

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Étude de l'alimentation totale infantile

Tome 2 – Partie 2
Composés inorganiques

Rapport d'expertise collective

Septembre 2016

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Étude de l'alimentation totale infantile

Tome 2 – Partie 2
Composés inorganiques

Rapport d'expertise collective

Septembre 2016

Édition scientifique

Etude de l'Alimentation Totale infantile (EATi)

Exposition alimentaire des enfants de moins 3 ans à certaines substances

TOME 2 – Partie 2 : Composés inorganiques

**Saisine n°2010-SA-0317
RAPPORT
d'expertise collective**

**Comités d'Experts Spécialisé
« Evaluation des risques liés aux risques chimiques et physiques liés aux
aliments »**

**Groupe de Travail
« Etude de l'alimentation totale EATi »**

Septembre 2016

Mots clés

Etude de l'alimentation totale infantile, Contaminants, Nutriments, Pesticides, Exposition
Infant Total Diet Study, Contaminants, Nutrients, Pesticides, Exposure

La présentation de l'Etude de l'Alimentation Totale infantile est déclinée en différents volets :

- Un premier tome reprenant l'avis de l'Anses relatif à l'exposition alimentaire des enfants de moins de 3 ans à certaines substances, la synthèse et les conclusions de l'expertise collective relatives à l'étude
- Un deuxième tome décrivant l'étude et ses résultats et divisé en plusieurs parties :
 - Partie 1 : Méthodologie de l'étude (de la sélection des aliments à l'évaluation du risque), limites et incertitudes
 - Partie 2 : Résultats relatifs aux composés inorganiques (*Eléments traces métalliques, Minéraux*)
 - Partie 3 : Résultats relatifs aux composés organiques (*Polluants organiques persistants, Composés néoformés, Mycotoxines, Substances issues des matériaux de contact des denrées alimentaires, Phytoestrogènes et stéroïdes sexuels d'origine naturelle, Additifs*)
 - Partie 4 : Résultats relatifs aux résidus de pesticides

Dans ce tome vous trouverez les résultats relatifs aux composés inorganiques. Une lecture de la première partie décrivant la méthode de l'étude est nécessaire pour la bonne compréhension et interprétation des informations présentes dans ce tome.

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts externes, 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.

GRUPE DE TRAVAIL « ETUDE DE L'ALIMENTATION TOTALE INFANTILE »

Président

M. Jean-Pierre CRAVEDI – Directeur de Recherche – Compétences en toxicologie alimentaire et sur les pesticides

Membres

Mme Catherine BENNETEAU-PELISSERO – Enseignant chercheur – Compétences en nutrition et sur les phytoestrogènes

M. Cyril FEIDT – Professeur des Universités – Compétences en transfert des contaminants

M. Philippe GLORENEC – Enseignant chercheur – Compétences en exposition environnementale et sur les métaux

Mme Laurence GULDNER – Epidémiologiste – Compétences en pesticides et en exposition environnementale (démission en Janvier 2015)

Mme Catherine LECLERCQ – Nutrition Officer – Compétences en exposition alimentaire et sur les additifs

M. André MAZUR – Directeur de Recherche – Compétences en nutrition et sur les minéraux

M. Alain-Claude ROUDOT – Enseignant chercheur – Compétences en modélisation mathématique

M. Patrick SAUVEGRAIN – Ingénieur, coordinateur technique – Compétences en chimie analytique et sur les matériaux au contact des denrées alimentaires

M. Rémy SLAMA – Chercheur – Compétences en épidémiologie et santé environnementale

Mme Paule VASSEUR – Professeur de Toxicologie émérite – Compétences en toxicologie

Remerciements à M. Dominique TURCK (Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en pédiatrie et nutrition) pour son appui lors de la mise en place de ce groupe de travail.

AUTRES GROUPES DE TRAVAIL

■ GT « Méthodes analytiques dans l'alimentation » – 2013 - 2015

Président

M. Jean-Marc FREMY – Directeur de recherche Anses (retraité) – Compétences en chimie analytique

Membres

Mme Emmanuelle BICHON – Chercheur – Compétences en spectrométrie de masse

Mme Valérie CAMEL – Professeur de chimie analytique – Compétences en chimie analytique

M. Christophe CORDELLA – Chercheur – Compétences en chimie analytique

M. Konrad GROB – Chercheur – Compétences en chimie analytique

Mme Dary INTHAVONG – Chercheur – Compétences en spectrométrie de masse

Mme Florence LACOSTE – Chercheur – Compétences en chimie analytique

Mme Béatrice LALERE – Chercheur – Compétences en chimie analytique

M. Michel LAURENTIE – Chercheur – Compétences statistiques

M. Bruno LE BIZEC – Chercheur – Compétences en chimie analytique

M. Eric MARCHIONI – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

M. Laurent NOEL (jusqu'au 13 janvier 2015) – Chercheur – Compétences en chimie analytique

■ GT « ERS EDCH » – 2013 - 2016

Président

M. Michel JOYEUX - Directeur recherche développement et qualité de l'eau / Docteur en médecine, Docteur en sciences - Compétences en toxicologie, évaluation de risques sanitaires, santé publique.

Membres

M. Pierre-Jean CABILLIC - Retraité - Compétences en eau, réglementation, terrain

M. Edmond CREPPY - Professeur - Compétences en toxicologie (dont cancérogénèse)

M. Joseph DE LAAT - Professeur - Compétences en procédés de traitement EDCH (oxydation), chimie de l'eau

Mme Laetitia KNOCKAERT - Chargée de mission / Docteur en sciences - Compétences en toxicologie, médicaments

M. Patrick LEVALLOIS - Professeur / Médecin spécialiste - Compétences en épidémiologie, santé environnement, EDCH

M. Jean-Michel MAIXENT - Professeur - Compétences en toxicologie, biochimie

M. Christophe ROSIN - Responsable Unité Adjoint - Compétences en chimie analytique, contrôle sanitaire des EDCH

Mme Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT - Professeur - Compétences en santé publique et environnement, épidémiologie, évaluation de risques sanitaires.

Mme Bénédicte WELTE – Directrice adjointe de recherche du développement et de la qualité de l'eau / Docteur en sciences – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau (tous procédés, filières de traitement)

- GT « Evaluation des substances et procédés soumis à autorisation en alimentation humaine » – 2012 - 2015

Président

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – Compétences en toxicologie alimentaire et sur les additifs et auxiliaires technologiques

Membres

Mme Elmira ARAB-TEHRANY – Maître de conférence – Compétences en traitements ionisants, thermoperméabilité et sur les néoformés et les bioplastiques

M. François ARSAC – Retraité – Compétences en toxicologie générale et sur les lignes directrices OCDE

M. Jean-Charles BENEZET – Maître de conférence – Compétences en chimie des matériaux

M. Fabien BOLLE – Directeur de laboratoire – Compétences en santé publique et sur les risques chimiques

M. Luc FILLAUDEAU – Maître de conférence – Compétences sur le traitement thermique

Mme. Claude GENOT – Chercheur – Compétences en chimie, oxydation, multiplication des protéines, et sur les lipides

Mme Françoise GUERAUD – Chercheur – Compétences en oxydation lipidique et chimie

Mme Florence LACOSTE – Chercheur – Compétences en analyse des huiles et sur les corps gras et les contaminants organiques

M. Claude LAMBRE – Retraité – Compétences en toxicologie génétique, génotoxicité, ERS

M. Christian LAURENT – Compétences en génotoxicité

M. Michel LAURENTIE – Chercheur – Compétences en méthodologie analytique, biostatistique, toxicocinétique, chimie des aliments, toxicologie

Mme Anne-Christine MACHEREY – Directrice de laboratoire – Compétences en toxicologie, en ERS et sur REACH et les matériaux au contact des denrées alimentaires (jusqu'au 21 novembre 2013)

M. Jean-Michel MAIXENT – Professeur des universités – Compétences en toxicologie générale, essais industriels, physico chimie, Novel food

Mme Carole PROST – Chercheur – Compétences en analyses sensorielles, allergies liées aux aliments, ERS et sur les additifs

M. Philippe SAILLARD – Chercheur – Compétences sur la réglementation des matériaux au contact des denrées alimentaires, des conditions d'essai et des impacts procédés

M. Patrick SAUVEGRAIN – Ingénieur, coordinateur technique – Compétences en chimie analytique et sur les matériaux au contact des denrées alimentaires

RAPPORTEURS

Etaient rapporteurs sur la partie danger des résidus de pesticides :

Mme Martine CLAUW – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

M. Jean-Pierre CRAVEDI – Directeur de Recherche - Compétences en toxicologie alimentaire et sur les pesticides

M. Michel GUERBET – Professeur – Compétences en toxicologie, santé publique, protection et sécurité des consommateurs

M. Alain PERIQUET – Professeur des universités, directeur d'IUP (retraité) – Compétences en physiologie, nutrition, alimentation, toxicologie, sécurité des aliments, pesticides

Mme Paule VASSEUR – Professeur de Toxicologie émérite – Compétences en toxicologie

COMITÉS D'EXPERTS SPÉCIALISÉS

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

- CES « Evaluation des risques physico-chimiques dans les aliments » – 2015 - 2018

Président

M. Cyril FEIDT – Professeur des universités – Compétences en transfert des contaminants

Membres

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

M. Pierre-Marie BADOT – Professeur des universités – Compétences en transfert des contaminants

M. Jacques BELEGAUD – Professeur honoraire – Compétences en toxicologie

Mme Valérie CAMEL – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

Mme Martine CLAUW – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

M. Guillaume DUFLOS – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique

Mme Camille DUMAT – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

M. Jérôme GAY–QUEHEILLARD – Maître de conférence des universités – Compétences en impacts digestifs et métabolisme

M. Thierry GUERIN – Directeur de recherche – Compétences en chimie analytique

Mme Nicole HAGEN–PICARD – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

Mme Laila LAKHAL – Ingénieur animateur de projets – Compétences en toxicologie

M. Claude LAMBRE – Retraité – Compétences en toxicologie

M. Bruno LE BIZEC – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

Mme Raphaële LE GARREC – Maître de conférences des universités – Compétences en toxicologie

M. Eric MARCHIONI – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

M. César MATTEI – Maître de conférence des universités – Compétences en toxicologie

Mme Sakina MHAOUTY–KODJA – Directeur de recherche – Compétences en toxicologie

M. Fabrice NESSLANY – Directeur de laboratoire – Compétences en toxicologie

M. Alain–Claude ROUDOT – Professeur des universités – Compétences en modélisation mathématique

Mme Karine TACK – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique

Mme Paule VASSEUR – Professeur émérite – Compétences en toxicologie

M. Eric VERDON – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique

M. Jean–Paul VERNOUX – Professeur émérite – Compétences en toxicologie

■ CES « Evaluation des risques physico-chimiques dans les aliments » – 2012 - 2015

Président

M. Pierre-Marie BADOT – Professeur des universités – Compétences en transfert des contaminants

Membres

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

Mme Sandrine BLANCHEMANCHE – Professeure des universités – Compétences en sociologie

Mme Valérie CAMEL – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

Mme Martine CLAUW – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

Mme Camille DUMAT – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

M. Cyril FEIDT – Professeur des universités – Compétences en transfert des contaminants

M. Konrad GROB – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique

Mme Nicole HAGEN–PICARD – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

M. Claude LAMBRE – Retraité – Compétences en toxicologie

M. Michel LARROQUE – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

M. Bruno LE BIZEC – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique

Mme Anne-Christine MACHEREY – (démission en décembre 2013) - Directrice de laboratoire – Compétences en toxicologie

M. Jean-Michel MAIXENT – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

M. Rémi MAXIMILIEN – Directeur de recherche – Compétences en médecine et toxicologie

M. Jean-François NARBONNE – Professeur des universités – Compétences en toxicologie

M. Fabrice NESSLANY – Directeur de laboratoire – Compétences en toxicologie
M. Jean-Marie RENAUDIN – Praticien Hospitalier – Compétences en allergologie
M. Alain–Claude ROUDOT – Professeur des universités – Compétences en modélisation mathématique
Mme Karine TACK – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique
Mme Paule VASSEUR – Professeur émérite – Compétences en toxicologie
M. Jean–Paul VERNOUX – Professeur émérite – Compétences en toxicologie

Étaient rapporteurs pour le CES « ERCA »

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – Compétences en toxicologie
Mme Martine CLAUW – Professeur des universités – Compétences en toxicologie
M. Konrad GROB – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique
M. Cyril FEIDT – Professeur des universités – Compétences en transfert des contaminants
Mme Nicole HAGEN–PICARD – Professeur des universités – Compétences en toxicologie
M. Claude LAMBRE – Retraité – Compétences en toxicologie
M. Bruno LE BIZEC – Professeur des universités – Compétences en chimie analytique
M. Jean-Michel MAIXENT – Professeur des universités – Compétences en toxicologie
M. Rémi MAXIMILIEN – Directeur de recherche – Compétences en médecine et toxicologie
M. Jean-François NARBONNE – Professeur des universités – Compétences en toxicologie
M. Fabrice NESSLANY – Directeur de laboratoire – Compétences en toxicologie
Mme Karine TACK – Responsable de laboratoire – Compétences en chimie analytique
Mme Paule VASSEUR – Professeur émérite – Compétences en toxicologie
M. Jean–Paul VERNOUX – Professeur émérite – Compétences en toxicologie

Étaient rapporteurs en appui au CES « ERCA »

Mme Isabelle OSWALD – Directeur de recherche - Compétences en toxicité des mycotoxines
M. Jean-Marc FREMY – Directeur de recherche Anses (retraité) – Compétences en chimie analytique
Mme Catherine BENNETAU-PELISSERO – Professeur des universités – Compétences en phytoestrogènes, isoflavones, perturbateurs endocriniens, santé osseuse

■ CES « Nutrition Humaine » – 2015 - 2018

Président

M. François MARIOTTI – Maître de conférence – Compétences en métabolisme des protéines, acides aminés, besoins et recommandations nutritionnels, métabolisme postprandial, syndrome métabolique

Membres

Mme Catherine ATLAN – Praticien hospitalier – Compétences en endocrinologie, maladies métaboliques

Mme Catherine BENNETAU-PELISSERO – Professeur des universités – Compétences en phytoestrogènes, isoflavones, perturbateurs endocriniens, santé osseuse

Mme Marie-Christine BOUTRON-RUAULT – Directeur de recherche – Compétences en épidémiologie nutritionnelle et des cancers, appareil digestif

M. Jean-Louis BRESSON – Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en épidémiologie, immunologie, nutrition infantile, femmes enceintes et protéines

M. Olivier BRUYERE – Professeur des universités – Compétences en épidémiologie, santé publique, ostéoporose

Mme Blandine DE LAUZON-GUILLAIN – Chargé de recherche – Compétences en épidémiologie, nutrition infantile, nutrition des femmes enceintes et allaitantes, santé publique

Mme Anne GALINIER – Maître de conférence des universités, Praticien hospitalier – Compétences en métabolisme du tissu adipeux, obésité, physiopathologie

M. Jean-François HUNEAU – Professeur des universités – Compétences en nutrition humaine

Mme Emmanuelle KESSE-GUYOT – Directeur de recherche – Compétences en épidémiologie, nutrition et pathologies, nutrition et santé publique

Mme Corinne MALPUECH BRUGERE – Professeur des universités – Compétences en nutrition des pathologies, métabolisme des macro- et micronutriments

Mme Catherine MICHEL – Chargé de recherche – Compétences en nutrition infantile, métabolisme des macro- et micronutriments, probiotiques, fonctions biologiques

Mme Béatrice MORIO-LIONDORE – Directeur de recherche – Compétences en nutrition humaine, métabolisme énergétique

Mme Jara PEREZ-JIMENEZ – Chargé de recherche – Compétences en microconstituants, nutrition et pathologies, biodisponibilité

M. Sergio POLAKOF – Chargé de recherche – Compétences en nutrition et pathologies, nutrition et santé publique, métabolisme énergétique

M. Jean-Marie RENAUDIN – Praticien hospitalier – Compétences en allergologie

Mme Anne-Sophie ROUSSEAU – Maître de conférence des universités – Compétences en nutrition et activité physique, biodisponibilité, stress oxydant

M. Luc TAPPY – Professeur des universités – Compétences en endocrinologie, métabolisme des glucides

M. Stéphane WALRAND – Directeur de recherche – Compétences en physiopathologie, métabolisme protéique et acides aminés

■ CES « Nutrition Humaine » – 2012 - 2015

Président

M. François MARIOTTI – Maître de conférences – Compétences en métabolisme des protéines, acides aminés, besoins et recommandations nutritionnels, métabolisme postprandial, syndrome métabolique

Membres

Mme Latifa ABDENNEBI-NAJAR – Directeur de recherche – Compétences en nutrition humaine, obésité

M. Jacques BELEGAUD – Professeur des universités honoraire – Compétences en toxicologie

Mme Catherine BENNETAU-PELISSERO – Professeur des universités – Compétences en phytoestrogènes, isoflavones, perturbateurs endocriniens, santé osseuse

Mme Marie BODINIER – Chargé de recherche – Compétences en allergies alimentaires, physiologie intestinale et système immunitaire

M. Marc BONNEFOY – Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en gériatrie, activité physique chez la personne âgée

Mme Marie-Christine BOUTRON-RUAULT – Directeur de recherche – Compétences en épidémiologie nutritionnelle et des cancers, appareil digestif

M. Jean-Louis BRESSON – Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en épidémiologie, immunologie, nutrition infantile, femmes enceintes et protéines

M. Olivier BRUYERE – Professeur des universités – Compétences en épidémiologie, santé publique, ostéoporose

Mme Sybil CHARRIERE – Maître de conférences des universités, Praticien hospitalier – Compétences en endocrinologie

M. Gérard CROS – Professeur des universités – Compétences en pharmacologie

M. Anthony FARDET – Chargé de recherche – Compétences en nutrition humaine

Mme Anne GALINIER – Maître de conférence des universités, Praticien hospitalier – Compétences en métabolisme du tissu adipeux, obésité, physiopathologie

M. Jean-François HUNEAU – Professeur des universités – Compétences en nutrition humaine

M. Alexandre MACIUK – Maître de conférence des universités – Compétences en pharmacognosie

M. André MAZUR – Directeur de Recherche – Compétences en microconstituants végétaux, système cardiovasculaire

M. Gilles MITHIEUX – Directeur de Recherche – Compétences en obésité, diabète, nutrition et cerveau, comportement alimentaire

Mme Béatrice MORIO-LIONDORE – Directeur de recherche – Compétences en nutrition humaine, métabolisme énergétique

M. Claude MOULIS – Professeur des universités émérite – Compétences en pharmacognosie

Mme Annie QUIGNARD-BOULANGE – Directeur de recherche émérite – Compétences en métabolisme des lipides

Mme Ariane SULTAN – Maître de conférence des universités, Praticien hospitalier – Compétences en endocrinologie, nutrition clinique

M. Stéphane WALRAND – Directeur de recherche – Compétences en physiopathologie, métabolisme protéique et acides aminés

Etaient rapporteurs pour le CES "Nutrition Humaine"

Mme Muriel BOST – Praticien hospitalier – Compétences en éléments traces

Mme Véronique COXAM – Directeur de recherche – Compétences en micronutriments, micro-constituants végétaux, santé osseuse

M. Jean-Philippe GIRARDET – Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en nutrition pédiatrique et femmes enceintes, obésité

M. Olivier GUILLARD – Maître de conférences des universités – Praticien hospitalier – Compétences en éléments traces, toxicologie

M. André MAZUR – Directeur de recherche – Compétences en microconstituants végétaux, système cardiovasculaire

M. Alain PINEAU – Professeur des universités, Praticien hospitalier – Compétences en éléments traces, toxicologie

■ CES « Eaux » – 2014 - 2016

Président

M. Yves LÉVI – Professeur de santé publique et environnement – Compétences en santé publique, polluants émergents, évaluation de risques sanitaires, écologie microbienne

Membres

Mme Claire ALBASI – Directrice de recherche, Docteur ingénieur – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau (membranes), assainissement, chimie de l'eau, utilisation de ressources en eau alternatives.

