui ont respectivement des concentrations moyennes en arsenic total de 0,22 et 0,21 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Sous la forme d'arsenic inorganique, sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination pour toutes catégories d'algues sont de 1,48 et 0,50 mg.kg<sup>-1</sup> MS (min-max de 0,039-20 mg.kg<sup>-1</sup> poids sec). Les macroalgues brunes ont la concentration moyenne en arsenic inorganique la plus élevée (3,95 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche). L'échantillon de mélange d'algues comporte une concentration en arsenic inorganique de 5,30 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Le groupe des compléments alimentaire (n=53) présente une concentration moyenne en arsenic total de 5,92 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec (min-max de 0,11-48,7 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec).

Le groupe des compléments alimentaire (n=3) présente une concentration moyenne en arsenic inorganique de 0,35 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec (min-max de 0,10-0,86 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec).

La teneur maximale en arsenic totale de 50 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche a été observée dans un échantillon d'algues séchées d'identification inconnue originaire de Corée.

La teneur maximale en arsenic inorganique de 20 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche a été observée dans un échantillon de macroalgues brunes Kombu originaire de France.

Au total, 4 échantillons sur 41 échantillons d'algues analysées en arsenic inorganique pour toutes catégories d'algues confondues (soit 10 %) dépassent la valeur de 3 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF (cf. tableau 3 section 3.1.4), avec des macroalgues brunes (n=2) (macroalgues brunes kombu originaires de France), des algues à la classification inconnue (n=1) (origine France) et des mélanges d'algues (n=1) (origine France).

Il est toutefois à noter que pour comparer avec la valeur de référence, il conviendrait d'être en mesure de connaître l'incertitude élargie U de chaque résultat car selon le règlement (CE) n° 333/2007<sup>21</sup> « Le résultat analytique doit être consigné en utilisant la formule  $x \pm U$  dans laquelle x est le résultat d'analyse et U l'incertitude de mesure élargie et en employant un facteur d'élargissement de 2 qui donne un niveau de confiance d'environ 95 % ( $U = 2u$ ) ». Bien qu'il y ait des indications sur l'incertitude, il n'est parfois pas indiqué s'il s'agit bien de l'incertitude élargie.

### Exposition

L'exposition du consommateur à l'arsenic inorganique seulement à la suite d'ingestion d'algues alimentaires a été estimée. Les estimations se sont appuyées sur les scénarios d'expositions liés à la consommations d'algues alimentaire établis pour l'étude du cadmium et décrits en section 3.2.2.3. De la même manière, les données d'entrées s'appuient sur les données de consommation des algues dérivées de l'étude INCA 3 (Anses, 2017) considérant les actes de consommation des consommateurs adultes des algues pour les scénarios liés à la consommation d'algues non transformées et intégrées sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires et les actes de consommation des consommateurs enfants et adultes pour le scénario lié à la consommation d'algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires. Ces données de consommation sont combinées avec les données de contamination relatives aux résultats d'analyse en arsenic inorganique, afin d'estimer *in fine* la part de contribution de l'exposition des consommateurs d'algues par rapport aux valeurs repères disponibles pour l'arsenic inorganique. Les incertitudes identifiées à l'évaluation de l'exposition alimentaire au cadmium associé à la consommation d'algues alimentaires (cf. section 3.2.3) s'appliquent également pour ce contaminant lié à l'arsenic inorganique.

<sup>21</sup> 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



**Tableau 2-3.** Estimation des expositions alimentaires à l'arsenic inorganique liées à la consommation d'algues alimentaires selon le scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport aux valeurs repères (BMDL définies par le Jecfa) de l'arsenic inorganique

	Adultes				Enfants			
	Moy	P95	% de la valeur repère de 0,3 µg/kg pc/j	% de la valeur repère de 8 µg/kg pc/j	Moy	P95	% de la valeur repère de 0,3 µg/kg pc/j	% de la valeur repère de 8 µg/kg pc/j
Exposition aux algues sous forme d'aliment en µg/kg pc/j	0,14	0,41	45,80 %	1,70 %				
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires en µg/kg pc/j	0,014	0,059	4,70 %	0,18 %	0,015	0,062	4,90 %	0,18 %
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de CA en µg/kg pc/j	0,01	0,015	3,30 %	0,12 %				
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en µg/kg pc/j	0,16	0,493	53,80 %	2 %	0,015	0,062	4,90 %	0,18 %

Le tableau ci-dessus présente les résultats d'exposition pour chaque scénario chez les consommateurs d'algues adultes et pour le scénario « ingrédients » uniquement chez les enfants. Chez les adultes, selon les valeurs repères de 0,3 et 8 µg.kg pc<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>, l'exposition à l'arsenic inorganique *via* les algues consommées en tant qu'aliments représente en moyenne près de 46 % et 2 % de la DJT et moins de 5 % et moins de 0,2 % lorsque les algues sont consommées en tant qu'ingrédients ou en tant que compléments alimentaires. L'arsenic inorganique apporté par toutes les sources d'algues représente en moyenne près de 54 % et 2 % des valeurs repères de 0,3 et 8 µg.kg pc<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>, respectivement.

Chez les enfants, l'apport moyen en arsenic inorganique par les algues en tant qu'ingrédients représente moins de 5 % et 0,2 % des valeurs repères de 0,3 et 8 µg.kg pc<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>, respectivement. Il est à rappeler que ces calculs sont estimés sous l'hypothèse UB.