Mme Sophie AYRAULT – Chef d'équipe, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en chimie de l'eau dont chimie minérale

M. Jean BARON – Responsable de département, Ingénieur de recherche – Compétences en matériaux au contact de l'eau, produits et procédés de traitement de l'eau (filiales de traitement)

M. Jean-Luc BOUDENNE – Professeur – Compétences en métrologie des eaux, chimie et qualité des eaux, chimie de l'environnement

Mme Véronique BOUVARD – Spécialiste scientifique, Docteur en sciences – Compétences en toxicologie dont cancérogénèse

Mme Corinne CABASSUD – Professeure – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau dont membranes, chimie de l'eau

M. Jean CARRÉ – Professeur honoraire – Compétences en hydrogéologie, ressources en eau, périmètres de protection des captages et expérience terrain

Mme Catherine CHUBILLEAU – Praticien hospitalier, Docteur en pharmacie, Docteur en sciences – Compétences en épidémiologie, microbiologie de l'eau

M. Olivier CORREC – Ingénieur de recherche, Docteur en sciences – Compétences en matériaux au contact de l'eau, réseaux intérieurs

M. Christophe DAGOT – Directeur adjoint, Professeur – Compétences en assainissement, utilisation de ressources en eau alternatives

Mme Isabelle DUBLINEAU – Chargée de mission auprès du directeur de la radioprotection de l'Homme, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en toxicologie

Mme Sylvie DUBROU – Directeur de laboratoire, Docteur en pharmacie – Compétences en microbiologie de l'eau

M. Robert DURAN – Responsable d'équipe, Professeur – Compétences en écotoxicologie

M. Stéphane GARNAUD – Responsable technique eau et assainissement, Docteur en sciences – Compétences en assainissement

M. Jean-François HUMBERT – Directeur de recherche, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en microbiologie de l'eau dont cyanobactéries, écologie microbienne

M. Michel JOYEUX – Directeur recherche développement et qualité de l'eau, Docteur en médecine, Docteur en sciences – Compétences en toxicologie, évaluation de risques sanitaires, santé publique

Mme Colette LE BACLE – Retraitée, Docteur en médecine – Compétences en santé travail, microbiologie de l'eau

M. Benjamin LOPEZ – Chef de projet, Docteur en sciences – Compétences en hydrogéologie, ressources en eau, modélisation

M. Jacques-Noël MUDRY – Professeur honoraire d'hydrogéologie – Compétences en hydrogéologie, ressources en eaux, périmètres de protection des captages, expérience terrain

M. Daniel PERDIZ – Maître de conférences, Pharmacien toxicologue – Compétences en toxicologie, génotoxicité, perturbateurs endocriniens dans l'eau

Mme Fabienne PETIT – Enseignant chercheur, Professeur – Compétences en écologie microbienne

M. Mohamed SAKAKHA – Professeur – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau, photochimie, oxydation avancée, chimie réactionnelle de l'eau

Mme Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT – Professeur – Compétences en santé publique et environnement, épidémiologie, évaluation de risques sanitaires

Mme Michèle TREMBLAY – Docteur en médecine spécialiste en santé communautaire / Médecin conseil en santé au travail et en maladies infectieuses – Compétences en santé travail, microbiologie de l'eau

Mme Michèle VIALETTE – Chef de service, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en microbiologie de l'eau dont virologie

Mme Bénédicte WELTE – Directrice adjointe de recherche du développement et de la qualité de l'eau, Docteur en sciences – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau (tous procédés, filières de traitement)

■ CES « Eaux » – 2011 - 2013

Président

M. Yves LÉVI – Professeur de santé publique et environnement – Compétences en santé publique, polluants émergents, évaluation de risques sanitaires, écologie microbienne

Membres

M. Yves ANDRÈS – Responsable d'équipe – Compétences en génie des procédés, réutilisation des eaux grises, qualité des eaux usées et des eaux grises, traitement des eaux grises. M. Jean-Luc BOUDENNE – Professeur – Compétences en métrologie des eaux, chimie et qualité des eaux

Mme Corinne CABASSUD – Professeure – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau dont membranes, chimie de l'eau

M. Jean CARRÉ – Professeur honoraire – Compétences en hydrogéologie, ressources en eau, périmètres de protection des captages et expérience terrain

Mme Catherine CHUBILLEAU – Praticien hospitalier, Docteur en pharmacie, Docteur en sciences – Compétences en épidémiologie, microbiologie de l'eau M. Olivier CORREC – Ingénieur de recherche, Docteur en sciences – Compétences en matériaux au contact de l'eau, réseaux intérieurs

M. Christophe DAGOT – Directeur adjoint, Professeur – Compétences en assainissement, utilisation de ressources en eau alternatives

Mme Sylvie DUBROU – Directeur de laboratoire, Docteur en pharmacie – Compétences en microbiologie de l'eau

M. Alain HÉDUIT – Directeur de recherche, animateur du thème de recherche EPURE – Compétences en réutilisation des eaux usées, qualité des rejets, traitement des eaux usées, boues activées

M. Jean-François HUMBERT – Directeur de recherche, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en microbiologie de l'eau dont cyanobactéries, écologie microbienne

M. Michel JOYEUX – Directeur recherche développement et qualité de l'eau, Docteur en médecine, Docteur en sciences – Compétences en toxicologie, évaluation de risques sanitaires, santé publique

Mme Colette LE BACLE – Docteur en médecine – Compétences en santé travail, microbiologie de l'eau

M. Pierre LE CANN – Professeur – Compétences en microbiologie des eaux marines, techniques analytiques de virus entériques et mycologie

Mme Laurence MATHIEU – Maître de Conférences, Docteur en sciences – Compétences en microbiologie, biofilm, aérosol, légionnelles

M. Patrick MAZELLIER – Professeur – Compétences en traitement EDCH, constituants et contaminants des eaux, qualité des ressources, substances émergentes

M. Jacques-Noël MUDRY – Professeur honoraire d'hydrogéologie – Compétences en hydrogéologie, ressources en eaux, périmètres de protection des captages, expérience terrain

M. Maxime PONTIÉ – Professeur – Compétences en chimie de l'eau, traitement EDCH et aquaculture, biofilm, génie des procédés, dessalement, membranes

Mme Anne-Marie POURCHER – Directeur de recherche – Compétences en microbiologie eau, traitement biologique des déchets et des effluents, biomathématiques, indicateurs de contamination fécale, bactériologie

M. Robert TARDIF – Professeur – Compétences en toxicologie, ERS, piscines, santé environnement, nanoparticules, toxines, risques professionnels, PBPK

Mme Michèle TREMBLAY – Docteur en médecine spécialiste en santé communautaire, Médecin conseil en santé au travail et en maladies infectieuses – Compétences en santé travail, microbiologie de l'eau

Mme Bénédicte WELTE – Directrice adjointe de recherche du développement et de la qualité de l'eau, Docteur en sciences – Compétences en produits et procédés de traitement de l'eau (tous procédés, filières de traitement)

Etaient rapporteurs pour le CES « Eaux »

Mme Sophie AYRAULT – Chef d'équipe, Docteur habilité à diriger des recherches – Compétences en chimie de l'eau dont chimie minérale

M. Michel JOYEUX – Directeur recherche développement et qualité de l'eau, Docteur en médecine, Docteur en sciences – Compétences en toxicologie, évaluation de risques sanitaires, santé publique

Mme Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT – Professeur – Compétences en santé publique et environnement, épidémiologie, évaluation de risques sanitaires

- CES « Produits phytopharmaceutiques : Substances et préparations chimiques » – 2013-2015

Président

M. Eric THYBAUD – Responsable de pôle, Docteur en écotoxicologie – Compétences en Ecotoxicologie, Impact sur les écosystèmes, Evaluation des risques, Abeille, Perturbateurs endocriniens

Membres

M. Philippe BERNY – Chef d'unité Pédagogique Vétérinaire, Professeur de Toxicologie – Compétences en toxicologie, toxicovigilance, écotoxicologie

Mme Marie-France CORIO-COSTET – Directeur de recherche, Docteur en sciences de l'université de Strasbourg – Compétences en efficacité, fongicides, résistance, mode d'action, SDN, vigne

M. Robert DELORME – Retraité – Compétences en efficacité, insecticides, résistance

M. Marc GALLIEN – Conseiller en prévention, chargé de mission – Compétences en application des produits phytosanitaires, équipement d'application, protection des agriculteurs, prévention

M. Christian GAUVRIT – Retraité – Compétences en efficacité, herbicides, adjuvants, mode d'action

Mme Florence GERAULT – Expert résidus, Ingénieur en chef des ponts, des eaux et des forêts – Compétences en produits phytosanitaires, résidus, méthodes d'analyse, risque consommateur, documents guides

Mme Sonia GRIMBUHLER – Chercheur, Docteur de biologie, chimie environnementale – Compétences en exposition, pratiques agricoles, évaluation des risques, méthodologie, métrologie

M. Frederic HOMMET – Chef de l'unité Polluants Organiques et Pesticides – Compétences en méthode d'analyse, analyse résidus de pesticides

M. François LAURENT – Docteur d'Etat en sciences pharmaceutiques – Compétences en recherche, pesticides, métabolisme plantes, transfert

Mme Laure MAMY – Ingénieur de recherche – Compétences en pesticides, environnement, absorption, dégradation, modélisation

M. Rémi MAXIMILIEN – Directeur de recherche, Médecin toxicologue – Compétences en cancérologie, toxicologie, évaluation des risques, classification

M. Guy MILHAUD – Professeur honoraire de l'ENVA, Retraité – Compétences en toxicologie, exposition, évaluation des risques

Mme Jeanne STADLER – Retraité – Compétences en toxicologie, évaluation des risques, reprotoxicité, réglementation

Mme Annick VENANT – Responsable unité physico-chimie, Docteur es sciences – Compétences en chimie, physico-chimie, métrologie, réglementation, classification

■ CES « Produits phytopharmaceutiques : Substances et préparations chimiques » – 2009-2012

Président

M. Eric THYBAUD – Responsable de pôle, Docteur en écotoxicologie – Compétences en Ecotoxicologie, Impact sur les écosystèmes, Evaluation des risques, Abeille, Perturbateurs endocriniens

Membres

Mme Sandrine ANDRES – Coordinatrice de l'activité « biocides » – Compétences en Ecotoxicologie aquatique et terrestre, risque environnementaux

M. Gilbert CHAUVEL – Expert national DGAL, Ingénieur des ponts, des eaux et forêts – Compétences en Pratiques agricoles, efficacité, zones non agricoles

Mme Geneviève ARZUL – Retraité – Compétences en Exotoxicologie aquatique, phytoplancton

M. Robert DELORME – Retraité – Compétences en efficacité, insecticides, résistance

M. Christian GAUVRIT – Retraité – Compétences en efficacité, herbicides, adjuvants, mode d'action

Mme Florence GERAULT – Expert résidus, Ingénieur en chef des ponts, des eaux et des forêts – Compétences en produits phytosanitaires, résidus, méthodes d'analyse, risque consommateur, documents guides

M. Michel LAURENTIE – Directeur de recherche – Compétences en Chimométrie, méthodes analytiques, modélisation toxicité

M. Jean-Claude MALET – Expert National Expérimentation et Usages mineurs – Compétences en Efficacité, Résidus, usage mineur, pratiques culturelles

Mme Laure MAMY – Ingénieur de recherche – Compétences en pesticides, environnement, absorption, dégradation, modélisation

M. Olivier MASTAIN – Responsable du réseau SAGIR – Compétences en Ecotoxicologie vertébrés terrestres, faune sauvage, toxicovigilance

M. Rémi MAXIMILIEN – Directeur de recherche, Médecin toxicologue – Compétences en cancérologie, toxicologie, évaluation des risques, classification

M. Guy MILHAUD – Professeur honoraire de l'ENVA, Retraité – Compétences en toxicologie, exposition, évaluation des risques

M. Fabrice NESSLANY – Directeur de laboratoire – Compétences en toxicologie

M. Jean ROGER-ESTRADE – Professeur d'Agronomie – Compétences en fertilisants, grandes cultures, pratiques agricoles, hydrologie du sol, modélisation du transfert des solutés

Mme Jeanne STADLER – Retraité – Compétences en toxicologie, évaluation des risques, reprotoxicité, réglementation

M. Jacques TULLIEZ – Retraité – Compétences en Métabolisme, chimie analytique, résidus, toxicologie

■ CES « Additifs, Arômes et Auxiliaires technologiques » – 2009 - 2012

Président

M. François ARSAC – Retraité – Compétences en toxicologie générale et sur les lignes directrices OCDE

Membres

M. Claude ATGIE – Professeur des universités – Compétences en toxicologie alimentaire et sur les additifs et auxiliaires technologiques

M. Jacques BELEGAUD – Professeur des universités honoraire – Compétences en toxicologie

M. Luc FILLAUDEAU – Chargé de recherche – Compétences sur le traitement thermique

M. Claude GENOT – Directeur de recherche – Compétences en chimie, oxydation, multiplication des protéines, et sur les lipides

Mme Françoise GUERAUD – Chargée de recherche – Compétences en oxydation lipidique et chimie

Mme Florence LACOSTE – Responsable d'équipe analyse – Compétences en analyse des huiles et sur les corps gras et les contaminants organiques

M. Michel LAURENTIE – Chef d'unité – Compétences en méthodologie analytique, biostatistique, toxicocinétique, chimie des aliments, toxicologie

Mme Françoise LOHEZIC-LE-DEVEHAT – Maître de conférences – Compétences en métabolites issus des plantes

M. Jean-Michel MAIXENT – Directeur adjoint du pôle Formation Professionnelle Biologie-Santé – Compétences en toxicologie générale, Essais industriels, physico chimie, Novel food

Mme Carole PROST – Responsable de laboratoire – Compétences en analyses sensorielles, allergies liées aux aliments, ERS et sur les additifs

M. François ZUBER – Directeur scientifique – Compétences en transformation des produits alimentaires

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique et opérationnelle de l'étude, du rapport, et en lien avec le GT « Etude de l'Alimentation Totale infantile »

Mme Marion HULIN – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses

Mme Véronique SIROT – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses

M. Alexandre NOUGADERE – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses (volet pesticides)

Coordination scientifique de l'évaluation des risques en lien avec le CES « Evaluation des risques physico-chimiques dans les aliments » et coordination scientifique de la synthèse et de l'avis

M. Gilles RIVIERE – Adjoint au chef d'unité – Anses

M. Julien JEAN – Coordinateur d'expertise scientifique - Anses

M. Sébastien GORECKI – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses

Mme Géraldine CARNE – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses

Coordination scientifique de l'évaluation des risques en lien avec le CES « Eaux »

Mme Morgane BACHELOT – Coordinateur d'expertise scientifique - Anses

Coordination scientifique de l'évaluation des risques en lien avec le CES « Nutrition Humaine »

Mme Marie-Caroline de BOURRAN – Coordinateur d'expertise scientifique - Anses

Mme Sandrine WETZLER – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses

Autre contribution scientifique*Direction de l'Evaluation des Risques*

M. Fernando AGUILAR – Coordinateur d'expertise – Anses

Mme Nathalie ARNICH – Adjoint au chef d'unité – Anses

Mme Nawel BEMRAH – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses

Mme Carole BESRET – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses

Mme Isabelle BITOUZET – Stagiaire – Anses

M. Sébastien DENYS – Chef d'unité - Anses

Mme Manon EGNELL – Stagiaire – Anses
Mme Françoise GAUCHARD – Adjoint au chef d'unité – Anses
Mme Charlotte GRASTILLEUR – Directrice adjointe Santé Alimentation – Anses
M. Dominique GOMBERT – Directeur de l'évaluation des risques – Anses
Mme Fanny HERAUD – Adjoint au chef d'unité – Anses
Mme Esther KALONJI - Adjoint au chef d'unité – Anses
Mme Bénédicte KIEHR - Coordinateur d'expertise scientifique – Anses
M. Jean-Charles LEBLANC - Chef de département - Anses
M. Stéphane LECONTE – Coordinateur d'expertise scientifique – Anses
Mme Aurélie MAHE – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses
Mme Irène MARGARITIS – Chef d'unité – Anses
Mme Mathilde MERLO – Chef d'unité – Anses
Mme Pascale PANETIER – Chef d'unité – Anses
Mme Diane PAUL – Coordinateur de dossiers – Anses
M. Moez SAANA – Chef d'unité – Anses
M. Thiéma TRAORE – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses
Mme Karine VIN – Coordinateur d'études et d'appui scientifique – Anses
M. Jean-Luc VOLATIER – Adjoint au directeur de l'évaluation des risques – Anses

Direction de l'Evaluation des Produits Réglementés

Mme Françoise BOUNEB – Adjointe au chef d'unité – Anses
Mme Elise BRACQ – Coordinateur de dossiers – Anses
Mme Adeline CAVELIER – Coordinateur de dossiers – Anses
M. Antony FASTIER – Chef d'unité – Anses
Mme Nina LE DREAU – Coordinateur de dossiers – Anses
Mme Marie LUCIOT – Coordinateur de dossiers – Anses
M. Thierry MERCIER – Adjoint à la directrice des produits réglementés
Mme Alexandra MIENNE – Coordinateur de dossiers – Anses
M. Xavier SARDA – Chef d'unité – Anses
M. Eric TRUCHOT – Chef d'unité – Anses
Mme Gaëlle VIAL – Coordinateur de dossiers – Anses

Secrétariat administratif

M. Régis MOLINET – Assistant – Anses
Mme Angélique LAURENT – Assistante – Anses

CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

Réalisation de l'échantillonnage alimentaire de l'étude : ADIV (interlocuteur : Valérie SCISLOWSKI – Responsable de Pôle)

Données sur la contamination des échantillons alimentaires (hors eau) pour les éléments traces métalliques et minéraux et les composés néoformés (acrylamide et furane): Laboratoire de Sécurité des Aliments de l'Anses (interlocuteurs : M. Thierry GUERIN – Chef du département contaminants chimiques des aliments, M. Laurent NOEL – Chef de l'unité Eléments traces métalliques et minéraux (ET2M), M. Frédéric HOMMET – Chef de l'unité pesticides et biotoxines marines (PBM), Mme Chanthadary INTHAVONG – Adjoint au chef d'unité (PBM), Mme Marine LAMBERT – Chargée de projet (PBM), Mme Emilie CHEVALIER, Chargée de projet (ET2M), Christian TESTU – Chargée de projet (ET2M), Claude CHAFEY – Chargée de projet (ET2M) Mme Rachida CHEKRI – Chargée de projet (ET2M), Mme Julie ZINCK – Chargée de projet (ET2M))

Données sur la contamination des échantillons alimentaires pour les polluants organiques persistants, les hydrocarbures aromatiques polycyclique, les phytoestrogènes et les stéroïdes naturels : Laboratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments (interlocuteurs : M. Bruno LE BIZEC – Responsable du Laboratoire, M. Philippe MARCHAND – Responsable de l'unité Contaminants, M. Bruno VEYRAND, M. Vincent VACCHER et Mme Anaïs VENISSEAU – Responsables adjoints de l'unité Contaminants)

Données sur la contamination des échantillons alimentaires (hors eau) pour les substances issues des Matériaux au Contact des Denrées Alimentaires et des additifs : Service Commun des Laboratoires de la DGCCRF et de la DGDDI (interlocuteurs : Mme Hélène GAYON – Direction du SCL, M. Patrick ROLLET – Ingénieur au SCL de Lyon, M. Fabrice ARELLA – Ingénieur au SCL de Strasbourg, M. Ronan JAOUANNET – Ingénieur au SCL de Bordeaux, Mme Eveline PERROT – Ingénieur au SCL de Bordeaux, Mme Carole LAGREZE – Ingénieur au SCL de Bordeaux, M. Rodolphe ROBIN – Ingénieur au SCL de Bordeaux)

Données sur la contamination les échantillons alimentaires pour les substances issues des Matériaux au Contact des Denrées Alimentaires (eaux) : Laboratoire d'Hydrologie de Nancy (interlocuteurs : M. Jean-François MUNOZ – Responsable du laboratoire, M. Xavier DAUCHY – Responsable de l'unité Chimie des eaux, M. Christophe ROSIN – Responsable adjoint de l'unité Chimie des eaux, Mme Cristina BACH – Doctorante, Mme Adeline COLIN – Technicienne)

Données sur la contamination les échantillons alimentaires pour les mycotoxines : Laboratoire Qualtech (interlocuteur : Mme Hélène CHARON – Responsable du laboratoire de sécurité alimentaire)

Données sur la contamination les échantillons d'eaux embouteillées pour les résidus de pesticides: La Drôme laboratoire (interlocuteurs : Mme Floraine QUEIROGA – Responsable Recherche et Développement, M. Félix MASSAT – Directeur adjoint chimie)

Données sur la contamination les échantillons de préparations infantiles, laits de croissance et aliments courants pour les résidus de pesticides : Inovalys (ex- Laboratoire Départemental de la Sarthe, Le Mans) (interlocuteurs : M. Jean-Marie BERTHION – Responsable du laboratoire chimie, Mme Renwei HU – Responsable Recherche et Développement chimie)

Données sur la contamination les autres échantillons d'aliments infantiles pour les résidus de pesticides : Food and Environment Research Agency (interlocuteurs : M. Richard FUSSELL et Mr. Mike HETMANSKI)

SOMMAIRE

1	Elements traces métalliques et minéraux.....	38
1.1	Aluminium.....	38
1.2	Antimoine.....	47
1.3	Argent.....	54
1.4	Arsenic.....	57
1.5	Baryum.....	69
1.6	Cadmium.....	77
1.7	Chrome.....	87
1.8	Cobalt.....	100
1.9	Cuivre.....	109
1.10	Etain.....	119
1.11	Gallium.....	127
1.12	Germanium.....	134
1.13	Mercure.....	138
1.14	Nickel.....	145
1.15	Plomb.....	153
1.16	Sélénium.....	163
1.17	Strontium.....	173
1.18	Tellure.....	181
1.19	Vanadium.....	185
2	Minéraux.....	198
2.1	Calcium.....	198
2.2	Fer.....	208
2.3	Lithium.....	218
2.4	Magnésium.....	227
2.5	Manganèse.....	236
2.6	Molybdène.....	245
2.7	Potassium.....	254
2.8	Sodium.....	263
2.9	Zinc.....	272
2.10	Synthèse des résultats relatifs aux minéraux.....	281
3	BIBLIOGRAPHIE.....	283

Sigles et abréviations

15-Ac-DON :	15-acétyldésoxynivalénol
3-Ac-DON :	3-acétyldésoxynivalénol
3-MPPA :	3-méthyl-phosphinico-propionique
3-OH-THPI :	3-hydroxy-tétrahydrophthalimide
4- HBP :	4-hydroxybenzophénone
4-MBP :	4-méthylbenzophénone
5-OH-THPI :	5-hydroxy-tétrahydrophthalimide
ABS :	Acrylonitrile-butadiène-styrène
ADN :	Acide désoxyribonucléique
AF :	Aflatoxine
AFSSA :	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFSSET :	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
Ah/AhR :	Aryl d'hydrocarbure/Récepteur d'aryl d'hydrocarbure
AI :	Adequate Intake
AJE :	Apport journalier estimé
AJMT :	Apport journalier maximal théorique
ALT :	Altenuene
AME :	Monométhyl ether d'alternariol
AMPA :	Acide aminométhyl phosphonique
ANC :	Apport nutritionnel conseillé
ANSES :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOH :	Alternariol
AP :	Alkylphénols
APEO :	Alkylphénols époxydés
AP-HP :	Assistance Publique - Hôpitaux de Paris
AS :	Apports satisfaisants
ATP :	Adénosine Tri Phosphate
ATSDR :	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
ATX :	Alterotoxines
BADGE :	Ether diglycidyle de bisphénol A ou éther bis (2,3-époxypropylénique) du 2,2 bis (4-hydroxyphényl)propane
BaP :	Benzo(a)pyrène
BBP :	Butyl benzyl phtalate
BDA :	Cis-2-butène-1,4-dial, métabolite du furane
BMD :	Benchmark dose
BMDL :	Benchmark dose limit
BNM :	Besoin nutritionnel moyen
BPA :	Bisphénol A
BPZ :	4-benzoylbiphényl
CAG :	Groupes d'évaluation cumulée (Cumulative Assessment Group)
CEF :	Groupe scientifique de l'EFSA sur les matériaux en contact avec les aliments, les enzymes, les arômes et les auxiliaires technologiques
CES :	Comité d'Experts Spécialisé
CPSC :	Commission de sécurité des produits de consommation (Consumer

	Product Safety Commission)
CV :	Coefficient de variation
DAP :	Phtalate de diallyle
DAS :	Diacétoxyscirpénol
DCHP :	Dicyclohexyl phtalate
DDE :	Dichlorodiphényldichloroéthylène
DDT :	Dichlorodiphényltrichloroéthane
DEHP :	Di-(2-ethylhexyl) phtalate
DEP :	Diethyl phtalate
DGAL :	Direction générale de l'alimentation
DGCCRF :	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DGS :	Direction générale de la santé
DG-Sanco :	Direction générale santé et sécurité alimentaire
DHI :	Danish Hydrolics Institute
DHT :	Dose hebdomadaire tolérable
DHTP :	Dose hebdomadaire tolérable provisoire
DIBP :	Diisobutyl phtalate
DIDP :	Diisodecyl phtalate
DINP :	Diisononyl phtalate
DJA :	Dose journalière admissible
DJMPT :	Dose journalière maximale tolérable provisoire
DJMT :	Dose journalière maximale tolérable
DJT :	Dose journalière tolérable
DJTP :	Dose journalière tolérable provisoire
DJTt :	Dose journalière tolérable temporaire
DMENO :	Dose minimale avec effet néfaste observé (LOAEL)
DMSEO :	Dose minimale sans effet observé (LOEL)
DMTC :	Dose maximale tolérable de consommation
DMTP :	Dose mensuelle tolérable provisoire
DnBP :	Di-n-butyl phtalate
DnOP :	Di-n-octyl phtalate
DON :	Désoxynivalénol
DSENO :	Dose sans effet néfaste observé (NOAEL)
DSEO :	Dose sans effet observé (NOEL)
DVS :	Dose virtuellement sûre
EAT :	Etude de l'alimentation totale
EATi :	Etude de l'alimentation totale infantile
ECB :	European Chemicals Bureau
EDCH :	Eaux destinées à la consommation humaine
EFSA :	Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire (European Food Safety Authority)
EMN :	Eaux minérales naturelles
ENNS :	Etude Nationale Nutrition Santé
ERDO :	Espèces réactives dérivées de l'oxygène
ERS :	Evaluation des risques sanitaires
ERU :	Excès de risque unitaire
ETU :	Ethylène-thiourée

FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food Agency Organisation)
FB :	Fumonisine B
FC :	Facteur de conversion
FUsX :	Fusarénone
GNPD :	Global New Products Database
GT PE :	Groupe de travail Anses relatif aux perturbateurs endocriniens
HAP :	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HBCDD :	Hexabromocyclododécane
HCl :	Acide chlorhydrique
HED :	Dose équivalente chez l'homme (Human Equivalent Dose)
I3C :	Indole 3 carbinol
INRA :	Institut national de la recherche agronomique
INSERM :	Institut national de la santé et de la recherche médicale
IOM :	Institute of Medicine
ITX :	2- isopropylthioxanthone ou 2-(1-méthylethyl)-9h-thioxanthèn-9-one
JECFA :	Comité d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires
JMPR :	Réunions conjointes FAO/OMS sur les résidus de pesticides
LB :	Hypothèse basse (Lower Bound)
LHN :	Laboratoire d'hydrologie de Nancy
LMR :	Limite maximale de résidus
LMS :	Limite de migration spécifique
LMST :	Limite de migration spécifique totale
LOD :	Limite de détection
LOQ :	Limite de quantification
LR :	Limite de reporting
LS :	Limite de sécurité (Upper Limit)
LSS :	Limite supérieure de sécurité
MAS :	Monoacétoxyscirpénol
MCDA :	Matériaux au contact des denrées alimentaires
MOE :	Marge d'exposition (Margin of exposure)
MOS :	Marge de sécurité (Margin of safety)
MRL :	Minimum risk level
NAG :	N-acétyl-glufosinate
NCTR :	US National Center for Toxicological Research
NDA :	Scientific panel on dietetic products, nutrition and allergies (EFSA)
NEO :	Néosolaniol
NHMRC :	Australian National Health and Medical Research Council
NP :	Nonylphénols
NTP :	US National Toxicology Program
OMS :	Organisation mondiale de la santé (WHO : World Health Organization)
OPP :	2-Phénylphénol (orthophénylphénol)
OTA :	Ochratoxine A
P90 :	90ème centile
PBB :	Polybromobiphényles
PBDE :	Polybromodiphényléthers
PBO :	Pipéronyl butoxyde
PBP :	Pentabromophénols

PBPK :	Modèles pharmacocinétiques à base physiologique
PCB :	Polychlorobiphényles
PCB-DL :	PCB de type dioxine
PCB-NDL :	PCB de type non-dioxine
PCDD :	Polychlorodibenzo-p-dioxines
PCDF :	Polychlorodibenzo-furanes
PCN :	Polychloro-naphtalènes
PF :	Poids frais
PFAS :	Composés perfluoroalkylés
PFDoDA :	Acide perfluorododécanoïque
PFHpA :	Acide perfluoroheptanoïque
PFHxA :	Acide perfluorohexanoïque
PFNA :	Acide perfluorononanoïque
PFOA :	Acide perfluooctanoïque
PFOS :	Acide perfluorooctane sulfonique
PFTeDA :	Acide perfluorotetradécanoïque
PMCDD/F :	Dioxines et furanes halogénés et alkylés
POD :	Point de départ toxicologique (Point of departure)
POP :	Polluant organique persistant
PTU :	Propylène thiourée
PVC :	Polychlorure de vinyl
PXB :	Biphényles polyhalogénés
QMA :	Quantité maximale autorisée
REACH :	Règlement de l'Union Européenne sur l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des produits chimiques (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals)
RfD :	Dose de référence orale
RNP :	Référence Nutritionnelle pour la Population
RP :	Résidus de pesticides
RT :	Repère toxicologique
SCF :	Comité scientifique de l'alimentation de la Commission Européenne (Scientific Committee on Food)
TBBPA :	Tétrabromobisphénol A
TCDD :	2,3,7,8-Tétrachlorodibenzo- <i>para</i> -dioxine
TDS :	Total Diet Study
TeA :	Acide ténuazonique
TEF :	Facteur d'équivalent toxique
TEQ :	Quantité équivalente toxique
THPI :	Tétrahydroptalimide
TNPP :	Phosphite de trisnonylphényl
TR :	Taux de récupération
UB :	Hypothèse haute (upper bound)
US-EPA :	US Environmental Protection Agency
VNR :	Valeur nutritionnelle de référence
VR :	Valeur de référence
VTR :	Valeur toxicologique de référence
WoE :	Weight of evidence (méthodologie du poids de la preuve)
ZEA :	Zéaralénone

Liste des tableaux et figures

FICHE ALUMINIUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium	40
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium	41
Synthèse des résultats d'exposition (UB) à l'aluminium des enfants de moins de 3 ans	42
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'aluminium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	43
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	44
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'aluminium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	44
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'aluminium en fonction de la classe d'âge	45
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'aluminium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	46

FICHE ANTIMOINE

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'antimoine	48
Synthèse des résultats d'exposition (UB) à l'antimoine des enfants de moins de 3 ans	49
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'antimoine ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	50
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'antimoine ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	51
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'antimoine ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	51
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'antimoine en fonction de la classe d'âge	52
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'antimoine en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	53

FICHE ARGENT

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'argent ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	56
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'argent ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	56

FICHE ARSENIC

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic inorganique (hypothèse de spéciation moyenne).....	59
--	----

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic inorganique	61
Synthèse des résultats d'exposition à l'arsenic inorganique des enfants de moins de 3 ans (hypothèse de spéciation moyenne).....	61
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants pour l'arsenic ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi.....	63
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	64
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'arsenic ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	64
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'arsenic en fonction de la classe d'âge	65
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'arsenic en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	67

FICHE BARYUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au baryum	70
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans au baryum	71
Synthèse des résultats d'exposition (UB) au baryum des enfants de moins de 3 ans	72
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le baryum ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi.....	73
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au baryum ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	74
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au baryum ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	74
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au baryum en fonction de la classe d'âge	75
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au baryum en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	76

FICHE CADMIUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au cadmium.....	79
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au cadmium des enfants de moins de 3 ans.....	80
Synthèse des résultats d'exposition (UB) au cadmium des enfants de moins de 3 ans.....	81
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le cadmium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	83
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au cadmium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	84
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au cadmium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	84

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cadmium en fonction de la classe d'âge	85
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cadmium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	86

FICHE CHROME

Synthèses des hypothèses de spéciation du chrome :	89
Figure 1a : Exposition des enfants de moins de 3 ans au Cr(III)	90
Figure 1b : Exposition des enfants de moins de 3 ans au Cr(VI)	91
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au chrome total des enfants de moins de 3 ans	92
Synthèse des résultats d'exposition (UB) au Cr(III) des enfants de moins de 3 ans	93
Synthèse des résultats d'exposition (UB) au Cr(VI) des enfants de moins de 3 ans	94
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en chrome total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	95
Tableau E1 : Estimation de l'apport en Cr(III) des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g.j}^{-1}$) : population totale	96
Tableau E2 : Estimation de l'apport en Cr(III) des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) et les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g.j}^{-1}$)	96
Tableau E3 : Estimation de l'exposition au chrome des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale	97
Tableau E4 : Estimation de l'exposition au chrome des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	97
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au chrome total en fonction de la classe d'âge	98
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au chrome total en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés	99

FICHE COBALT

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au cobalt	102
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans au cobalt	103
Synthèse des résultats d'exposition au cobalt des enfants de moins de 3 ans	104
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le cobalt ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	105
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au cobalt ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale	106
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au cobalt ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	106
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cobalt en fonction de la classe d'âge	107
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cobalt en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	108

FICHE CUIVRE

Figure 1 : Apports des enfants de moins de 3 ans en cuivre	111
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen de cuivre des enfants de moins de 3 ans.....	112
Synthèse des résultats d'apports en cuivre des enfants de moins de 3 ans	113
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en cuivre (mg.kg^{-1} PF) – Résultats de l'EATi.....	113
Tableau E1 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale	115
Tableau E2 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1})	115
Tableau E3 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1})	115
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge	116
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	117
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	118

FICHE ETAIN

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'étain	121
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'étain ($\mu\text{g.kg}^{-1}$).....	123
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'étain ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	124
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'étain ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	124
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'étain en fonction de la classe d'âge	125
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'étain en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	126

FICHE GALLIUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au gallium	128
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le gallium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi.....	130
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au gallium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	131
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au gallium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	131
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au gallium en fonction de la classe d'âge	132

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au gallium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	133
---	-----

FICHE GERMANIUM

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le germanium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	136
--	-----

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au germanium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	137
--	-----

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au germanium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	137
--	-----

FICHE MERCURE

Synthèse des résultats d'exposition (LB-UB) au mercure des enfants de moins de 3 ans	141
--	-----

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le mercure ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	142
--	-----

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au mercure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	144
--	-----

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au mercure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	144
--	-----

FICHE NICKEL

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au nickel	147
---	-----

Synthèse des résultats d'exposition au nickel des enfants de moins de 3 ans	148
---	-----

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le nickel ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	149
---	-----

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au nickel ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	150
---	-----

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au nickel ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).....	150
---	-----

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au nickel en fonction de la classe d'âge	151
--	-----

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au nickel en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	152
--	-----

FICHE PLOMB

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au plomb.....	156
---	-----

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au plomb des enfants de moins de 3 ans.....	157
--	-----

Synthèse des résultats d'exposition (LB-UB) au plomb des enfants de moins de 3 ans.....	158
---	-----

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le plomb ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	159
--	-----

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au plomb ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	160
--	-----

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au plomb ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	160
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au plomb en fonction de la classe d'âge	161
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au plomb en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	162

FICHE SELENIUM

Figure 1 : Apports en sélénium des enfants de moins de 3 ans	165
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en sélénium des enfants de moins de 3 ans.....	166
Synthèse des résultats d'apports en sélénium des enfants de moins de 3 ans	167
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en sélénium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi.....	168
Tableau E1 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g.j}^{-1}$) : population totale	169
Tableau E2 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\mu\text{g.j}^{-1}$).....	169
Tableau E3 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g.j}^{-1}$).....	169
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge	170
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	171
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	172

FICHE STRONTIUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au strontium.....	174
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au strontium des enfants de moins de 3 ans.....	175
Synthèse des résultats d'exposition au strontium des enfants de moins de 3 ans	176
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le strontium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	177
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au strontium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	178
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au strontium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	178
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au strontium en fonction de la classe d'âge	179
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au strontium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	180

FICHE TELLURE

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le tellure (mg.kg^{-1}) – Résultats de l'EATi	183
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au tellure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	184
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au tellure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	184

FICHE VANADIUM

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au vanadium.....	187
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au vanadium des enfants de moins de 3 ans.....	188
Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le vanadium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi	189
Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au vanadium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale.....	190
Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au vanadium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)	190
Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au vanadium en fonction de la classe d'âge	191
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au vanadium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés	192

FICHE CALCIUM

Figure 1 : Apports en calcium des enfants de moins de 3 ans	200
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en calcium des enfants de moins de 3 ans.....	201
Synthèse des résultats d'apports en calcium des enfants de moins de 3 ans.....	202
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en calcium (mg.kg^{-1} PF) – Résultats de l'EATi.....	203
Tableau E1 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale	204
Tableau E2 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1}).....	204
Tableau E3 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1}).....	204
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge	205
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	206
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	207

FICHE FER

Figure 1 : Apports en fer des enfants de moins de 3 ans	210
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en fer des enfants de moins de 3 ans	211
Synthèse des résultats d'apports en fer des enfants de moins de 3 ans	212
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en fer (mg.kg ⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi	212
Tableau E1 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans (mg.j ⁻¹) : population totale	214
Tableau E2 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j ⁻¹)	214
Tableau E3 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j ⁻¹)	214
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge .	215
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles	216
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés	217

FICHE LITHIUM

Figure 1 : Apports en lithium des enfants de moins de 3 ans	219
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en lithium des enfants de moins de 3 ans	220
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en lithium (µg.kg ⁻¹ PF)	222
Tableau E1 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans (µg.j ⁻¹) : population totale	223
Tableau E2 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (µg.j ⁻¹)	223
Tableau E3 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (µg.j ⁻¹)	223
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge	224
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles	225
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés	226

FICHE MAGNESIUM

Figure 1 : Apports en magnésium des enfants de moins de 3 ans	228
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en magnésium des enfants de moins de 3 ans	229
Synthèse des résultats d'apports en magnésium des enfants de moins de 3 ans	230

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en magnésium (mg.kg^{-1} PF) – Résultats de l'EATi.....	231
Tableau E1 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale	231
Tableau E2 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1}).....	232
Tableau E3 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1}).....	232
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge	233
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	234
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	235

FICHE MANGANESE

Figure 1 : Apports en manganèse des enfants de moins de 3 ans.....	237
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en manganèse des enfants de moins de 3 ans.....	238
Synthèse des résultats d'apports en manganèse des enfants de moins de 3 ans	239
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en manganèse (mg kg^{-1} PF) – Résultats de l'EATi.....	240
Tableau E1 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale	241
Tableau E2 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1}).....	241
Tableau E3 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1}).....	241
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge	242
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	243
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	244

FICHE MOLYBDENE

Figure 1 : Apports en molybdène des enfants de moins de 3 ans	246
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en molybdène des enfants de moins de 3 ans.....	247
Synthèse des résultats d'apports en molybdène des enfants de moins de 3 ans	248
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en molybdène ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi.....	249

Tableau E1 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale	250
Tableau E2 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)	250
Tableau E3 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)	250
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge	251
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles	252
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés	253

FICHE POTASSIUM

Figure 1 : Apports en potassium des enfants de moins de 3 ans	255
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en potassium des enfants de moins de 3 ans	256
Synthèse des résultats d'apports en potassium des enfants de moins de 3 ans	257
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en potassium ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi	258
Tableau E1 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale	259
Tableau E2 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)	259
Tableau E3 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)	259
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge	260
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles	261
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés	262

FICHE SODIUM

Figure 1 : Apports en sodium des enfants de moins de 3 ans	264
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en sodium des enfants de moins de 3 ans	265
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en sodium ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi	267
Tableau E1 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale	268
Tableau E2 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)	268

Tableau E3 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j ⁻¹).....	268
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge	269
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	270
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	271

FICHE ZINC

Figure 1 : Apports en zinc des enfants de moins de 3 ans	273
Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en zinc des enfants de moins de 3 ans.....	274
Synthèse des résultats d'apports en zinc des enfants de moins de 3 ans	275
Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en zinc (mg.kg ⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi	276
Tableau E1 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans (mg.j ⁻¹) : population totale	277
Tableau E2 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j ⁻¹)	277
Tableau E3 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j ⁻¹)	277
Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge.....	278
Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles.....	279
Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés.....	280

SYNTHESE MINERAUX

Résultats synthétiques des évaluations des risques nutritionnels	282
--	-----

1 Elements traces métalliques et minéraux

1.1 Aluminium

L'aluminium (Al) est l'élément métallique le plus abondant de la croûte terrestre (8 %). Du fait de ses propriétés physico-chimiques (basse densité, malléabilité, résistance à la corrosion, etc.), il est utilisé dans de nombreux domaines industriels (agro-alimentaire, pharmaceutique, bâtiment, etc.) et pour le traitement des eaux d'alimentation. L'aluminium peut aussi migrer de certains emballages et ustensiles vers les denrées alimentaires (Conseil de l'Europe 2014). Il est présent dans les aliments et l'eau sous différentes formes chimiques qui déterminent sa biodisponibilité et sa toxicité. Toutefois, l'analyse de ces différentes formes chimiques dans les aliments est complexe, c'est pourquoi l'aluminium total est mesuré dans les aliments. L'alimentation est la source principale d'exposition de la population générale (ATSDR 2008).

Caractérisation du danger

Les effets toxiques de l'aluminium relèvent principalement d'un processus inflammatoire qui conduit à une atteinte du système nerveux central, du système immunitaire, et du tissu osseux. Chez l'Homme, des effets neurotoxiques ont été observés chez des sujets exposés à de fortes quantités d'aluminium à partir de liquides de dialyse contaminés ou professionnellement par inhalation.

L'absorption digestive de l'aluminium est faible et dépend de la forme chimique sous laquelle l'aluminium se retrouve dans le système digestif (généralement de 0,1 à 0,4 % et jusque 0,5-5% pour certaines formes comme le citrate d'aluminium) (ATSDR 2008). L'aluminium est capable de traverser la barrière placentaire pour atteindre le fœtus et ses centres nerveux. Les nouveaux nés peuvent également être exposés à l'aluminium *via* l'allaitement maternel (JECFA 2011a).

En 2006, le JECFA a établi une DHTP de 1 mg kg pc^{-1} sur la base d'une toxicité développementale observée chez des jeunes souris après exposition intra-utérine puis *via* l'allaitement au lactate d'aluminium ou au chlorure d'aluminium. Cette DHTP a été fixée à partir d'une DMENO de $50 \text{ mg Kg pc}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ et d'un facteur de sécurité de 300 afin de tenir compte des différences inter et intra-espèces et de l'incertitude liée à l'utilisation d'une DMENO (JECFA 2006). Cette DHTP s'applique à tous les composés d'aluminium présents dans les aliments. Elle a été confirmée par l'EFSA en 2008 (EFSA 2008) avec l'utilisation d'une DMENO minimum de $50 \text{ mg kg pc}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ et un facteur de sécurité de 300, moyennée avec une DSENO minimum de $10 \text{ mg kg pc}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, pour l'atteinte du Système Nerveux Central (SNC) avec un facteur de sécurité de 100.

En 2011, le JECFA a réévalué la DHTP sur la base d'une étude plus récente sur 2 générations et a proposé la valeur de 2 mg.kg pc^{-1} , en s'appuyant sur une toxicité de type neurologique et comportementale observée chez des jeunes rats exposés *in utero* et jusqu'au sevrage à du citrate d'aluminium, plus soluble que les autres produits utilisés dans les études antérieures (lactate d'aluminium ou chlorure d'aluminium). La DHTP a été fixée à partir d'une DSENO de $30 \text{ mg.kg pc}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ et d'un facteur de sécurité de 100 afin de tenir compte des variabilités inter-espèce et intra-espèce. Cette DHTP s'applique également à tous les composés d'aluminium présents dans les aliments (JECFA 2011a). Depuis, l'EFSA n'a pas réévalué la DHTP de 1 mg kg pc^{-1} qu'elle avait proposée et s'est récemment basée

sur cette valeur pour évaluer l'exposition des populations aux additifs alimentaires contenant de l'aluminium (EFSA 2013e).

Une expertise exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, du fait de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, la DHTP de 1 mg kg pc⁻¹, plus protectrice, est retenue et appliquée dans le cadre de l'évaluation des risques liés à l'alimentation chez les enfants de moins de 3 ans.

Contamination

La LOD est de 0,042 mg.kg⁻¹ et la LOQ de 0,083 mg.kg⁻¹, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de 0,010 mg.L⁻¹. Le taux de détection global de l'aluminium est de 94% (hors eau du robinet). Il est de 100% pour la plupart des groupes d'aliments, mais il peut être nul pour certains aliments (beurre, œufs).