### Conclusions

L'algue Hijiki *Hizikia fusiforme* (macroalgue brune) est identifiée dans la littérature parmi toutes les espèces d'algues comme l'espèce particulièrement accumulatrice spécifiquement d'arsenic inorganique (Almela *et al.*, 2006 ; EFSA, 2009b, 2014 ; Esther *et al.*, 2014, Superior health council, 2015 ; NIFES, 2016, Roleda *et al.*, 2019) ; les autres espèces d'algues étant de façon générale plutôt liées à la forme organique de l'arsenic. Almela *et al.* (2006), l'Efsa (2009b, 2014), Esther *et al.* (2014), le Superior health council (2015), le NIFES (2016) et Roleda *et al.* (2019) font état d'un risque potentiel élevé pour la santé du consommateur lié à la consommation de cette espèce accumulant de fortes quantités d'arsenic inorganique. Celui-ci est d'autant plus élevé lorsque cette consommation est combinée à du riz contaminé en arsenic inorganique. Par ailleurs, certaines agences recommandent d'éviter la consommation de cette espèce d'algue Hijiki *Hizikia fusiforme* (FSA, 2004 ; EFSA 2009b, 2014, Superior health council, 2015). Bien que cette algue puisse être consommée sur le marché asiatique, c'est aussi une algue identifiée comme susceptible d'être

consommée par le consommateur français (cf. tableau 1). Celle-ci peut en effet se retrouver sur le marché européen par le biais des restaurants, compléments alimentaires, etc.

Cette espèce n'est pas identifiée parmi les algues qui ont été analysées pour l'arsenic dans le jeu de données de contamination disponible dans cette saisine. Le prélèvement de l'espèce *Hijiki Hizikia fusiforme* susceptible d'être retrouvée dans l'assiette du consommateur et l'analyse en arsenic inorganique pour cette espèce devraient être encouragés dans les plans annuels de surveillance et de contrôle en France.

L'estimation des expositions à l'arsenic inorganique à la suite de consommation d'algues alimentaire montre que la part de l'exposition moyenne à ce contaminant chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue à hauteur de 54 % et 2 % de la valeur repère de 0,3 à 8  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ . Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport.

Initialement, un risque sanitaire lié à l'exposition à l'arsenic inorganique n'est pas écarté pour le consommateur selon la seconde étude alimentation totale de l'Anses (Anses, 2011a). En effet, l'exposition moyenne globale du consommateur (exposition bruit de fond) à l'arsenic inorganique est forte et estimée à 0,27 et 0,38  $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$  chez le consommateur adulte et enfant respectivement (Anses, 2011a). La situation est même jugée préoccupante pour les enfants de moins de 3 ans selon l'étude alimentation totale infantile (Anses, 2016a). Il convient ainsi de poursuivre les efforts pour réduire les apports alimentaires d'arsenic inorganique. L'analyse des données de contamination en arsenic inorganique dans les algues destinées à la consommation humaine montre que l'arsenic inorganique n'est pas détecté ou quantifié dans 53 % des échantillons du jeu de données et une concentration moyenne et médiane (1,48 et 0,50  $\text{mg.kg}^{-1}$  matière sèche) inférieure d'un facteur 2 à 6 fois la valeur de référence du CSHPF de 3  $\text{mg Asi.kg}^{-1}$  matière sèche.

Il est donc recommandé une concentration maximale en arsenic inorganique dans les algues aussi basse que possible.

Par ailleurs, pour réduire l'exposition à l'arsenic inorganique par la consommation d'algues alimentaire, le Superior health council (2015) recommande de jeter l'eau de cuisson puisque l'arsenic tendrait à migrer dans les eaux de cuisson. Almela *et al.* (2006) ; Esther *et al.* (2014), Superior health council (2015) ; Roleda *et al.* (2019) font les mêmes constats, avec aussi la remarque que la préparation des algues par lavage et ébullition tend à diminuer les teneurs en arsenic dans les algues destinées à la consommation humaine. Néanmoins, l'étude des effets de préparation des algues (lavage, ébullition) sur la teneur en arsenic dans cette matrice restent à développer afin d'avoir des données plus robustes.

Enfin, la caractérisation toxicologique de l'arsenic dans les algues (forme organique : arsenosugars arsénolipides etc. et forme inorganique) ainsi que l'identification et l'analyse quantitative de toutes les espèces d'arsenic restent à définir puis à être pris en compte par la législation pour encadrer les teneurs en arsenic dans les algues destinées à la consommation alimentaire.

- **Mercur**

#### Caractérisation du danger

Le mercure (Hg) est un élément métallique naturellement présent dans la croûte terrestre (0,02  $\text{mg.kg}^{-1}$ ), qui présente la particularité d'être sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression. Le mercure est utilisé dans de très nombreuses industries (batteries, câbles et interrupteurs électriques, appareils de mesure, amalgames dentaires, lampes), conduisant à des rejets dans l'environnement auxquels s'ajoute l'incinération des déchets. Il existe sous différentes formes chimiques, organiques ou inorganiques. Le méthylmercure, forme principale de mercure organique, est bioaccumulable et se concentre fortement dans la chaîne alimentaire.

La toxicité du mercure inorganique entraîne des lésions rénales, une neurotoxicité et des troubles cardiovasculaires. En 2010, le Jecfa a établi une nouvelle Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire (DHTP) pour le mercure inorganique de  $0,004 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  (soit  $4 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ ), sur la base d'effets rénaux chez le rat, qui s'applique à l'exposition au mercure total dans les aliments hors poissons et autres produits de la mer (JECFA, 2011a).

Par voie orale, le système nerveux central est le principal organe cible du mercure organique, en particulier lors du développement fœtal. Les effets toxiques sont une altération des fonctions sensorielles (vue, ouïe), de la coordination motrice, de la mémoire, de l'attention et de l'apprentissage. Le Jecfa a fixé une DHTP pour le méthylmercure de  $1,6 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ , d'après des études épidémiologiques sur la relation entre l'exposition des mères et le développement neurologique de l'enfant. Celle-ci a été établie sur la base d'une toxicité neurodéveloppementale observée dans une cohorte d'enfants vivant aux îles Seychelles et aux îles Féroé, où mères et enfants étaient exposés au méthylmercure (JECFA, 2004). En 2012, l'Efsa a proposé une nouvelle DHTP de  $1,3 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  sur la base d'une ré-analyse des cohortes en cours aux îles Seychelles et aux îles Féroé, et de nouvelles données issues de ces cohortes. Cette DHTP s'appuie sur une Dose Sans Effet Nocif Observé (DSENO) de  $11,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans les cheveux maternels et est basée sur le développement neurologique de l'enfant. Cette DSENO correspond à la moyenne entre la nouvelle DSENO issue de la cohorte conduite aux Seychelles ( $11 \text{ mg.kg}^{-1}$  de cheveux maternels) et la BMDL05 issue de la cohorte conduite aux Iles Féroé ( $12 \text{ mg.kg}^{-1}$  de cheveux maternels) (EFSA, 2012b).

La DHTP de  $1,3 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  (soit  $0,19 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) établie par l'Efsa est retenue et appliquée à la population dans son ensemble (dont la population vulnérable) pour évaluer le risque lié au méthylmercure.

Elle s'applique à l'exposition au méthylmercure *via* la consommation de poissons et autres produits de la mer.

Selon la seconde étude alimentation totale (Anses, 2011a) et l'alimentation totale infantile (Anses, 2016a), un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au méthylmercure ne peut être exclu, notamment selon la consommation de poissons et autres produits de la mer.

### Contamination

Les données issues des plans de surveillance et de contrôle compilées dans CONTAMINE disposent d'information analytique pour cet élément (méthodes d'analyse, critères de performance etc) permettant ainsi d'apprécier la qualité des données et de constituer un support d'exploitation des niveaux de contaminations observés dans les algues.

Ce jeu de données recense 100 résultats des niveaux de contamination analysés en mercure total dans les algues, incluant des algues utilisées en tant que telles, en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires et en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires, et échantillonnées en France entre 2009 et 2017 puis analysées entre 2010 et 2018.

Les échantillons ont été analysés par des laboratoires accrédités selon la norme ISO/IEC17025 (56 % des échantillons) ou par des laboratoires ayant une accréditation interne (22 % de données). Dans 22 % de cas, les laboratoires ont été classés accrédité sans information sur le type d'accréditation (ISO17025 ou interne).

Les échantillons d'algues ont été analysés par des méthodes de Spectrométrie d'Absorption Atomique Electrothermique et aussi de spectrométrie de masse à plasma induit (ICP-OES/MS) produisant des données de qualité satisfaisante pour ce type d'analyses.

Les limites de détection (LD) et limites de quantification (LQ) sont mentionnées lorsque les concentrations sont inférieures à ces limites. Bien qu'il y ait des indications sur l'expression de l'incertitude de mesure, les résultats compilés dans la base de données manquent parfois de clarté

sur l'information s'il s'agit bien de l'incertitude élargie U et sur l'expression de celle-ci où certaines sont probablement exprimées en %, d'autres en mg.kg<sup>-1</sup>.

*In fine*, les 100 résultats des niveaux de contamination analysés en mercure total dans les algues sont exploitables.

Il en ressort que les groupes analysés pour le mercure total, par ordre croissant d'importance (%) sont les suivants :

Compléments alimentaires (CA) (48 %) > algues inconnue (13 %) = macroalgues brunes (13 %) > macroalgues rouges (10 %) > microalgues (spiruline) (7 %) > macroalgues vertes (3 %) > plantes halophytes (salicorne) (2 %) > mélanges d'algues (2 %) > poudre, agar-agar et boissons (1% chaque (n = 1 chaque)).

La comparabilité de l'échantillon issu de la base de données CONTAMINE avec les algues consommées par la population française liée à l'étude nationale de consommation des algues alimentaires (Le Bras *et al.*, 2014, 2015) reste toutefois limitée.

L'analyse des données s'est faite ensuite par groupe d'algues et selon l'approche upper bound (UB). Le traitement des données a porté sur l'ensemble des échantillons analysés en mercure total, excepté pour les échantillons uniques de poudre, agar-agar et boissons. 80 résultats sur les 100 échantillons analysés en mercure total n'ont pas été quantifiés ou détectés (LD / LQ entre 0,0003 et 0,16 mg.kg<sup>-1</sup>). L'ensemble des données a été converti en mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche en appliquant lorsque nécessaire un facteur de conversion des données transmises en poids humide. Le choix de ce facteur s'est appuyé après étude de la littérature (Arne Jensen, 1993 ; Stévant *et al.*, 2017 ; Qing Chen *et al.*, 2018, Roleda *et al.*, 2019) et considère un taux moyen de matière sèche de 20 % dans une algue fraîche.