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres de céréales (10 mg.kg⁻¹), puis dans les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés (5,95 mg.kg⁻¹), les viennoiseries (4,3 mg.kg⁻¹) et les fromages (4,22 mg.kg⁻¹). Les concentrations individuelles les plus élevées sont retrouvées dans un échantillon d'épinards (11 mg.kg⁻¹) et divers échantillons de produits contenant du chocolat (biscuits, céréales infantiles, desserts, avec des concentrations comprises entre 10 et 33 mg.kg⁻¹).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

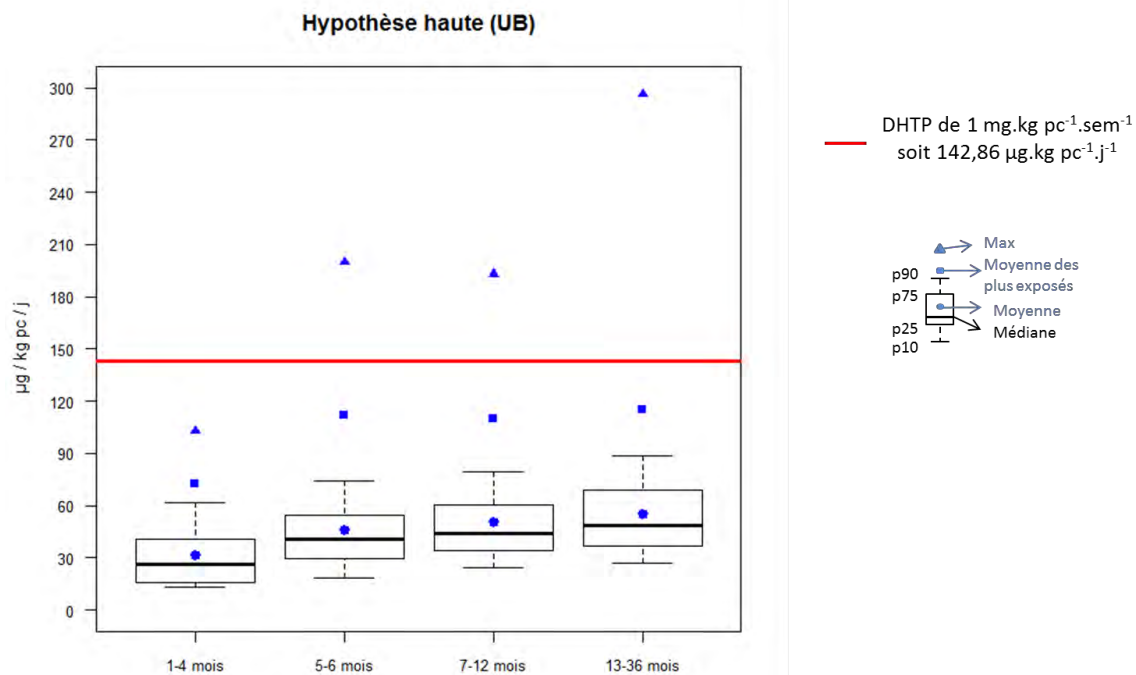
Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière en UB est comprise entre 31,5 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 1-4 mois et 55,1 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Le P90 se situe entre 62,1 et 88,6 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ selon la classe d'âge retenue.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 72,5 et 115 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹.

On observe qu'un enfant (parmi les 13-36 mois) est très fortement exposé à l'aluminium (296 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ en UB). Il s'agit d'un enfant ayant consommé au cours des 3 jours d'enquête une quantité importante de biscuits chocolatés (240 g.j⁻¹), la catégorie d'aliments présentant la teneur moyenne la plus élevée.



UB : Hypothèse haute (upper bound)
DHTP : Dose hebdomadaire tolérable provisoire

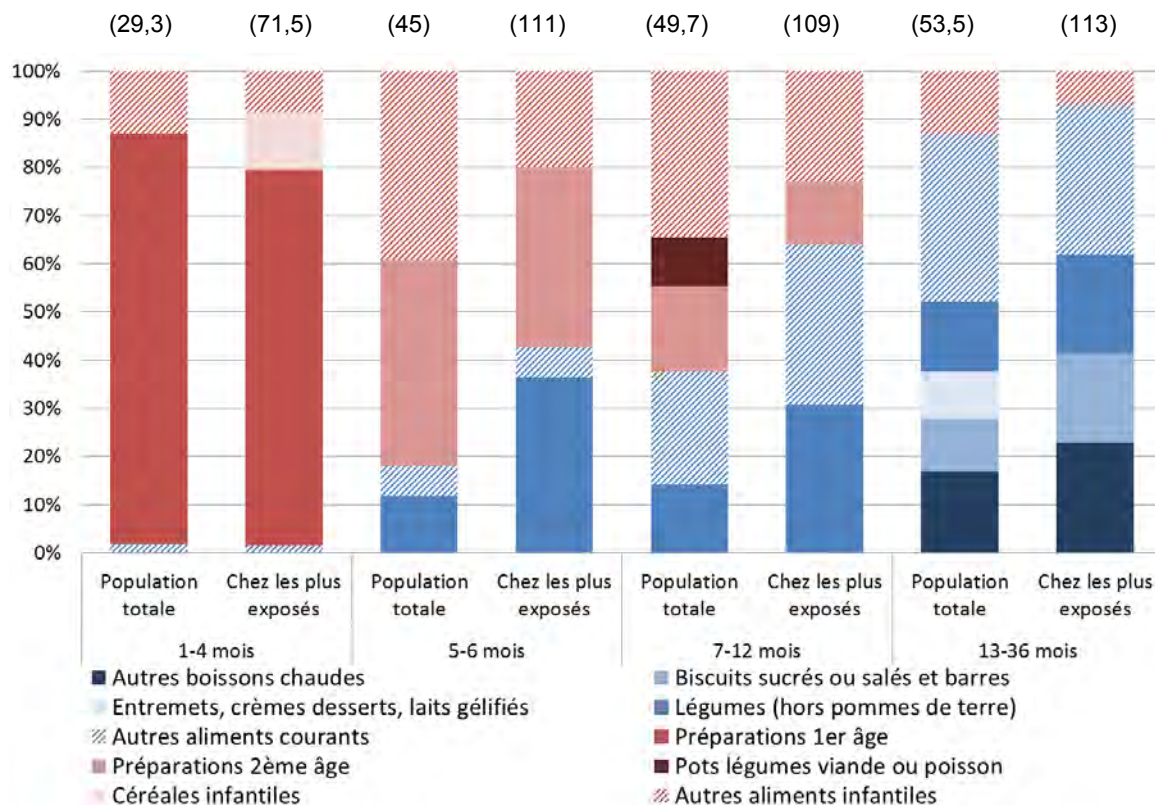
Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois, les préparations infantiles 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon importante à l'exposition (85% pour les 1-4 mois (préparation 1^{er} âge), puis 43 et 18% pour les 5-6 et 7-12 mois (préparations 2^{ème} âge). Les légumes contribuent également dès 5 mois (12%, puis 14% à partir de 7 mois). Les pots légumes-viande ou légumes-poisson contribuent à 10% de l'exposition chez les 7-12 mois. Enfin chez les 13-36 mois, les aliments courants apparaissent comme contributeurs majeurs à l'exposition : boissons chaudes (17%), légumes (15%), biscuits (11%) et entremets et crèmes desserts (10%).

Chez les plus exposés, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés mais on observe cependant une part plus importante, à partir de 5 mois, des aliments courants dont les légumes. En revanche, les pots légumes-viande et légumes-poisson ne sont plus contributeurs majeurs chez les 7-12 mois.

(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium

Comparaison avec les données de la littérature

Les expositions des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 (Anses 2011a) s'élèvent à 91 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en moyenne (P95 = 146 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$), ce qui est un peu plus élevé que chez les 13-36 mois de la présente étude. Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques (Rose et al. 2010), l'exposition moyenne des enfants de 1,5 à 4,5 ans à l'aluminium était estimée à 187 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, ce qui est plus élevé que l'exposition des 13-36 mois de la présente étude, ainsi que des résultats de l'EAT2 chez les 3-6 ans. Ceci pourrait s'expliquer par des contaminations plus élevées de groupes d'aliments assez consommés (produits céréaliers, fruits, légumes notamment).

Evaluation du risque

Chez les 5-36 mois, il existe des dépassements de la DHTP mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des faibles effectifs concernés et donc des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure d'exposition.

Synthèse des résultats d'exposition (UB) à l'aluminium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DHTP	Exposition moyenne	90ème centile	% de dépassement
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$			
1-4 mois	1 mg.kg pc ⁻¹ .sem ⁻¹ , soit 142,86 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$	31,5	62,1	Pas de dépassement
5-6 mois		46,3	74,2	NC*
7-12 mois		50,8	79,8	NC*
13-36 mois		55,1	88,6	NC*

*NC : non calculé en raison du faible effectif

Cinq des six enfants de plus de 5 mois présentant des dépassements de la DHTP ont consommé au cours des 3 jours d'enquête des épinards (hors petits pots), et ce en quantité supérieure à la consommation moyenne (80 g.j⁻¹ en moyenne vs. 30 g.j⁻¹ pour l'ensemble des enfants consommateurs d'épinards). L'échantillon d'épinards présentait une contamination plus élevée que la moyenne de la catégorie légumes (11 mg.kg⁻¹ vs. 2,38 mg.kg⁻¹). La contribution des épinards cuits (hors pots légumes avec ou sans viande) à l'exposition de ces enfants est de 64 %. A noter qu'un enfant présente un dépassement du fait d'une consommation élevée de biscuits chocolatés (240 g.j⁻¹).

Conclusion et recommandations

Un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire à l'aluminium ne peut donc être exclu pour certains groupes de consommateurs, notamment les forts consommateurs d'épinards. Il convient donc de poursuivre les efforts afin de réduire les expositions, en variant les légumes consommés.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'aluminium ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	328	328
Infantile	Céréales infantiles	17	100	630	630
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	306	306
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	180	191
Infantile	Laits de croissance	9	77,8	166	189
Infantile	Potages, purées	11	100	653	653
Infantile	Pots fruits	30	100	556	556
Infantile	Pots légumes	27	100	573	575
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	597	597
Infantile	Préparations 1er âge	28	92,9	189	196
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	268	276
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	1394	1394
Courant	Beurre	1	0	0	42
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	10000	10000
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	83,3	334	348
Courant	Charcuterie	2	100	691	712
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	618	618
Courant	Eaux*	221	33,8	20,2	42,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	5950	5950
Courant	Fromages	1	100	4219	4219
Courant	Fruits	6	100	294	300
Courant	Lait	3	66,7	28	69,3
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	2379	2379
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	42
Courant	Pain et panification sèche	2	100	1798	1798
Courant	Poissons	3	100	1376	1376
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	607	607
Courant	Pâtes	1	100	1041	1041
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	718	718
Courant	Soupes et bouillons	1	100	443	443
Courant	Sucres et dérivés	1	100	42	83
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	290	298
Courant	Viande	2	100	326	326
Courant	Viennoiserie	2	100	4299	4299
Courant	Volaille et gibier	2	100	271	271

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'aluminium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	29,3	31,5	24,9	26,4	62,1	62,1
5-6 mois	45	46,3	39,9	41,1	73,8	74,2
7-12 mois	49,7	50,8	43,3	44,1	79	79,8
13-36 mois	53,5	55,1	47,4	48,6	86,6	88,6

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'aluminium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	71,5	72,5	67,2	67,3
5-6 mois	111	112	99,4	99,5
7-12 mois	109	110	103	105
13-36 mois	113	115	106	108

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'aluminium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,3	1,2	3,6	3,5	2,7	2,7	0,5	0,5
Infantile	Céréales infantiles	4,7	4,4	6,1	6	7	6,8	4,2	4,1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,5	0,4	3,1	3	3,3	3,3	0,4	0,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	3,1	3,1	1,7	2,1
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	0,7	0,6	2,3	2,3	3,8	3,7	1,2	1,2
Infantile	Pots fruits	1,6	1,5	8	7,8	7,9	7,8	1,5	1,5
Infantile	Pots légumes	1	0,9	6,5	6,4	4,9	4,8	1,1	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	4,5	4,4	10,1	9,9	2,4	2,3
Infantile	Préparations 1er âge	85,2	85,2	4,7	4,7	1,6	1,6	.	.
Infantile	dont eau	13,7	28,5	0,6	1,3	0	0,1	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	3,2	3,1	42,7	43,1	17,7	18,1	0,3	0,3
Infantile	dont eau	0	0,3	1,2	6,6	0,2	2,5	0	0
Total aliments infantiles		98,2	97,4	81,9	81,4	62,4	61,9	13,3	13,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,3	0,3	3,5	3,4	16,8	16,3
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	2,3	2,3	11	10,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,1	1,8	1,8
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0,1	0,1	0,6	0,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0,4	0,3	0,1	0,1	1,4	1,3	2,4	2,3
Courant	Eaux	0	0,3	0	0,3	0	0,6	0,3	1,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,6	0,6	2	2	9,8	9,5
Courant	Fromages	.	.	0,1	0,1	1,5	1,4	2,7	2,6
Courant	Fruits	.	.	0,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,5
Courant	Lait	0,7	1,4	0,7	1,3	0,7	1,3	1,4	2,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,4	0,4	11,7	11,4	14,1	13,8	14,6	14,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,6	0,6	2,3	2,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,9	0,9
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	1,1	1,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	1,1	1,1	2,1	2	3	2,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,8	0,8	3,6	3,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,3	0,3	1,3	1,3
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,8	0,8	0,8	0,8	2	1,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	2,1	2,1	6,1	6	6	5,9
Courant	Viande	.	.	0	0	0,3	0,3	0,9	0,9
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	2,7	2,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2
Total aliments courants		1,8	2,6	18,1	18,6	37,6	38,1	86,7	86,7

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'aluminium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,2	1,2	0,9	0,9	0,6	0,6	.	.
Infantile	Céréales infantiles	12	11,8	4,3	4,2	4,7	4,6	5	4,9
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,1	0,2	0,4	0,5
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0,3	0,3	2,2	2,2	2,2	2,2	0,2	0,2
Infantile	Pots fruits	0,3	0,3	4,1	4,1	4,6	4,5	0,7	0,7
Infantile	Pots légumes	0,2	0,2	2,6	2,6	2,9	2,9	.	.
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	4,4	4,4	6	6	0,3	0,3
Infantile	Préparations 1er âge	78,1	77	.	.	0,8	0,8	.	.
Infantile	dont eau	24,6	28,6	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	6,4	6,3	37,5	37,3	12,9	12,7	0,2	0,2
Infantile	dont eau	0	0,6	1,6	3,7	0	1,1	.	.
Total aliments infantiles		98,6	97,2	57,4	57,1	36	35,7	6,9	6,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	8,6	8,5	22,7	22,4
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	7,1	7	18,7	18,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,4	0,4	0,7	0,8
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0	0	0,3	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,4	0,4	1,2	1,2	0,7	0,7
Courant	Eaux	0	0	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1	0,5
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	6,6	6,6	8,2	8,1
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,2	0,2	2,6	2,6
Courant	Fruits	.	.	0,2	0,2	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Lait	1,4	2,8	0,7	1,3	0,7	1,4	1	1,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	36,4	36	30,6	30,3	20,4	20
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,4	0,4	1,2	1,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,6	0,6	0,7	0,6
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	0,7	0,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	1,6	1,6	0,5	0,4	1,8	1,8
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,3	0,3	2,4	2,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,2	0,2	0,8	0,7
Courant	Soupes et bouillons	.	.	1,2	1,2	0,9	0,9	2	1,9
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	1,7	1,7	4,9	4,9	3	3
Courant	Viande	.	.	.	.	0,3	0,3	0,6	0,6
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	3,5	3,5
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1
Total aliments courants		1,4	2,8	42,6	42,9	64	64,3	93,1	93,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.2 Antimoine

L'antimoine (Sb) est un métalloïde très peu abondant dans la croûte terrestre. Il est utilisé dans les alliages métalliques pour en accroître la dureté, dans la fabrication de semi-conducteurs, dans les plastiques et les feux d'artifices. Le trioxyde d'antimoine est employé comme ignifugeant pour les textiles et les matières plastiques, comme opacifiant pour les verres, les céramiques et les émaux, comme pigment pour les peintures et comme catalyseur chimique.

Caractérisation du danger

La toxicité de l'antimoine est fonction de sa solubilité dans l'eau et de son état d'oxydation. D'une façon générale, l'antimoine (III) est plus toxique que l'antimoine (V) et les composés inorganiques sont plus toxiques que les composés organiques. Les connaissances sur la spéciation de l'antimoine dans les aliments font défaut. Chez l'Homme, les sels solubles d'antimoine provoquent, après ingestion, des effets irritants au niveau gastro-intestinal se traduisant par des vomissements, des crampes abdominales et des diarrhées. Une toxicité cardiaque ou oculaire a aussi été rapportée à fortes doses. Le trioxyde d'antimoine est considéré comme « cancérogène possible pour l'Homme » (groupe 2B) (IARC 1989). L'OMS a fixé une DJT de $6 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (WHO 2003), qui a été retenue par l'Agence en 2007 et en 2011 (Anses 2011a, Afssa 2007b). Elle repose sur une étude subchronique (90 jours) chez le rat avec du tartrate d'antimoine et de potassium administré dans l'eau de boisson (dose sans effet de 50mg.L^{-1} , soit $6 \text{mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$). Les animaux traités ont montré peu de signes cliniques : seule une diminution réversible du poids a été observée dans le groupe traité à la plus forte dose (500mg.L^{-1}). Un facteur d'incertitude de 1000 (100 pour les variations intra et inter espèces et 10 pour l'utilisation d'une étude subchronique) a été appliqué.

Cette DJT reste encore discutée au sein de la communauté scientifique notamment du fait du manque d'études approfondies à long terme sur la toxicité par voie orale de l'antimoine et de ses composés. Elle reste néanmoins protectrice pour la population générale. Cette DJT, considérée pour toutes les formes d'antimoine (antimoine total), est retenue dans le cadre de l'EATi, malgré l'absence d'études pertinentes sur la reprotoxicité et la toxicité relative au développement, qui ne permet pas de se positionner sur son applicabilité aux enfants de moins de 3 ans.

Contamination

La LOD s'élève à $0,0005 \text{mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,001 \text{mg.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,0005 \text{mg.kg}^{-1}$. Le taux de détection global de l'antimoine est de 23% (hors eau du robinet), et il est variable selon les groupes d'aliments, de 0 à 100%.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les sucres et dérivés ($6 \mu\text{g.kg}^{-1}$), suivis des fromages ($5 \mu\text{g.kg}^{-1}$), puis des biscuits sucrés, salés et barres et des poissons ($3 \mu\text{g.kg}^{-1}$), puis les pâtes, le riz et le blé dur et les viandes ($2 \mu\text{g.kg}^{-1}$).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière est comprise entre $0,006 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,024 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois sous l'hypothèse basse (LB) et entre $0,066 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et $0,093 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois sous l'hypothèse haute (UB) (Tableau E1).

Le P90 se situe entre $0,006$ et $0,040 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre $0,091$ et $0,143 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB pour les mêmes classes d'âge (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre $0,053$ et $0,082 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre $0,106$ et $0,198 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

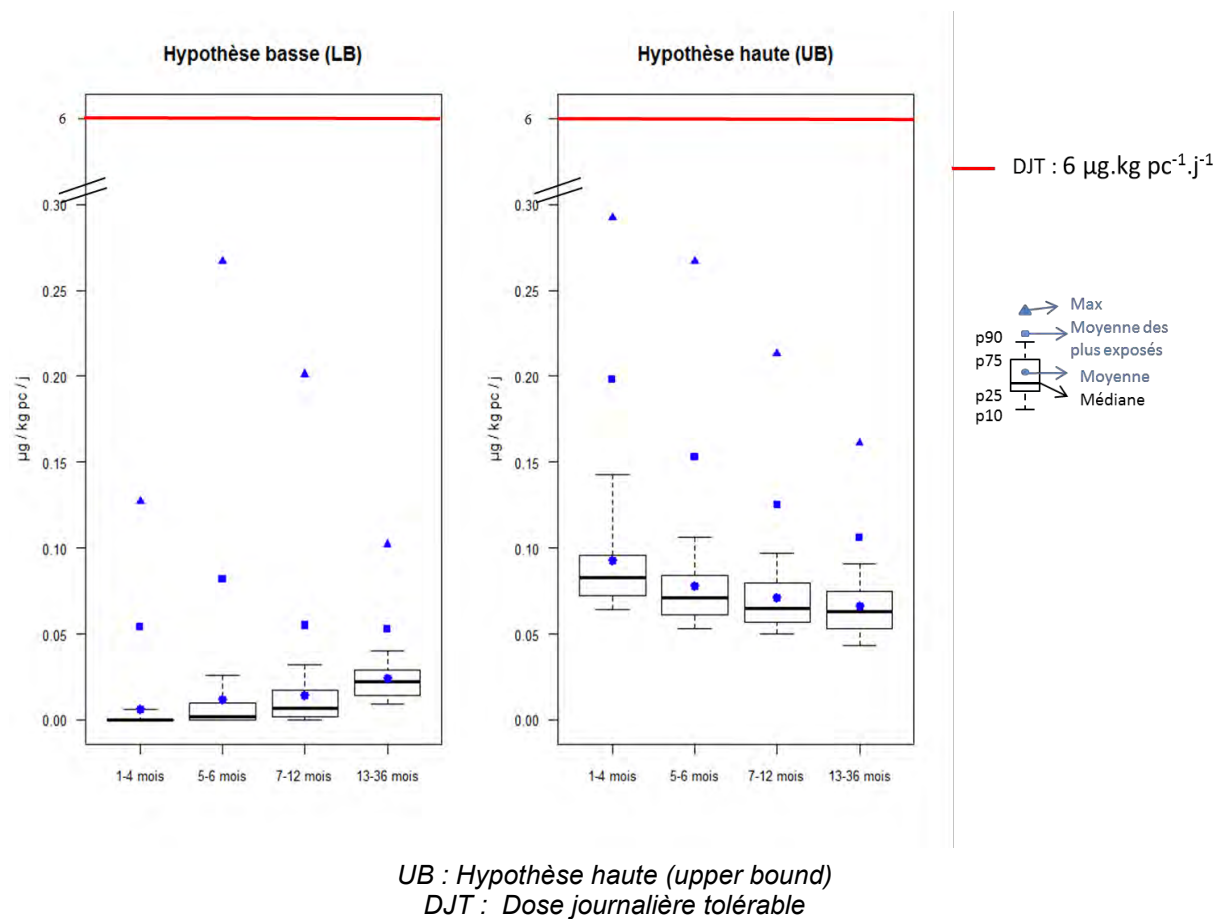


Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'antimoine

Contribution des aliments à l'exposition

En population générale comme chez les enfants les plus exposés, jusqu'à 12 mois, les préparations infantiles 1^{er} et 2^{ème} âge (dont l'eau pour leur reconstitution) sont les seuls contributeurs majeurs à l'exposition. Chez les 13-36 mois, aucun contributeur majeur ne se dégage.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans étaient estimés dans l'EAT2 (Anses 2011a) entre 0,054 et 0,082 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (LB-UB), ce qui est du même ordre de grandeur que dans la présente étude pour les 13-36 mois. Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques, l'exposition moyenne à l'antimoine des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée entre 0,075 et 0,077 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Rose et al. 2010), ce qui est également du même ordre de grandeur que les expositions estimées dans la présente étude pour les 13-36 mois.

Evaluation du risque

Aucun dépassement de la DJT n'est observé pour l'antimoine, quelle que soit l'hypothèse retenue. Sous l'hypothèse haute, le 90^{ème} centile d'exposition représente moins de 3% de la VTR pour la classe d'âge la plus exposée (1-4 mois).