Le tableau suivant présente l'analyse des données de contamination en mercure total dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

**Tableau 2-4.** Analyse des concentrations en mercure total (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

	Total	Inconnue	Macroalgues brunes	Macroalgues rouges	Macroalgues vertes	Micro algues	Plantes halophytes	Mélanges	CA
<i>n</i>	100	13	13	10	3	7	2	2	48
<b>Concentrations en mercure total (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>									
<b>Médiane</b>	0,017	0,02	0,023	0,010	0,050	0,015	0,063	0,080	0,015
<b>Moyenne</b>	0,037	0,03	0,024	0,014	0,046	0,040	0,063	0,080	0,04
<b>Min</b>	0,0010	0,010	0,010	0,010	0,014	0,010	0,050	0,010	0,001
<b>Max</b>	0,38	0,1	0,050	0,027	0,075	0,10	0,075	0,15	0,2
<b>Répartition des effectifs selon les classes de concentrations en mercure total (mg.kg<sup>-1</sup>MS) inférieures ou supérieures à la valeur de référence du CSHPF de 0,1 mg.kg<sup>-1</sup>MS</b>									
<b>concentration &lt; 0,1</b>	97	13	13	10	3	7	2	1	47
<b>0,1 &lt; concentration &lt; 0,5</b>	3	0	0	0	0	0	0	1	1
<b>Concentration &gt; 0,5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Total :** Toutes catégories d'algues confondues; **Inconnues :** Algues dont le groupe d'appartenance n'est pas précisée ; **Macroalgues brunes :** algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; **Macroalgues rouges :** algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; **Macroalgues vertes :** algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; **Microalgues :** liée à la spiruline dans CONTAMINE ; **Plantes halophytes :** liée à la salicorne dans CONTAMINE ; **Mélanges :** Mélanges d'algues séchées ; **CA :** compléments alimentaires à base d'algues séchées

Sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination en mercure total pour toutes catégories d'algues sont de 0,037 et 0,017 mg.kg<sup>-1</sup> MS (min-max de 0,001-0,38 mg.kg<sup>-1</sup> matière sèche).

Les groupes des plantes halophytes (salicorne), des macroalgues vertes et des mélanges sont, parmi les familles d'algues, les plus contaminés en mercure total avec respectivement une valeur moyenne de 0,063, 0,046 et 0,08 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Le groupe des macroalgues rouges comporte des niveaux plus faibles en mercure total avec une concentration moyenne de 0,014 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Le groupe des compléments alimentaire (n=48) présente une concentration moyenne en mercure total de 0,04 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec (min-max de 0,001-0,2 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec).

La teneur maximale en mercure total de 0,38 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec a été observée dans un échantillon de boisson à base d'algue et de soja originaire de Suisse.

Au total, 3 échantillons sur 100 échantillons d'algues analysées en mercure total pour toutes forme d'algues confondues (soit 3 %) dépassent la valeur de 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF (cf. tableau 3 section 3.1.4). Ces échantillons correspondent à un échantillon de mélanges d'algues séchées originaire de France, à un échantillon de compléments alimentaires à base d'algues séchées originaire de France et à l'échantillon de boisson à base d'algue et de soja originaire de Suisse.

Il est toutefois à noter que pour comparer avec la valeur de référence, il conviendrait d'être en mesure de connaître l'incertitude élargie U de chaque résultat car selon le règlement (CE) n° 333/2007<sup>22</sup> « Le résultat analytique doit être consigné en utilisant la formule  $x \pm U$  dans laquelle x est le résultat d'analyse et U l'incertitude de mesure élargie et en employant un facteur d'élargissement de 2 qui donne un niveau de confiance d'environ 95 % ( $U = 2u$ ). » Bien qu'il y ait des indications sur l'incertitude, il n'est parfois pas indiqué s'il s'agit bien de l'incertitude élargie.

### Exposition

Les estimations se sont appuyées sur les scénarios d'expositions liés à la consommations d'algues alimentaire établis pour l'étude du cadmium et décrits en section 3.2.2.3. De la même manière, les données d'entrées s'appuient sur les données de consommation des algues dérivées de l'étude INCA 3 (Anses, 2017) considérant les actes de consommation des consommateurs adultes des algues pour les scénarios liés à la consommation d'algues non transformées et intégrées sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires et les actes de consommation des consommateurs enfants et adultes pour le scénario lié à la consommation d'algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires. Pour estimer les expositions, ces données de consommation sont combinées avec les données de contamination exploitables dans le jeu de données disponible dans la saisine. Les analyses ont porté sur le mercure total. Des hypothèses de spéciation ont été appliquées par l'Efsa aux données de contamination en mercure total afin d'estimer la part de mercure organique et inorganique dans les aliments (EFSA, 2012b). Pour les algues, il n'existe pas d'hypothèses de spéciations spécifiques. Il est retenu pour des besoins purement théoriques et protectrice la forme de l'espèce chimique la plus toxique et identifiée pour le poisson et les produits de la mer, en considérant comme hypothèse que 100 % du mercure est présent sous forme méthylmercure (hypothèse maximaliste). Seule l'exposition du consommateur au méthylmercure et la part de contribution par rapport à sa valeur toxicologique de référence à la suite d'ingestion d'algues alimentaires a été estimée.

<sup>22</sup> 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



Les incertitudes identifiées à l'évaluation de l'exposition alimentaire au cadmium associé à la consommation d'algues alimentaires (cf. section 3.2.3) s'appliquent également pour ce contaminant lié au méthylmercure.

**Tableau 2-5.** Estimation des expositions alimentaires au méthylmercure liées à la consommation d'algues alimentaires selon le scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport à la valeur toxicologique de référence du méthylmercure

	Adultes			Enfants		
	Moy	P95	%DJT	Moy	P95	%DJT
Exposition aux algues sous forme d'aliment en µg/kg pc/j	0,004	0,011	1,9 %			
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires en µg/kg pc/j	0,0004	0,001	0,23 %	0,0005	0,0011	0,25 %
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de CA en µg/kg pc/j	0,002	0,003	0,92 %			
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en µg/kg pc/j	0,006	0,017	3,03 %	0,0005	0,0011	0,25 %

Le tableau ci-dessus présente les résultats d'exposition pour chaque scénario chez les consommateurs d'algues adultes et pour le scénario « ingrédients » uniquement chez les enfants. Chez les adultes, l'exposition au méthylmercure par les algues consommées en tant qu'aliments représente en moyenne moins de 2 % de la DJT et moins de 1 % lorsque les algues sont consommées en tant qu'ingrédients ou en tant que compléments alimentaires. Le méthylmercure apporté par toutes les sources d'algues représente en moyenne 3 % de la DJT.

Chez les enfants, l'apport moyen en méthylmercure par les algues en tant qu'ingrédients représente moins de 0,25 % de la DJT.

Il est à rappeler que ces calculs sont estimés sous l'hypothèse UB.

### Conclusions

Les analyses des algues ont porté sur le mercure total. Les données permettant d'établir des hypothèses de spéciation du mercure liées aux algues sont manquantes afin d'estimer de façon plus robuste l'exposition des consommateurs d'algues. La forme de l'espèce chimique du mercure dans l'algue est donc à identifier et investiguer, puis à être pris en compte par la législation pour encadrer les teneurs en mercure dans les algues destinées à la consommation alimentaire.

Pour des besoins purement théoriques et protectrice, il est retenu la forme de l'espèce chimique la plus toxique et identifiée pour le poisson et les produits de la mer, en considérant comme hypothèse que 100 % du mercure est présent sous forme méthylmercure (hypothèse maximaliste).

L'estimation des expositions au méthylmercure à la suite de consommation d'algues alimentaire montre que la part de l'exposition moyenne à ce contaminant chez les consommateurs d'algues



sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue à hauteur de 3 % de la DHTP de  $1,3 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$  (soit  $0,19 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ).

Initialement, un risque sanitaire lié à l'exposition au méthylmercure n'est pas écarté pour le consommateur selon la seconde étude alimentation totale de l'Anses (Anses, 2011a), notamment lié à la consommation de poissons et produits de la mer. En effet, l'exposition moyenne globale du consommateur (exposition bruit de fond) au méthylmercure est forte et estimée à  $0,19$  et  $0,27 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  chez le consommateur adulte et enfant respectivement (Anses, 2011a). Il convient ainsi de poursuivre les efforts pour réduire les apports alimentaires en méthylmercure.

L'analyse des données de contamination en mercure dans les algues destinées à la consommation humaine montre que le mercure n'est pas détecté ou quantifié dans 80 % des échantillons du jeu de données et une concentration moyenne et médiane ( $0,037$  et  $0,017 \text{mg.kg}^{-1}$  matière sèche) inférieure d'un facteur 2 à 5 fois la valeur de référence du CSHPF de  $0,1 \text{mg Hg.kg}^{-1}$  matière sèche. Il est ainsi recommandé une concentration maximale en mercure dans les algues aussi basse que possible.

- **Plomb**

### Caractérisation du danger

Le plomb (Pb) est un métal ubiquitaire naturellement présent dans la croûte terrestre ( $10 \text{mg.kg}^{-1}$  en moyenne). Son utilisation intensive par l'homme (activités minières et industrielles : fonderies, accumulateurs, pigments, alliages, munitions, etc.) est à l'origine d'une forte dispersion dans l'environnement. Il est principalement sous forme  $\text{Pb}^0$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  et aussi dans certains cas  $\text{Pb}^{4+}$ . L'Homme y est exposé principalement par les aliments et l'eau qu'il consomme, mais aussi *via* l'air, le sol et les poussières.

Chez l'Homme, le principal organe cible est le système nerveux central, en particulier au cours du développement chez le fœtus et le jeune enfant. En cas d'intoxication massive, des signes de saturnisme apparaissent (troubles neurocomportementaux). Une relation inversement proportionnelle a été démontrée entre la concentration sanguine en plomb (plombémie) et les scores de quotient intellectuel (Budtz-Jorgensen *et al.* 2013, Canfield *et al.* 2003, Lanphear *et al.* 2005).

Chez l'adulte, le plomb a des effets sur les reins (augmentation de la prévalence de maladies chroniques rénales) et sur le système cardiovasculaire (élévation de la pression sanguine systolique). Le plomb inorganique est classé par le CIRC dans le groupe 2A « probablement cancérigène chez l'Homme » : cette forme est présente de manière prépondérante dans l'environnement (EFSA, 2013). Quant au plomb organique, son effet cancérigène n'a pas été démontré à ce jour, il est donc classé par le CIRC dans le groupe 3 « qui ne peut pas être classé pour sa cancérigénicité chez l'Homme » (IARC/CIRC, 2006).

Compte tenu des effets sur le développement et de son passage transplacentaire<sup>23</sup>, les femmes enceintes et les jeunes enfants sont considérés comme étant les populations les plus sensibles aux effets du plomb. Les enfants et les femmes en âge de procréer sont donc des populations spécifiques dont il faut évaluer les expositions au plomb.