Synthèse des résultats d'exposition (UB) à l'antimoine des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DJT	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	% de dépassement
	<i>En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$</i>			
1-4 mois	6	0,093	0,143	Pas de dépassement
5-6 mois		0,078	0,106	
7-12 mois		0,071	0,097	
13-36 mois		0,066	0,091	

UB : Hypothèse haute (upper bound)

DJT : Dose journalière tolérable

Conclusion et recommandations

Malgré le manque de robustesse de la VTR, en raison des faibles niveaux d'exposition observés, l'exposition alimentaire à l'antimoine est jugée tolérable.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'antimoine ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	0,5
Infantile	Céréales infantiles	17	94,1	0,452	0,717
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	17	0,167	0,583
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	50	0,25	0,75
Infantile	Laits de croissance	9	11	0,056	0,556
Infantile	Potages, purées	11	9	0,045	0,545
Infantile	Pots fruits	30	17	0,167	0,65
Infantile	Pots légumes	27	4	0,037	0,519
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	11	0,067	0,556
Infantile	Préparations 1er âge	28	7	0,054	0,536
Infantile	Préparations 2ème âge	34	9	0,088	0,574
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,369	0,369
Courant	Beurre	1	0	0	0,5
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	3	3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	17	0,167	0,583
Courant	Charcuterie	2	50	0,5	0,75
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	0,5	1
Courant	Eaux*	221	9	0,085	0,559
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	1,25	1,5
Courant	Fromages	1	100	5	5
Courant	Fruits	6	0	0	0,5
Courant	Lait	3	0	0	0,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	25	0,313	0,75
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Pain et panification sèche	2	100	0,75	1
Courant	Poissons	3	100	3	3
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	67	0,333	0,833
Courant	Pâtes	1	100	2	2
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	1,75	2
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	0,5
Courant	Sucres et dérivés	1	100	6	6
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	0,5
Courant	Viande	2	100	2	2
Courant	Viennoiserie	2	100	1	1
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	0,5

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'antimoine ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,006	0,093	0	0,083	0,006	0,143
5-6 mois	0,012	0,078	0,002	0,071	0,026	0,106
7-12 mois	0,014	0,071	0,007	0,065	0,032	0,097
13-36 mois	0,024	0,066	0,022	0,063	0,04	0,091

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'antimoine ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,054	0,198	0,063	0,185
5-6 mois	0,082	0,153	0,042	0,137
7-12 mois	0,055	0,125	0,039	0,111
13-36 mois	0,053	0,106	0,048	0,098

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'antimoine en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	0,7	0	3	0	3	0	0,8
Infantile	Céréales infantiles	6,4	0,7	6,7	1,6	7,7	1,8	2,3	0,9
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0,3	2,3	1,4	3,6	0,3	0,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	1,1	0,6	0,8	0,6	0,1	0,3
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	3	4,4	0	6,7
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,5	.	.
Infantile	Potages, purées	0	0,2	0	1,2	0	2	0,2	0,9
Infantile	Pots fruits	1,2	0,6	4,8	5,5	6,5	6,6	2,2	1,9
Infantile	Pots légumes	0	0,4	6,3	4,6	2,2	3,3	0,2	0,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	1,3	2,5	2,5	6,9	0,5	1,8
Infantile	Préparations 1er âge	84,6	90,7	1,1	6,9	3,9	2,1	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	66,8	75,7	0	6	0,5	1,1	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	4,9	2,2	63,3	58,2	20,8	32,2	0	0,7
Infantile	<i>dont eau</i>	4,1	1,5	17,9	42,4	7,1	21,2	0	0,2
Total aliments infantiles		97,1	95,7	84,9	86,5	48,7	66,5	5,6	15,4
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,3	0	3,4	0,7	10	3,6
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	2,6	0,5	7,4	2,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,3	1,5	3,5
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	0	0,7
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0,1	0,2	0,8	0,8
Courant	Compotes et fruits cuits	1,7	0,2	0,4	0,1	4,3	1,6	4,5	3,2
Courant	Eaux	0,6	1,2	0,5	2,2	2,5	6	1,7	14,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,4	0,1	1,4	0,6	4,4	2,8
Courant	Fromages	.	.	0,3	0	6,4	1,2	7,1	2,6
Courant	Fruits	.	.	0	0,4	0	0,5	0	2,4
Courant	Lait	0	2,8	0	4,6	0	5,6	0	13,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0	0,1	5,7	2,1	5,3	3,7	3,1	4
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	1	0,2	2,3	0,9
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,2	0,1	0,8	0,6
Courant	Poissons	.	.	.	.	1,7	0,3	5,5	2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0,5	0,8	1,6	2	2,8	3,2
Courant	Pâtes	.	.	.	.	5,9	1,1	15,5	5,6
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,8	0,4	11	4,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,3	0	0,4	0	1,4
Courant	Sucres et dérivés	0,6	0	6,5	1	7,7	1,5	5	1,8
Courant	Ultra-frais laitier	0	0,1	0	1,5	0	5,2	0	7
Courant	Viande	.	.	0,5	0,1	5,2	1	9,1	3,3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0,1	0	1,9	0,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,2	0	0,4
Total aliments courants		2,9	4,3	15,1	13,5	51,3	33,5	94,4	84,6

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'antimoine en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	1,8	0	2,6	0	3	0	0,9
Infantile	Céréales infantiles	4,1	1,6	0,9	1,3	2,7	1	0,5	0,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0	1,7	0,4	1,7	.	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,1	0,3	0	0,2	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	7,1	6,5	0	2,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	2,9	.	.
Infantile	Potages, purées	0	0,1	0	1,8	0	0,6	.	0,1
Infantile	Pots fruits	0,6	0,8	1	3,2	3,5	2,8	2,6	1,5
Infantile	Pots légumes	0	0,1	3,2	1,5	2,5	1,6	0	0,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0	0,9	0,1	2,3	0	0,9
Infantile	Préparations 1er âge	88,4	82,8	.	.	5,2	4,7	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	69,7	59,7	.	.	1,3	2,2	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	5,1	3,4	87,4	72,6	42,8	45,4	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	4,3	2,3	23,9	33,2	12,3	24,7	.	.
Total aliments infantiles		98,2	90,7	92,6	85,9	64,4	72,6	3,1	6,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	3,9	1,1	9,9	4,7
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0,1	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	1	0,3	13,7	5,9
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,4	3,6	5,7
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	0	2,2
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0,2	0,2	0,5	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	0,7	0,6	0,5	.	1,9	1,5	1,8	1,5
Courant	Eaux	0,7	2,4	0,5	2	2,1	4,9	2,9	17,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	.	.	2,7	2,9
Courant	Fromages	.	.	.	.	6,3	1,9	6,7	2,2
Courant	Fruits	.	.	0	0,3	0	0,7	0	1,1
Courant	Lait	0	6,3	0	6,2	0	4,2	0	16,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	5	2,1	2,4	3,7	2,6	3,1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,1	0	1,4	0,7
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,5	0,2
Courant	Poissons	.	.	.	.	1,4	0,4	7,4	3,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	0,1	1,1	1,5	2,2	1,7	2,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	5,6	2,7	17	7
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,1	0,6	15	5,4
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,6	.	.	0	2
Courant	Sucres et dérivés	0,5	.	1,3	1,5	3,2	0,8	1,9	1,5
Courant	Ultra-frais laitier	0	.	0	0,3	0	3	0	5
Courant	Viande	.	.	.	.	5	1,4	6,7	2,7
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	1	0,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	.	0	0,3	0	0,3
Total aliments courants		1,8	9,3	7,4	14,1	35,6	30,3	96,9	93,2

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.3 Argent

L'argent (Ag) est un métal blanc présent naturellement dans l'écorce terrestre. On l'utilise dans la fabrication d'alliages divers (métallurgie, argenterie, bijouterie), et de dispositifs électroniques. L'argent est également utilisé en milieu médical pour ses propriétés antiseptiques et désinfectantes. Dans le domaine alimentaire, il est utilisé en *quantum satis* comme additif (E174-colorant) principalement pour la décoration de surface de deux catégories d'aliments comme certaines confiseries (chocolats, dragées, etc.). La principale voie d'exposition à l'argent est l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés, mais l'exposition professionnelle (par inhalation) représente une voie d'exposition importante.

Caractérisation du danger

Si des cas mortels d'intoxication aiguë à l'argent ont pu être rapportés, les données de toxicité chronique de ce composé chez l'Homme, recueillies à la suite de son utilisation comme agent thérapeutique, indiquent l'absence d'effets néfastes apparents pour la santé. Néanmoins, chez l'Homme, l'administration prolongée de composés à base d'argent provoque après une longue période de latence une pigmentation bleuâtre caractéristique de l'argyrie. Ce dépôt d'argent dans la peau et les muqueuses n'est pas associé à d'autres signes pathologiques. Aucune étude n'a démontré le potentiel mutagène, cancérigène ni tératogène de l'argent.

L'US-EPA a dérivé une valeur toxicologique de référence pour l'ingestion d'arsphénamine d'argent correspondant à $5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (US-EPA 1997) basée sur l'apparition de l'argyrie, signe clinique *a priori* bénin. Cette dose de référence est calculée à partir d'une DSENO chez l'Homme de 1 g (dose unique par voie intraveineuse) convertie en dose journalière par voie orale ($0,014 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) et associée à un facteur de sécurité de 3. Compte tenu de la façon dont la VTR a été élaborée, l'Anses estime que celle-ci n'est pas adaptée pour évaluer le risque sanitaire lié à l'ingestion d'argent au travers de l'alimentation. En tant qu'additif alimentaire, l'argent a été évalué au niveau européen (SCF 1975) et international (JECFA 1977) et du fait d'un manque de données une DJA n'a pas pu être établie, bien que le SCF a considéré acceptable son emploi pour la coloration et décoration des aliments concernés.

L'argent existe également sous forme colloïdale (une solution liquide de nano-argent) et pourrait donc rentrer dans la catégorie des nanoparticules. Des études sur le nano-argent (Bondy 2011, Trickler et al. 2010) ont démontré des effets pro-inflammatoires au niveau de la barrière hémato-encéphalique chez le rat. A l'heure actuelle, aucun point de départ toxicologique n'a été établi mais un travail d'expertise des données relatives au nanoargent est en cours à l'ANSES.

Contamination

La LOD est de $0,025 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les liquides et les solides, à l'exception de l'eau du robinet, pour laquelle la limite analytique est de $0,042 \text{ mg.L}^{-1}$.

L'argent n'est détecté dans aucun aliment analysé (infantile ou courant) à l'exception de l'eau du robinet. L'argent a été détecté (mais pas quantifié) dans 12,5% des échantillons d'eau du robinet considérés (n=20) avec une moyenne de contamination comprise entre 0,01 (LB) et $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ (UB).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

En LB, les expositions moyenne et au P90 sont nulles quelle que soit la classe d'âge (Tableau E1).

En UB, l'exposition moyenne journalière est comprise entre 2,1 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 4,23 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois. Le P90 est compris entre 2,97 et 5,35 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge retenue.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0 et 0,001 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre 3,36 et 6,41 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

Contribution des aliments à l'exposition

Dans la mesure où l'argent n'est détecté dans aucun échantillon (à l'exception de l'eau du robinet), les contributeurs ne sont pas présentés.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans ont été estimés dans l'EAT2 entre 2,34 (LB) et 5,12 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (UB) (Anses 2011a), ce qui est comparable aux niveaux d'exposition estimés dans la présente étude pour les 13-36 mois.

Conclusion et recommandations

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire à l'argent. Il conviendrait donc de mener des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles. De la même façon, l'Efsa a conclu récemment que les données disponibles étaient insuffisantes pour évaluer la sécurité d'emploi de l'argent en tant qu'additif alimentaire et a demandé à les compléter (EFSA 2016).

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'argent ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0	4,23	0	4,08	0	5,35
5-6 mois	0	3,28	0	3,21	0	4,06
7-12 mois	0	2,91	0	2,87	0	3,60
13-36 mois	0	2,10	0	2,05	0	2,97

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'argent ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	.	6,41	.	6,18
5-6 mois	.	4,43	.	4,50
7-12 mois	.	4,16	.	3,89
13-36 mois	0,001	3,36	0	3,22

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

1.4 Arsenic

L'arsenic (As) est un métalloïde d'origine naturelle ou anthropique qui se distribue largement dans l'environnement (sols, nappes phréatiques, dépôts alluviaux, plantes) où il est présent sous la forme inorganique (Asi) ou organique (incluant plus de 50 composés retrouvés notamment dans des denrées alimentaires¹) et sous différents états d'oxydation², principalement +3 (arsénite) et +5 (arséniate). La spéciation de l'arsenic détermine son comportement dans l'environnement, sa biodisponibilité et sa toxicité et il est admis aujourd'hui que les formes inorganiques de l'arsenic sont plus toxiques que les formes organiques (Donohue and Abernathy 1999). Dans le cadre des EAT, les analyses effectuées dans les aliments portent sur l'arsenic total sans en préciser la spéciation.

Caractérisation du danger

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 gastro-intestinales, 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 cancérigène 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 2012).

Retenant comme point de référence, les effets cancérigènes 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 BMDL₀₁ variant³ de 0,3 à 8 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ (EFSA 2009b), sans spécifier de marges d'exposition au-delà desquelles le risque peut être exclu. De plus, bien que la cancérigénicité de l'arsenic inorganique relève vraisemblablement d'un mécanisme d'action à seuil et non d'une génotoxicité directe (Afssa 2009), 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_{0,5} variant de 2 à 7 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ sur la base d'une augmentation du nombre de cancers du poumon (JECFA 2011c) ce qui rentre dans la gamme des valeurs retenues par l'EFSA, et dans la présente étude EATi.

¹ Notamment l'acide monométhylarsonique (MMA), l'acide diméthylarsinique (DMA) et l'arsénobétaine

² Pour les formes inorganiques

³ en fonction des effets adverses retenus (cancers du poumon, de la vessie et de la peau)

Outre les effets cancérigènes sur lesquels la BMDL₀₁ est établie, des atteintes neurocomportementales (performances intellectuelles, troubles de la mémorisation et de l'attention...) en lien avec l'exposition après le sevrage ont été observées lors d'études transversales sur des enfants vivant dans des zones fortement contaminées et atteignant l'âge scolaire. Depuis 2009, plusieurs publications ont confirmé l'excès de risque de cancers (Yorifuji et al. 2011) et d'anomalies du développement (Hamadani et al. 2011) après exposition à l'arsenic pendant la gestation ou la prime enfance, mais elles ne remettent pas en cause les BMDL proposées par l'EFSA. Au bilan, la toxicité de l'arsenic pour le développement demande confirmation au moyen d'études épidémiologiques prospectives pour préciser notamment la forme des relations dose-effet et l'existence de fenêtres critiques de susceptibilité.

Concernant les formes organiques de l'arsenic, l'EFSA et le JECFA ont considéré les données insuffisantes pour établir une VTR.

Les marges d'exposition à l'arsenic inorganique calculées par rapport aux BMDL proposées par l'EFSA seront utilisées pour évaluer le risque lié à l'exposition de l'arsenic inorganique dans la présente étude.

Contamination

La LOD se situe à 0,001 mg.kg⁻¹ et la LOQ à 0,002 mg.kg⁻¹, excepté pour les eaux du robinet, pour lesquelles la limite analytique est de 0,2 µg.L⁻¹. Le taux de détection global de l'arsenic total s'élève à 70% (hors eau du robinet). Le taux de détection par catégorie est généralement élevé, variant de 17 à 100%, à l'exception de certains aliments courants pour lesquels le taux est nul (beurre, compotes et fruits cuits, lait, sucre et dérivés).

Les concentrations moyennes les plus élevées en arsenic total sont observées dans les poissons (2,75 mg.kg⁻¹) (Tableau C1), suivis des petits pots contenant du poisson. C'est dans ces catégories d'aliments que les plus fortes teneurs sont retrouvées : échantillons de lieu ou colin cuit (1,25 mg.kg⁻¹), de poisson pané frit (1,60 mg.kg⁻¹), de sole cuite (5,38 mg.kg⁻¹), et petits pots à base de cabillaud, sole ou colin (entre 0,095 et 0,411 mg.kg⁻¹). Les autres aliments présentent des teneurs inférieures ou égales à 0,090 mg.kg⁻¹.

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

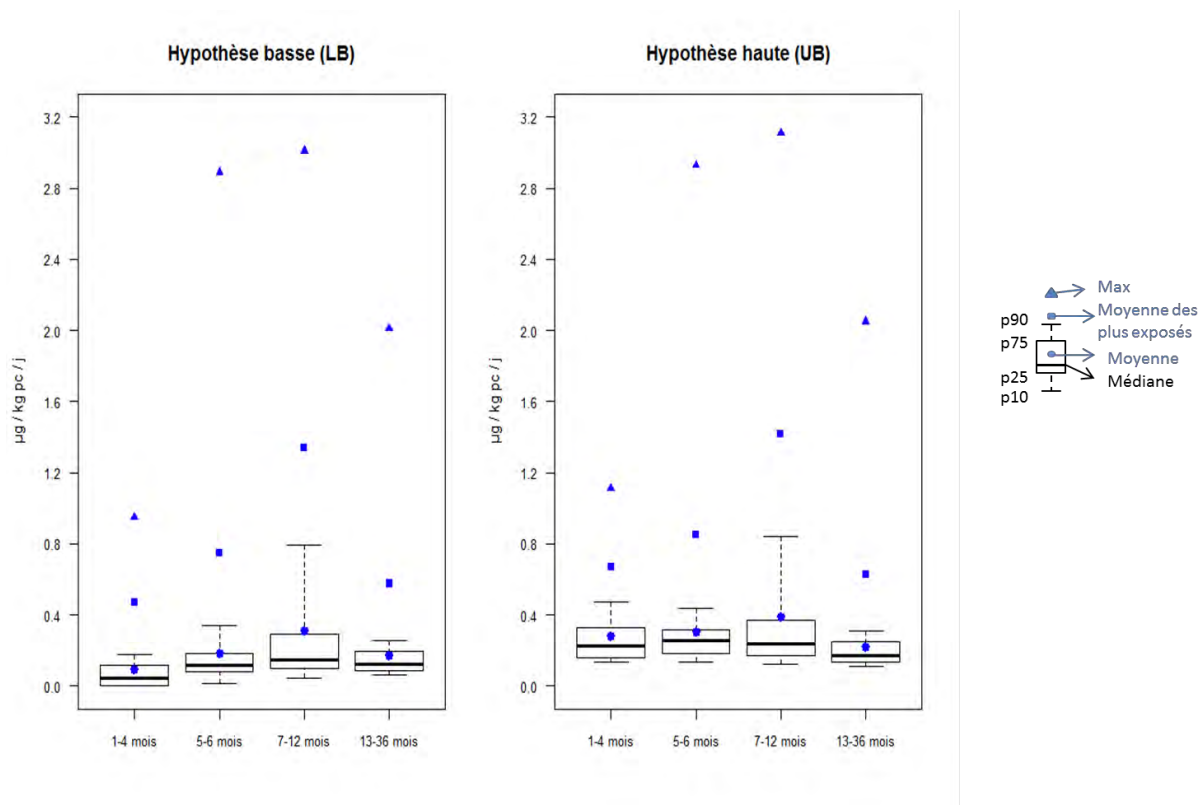
Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et haute (UB).

L'exposition moyenne journalière à l'arsenic total est comprise entre 0,123 et 0,287 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 1-4 mois et entre 1,32 et 1,38 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 13-36 mois selon l'hypothèse retenue (Tableau E1). Le P90 est compris entre 0,252 et 3,41 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ selon la classe d'âge et l'hypothèse considérées (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0,581 chez les 1-4 mois et 7,28 chez les 13-36 mois µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ selon l'hypothèse retenue.

Pour l'évaluation de l'exposition à l'arsenic inorganique, trois scénarios étaient possibles concernant les hypothèses de spéciation (voir Tome 2 – Partie 1). En considérant

l'hypothèse de spéciation moyenne⁴, l'exposition journalière moyenne à l'arsenic inorganique est comprise entre 0,093 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et 0,310 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois en LB et entre 0,221 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,387 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois en UB (Tableau E1). Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0,472 chez les 1-4 mois et 1,42 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois selon l'hypothèse retenue.



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic inorganique (hypothèse de spéciation moyenne)

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Chez les 1-4 mois, les céréales infantiles apparaissent comme contributeurs majeurs à l'exposition moyenne à l'arsenic total (29%) ainsi que les préparations 1^{er} âge (61%) dont l'eau pour leur reconstitution (18%). Chez les 5-6 mois, les pots légumes-viande ou légumes-poisson apparaissent également comme

⁴ Pour rappel, il a été considéré que l'arsenic était présent sous forme inorganique dans l'eau. Pour les poissons, la part des formes organiques et inorganiques est issue des études EAT2 et CALIPSO. Pour les autres aliments, il a été considéré que 70% de l'arsenic était présent sous forme d'arsenic inorganique, et 30% sous la forme organique (EFSA 2014a)

contributeurs majeurs à l'exposition moyenne à l'arsenic total (32%) ainsi que les préparations 2^{ème} âge (25%) et les céréales infantiles (18%). Chez les 7-12 mois, les contributeurs majeurs sont les pots légumes-viande ou légumes-poisson (47%) et les poissons (26%). Enfin, chez les 13-36 mois les poissons contribuent à 82% à l'exposition à l'arsenic total.

Lorsque l'on considère les enfants les plus exposés, les contributeurs majeurs sont inchangés avec une contribution encore plus forte des pots légumes-viande ou légumes-poisson chez les 7-12 mois (48%), et des poissons chez les 7-12 et 13-36 mois (47 et 96%) et de l'eau de reconstitution des préparations infantiles (36%).

Concernant l'exposition à l'arsenic inorganique (Figure 2), les contributeurs majeurs chez les 1-6 mois sont les mêmes que pour l'arsenic total avec une contribution de l'eau de reconstitution des préparations infantiles 1^{er} âge d'environ 24%. Cette contribution est attribuable à l'utilisation par un nombre limité d'individus d'une eau embouteillée plus riche en arsenic. Chez les 7-12 mois, la contribution des pots légumes-viande ou légumes-poisson est plus élevée que pour l'arsenic total (62%) et la contribution atteint 27% chez les 13-36 mois. Cette contribution est principalement due aux pots légumes-poisson (attribuable à plus de 85%). La catégorie « riz et blé dur ou concassé » apparaît également contributeur majeur chez les 13-36 mois (19%), ce qui est presque exclusivement attribuable au riz.