L'Efsa a identifié trois plombémies critiques et en a dérivé, par modélisation pharmacocinétique, des doses de référence - deux chez l'adulte et une chez l'enfant et la femme enceinte ou en âge de procréer. Elles sont respectivement de  $15 \mu\text{g.L}^{-1}$  pour les effets néphrotoxiques (équivalent à un apport oral de  $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ),  $36 \mu\text{g.L}^{-1}$  pour les effets cardiovasculaires (soit  $1,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) et  $12 \mu\text{g.L}^{-1}$  pour les effets neuro-développementaux (soit  $0,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) (EFSA, 2013). Pour apprécier le risque chez les enfants, l'Efsa retient une BMDL<sub>01</sub> de  $0,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  et considère que

---

<sup>23</sup> Lors de la gestation, le plomb (stock osseux et plomb ingéré par la mère) libre peut franchir la barrière placentaire et être stocké dans le cerveau et le squelette du fœtus.

le risque est négligeable lorsque la MOS (marge de sécurité)<sup>24</sup> est supérieure à 10. Le Haut Conseil de Santé Publique a également retenu la plombémie critique de 12  $\mu\text{g.L}^{-1}$  associée à une dose d'exposition de 0,5  $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (HCSP, 2014).

Ces effets neuro-développementaux (quantifiés à travers la diminution d'un point de QI dans la population infantile) n'ont pas été retenus par l'Anses pour définir la valeur de la plombémie critique car les experts ont estimé que la diminution du point de QI n'est pas utilisable en évaluation quantitative du risque sanitaire (Anses, 2013). L'Anses a estimé que la plombémie critique fixée à 15  $\mu\text{g.L}^{-1}$  était valable pour l'ensemble de la population, y compris les enfants, et pour l'ensemble des effets critiques identifiés à ce jour (dont les effets sur le système nerveux). Cette plombémie de 15  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (qui correspond à une exposition par voie orale de 0,63  $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) est associée à une augmentation de 10 % de la prévalence de la maladie rénale chronique<sup>25</sup>. Aucun effet rénal n'a été observé chez l'enfant (de moins de 12 ans) pour des plombémies inférieures à 50  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , mais les effets observés sur le rein chez l'adulte peuvent être consécutifs à une exposition vie entière, depuis l'enfance (NTP, 2012).

Compte tenu des débats actuels au niveau international, les valeurs de 0,5 (BMDL<sub>01</sub>) et 0,63  $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (BMDL<sub>10</sub>) (correspondant respectivement à des plombémies critiques de 12 et de 15  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) sont prises en compte dans le cadre de cette étude. Pour apprécier le risque, celui-ci est négligeable lorsque la MOS (marge de sécurité)<sup>23</sup> est supérieure à 10.

Selon la seconde étude alimentation totale (Anses, 2011a) et l'étude alimentation totale infantile (Anses, 2016a), un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au plomb ne peut être exclu. Il convient ainsi de poursuivre les efforts pour réduire les apports alimentaires de plomb.

### Contamination

Les données issues des plans de surveillance et de contrôle compilées dans CONTAMINE disposent d'information analytique pour cet élément (méthodes d'analyse, critères de performance etc) permettant ainsi d'apprécier la qualité des données et de constituer un support d'exploitation des niveaux de contaminations observés dans les algues.

Ce jeu de données recense 132 résultats des niveaux de contamination analysés en plomb dans les algues, incluant des algues utilisées en tant que telles, en tant qu'ingrédients de denrées alimentaires et en tant qu'ingrédients de compléments alimentaires, et échantillonnées en France entre 2009 et 2017 puis analysées entre 2010 et 2018.

Les échantillons ont été analysés par des laboratoires accrédités selon la norme ISO/IEC17025 (55 % des échantillons) ou par des laboratoires ayant une accréditation interne (22 % de données). Dans 23 % de cas, les laboratoires ont été classés accrédité sans information sur le type d'accréditation (ISO17025 ou interne).

Les échantillons d'algues ont été analysés par des méthodes de Spectrométrie d'Absorption Atomique Electrothermique et aussi de spectrométrie de masse à plasma induit (ICP-OES/MS) produisant des données de qualité satisfaisante pour ce type d'analyses.

Les limites de détection (LD) et limites de quantification (LQ) sont mentionnées lorsque les concentrations sont inférieures à ces limites. Bien qu'il y ait des indications sur l'expression de

<sup>24</sup> Dans le cas des substances caractérisées par une BMDL, la caractérisation du risque consiste à calculer une marge d'exposition (MOE) pour les substances génotoxiques cancérigènes ou une marge de sécurité (MOS) pour les substances non génotoxiques dont les effets apparaissent à partir d'un certain seuil. Ces marges d'exposition ou de sécurité correspondent au ratio entre une exposition critique (BMDL par exemple) et l'exposition moyenne de la population, ou à un centile élevé. Ces marges sont ensuite comparées à une marge critique définie lors de l'établissement de la BMDL par les instances nationales ou internationales, afin de conclure quant au risque pour la population.

<sup>25</sup> définie par la persistance pendant plus de trois mois d'un taux de filtration glomérulaire inférieur à 60 mL/min/1,73 m<sup>2</sup> de surface corporelle

l'incertitude de mesure, les résultats compilés dans la base de données manquent parfois de clarté sur l'information s'il s'agit bien de l'incertitude élargie U et sur l'expression de celle-ci où certaines sont probablement exprimées en %, d'autres en mg.kg<sup>-1</sup>.

*In fine*, les 132 résultats des niveaux de contamination analysés en plomb dans les algues sont exploitables.

Il en ressort que les groupes analysés pour le plomb, par ordre croissant d'importance (%) sont les suivants :

Compléments alimentaires (CA) (40,9 %) > algues inconnues (15,1 %) > macroalgues brunes (13,6 %) > macroalgues rouges (12,1 %) > microalgues (spiruline) (8,3 %) > macroalgues vertes (3,8 %) > plantes halophytes (salicorne) (2,3 %) > mélanges d'algues (1,5 % ; n = 2) > poudre, agar-agar et boissons (0,7 % chaque (n = 1 chaque)).

La comparabilité de l'échantillon issu de la base de données CONTAMINE avec les algues consommées par la population française liée à l'étude nationale de consommation des algues alimentaires (Le Bras *et al.*, 2014, 2015) reste toutefois limitée.

L'analyse des données s'est faite ensuite par groupe d'algues et selon l'approche upper bound (UB). Le traitement des données a porté sur l'ensemble des échantillons analysés en plomb, excepté pour les échantillons uniques de poudre, agar-agar et boissons. 54 résultats sur les 132 échantillons analysés en plomb n'ont pas été quantifiés (n = 38) ou détectés (n = 16) (LD / LQ entre 0,02 et 0,2 mg.kg<sup>-1</sup>). L'ensemble des données a été converti en mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche en appliquant lorsque nécessaire un facteur de conversion des données transmises en poids humide. Le choix de ce facteur s'est appuyé après étude de la littérature (Arne Jensen, 1993 ; Stévant *et al.*, 2017 ; Qing Chen *et al.*, 2018, Roleda *et al.*, 2019) et considère un taux moyen de matière sèche de 20 % dans une algue fraîche.

Le tableau suivant présente l'analyse des données de contamination en plomb dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

**Tableau 2-6.** Analyse des concentrations en plomb (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS)) dans les catégories d'algues de la base de données CONTAMINE.

	Total	Inconnue	Macroalgues brunes	Macroalgues rouges	Macroalgues vertes	Micro algues	Plantes halophytes	Mélanges	CA
<b>n</b>	132	20	18	16	5	11	3	2	54
<b>Concentrations en plomb (mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS))</b>									
<b>Médiane</b>	0,30	0,36	0,61	0,17	0,48	0,08	0,60	0,92	0,39
<b>Moyenne</b>	0,72	0,42	0,55	0,20	1,39	0,10	0,53	0,92	1,16
<b>Min</b>	0,010	0,068	0,021	0,060	0,220	0,010	0,200	0,830	0,16
<b>Max</b>	13,3	1,3	1,5	0,4	3,2	0,2	0,8	1,0	13,3
<b>Répartition des effectifs selon les classes de concentrations en plomb (mg.kg<sup>-1</sup>MS) inférieures ou supérieures à la valeur de référence du CSHPF de 5 mg.kg<sup>-1</sup>MS</b>									
<b>concentration &lt; 5</b>	130	20	18	16	5	5	0	2	52
<b>5 &lt; concentration &lt; 6</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Concentration &gt; 6</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	1

**Total :** Toutes catégories d'algues confondues; **Inconnues :** Algues dont le groupe d'appartenance n'est pas précisée ; **Macroalgues brunes :** algues appartenant au groupe des macroalgues brunes ; **Macroalgues rouges :** algues appartenant au groupe des macroalgues rouges ; **Macroalgues vertes :** algues appartenant au groupe des macroalgues vertes ; **Microalgues :** liée à la spiruline dans CONTAMINE ; **Plantes halophytes :** liée à la salicorne dans CONTAMINE ; **Mélanges :** Mélanges d'algues séchées ; **CA :** compléments alimentaires à base d'algues séchées

Sur l'ensemble des données, la moyenne et la médiane de contamination en plomb pour toutes catégories d'algues sont de 0,72 et 0,30 mg.kg<sup>-1</sup> MS (min-max de 0,01-13,3 mg.kg<sup>-1</sup> matière sèche). Les groupes de macroalgues brunes, vertes et des mélanges sont, parmi les familles d'algues, les plus contaminés en plomb avec respectivement une valeur moyenne de 0,55, 1,39 et 0,92 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Le groupe des plantes halophytes a une concentration moyenne en plomb de 0,53 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche. Le groupe des microalgues comporte des niveaux plus faibles en plomb avec une concentration moyenne de 0,10 mg Pb.kg<sup>-1</sup> de matière sèche.

Le groupe des compléments alimentaire (n=53) présente une concentration moyenne en plomb élevée comparée aux autres matrices de 1,16 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec (min-max de 0,16-13,3 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec).

La teneur maximale en plomb de 13,3 mg.kg<sup>-1</sup> de poids sec a été observée dans un échantillon de compléments alimentaires à base d'algues séchées (*Fucus Vesiculosus*) et d'argile vert originaire de France.

Au total, 2 échantillons sur 132 échantillons d'algues analysées en plomb pour toutes forme d'algues confondues dépassent la valeur de 5 mg.kg<sup>-1</sup> de matière sèche préconisée par le CSHPF (cf. tableau 3 section 3.1.4). Ces deux échantillons correspondent à des algues incorporées sous forme de compléments alimentaires originaire de France.

Il est toutefois à noter que pour comparer avec la valeur de référence, il conviendrait d'être en mesure de connaître l'incertitude élargie U de chaque résultat car selon le règlement (CE) n° 333/2007<sup>26</sup> « Le résultat analytique doit être consigné en utilisant la formule  $x \pm U$  dans laquelle x est le résultat d'analyse et U l'incertitude de mesure élargie et en employant un facteur d'élargissement de 2 qui donne un niveau de confiance d'environ 95 % ( $U = 2u$ ) ». Bien qu'il y ait des indications sur l'incertitude, il n'est parfois pas indiqué s'il s'agit bien de l'incertitude élargie.