Lorsque l'on considère les enfants les plus exposés, les contributeurs majeurs sont inchangés avec une contribution encore plus forte des pots légumes-viande et légumes-poisson chez les 5-36 mois (respectivement de 69% chez les 5-6 mois, 90% chez les 7-12 mois et 64 % chez les 13-36 mois), toujours attribuable à plus de 85% aux pots légumes-poissons et à l'eau de reconstitution des préparations infantiles chez les 1-6 mois (plus de 40%).

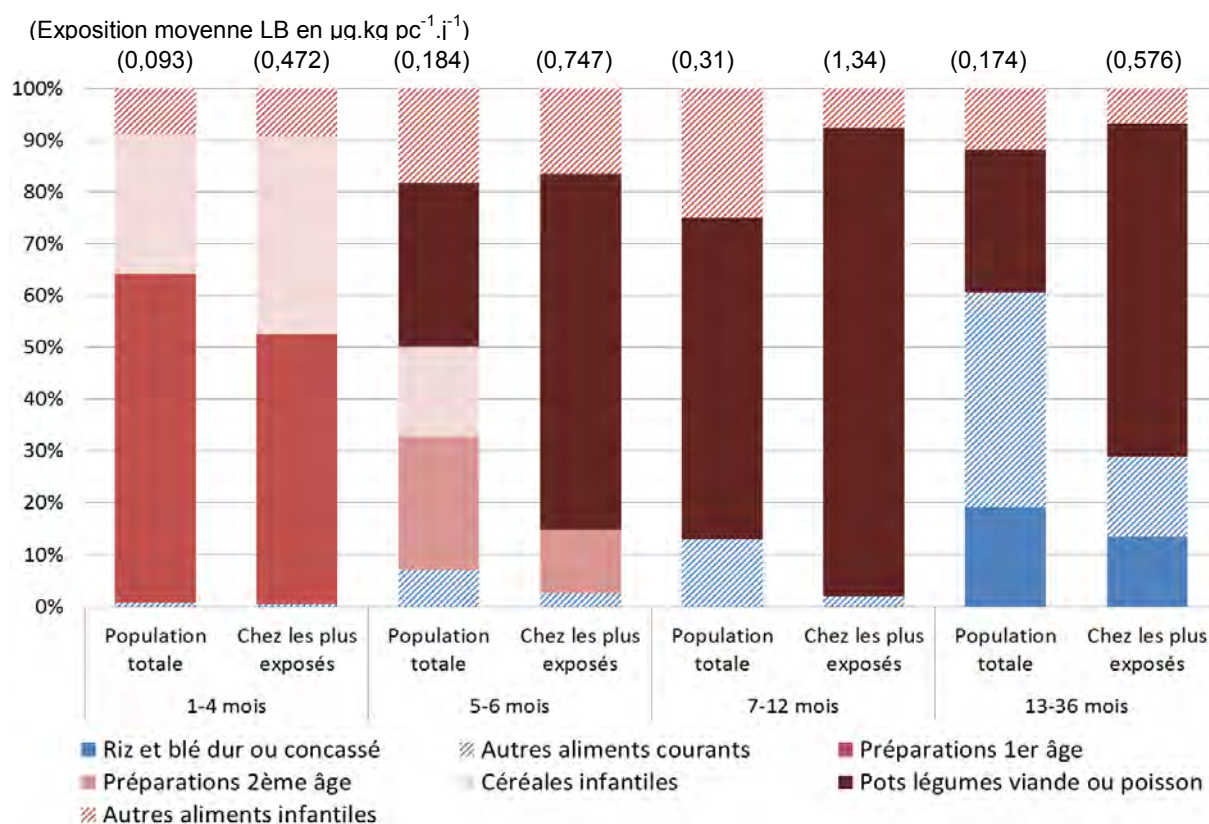


Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic inorganique**Comparaison avec les données de la littérature**

Le rapport de l'EFSA relatif à l'arsenic inorganique (EFSA 2014a) a estimé une exposition moyenne des nourrissons entre 0,24 et 0,43 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (et entre 0,54 et 1,66 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les plus exposés) et entre 0,32 et 0,45 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (sous l'hypothèse LB) chez les 1-3 ans (entre 1,48 et 2,09 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les plus exposés). Ces expositions moyennes sont donc du même ordre que celles mesurées dans notre étude. Cependant, l'EFSA précise que les enfants ne seraient pas nécessairement plus à risque que les adultes (bien qu'ayant une exposition 2 à 3 fois supérieure), car l'exposition estimée se situe dans la gamme des BMDL_{01} et les effets toxiques de l'arsenic résultent d'une exposition sur le long terme.

Les niveaux d'exposition à l'arsenic inorganique des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 sont compris entre 0,440 et 0,589 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon l'hypothèse de spéciation retenue (Anses 2011a), ce qui est légèrement plus élevé que l'exposition des 1-3 ans de la présente étude. Cette différence peut s'expliquer notamment par des limites analytiques plus élevées dans l'EAT2.

Evaluation du risque

Les marges d'exposition à l'arsenic inorganique ont été calculées en utilisant les valeurs de BMDL_{01} de 0,3 et 8 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établies par l'EFSA en 2009. En considérant une hypothèse de spéciation moyenne, elles sont situées en UB entre 0,4 et 36,2 selon la classe d'âge, la BMDL (0,3 ou 8 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) et la valeur d'exposition (moyenne ou P90) considérées.

Synthèse des résultats d'exposition à l'arsenic inorganique des enfants de moins de 3 ans
(hypothèse de spéciation moyenne)

Classe d'âge	BMDL_{01}	Exposition moyenne (LB-UB)	90 ^{ème} centile (LB-UB)	Marge d'exposition			
				BMDL_{01} de 0,3 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$		BMDL_{01} de 8 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$	
				Pour l'exposition moyenne (LB-UB)	Pour l'exposition au P90 (LB-UB)	Pour l'exposition moyenne (LB-UB)	Pour l'exposition au P90 (LB-UB)
		En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$					
1-4 mois	0,3-8	0,093-0,281	0,177-0,471	3,2-1,1	1,7-0,6	86,0-28,5	45,2-17,0
5-6 mois		0,184-0,304	0,340-0,440	1,6-1,0	0,9-0,7	43,5-26,3	23,5-18,2
7-12 mois		0,310-0,387	0,792-0,839	1,0-0,8	0,4-0,4	25,8-20,7	10,1-9,5
13-36 mois		0,174-0,221	0,256-0,308	1,7-1,4	1,2-1,0	46,0-36,2	31,3-26,0

LB : Hypothèse haute (upper bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
BMDL : Bench Mark Dose Limit

Conclusion et recommandations

Les marges d'exposition sont très faibles et reflètent une situation préoccupante. Il convient donc de poursuivre les efforts afin de réduire les expositions. Afin de déterminer les catégories d'aliments sur lesquelles les efforts doivent se porter, il est nécessaire de disposer de données analytiques de spéciation de l'arsenic dans les aliments, notamment les pots à base de légumes et de poisson ainsi que le riz et les céréales infantiles (principalement celles à base de riz). Il est à noter qu'au 1^{er} janvier 2016 (c'est-à-dire après que l'échantillonnage de la présente étude a été effectué) est entré en vigueur le règlement (UE) 2015/1006⁵ qui fixe des teneurs maximales en arsenic inorganique pour le riz et les aliments à base de riz afin de protéger les groupes les plus concernés par l'exposition alimentaire à l'arsenic inorganique en Europe dont notamment les enfants de moins de 3 ans.

Au vu de la contribution de l'eau utilisée pour la reconstitution des biberons à l'exposition totale à l'arsenic, il conviendrait d'actualiser les travaux de l'Anses sur l'évaluation des risques sanitaires associés à la limite de qualité de l'As dans les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux minérales naturelles et d'étudier l'opportunité d'abaisser cette limite de qualité.

Par ailleurs, la toxicité de l'arsenic sur le développement demande davantage de données, en particulier d'études épidémiologiques prospectives pour préciser notamment les relations dose-effet et l'existence de fenêtres critiques de susceptibilité chez les jeunes individus.

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire à l'arsenic organique.

⁵ Règlement (UE) 2015/1006 de la commission du 25 juin 2015 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en arsenic inorganique dans les denrées alimentaires.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants pour l'arsenic ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Aliments		N	AsT			Asi - hypothèse moyenne		
Type	Catégorie		% détection	LB	UB	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	88	2,75	3,13	88	1,93	2,19
Infantile	Céréales infantiles	17	100	3,13	3,13	100	2,19	2,19
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	17	0,167	1,17	17	0,117	0,817
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	1,25	2	100	0,875	1,4
Infantile	Laits de croissance	9	89	1,22	2,11	89	0,856	1,48
Infantile	Potages, purées	11	91	4,73	4,82	91	3,31	3,37
Infantile	Pots fruits	30	73	1,37	2	73	0,957	1,4
Infantile	Pots légumes	27	82	2,78	3,33	82	1,94	2,33
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	91	27,3	27,5	91	19,1	19,2
Infantile	Préparations 1er âge	28	54	0,714	1,61	54	0,5	1,12
Infantile	Préparations 2ème âge	34	62	0,794	1,68	62	0,556	1,17
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,492	0,492	100	0,344	0,344
Courant	Beurre	1	0	0	1	0	0	0,7
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	6	6	100	4,2	4,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	17	0,167	1,17	17	0,117	0,817
Courant	Charcuterie	2	100	4,5	4,5	100	3,15	3,15
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	1	0	0	0,7
Courant	Eaux*	221	35	0,389	0,887	35	0,389	0,887
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	2,5	3	100	1,75	2,1
Courant	Fromages	1	100	5	5	100	3,5	3,5
Courant	Fruits	6	17	0,167	1,17	17	0,117	0,817
Courant	Lait	3	0	0	1	0	0	0,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	63	2,75	3,25	63	1,93	2,28
Courant	Œufs et dérivés	1	100	11	11	100	7,7	7,7
Courant	Pain et panification sèche	2	100	12,5	12,5	100	8,75	8,75
Courant	Poissons	3	100	2746	2746	100	8,45	8,45
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	1	2	100	0,7	1,4
Courant	Pâtes	1	100	5	5	100	3,5	3,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	30	30	100	21	21
Courant	Soupes et bouillons	1	100	5	5	100	3,5	3,5
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	1	0	0	0,7
Courant	Ultra-frais laitier	5	40	0,8	1,6	40	0,56	1,12
Courant	Viande	2	50	5	5,5	50	3,5	3,85
Courant	Viennoiserie	2	100	4	4	100	2,8	2,8
Courant	Volaille et gibier	2	100	8,5	8,5	100	5,95	5,95

AsT : Arsenic total ; Asi : Arsenic inorganique

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'arsenic ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	AsT						Asi (hyp moyenne)					
	Moyenne		Médiane		P90		Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,123	0,287	0,068	0,231	0,252	0,439	0,093	0,281	0,047	0,225	0,177	0,471
5-6 mois	0,259	0,366	0,17	0,276	0,431	0,555	0,184	0,304	0,119	0,257	0,34	0,44
7-12 mois	0,589	0,67	0,25	0,33	1,46	1,57	0,31	0,387	0,148	0,239	0,792	0,839
13-36 mois	1,32	1,38	0,253	0,304	3,35	3,41	0,174	0,221	0,124	0,173	0,256	0,308

AsT : Arsenic total ; Asi : Arsenic inorganique

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'arsenic ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	AsT				Asi (hyp moyenne)			
	Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,581	0,777	0,485	0,66	0,472	0,67	0,474	0,588
5-6 mois	1,05	1,15	0,623	0,689	0,747	0,85	0,436	0,492
7-12 mois	2,65	2,73	2,45	2,53	1,34	1,42	1,16	1,18
13-36 mois	7,22	7,28	5,24	5,31	0,576	0,629	0,439	0,477

AsT : Arsenic total ; Asi : Arsenic inorganique

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'arsenic en fonction de la classe d'âge

Aliments		AsT								Asi (hyp moyenne)							
		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type d'aliments	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	2,7	1,2	4,6	3,5	1,9	1,9	0,2	0,2	2,5	0,9	4,6	2,9	2,6	2,3	1,1	1
Infantile	Céréales infantiles	29,4	12,6	17,6	12,4	3,5	3,1	0,4	0,3	27,1	9	17,3	10,5	4,6	3,7	1,9	1,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0,1	1	0	0,8	0	0	0	0,1	0,1	0,9	0	0,9	0	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0	0,4	0,4	0,1	0,2	0	0	0,1	0	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0</i>	<i>0,1</i>	<i>0</i>	<i>0,1</i>
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	1,3	1,9	0,7	1,3	.	.	.	.	1,8	2,4	3,5	5,6
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	<i>0</i>	<i>0,1</i>	.	.	.	.	.	.	<i>0</i>	<i>0,2</i>	.	.
Infantile	Potages, purées	2,3	1	4	2,9	2,7	2,4	0,5	0,5	2,1	0,7	4	2,4	3,6	2,9	2,7	2,2
Infantile	Pots fruits	0,5	0,5	4,3	4,4	1,7	2,3	0,2	0,2	0,5	0,3	4,2	3,7	2,2	2,7	0,8	1
Infantile	Pots légumes	0,8	0,6	4	4	1,6	1,8	0,3	0,3	0,7	0,4	3,9	3,4	2,1	2,1	1,5	1,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	32,1	23	46,5	41,2	5,2	5	.	.	31,6	19,4	61,9	50	27,3	21,6
Infantile	Préparations 1er âge	60,8	78,9	1	3,6	0,8	0,8	.	.	63,3	83,9	1	4,6	1,1	1,3	.	.
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	<i>18,4</i>	<i>52</i>	<i>0</i>	<i>2,6</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	.	.	<i>24,2</i>	<i>53,1</i>	<i>0</i>	<i>3,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,4</i>	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,7	2,3	24,8	36	4,9	9,6	0,1	0,1	2,9	2,3	25,8	44,2	7	16,1	0,6	0,6
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	<i>1,1</i>	<i>1,1</i>	<i>3,3</i>	<i>18,6</i>	<i>0,8</i>	<i>4,7</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1,5</i>	<i>1,2</i>	<i>4,6</i>	<i>22,4</i>	<i>1,6</i>	<i>8,2</i>	<i>0</i>	<i>0,1</i>
Total aliments infantiles		99,2	97	93	91,4	65,1	65,8	7,5	8,1	99,2	97,6	93	92,4	87	84,8	39,8	35,4
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	.	.	0	0	0,1	0,1	1,3	1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,1	0,1	0,3	0,3	.	.	.	.	0,2	0,1	1,4	1,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	0	0,3	.	.	.	.	0	0,1	0,1	1,7
<i>Courant</i>	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,1</i>	.	.	.	.	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0,4</i>
Courant	Charcuterie	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0	0,1	0,1	0,3	0,2	1,5	1,2
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0,1	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0,7
Courant	Eaux	0,2	0,8	0,1	0,9	0,4	1,3	0,3	1	0,2	0,8	0,2	1,1	0,7	2,2	2,4	6,5

Aliments		AsT								Asi (hyp moyenne)							
		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type d'aliments	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	.	.	0	0,1	0,1	0,1	0,8	1,1
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	.	.	0	0	0,2	0,2	0,7	0,5
Courant	Fruits	.	.	0	0,2	0	0,1	0	0,3	.	.	0	0,1	0	0,2	0,1	1,1
Courant	Lait	0	1,8	0	2	0	1,2	0	1,3	0	1,3	0	1,7	0	1,4	0	5,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,3	0,1	2,9	2,2	2,3	2,2	0,9	1	0,3	0,1	2,8	1,9	3,1	2,7	4,7	4,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1	.	.	.	.	0	0	0,4	0,3
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,3	0,6	0,6	.	.	.	.	0,5	0,4	3,4	2,7
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,3	0,3	.	.	.	.	0,1	0,1	1,6	1,3
Courant	Poissons	.	.	.	.	25,6	22,5	81,9	78,2	.	.	.	.	0,3	0,3	3,3	2,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0,5	0,6	0,4	0,7	0,2	0,4	0	0	0,4	0,5	0,5	0,9	1,2	1,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,3	0,3	0,7	0,7	.	.	.	.	0,4	0,4	3,7	2,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,7	0,6	3,6	3,4	.	.	.	.	0,9	0,7	18,9	14,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,8	0,6	0,5	0,4	0,6	0,6	.	.	0,8	0,5	0,6	0,5	3,4	2,7
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,2	0,1	2,3	1,7	2,7	2,7	1	1,3	0,2	0,1	2,2	1,4	3,5	3,3	5,3	5,8
Courant	Viande	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	0,7	.	.	0,1	0,1	0,7	0,6	3,6	2,9
Courant	Vienniserie	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1	.	.	.	.	0	0	0,7	0,6
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,1	0,1	0,5	0,4	0,3	0,3	.	.	0,1	0,1	0,6	0,5	1,6	1,3
Total aliments courants		0,8	3	7	8,6	34,9	34,2	92,5	91,9	0,8	2,4	7	7,6	13	15,2	60,2	64,6

AsT : Arsenic total ; Asi : Arsenic inorganique

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'arsenic en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		AsT								Asi (hyp moyenne)							
		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	3,6	2,9	1	1	0,2	0,2	.	.	3,1	1,9	1,1	0,9	0,7	0,7	1,3	1,2
Infantile	Céréales infantiles	44,6	29,7	10,3	11,5	0,8	0,8	0,1	0,1	38,4	22,5	8,8	9,5	1,9	1,8	0,4	0,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0	0,4	0	0,2	.	.	0	0,1	0	0,3	0	0,4	0	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0	.	.	.	.	0	0	.	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,1	0,1	0,1	0,2	.	.	.	.	0,4	0,7	1,8	3,6
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	1,5	0,4	2,7	3	0,7	0,7	0	0	1,3	0,3	2,6	2,3	1,2	1,2	1,2	1,1
Infantile	Pots fruits	0,3	0,7	1,9	2,4	0,4	0,5	0	0	0,3	0,5	2,1	1,9	0,5	0,7	0,5	0,6
Infantile	Pots légumes	0,2	0,2	2,2	1,9	0,1	0,3	.	.	0,2	0,1	1,8	1,9	0,3	0,4	1,2	1,3
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	69	63,7	47,9	46,5	0	0	.	.	68,8	59,2	90,4	85,8	64,2	59,7
Infantile	Préparations 1er âge	45,3	56,9	.	.	.	.	.	.	52	65,7	.	.	.	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	35,6	36,1	.	.	.	.	.	.	43,8	40,4	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	4	4,5	9,8	11,2	1,1	2,2	0,1	0,1	4,2	4,9	12,2	19,8	2,6	5,4	0,6	0,3
Infantile	<i>dont eau</i>	2,2	2,4	0	4,2	0,2	1	.	.	2,7	2,7	5,9	9,6	0,9	2,9	0	0,1
Total aliments infantiles		99,7	95,3	97	95,1	51,4	51,5	0,2	0,3	99,6	95,9	97,5	95,9	98,1	97,3	71,1	68,7
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	0,1	0,1	0,1	0,1	.	.	.	.	.	.	0,3	0,2
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1	.	.	.	.	.	.	0,6	0,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.	0	0,5
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.	0	0,2
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0	0	0	0	.	.	0	0	0	0	0,3	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,1	.	.	0	0,1	0	0	.	0,1	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Eaux	0,3	1,3	0	0,6	0	0,3	0,1	0,2	0,4	1,5	0	0,7	0,6	0,9	1,8	3,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.	0,3	0,3

Aliments		AsT								Asi (hyp moyenne)							
		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Courant	Fromages	.	.	.	.	0	0	0	0	.	.	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	0	0	0	0	0	0	.	.	.	.	.	.	0	0,3
Courant	Lait	0	3,2	0	1,2	0	0,6	0	0,3	0	2,5	0	0,7	0	0,2	0	1,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	1	0,9	0,5	0,6	0,1	0,1	.	.	0,7	0,9	0,1	0,2	0,7	0,8
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1	.	.	.	.	0,1	0,1	1,1	1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1	.	.	.	.	.	.	0,3	0,3
Courant	Poissons	.	.	.	.	46,8	45,3	96,4	95,6	.	.	.	.	.	.	1,7	1,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	0	0,1	0,1	0,3	0	0,1	.	.	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1	.	.	.	.	0	0	1,7	1,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,1	0,1	1,8	1,8	.	.	.	.	0,1	0,1	13,4	11,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	0,2	0,1	0	0,2	0,2	.	.	.	0,2	0,1	0,1	2	1,4
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	2	1,7	0,5	0,6	0,2	0,2	.	.	1,8	1,4	0,7	0,7	2,4	3
Courant	Viande	.	.	.	.	0,2	0,2	0,2	0,2	.	.	.	.	0,1	0,1	1,3	1,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1	.	.	.	.	0	0	0,5	0,5
Total aliments courants		0,3	4,7	3	4,9	48,6	48,5	99,8	99,7	0,4	4,1	2,5	4,1	1,9	2,7	28,9	31,3

AsT : Arsenic total ; Asi : Arsenic inorganique

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.5 Baryum

Le baryum (Ba) est un métal présent dans de nombreux minerais, et très réactif avec l'eau et le dioxygène, pour donner de l'hydroxyde et de l'oxyde de baryum. Son utilisation concerne de nombreux domaines (pesticides, textiles, pigments, traitements d'eau, médical, etc.). L'Homme peut y être exposé par inhalation et contact cutané, mais la principale voie d'exposition au baryum reste la voie alimentaire.

Caractérisation du danger

Les sels solubles de baryum sont bien absorbés et se déposent essentiellement au niveau du tissu osseux. Aucun effet cancérigène ou mutagène n'a été démontré. Selon des résultats d'études réalisées chez des nouveau-nés contaminés, il semblerait que le baryum soit capable de traverser la barrière placentaire (Schroeder, Tipton, and Nason 1972). Les travailleurs exposés régulièrement par inhalation au baryum peuvent présenter des manifestations pulmonaires bénignes sans troubles fonctionnels associés.