### Exposition

L'exposition du consommateur au plomb à la suite d'ingestion d'algues alimentaires a été estimée. Les estimations se sont appuyées sur les scénarios d'expositions liés à la consommations d'algues alimentaire établis pour l'étude du cadmium et décrits en section 3.2.2.3. De la même manière, les données d'entrées s'appuient sur les données de consommation des algues dérivées de l'étude INCA 3 (Anses, 2017) considérant les actes de consommation des consommateurs adultes des algues pour les scénarios liés à la consommation d'algues non transformées et intégrées sous forme d'ingrédients de compléments alimentaires et les actes de consommation des consommateurs enfants et adultes pour le scénario lié à la consommation d'algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires. Pour estimer les expositions, ces données de consommation sont combinées avec les données de contamination en plomb analysé dans les algues dans le jeu de données exploitable de la saisine. Les incertitudes identifiées à l'évaluation de l'exposition alimentaire au cadmium associé à la consommation d'algues alimentaires (cf. section 3.2.3) s'appliquent également pour ce contaminant lié au plomb.

<sup>26</sup> 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

**Tableau 2-7.** Estimation des expositions alimentaires au plomb liées à la consommation d'algues alimentaires selon le scénario et de la contribution de l'exposition moyenne par rapport à la valeur repère du plomb chez l'adulte ( $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) et l'enfant ( $0,50 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ) (considérant une MOS de 10).

	Adultes			Enfants		
	Moy	P95	% de la valeur repère	Moy	P95	% de la valeur repère
Exposition aux algues sous forme d'aliment en $\mu\text{g/kg pc/j}$	0,04	0,15	62,5 %			
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de denrées alimentaires en $\mu\text{g/kg pc/j}$	0,004	0,015	6,34 %	0,004	0,015	8,33 %
Exposition aux algues sous forme d'ingrédients de CA en $\mu\text{g/kg pc/j}$	0,006	0,019	9,1 %			
Exposition aux algues toutes formes confondues (aliment + ingrédients + CA) en $\mu\text{g/kg pc/j}$	0,05	0,176	77,9 %	0,004	0,015	8,33 %

Le tableau ci-dessus présente les résultats d'exposition pour chaque scénario chez les consommateurs d'algues adultes et pour le scénario « ingrédients » uniquement chez les enfants. Chez les adultes, l'exposition au plomb par les algues consommées en tant qu'aliments représente en moyenne moins de 63 % de la valeur repère de  $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (considérant une MOS de 10). Ce pourcentage est de 6 et 9 % lorsque les algues sont consommées en tant qu'ingrédients ou en tant que compléments alimentaires. Le plomb apporté par toutes les sources d'algues représente en moyenne 78 % de cette valeur repère.

Chez les enfants, l'apport moyen en plomb par les algues en tant qu'ingrédients représente 8 % de la valeur repère de  $0,50 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  (considérant une MOS de 10).

Il est à rappeler que ces calculs sont estimés sous l'hypothèse UB.

### Conclusions

L'estimation des expositions au plomb à la suite de consommation d'algues alimentaire montre que la part de l'exposition moyenne à ce contaminant chez les consommateurs d'algues sous toutes ses formes (aliment, ingrédients, compléments alimentaires) contribue à hauteur de 78 % chez les adultes et 8 % chez les enfants de la valeur repère de  $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  pour les adultes et  $0,50 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  pour les enfants (considérant une MOS de 10). Les algues consommées en tant que telles représentent la majorité de cet apport.

Initialement, un risque sanitaire lié à l'exposition au plomb n'est pas écarté pour le consommateur selon la seconde étude alimentation totale (Anses, 2011a) et l'étude alimentation totale infantile (Anses, 2016a). En effet, l'exposition moyenne globale du consommateur (exposition bruit de fond) au plomb est forte et estimée à  $0,20$  et  $0,26 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$  chez le consommateur adulte et enfant respectivement (Anses, 2011a), considérant une MOS supérieure à 10. Il convient ainsi de poursuivre les efforts pour réduire les apports alimentaires en plomb. L'analyse des données de contamination en plomb dans les algues destinées à la consommation humaine montre que le plomb



n'est pas détecté ou quantifié dans 40 % des échantillons du jeu de données. Aucun échantillon d'algues non transformées toutes espèces confondues dépasse la valeur de référence du CSHPF de 5 mg Pb.kg<sup>-1</sup> matière sèche (moyenne et médiane de concentration en plomb pour toutes catégories d'algues sont de 0,72 et 0,30 mg.kg<sup>-1</sup> MS, inférieure d'un facteur 7 à 16 fois la valeur de référence du CSHPF).

Il est ainsi recommandé une concentration maximale en plomb dans les algues aussi basse que possible.

ANNEXE 3

Suivi des modifications apportées à la version du 02 mars 2020

Numéro de page	Modification effectuée
Page 36	<p>Correction de la valeur citée dans la phrase :</p> <p>« Dans ce cas, la contribution des consommateurs d'algues par rapport à la DJT est donc réduite de 19% (liée à la distribution des concentrations en cadmium observées dans les algues) à 13 % avec une concentration maximale dans les algues de 0,35 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche » »</p> <p>par</p> <p>« Dans ce cas, la contribution des consommateurs d'algues par rapport à la DJT est donc réduite de 19% (liée à la distribution des concentrations en cadmium observées dans les algues) à 11,5 % avec une concentration maximale dans les algues de 0,35 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de matière sèche » »</p>