Cependant, les données expérimentales indiquent qu'une exposition chronique au baryum par voie orale entraîne des néphropathies chez les rongeurs. Sur la base de ces observations, l'US EPA propose en 2005 une dose de référence pour l'exposition orale chronique (RfD) de $0,2 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Cette dose de référence a été calculée à partir d'une BMDL_{05} pour les rats mâles de $63 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (l'incertitude étant plus importante pour la BMDL_{05} estimée chez les rats femelles), à laquelle un facteur de sécurité de 300 a été appliqué : 10 pour la variabilité interspécifique, 10 pour la variabilité intraspécifique et 3 pour rendre compte du caractère parcellaire des données (US-EPA 2005). Cette valeur a été retenue par l'Afssa en 2007 dans un avis sur l'évaluation de risque liée à la présence de baryum dans les eaux destinées à la consommation humaine (Afssa 2007a).

Malgré l'absence de preuve relative à son applicabilité à la population infantile, cette DJT, considérée comme robuste pour la population adulte, est retenue dans le cadre de la présente étude.

Contamination

La LOD s'élève à $0,025 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,050 \text{ mg.kg}^{-1}$ quelle que soit la matrice, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,023 \text{ mg.L}^{-1}$. Le taux de détection global du baryum est de 94% (hors eau du robinet). Le baryum est détecté dans la plupart des groupes d'aliments, mais pas dans certains aliments comme le beurre, les sucres et dérivés, la viande, la volaille et le gibier.

Les plus fortes concentrations sont retrouvées dans la poudre cacaotée ($2610 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$). Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres ($1082 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$), le pain et les produits de panification sèche ($615 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$), et les viennoiseries ($568 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$) (Tableau C1).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

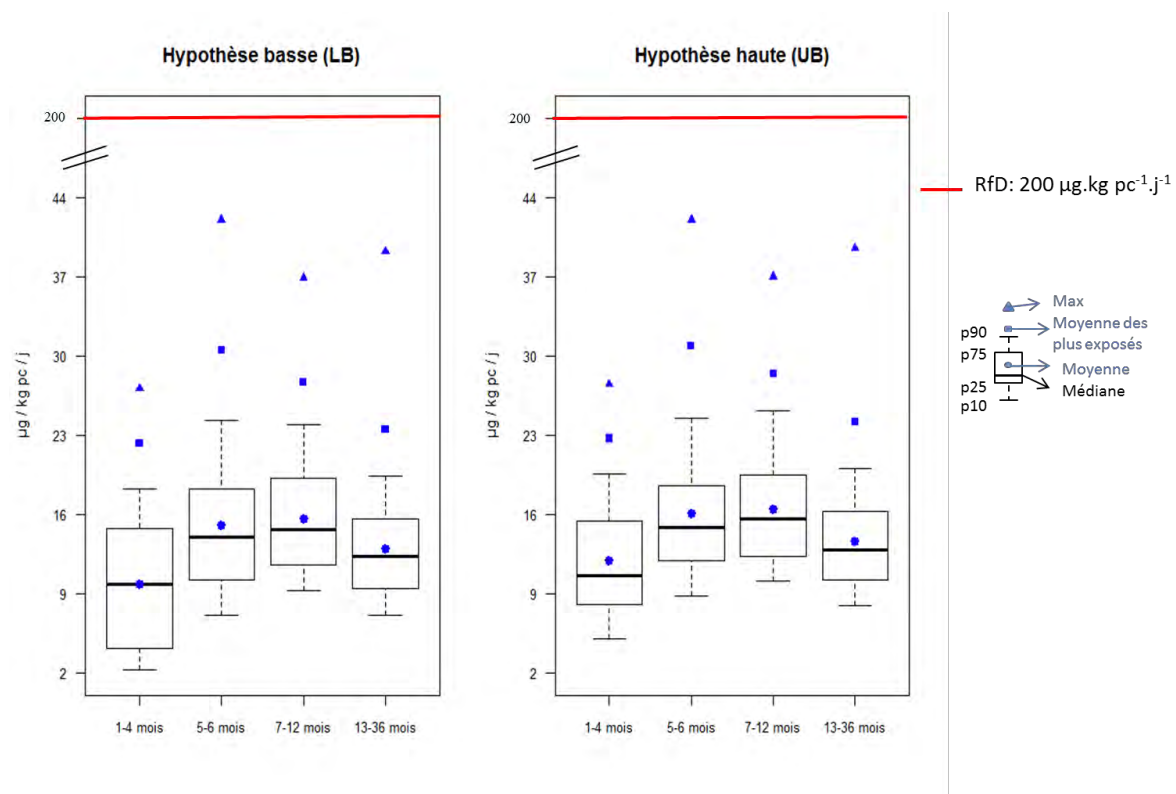
Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière est comprise entre $9,9 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $15,6 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois sous l'hypothèse basse (LB) et entre $11,9 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $16,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois sous l'hypothèse haute (UB) (Tableau E1).

Le P90 s'élève entre $18,3$ et $24,3 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge retenue en LB et entre $19,6$ et $25,2 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB (Tableau E1).

On observe que 3 enfants (2 enfants de 5-6 mois et 1 enfant de 13-36 mois) sont très fortement exposés au baryum (entre 17 et $22 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB). Il s'agit d'enfants ayant consommé durant les 3 jours d'enquête une quantité importante de carottes (100-150g par jour) pour les plus jeunes, et de biscuits chocolatés (240g par jour) pour le plus âgé.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre $22,3$ et $30,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre $22,7$ et $30,9 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon les classes d'âge.



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
RfD : Dose de référence orale

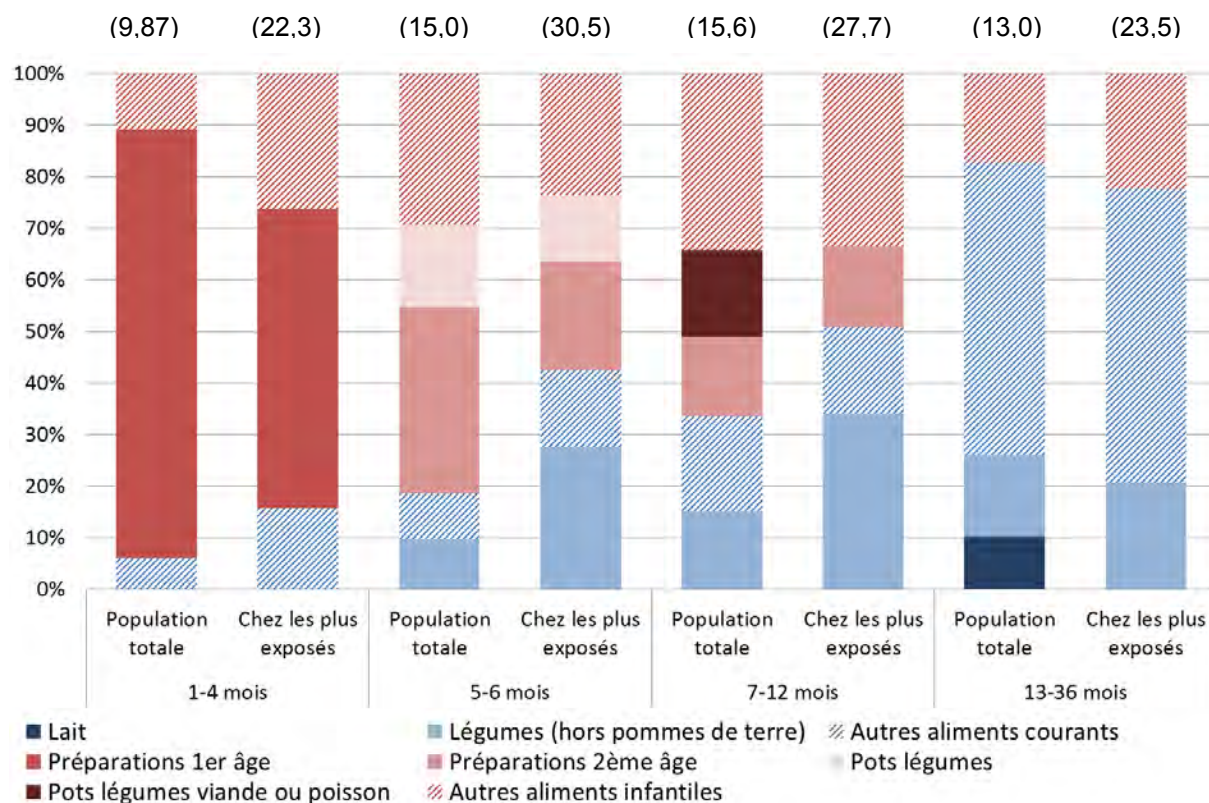
Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au baryum

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois, les préparations infantiles apparaissent comme contributeurs majeurs à l'exposition au baryum, avec 83% des apports chez les 1-4 mois par les préparations 1^{er} âge, 36% chez les 5-6 mois, et 15% chez les 7-12 mois par les préparations 2^{ème} âge (Tableau E3). L'eau utilisée pour reconstituer ces préparations est un contributeur majeur à l'exposition chez les 1-4 mois (41%) et chez les 5-6 mois (18%). Les pots à base de légumes contribuent à 16% chez les 5-6 mois et ceux à base de légumes-viande ou légumes-poisson contribuent à 17% chez les 7-12 mois. Dans cette classe d'âge, les légumes (hors pommes de terre) contribuent à hauteur de 15% à l'exposition. Chez les 13-36 mois, les légumes (16%) et le lait (10%) sont les 2 contributeurs majeurs.

Chez les enfants de moins de 3 ans les plus exposés, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés. Cependant, la contribution des légumes (hors pommes de terre) apparaît plus importante dès 5 mois alors que celle des aliments infantiles est moindre que dans l'ensemble des moins de 3 ans (Tableau E4).

(Exposition moyenne en LB en $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans au baryum

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition des enfants de 3 à 6 ans sont estimés dans l'EAT2 à $14,45 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en moyenne, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats de la présente étude (Anses 2011a). Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques, l'exposition moyenne au baryum des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée à $22,2 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, ce qui est un peu plus élevé que les expositions estimées dans la présente étude pour les 13-36 mois (Rose et al. 2010).

Evaluation du risque

Aucun dépassement de la VTR n'est observé. Cependant, sous l'hypothèse haute (UB), le 90^{ème} centile d'exposition représente un peu plus de 10% de la RfD.

Synthèse des résultats d'exposition (UB) au baryum des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	RfD	Exposition moyenne	90ème centile	% de dépassement
	<i>En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$</i>			
1-4 mois	200	11,9	19,6	Pas de dépassement
5-6 mois		16,1	24,5	
7-12 mois		16,5	25,2	
13-36 mois		13,6	20,1	

UB : Hypothèse haute (upper bound)

RfD : Dose de référence orale

Conclusion et recommandations

Compte tenu de la faible robustesse de la VTR pour la population infantile et des niveaux d'exposition observés, un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au baryum ne peut être exclu.

Il conviendrait donc de mener à bien des études de toxicité sur le développement et la reproduction afin de déterminer une VTR tenant compte des spécificités infantiles.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le baryum ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	47	65,8
Infantile	Céréales infantiles	17	100	118	118
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	117	117
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	317	317
Infantile	Laits de croissance	9	89	39,4	58,9
Infantile	Potages, purées	11	100	259	259
Infantile	Pots fruits	30	100	184	184
Infantile	Pots légumes	27	100	337	337
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	286	286
Infantile	Préparations 1er âge	28	96	114	115
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	108	111
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	107	107
Courant	Beurre	1	0	0	25
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	1082	1082
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	83	113	117
Courant	Charcuterie	2	50	38,5	51
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	168	168
Courant	Eaux*	11306	67	26	37,7
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	471	471
Courant	Fromages	1	100	178	178
Courant	Fruits	6	100	418	418
Courant	Lait	3	100	77,7	77,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	417	417
Courant	Œufs et dérivés	1	100	261	261
Courant	Pain et panification sèche	2	100	615	615
Courant	Poissons	3	100	136	136
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	93,3	93,3
Courant	Pâtes	1	100	470	470
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	226	238
Courant	Soupes et bouillons	1	100	177	177
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	25
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	64,4	64,4
Courant	Viande	2	0	0	25
Courant	Viennoiserie	2	100	568	568
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	25

*Données de la base SISE-EAUX pour l'eau du robinet (Ministère chargé de la Santé 2011-2012)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au baryum ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	9,87	11,9	9,82	10,6	18,3	19,6
5-6 mois	15,0	16,1	14,0	14,9	24,3	24,5
7-12 mois	15,6	16,5	14,7	15,6	23,9	25,2
13-36 mois	13,0	13,6	12,3	12,9	19,4	20,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au baryum ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	22,3	22,7	22,1	22,4
5-6 mois	30,5	30,9	29,3	29,4
7-12 mois	27,7	28,4	27,2	27,5
13-36 mois	23,5	24,2	21,2	22,4

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au baryum en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,4	0,6	1,1	1,5	1,1	1,6	0,3	0,4
Infantile	Céréales infantiles	2,4	2	3,5	3,3	4,2	3,9	2,6	2,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	0,3	2,8	2,6	3,7	3,5	0,6	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0,1	0,9	0,8	1	0,9	0,3	0,3
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	1,4	2	1,9	3,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0,3	0,3	.	.
Infantile	Potages, purées	1,1	0,9	3	2,8	4,5	4,3	2,2	2,1
Infantile	Pots fruits	1,6	1,3	8,3	7,8	8,9	8,4	2,2	2,1
Infantile	Pots légumes	2,8	2,3	15,9	14,8	8,9	8,4	2,8	2,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	6,7	6,3	16,8	15,9	4,1	3,9
Infantile	Préparations 1er âge	83,2	85,3	3,1	4,1	0,5	0,6	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	41,3	50,3	0,9	2,1	0,1	0,3	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2	2	36,1	38,3	15,4	17,8	0,3	0,4
Infantile	<i>dont eau</i>	0,5	0,8	17,9	20,9	6,6	8,6	0,1	0,1
Total aliments infantiles		93,9	94,8	81,3	82,3	66,3	67,3	17,2	18,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,1	0,9	0,8	5,3	5,1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,8	0,8	4,9	4,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,2	0,2	2,9	3,2
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0,3	0,5
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2
Courant	Compotes et fruits cuits	0,2	0,2	0,1	0,1	1,1	1	2,6	2,5
Courant	Eaux	1	1	1,1	1,3	1,8	2,3	3,4	5,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,2	0,2	0,6	0,6	3,8	3,6
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,2	0,2	0,5	0,4
Courant	Fruits	.	.	0,8	0,8	1	1	8,4	8
Courant	Lait	3,9	3,3	3,6	3,4	3,8	3,6	10,3	9,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,8	0,7	9,8	9,1	15,3	14,5	15,9	15,1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,2	0,2
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,6	0,6	3,2	3,1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,9	0,8
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0,6	0,6	1,2	1,1	2	1,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1,2	1,1	6,7	6,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,4	0,4	0,7	0,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	1,3	1,3	1,3	1,2	3,9	3,8
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	1	0,9	3	2,9	4,4	4,2
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0,1	0	0,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,8	1,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,1	0	0,1
Total aliments courants		6,1	5,2	18,7	17,7	33,7	32,7	82,8	81,8

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au baryum en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,9	1,8	0,6	1,2	0,8	2,4	0,2	0,4
Infantile	Céréales infantiles	5,9	5,8	3,5	3,5	3,1	3,1	2,5	1,8
Infantile	Desserts lactés infantiles	1,1	0,8	1,5	1,5	2,8	3,3	1,3	1,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,5	0,5	0,8	0,8	1,8	1,8	0,2	0,2
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	.	0,1	0,8	1,5
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	1,6	0,5	4,3	4,2	2,9	2,8	1,4	1,2
Infantile	Pots fruits	4	3,8	6,9	6,8	6,6	5,7	3	3
Infantile	Pots légumes	6,6	7,7	12,9	12,7	5,7	7,6	7,1	7,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	5,9	5,9	8,9	10,9	4,7	4,7
Infantile	Préparations 1er âge	58	56,2	.	.	0,9	0,8	.	.
Infantile	dont eau	36,2	34,9	.	.	0,7	0,6	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	5,5	7	21	21,2	15,6	13,4	0,9	1,1
Infantile	dont eau	1,8	2,8	12,3	12,7	8,9	7,8	0,4	0,5
Total aliments infantiles		84,2	84	57,4	57,8	49	51,8	22,1	22,4
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	3,3	3,7
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	1,3	1,3	7,4	7,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	1,4	1,5
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	0,5	0,5	0,5	0,5	2	1,9	1	1
Courant	Eaux	2,3	2,7	2,3	2,3	2	2,7	5	5,7
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	1,4	1,3	2,8	2,4
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	1,4	1,4	1,3	1,3	7,7	8,1
Courant	Lait	9,3	9,1	6,5	6,4	1	1,3	8,2	7,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	3,6	3,5	27,7	27,3	34,2	29,4	20,8	19,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,9	1,2	1,4	1,4
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,1	.
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0	0,3	0,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	0,1	1,2	1,2	1,6	1,3	1,4	1,4
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,8	0,8	4,4	3,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,3	1,3	0,2	0,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2,6	2,5	1,9	2,8	8,3	8,4
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0,5	0,5	1	1,3	2,9	2,7
Courant	Viande	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Vienniserie	.	.	.	.	.	.	0,9	1,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Total aliments courants		15,8	16	42,6	42,2	51	48,2	77,9	77,6

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.6 Cadmium

Le cadmium (Cd) est un élément trace métallique ubiquitaire, naturellement présent dans l'environnement à faible concentration, mais aussi à des concentrations plus élevées dans certains sites du fait des activités humaines (industrielles...). Il est aussi présent dans la fumée de cigarette sous forme de très fines particules.

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 (WHO 2010). Le cadmium est bioaccumulable et se révèle donc un contaminant de la chaîne alimentaire potentiellement préoccupant.

Caractérisation du danger

Le Cd est largement distribué dans l'organisme, mais s'accumule en particulier dans le foie et les reins (ATSDR 2012a). La demi-vie d'élimination sanguine du Cd est de l'ordre de 100 jours et la demi-vie d'élimination biologique est comprise entre 10 et 30 ans (12 ans en moyenne).

Chez l'Homme, une exposition prolongée au Cd induit une néphropathie, une fragilité osseuse, des troubles de la reproduction ainsi qu'un risque accru de cancer de plusieurs organes (poumon en milieu professionnel, prostate, rein) ayant donné lieu à un classement comme « Cancérogène pour l'Homme » (groupe 1) par le CIRC. Le cadmium passe la barrière placentaire (Al-Saleh et al. 2011).

En 2009, l'EFSA a abaissé la DHTP de $7 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ à une DHT de $2,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ toutes deux basées sur l'observation des effets rénaux consécutifs à une exposition chronique au cadmium. La DHT de $2,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ a été établie suivant une approche « Benchmark Dose » (BMD) en modélisant la relation entre la concentration urinaire de cadmium et celle de la bêta-2-microglobuline qui représente un bon marqueur de l'atteinte tubulaire rénale (EFSA 2009c). La position dans l'avis de l'EFSA a été confirmée en 2011 (EFSA 2011). Selon les experts de l'Anses, la DHT proposée par l'EFSA étant établie sur la base d'effets observés après une exposition de l'ordre de 40 à 50 ans, elle ne permet pas de caractériser spécifiquement le danger chez l'enfant, mais reste néanmoins pertinente quant à la prise en compte des effets chez l'adulte résultant d'une exposition depuis l'enfance (Anses 2011b).

Dans son avis (2011), l'Anses précisait que les données expérimentales permettant de déterminer qualitativement et quantitativement la toxicité du cadmium administré directement chez les jeunes animaux par voie orale et à doses faibles faisaient défaut, et donc ne permettaient pas de définir une valeur toxicologique de référence spécifique de l'enfant (Anses 2011b).

Cependant, plusieurs études épidémiologiques suggèrent de possibles effets toxiques (neuro-développement) liés à des expositions faibles au Cd durant les périodes fœtales et la petite enfance (Kippler, Tofail, et al. 2012, Kippler, Hossain, et al. 2012, Szkup-Jablonska et al. 2012), et également chez des enfants âgés de 6 à 15 ans (Ciesielski et al. 2012). Un lien entre cadmiurie et troubles du métabolisme osseux est également décrit chez les adolescents (Sughis et al. 2011). Les résultats de ces études ne permettent pas, à ce jour, de définir des valeurs toxicologiques de référence et nécessitent des études complémentaires confirmant ces observations sur d'autres populations infantiles.

Une comparaison des expositions des enfants au cours des trois premières années de vie à la DHT ne permettrait pas de conclure quant au risque associé aux effets rénaux observés après 40-50 ans d'exposition. Néanmoins, et dans le but d'appréhender ce risque lié à

l'accumulation de cadmium au niveau du cortex rénal, le calcul de l'apport massique hebdomadaire moyen en Cd d'un enfant jusqu'à l'âge de 3 ans peut être comparé à celui d'un adulte.

Contamination

La LOD s'élève à $0,0003 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,0005 \text{ mg.kg}^{-1}$ quelle que soit la matrice. Le taux de détection global du cadmium est de 65% (hors eau du robinet). Le cadmium est détecté dans la plupart des groupes d'aliments, mais pas dans certains aliments (lait courant, beurre, jus de fruits infantiles) et avec un taux de détection inférieur à 30% pour les préparations infantiles.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les pommes de terre ou apparentés ($25 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$), les biscuits sucrés ou salés et barres ($22 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$), les pâtes, légumes et pains et produits de panification sèche ($16 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$). Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

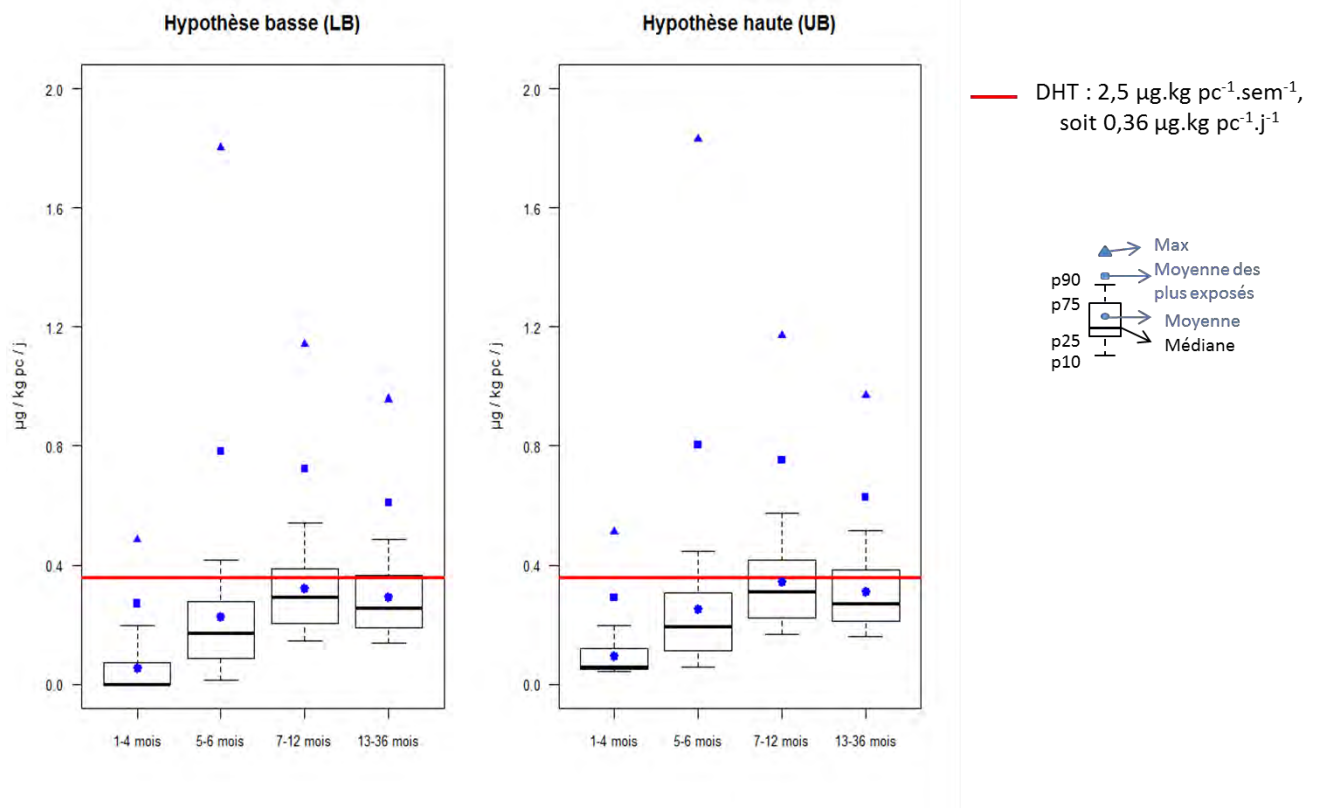
Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière en LB est comprise entre $0,055 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,323 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E1). En UB, elle est comprise entre $0,095 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et $0,345 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ dans les mêmes classes d'âge. Jusqu'à 12 mois, l'exposition augmente du fait d'une consommation croissante de produits courants et d'un ratio consommation/poids corporel important, qui diminue ensuite avec l'âge.

Le P90 se situe entre $0,197$ et $0,543 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB selon la classe d'âge retenue, et entre $0,197$ et $0,576 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB (Tableau E1).

On observe que 2 enfants de la classe 5-6 mois sont très fortement exposés au cadmium ($1,63$ et $1,83 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB). Il s'agit d'enfants ayant consommé durant les 3 jours d'enquête une quantité importante d'épinards ou de pommes de terre.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre $0,270$ et $0,781 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre $0,290$ et $0,804 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon les classes d'âge.



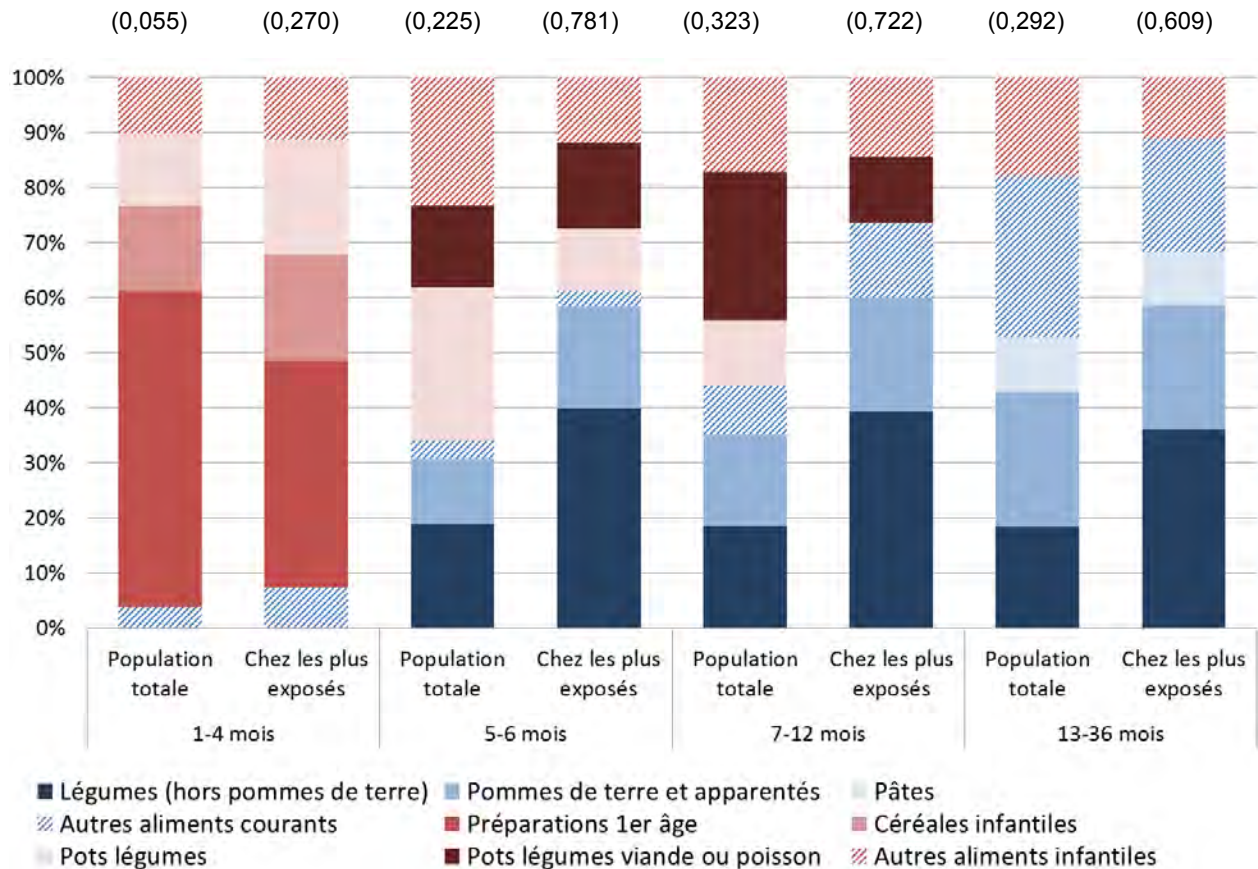
LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
DHT : Dose hebdomadaire tolerable

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au cadmium

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Chez les 1-4 mois, les contributeurs majeurs à l'exposition moyenne sont les préparations 1^{er} âge (58%), les céréales infantiles (15%), et les pots de légumes (13%) (Tableau E3). Chez les 5-12 mois, les aliments courants s'ajoutent aux contributeurs majeurs : légumes (19%) et pommes de terre (12 à 17%) ; les pots de légumes et les pots de légumes-viande ou légumes-poisson représentent également 12 à 28% de l'exposition dans cette classe d'âge. Enfin, chez les 13-36 mois, seuls les aliments courants contribuent de façon majeure à l'exposition : pommes de terre (24%), légumes (18%) et pâtes (10%).

Chez les plus exposés, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés. Cependant, la contribution des aliments courants est plus importante à partir de 5 mois qu'en population générale : 36 à 40% pour les légumes et 19 à 23% pour les pommes de terre.

(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au cadmium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 s'élevaient à $0,339 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en moyenne (Anses 2011a), ce qui est du même ordre de grandeur que chez les 7-36 mois de la présente étude. Dans l'EAT2, 15 % des enfants de 3 à 17 ans dépassaient la DHT. Ces enfants dépassant la DHT étaient significativement plus jeunes que les enfants ne dépassant pas la DHT ($6,5 \pm 3,1$ ans contre $11,0 \pm 3,9$ ans) et avaient des poids corporels plus faibles (21 ± 9 kg contre 41 ± 17 kg). A partir de 5 ans, le nombre d'enfants dépassant la DHT diminuait au fur et à mesure que le poids corporel des enfants augmentait (Anses 2011a). L'Anses avait conclu que la majorité de ces dépassements pouvait être considérée comme transitoire et disparaissant lorsque ces enfants avanceront en âge. Ces dépassements sont davantage liés au poids corporel faible de ces enfants qu'à un comportement alimentaire particulier.

Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques (Rose et al. 2010), l'exposition moyenne au cadmium des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée à $0,370-0,450 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (LB-UB), ce qui est légèrement supérieur à l'exposition des 13-36 mois de la présente étude, mais les niveaux de contamination des aliments sont équivalents.

Evaluation du risque

Il existe des dépassements de la DHT chez les enfants de 5 à 36 mois (15 à 36% selon la classe d'âge). Chez les 1-4 mois, il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure d'exposition.

Synthèse des résultats d'exposition (UB) au cadmium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DHT	Exposition moyenne	90ème centile	% de dépassement
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$			
1-4 mois	2,5 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ soit 0,36 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$	0,095	0,197	NC*
5-6 mois		0,253	0,446	15 [4 ; 26]
7-12 mois		0,345	0,576	36 [28 ; 45]
13-36 mois		0,312	0,515	29 [25 ; 33]

*NC : non calculé en raison du faible effectif

UB : Hypothèse haute (upper bound)

DHT : Dose hebdomadaire tolérable

Conclusion et recommandations

Des dépassements de la DHT chez l'enfant sont observés (jusqu'à 36% des enfants). Ils sont nettement plus élevés que ceux observés chez les enfants entre 3 et 17 ans (15%) et les adultes (0,6%) (Anses 2011a). Comme cela a pu être démontré pour les enfants de plus de 3 ans (Anses 2011b) ces dépassements sont en grande partie liés à la normalisation de l'exposition par le poids corporel des enfants et ne devraient plus être observés dans ces proportions une fois l'âge adulte atteint. Ces dépassements doivent également être relativisés au regard du mécanisme d'action du cadmium chez l'Homme. La DHT est établie sur la base d'un effet néphrotoxique du cadmium dû à son accumulation au cours du temps au niveau du cortex rénal, les effets se manifestant vers l'âge de 50 ans. La protection vis-à-vis de l'effet critique consiste donc à limiter l'accumulation de cadmium. Il est très peu probable que ces dépassements correspondent à un dépassement de la charge rénale critique. En effet, sur la base des résultats de cette étude et de ceux de l'EAT2, on constate que l'exposition entre 1 et 36 mois ne contribuerait que très faiblement (<3 %) à l'exposition cumulée pendant 50 ans⁶.

Par ailleurs, des études épidémiologiques récentes suggèrent l'existence d'effets cognitifs associés à de faibles niveaux d'exposition au cadmium. Ces effets demandent à être confirmés pour être pris en compte dans l'établissement de valeurs guides.

En raison du mécanisme d'action du cadmium, l'évaluation des risques sanitaires pour les moins de 3 ans ne peut donc être menée à bien. Néanmoins, du fait des dépassements de la

⁶ Calcul réalisé sur la base des apports estimés dans l'EAT1 et l'EAT2 pour les différentes tranches d'âge entre 1 mois et 50 ans, en faisant l'hypothèse que les niveaux de contamination sont stables au cours du temps et que les enfants d'aujourd'hui auront dans le futur le même régime alimentaire que les adultes d'aujourd'hui.

DHT observés dans la population adulte et l'existence d'effets cognitifs associés à de faibles niveaux d'exposition, l'exposition au cadmium n'est pas jugée tolérable et il est recommandé de continuer les efforts afin de diminuer les expositions dès le plus jeune âge.

Les contributeurs majeurs à l'exposition pour les plus de 5 mois sont identiques à ceux identifiés dans la population générale, principalement les pommes de terre et les légumes. Les recommandations émises pour réduire l'exposition de la population générale et visant à diminuer les concentrations de cadmium dans les principaux contributeurs sont donc également pertinentes dans le cas des enfants de moins de 3 ans afin de limiter l'accumulation du cadmium dès le plus jeune âge.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le cadmium ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	1,88	1,88
Infantile	Céréales infantiles	17	100	2,79	2,79
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	50	0,5	0,65
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	0,3
Infantile	Laits de croissance	9	11	0,444	0,711
Infantile	Potages, purées	11	100	7,36	7,36
Infantile	Pots fruits	30	47	0,487	0,66
Infantile	Pots légumes	27	100	9,26	9,26
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	9,31	9,31
Infantile	Préparations 1er âge	28	25	0,125	0,386
Infantile	Préparations 2ème âge	34	29	0,179	0,432
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	1,85	1,85
Courant	Beurre	1	0	0	0,3
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	22	22
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	17	0,167	0,417
Courant	Charcuterie	2	100	0,65	0,75
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	0,65	0,75
Courant	Eaux*	221	0	0,003	0,401
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	7	7
Courant	Fromages	1	100	2	2
Courant	Fruits	6	50	0,55	0,733
Courant	Lait	3	0	0	0,3
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	15,5	15,5
Courant	Œufs et dérivés	1	100	0,3	0,5
Courant	Pain et panification sèche	2	100	15,5	15,5
Courant	Poissons	3	100	4,33	4,33
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	25	25
Courant	Pâtes	1	100	16	16
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	10	10
Courant	Soupes et bouillons	1	100	8	8
Courant	Sucres et dérivés	1	100	1	1
Courant	Ultra-frais laitier	5	40	0,26	0,48
Courant	Viande	2	100	0,65	0,75
Courant	Viennoiserie	2	100	12,5	12,5
Courant	Volaille et gibier	2	100	0,65	0,75

*Données de l'étude Plomb-Habitat de 2008-2009 (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au cadmium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,055	0,095	0	0,059	0,197	0,197
5-6 mois	0,225	0,253	0,173	0,194	0,417	0,446
7-12 mois	0,323	0,345	0,293	0,312	0,543	0,576
13-36 mois	0,292	0,312	0,255	0,272	0,488	0,515

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au cadmium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,270	0,290	0,219	0,245
5-6 mois	0,781	0,804	0,541	0,560
7-12 mois	0,722	0,753	0,727	0,745
13-36 mois	0,609	0,629	0,568	0,584

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cadmium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	3	1,8	2,7	2,4	2	1,9	0,4	0,4
Infantile	Céréales infantiles	15,4	9	7,5	6,7	5,9	5,5	2,8	2,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	0,2	0,8	0,9	0,7	0,9	0,1	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,7	1,1	1,4	2,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	5,5	3,2	5,5	4,9	5,7	5,3	2,8	2,6
Infantile	Pots fruits	0,4	0,4	1,8	2,1	1,2	1,5	0,2	0,3
Infantile	Pots légumes	13,3	7,8	27,8	24,7	11,8	11,1	3,4	3,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	14,9	13,3	27	25,3	6,8	6,3
Infantile	Préparations 1er âge	57,5	71,7	0,1	1,3	0,1	0,2	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	42,4	0	1,1	0	0,1	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0,9	1,4	5,1	11,9	0,9	3,9	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,7	0	7,3	0	2,5	0	0
Total aliments infantiles		96,3	95,5	66	68,2	56	56,8	17,9	17,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,1	0,7	0,7	4,1	3,8
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,8	0,7	4,4	4,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0	0,1	0,5
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	0	0	0,2	0,2	0,4	0,5
Courant	Eaux	0	0,7	0	0,4	0	0,7	0	2,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,1	0,1	0,4	0,3	2,1	2
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,6
Courant	Lait	0	1,6	0	0,9	0	0,7	0	1,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	2,2	1,3	18,8	16,7	18,5	17,3	18,4	17,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,7	0,7	3,4	3,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,2	0,2	1,7	1,5
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	1,1	1,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	1,4	0,8	12	10,7	16,6	15,5	24,4	22,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	2	1,8	10,1	9,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,7	0,7	2,3	2,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2,4	2,1	1,8	1,7	5,8	5,4
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	0,3	0,5	0,7	1,1	0,8	1,4
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0,1	0,2	0,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,9	1,8
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Total aliments courants		3,7	4,5	34	31,8	44	43,2	82,1	82,2

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cadmium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	2,9	2,7	0,7	0,7	1,2	1,3	0,5	0,5
Infantile	Céréales infantiles	19,3	17,9	3,1	3,1	2,9	2,8	1,7	1,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	0	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	2,1	2,2	2,1	2,4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	6,2	5,8	6	5,9	2,1	2,2	.	.
Infantile	Pots fruits	0,4	0,7	0,9	1,2	0,6	1	0,2	0,3
Infantile	Pots légumes	20,9	19,5	11,4	11,1	5	6,3	2,5	2,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	15,5	15	12	12,3	4,1	4
Infantile	Préparations 1er âge	41,1	38,8	.	.	.	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	10,8	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	1,5	3,1	1,1	2,1	0,2	1,5	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	0	1,6	0	0,9	0	1,2	.	.
Total aliments infantiles		92,6	88,9	38,8	39,1	26,4	30	11,2	11,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,2	0,2	0,5	0,5	2,4	2,4
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	1,1	0,7	5,6	5,8
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2
Courant	Eaux	0	1,2	0	0,3	0	0,7	0	1,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,6	0,6
Courant	Fromages	.	.	0	0	0	0	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	0,1	0,1	0	0,1	0,3	0,4
Courant	Lait	0	3	0	0,9	0	0,1	0	1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	4,5	4,2	39,9	38,8	39,3	38,7	36	35
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	1,2	1,2	1,6	2,3
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,6	0,5
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	2,8	2,6	18,5	18	20,7	19,4	22,7	20,1
Courant	Pâtes	.	.	.	.	4,3	1,7	9,5	9,3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,9	1,9	1	0,9
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2	1,9	3,3	3,3	6,4	6,6
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	0	0,4	0,5	0,5	0,8	0,3	0,6
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0,6	0,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,1	0,1	0	0,1
Total aliments courants		7,4	11,1	61,2	60,9	73,6	70	88,8	88,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.7 Chrome

Le chrome (Cr) est un métal abondant dans la croûte terrestre (100 mg.kg^{-1} en moyenne), le plus souvent présent naturellement sous forme trivalente (Cr(III)) et plus rarement hexavalente (Cr(VI)). Le chrome est utilisé dans des alliages métalliques tels que l'acier inoxydable, en pigments, pour le tannage des peaux, etc. L'Homme y est exposé par inhalation et par consommation d'eau et d'aliments.

Le caractère essentiel du Cr(III) a été défini sur la base d'études réalisées chez des patients sous nutrition parentérale à long terme. Les nouvelles données disponibles remettent en cause ce caractère essentiel. De même, en ce qui concerne les effets physiologiques qui lui sont attribués (tels que la potentialisation de l'action de l'insuline par l'augmentation du nombre de récepteurs à l'insuline, la modification de la liaison insuline/récepteur et la stimulation de l'internalisation de l'insuline), ils ne sont retrouvés que dans des cas particuliers de patients hyperglycémiques ou dyslipidémiques, et non chez l'individu sain, normoglycémique.

Caractérisation du danger

Chez l'enfant, aucune carence en chrome n'a été décrite en dehors d'une malnutrition protéino-énergétique sévère. Une référence nutritionnelle pour la population (RNP) de $25 \mu\text{g.j}^{-1}$ pour les enfants âgés de 1 à 3 ans a été proposée en 2001 sans qu'aucun argumentaire solide n'étaye cette valeur. Il est en effet difficile de proposer des RNP chez les enfants compte tenu de l'incertitude sur les besoins et les risques de déficience.

L'EFSA (EFSA 2014c) n'a pas défini de référence nutritionnelle ni de LSS. L'ANSES endosse la position de l'EFSA et ne retient ni référence nutritionnelle ni LSS pour les enfants âgés de moins de 3 ans.

L'absorption du chrome par voie orale est faible (inférieure à 10%) et varie en fonction de l'état d'oxydation du chrome, le Cr(III) inorganique étant peu absorbé comparé au Cr(VI). Elle dépend aussi de la solubilité des composés, les formes solubles étant mieux absorbées que les formes insolubles. Par ailleurs, les expérimentations animales ont montré que le Cr(VI) peut traverser la barrière placentaire (Saxena et al. 1990).

Le chrome présente une toxicité qui dépend de sa valence et de la voie d'exposition.

Cr(VI) :

Dans le tractus digestif, le Cr(VI) est réduit en Cr(III) sous l'action de la salive et des sucs gastriques ce qui diminue son absorption au niveau de l'intestin grêle (Anses 2012). La toxicité du Cr(VI) est liée à sa capacité à passer facilement les membranes cellulaires, contrairement au Cr(III) inorganique. La toxicité du Cr(VI) par ingestion touche principalement l'estomac, le foie, les reins et les cellules sanguines (Anses 2012). Le Cr(VI) est génotoxique à la fois *in vitro* et *in vivo*. Les mécanismes d'action du Cr(VI) ne sont pas totalement élucidés mais l'induction de dommages à l'ADN, la production d'un stress oxydatif et l'aneuploïdie sont les principaux mécanismes invoqués dans la cancérogénicité du chrome (IARC 2012). Au niveau intracellulaire, le Cr(VI) est réduit en Cr(III), engendrant la production d'intermédiaires réactifs du chrome (CrV et CrIV) et d'espèces réactives de l'oxygène. Le Cr(III) néoformé se lie alors aux macromolécules cellulaires (protéines, acides nucléiques) et serait responsable des effets cancérogènes du Cr(VI) (ATSDR 2012b, Anses 2012, EFSA 2014b).

Chez l'animal exposé pendant 2 ans *via* l'eau de boisson à du dichromate de sodium, des tumeurs ont été relevées aux fortes doses au niveau de la cavité orale chez le rat, et de

l'intestin grêle et duodénum chez la souris (NTP 2008). A partir de cette étude, l'Anses avait retenu en 2012 un ERU de $0,5 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ basé sur une BMDL_{10} de $1,2 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en considérant les adénomes et carcinomes de l'intestin grêle chez les souris mâles. Sur la base de cette même étude, l'EFSA a sélectionné en 2014 la BMDL_{10} la plus basse de $1 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les lésions néoplasiques (adénomes et carcinomes de l'intestin grêle chez les souris, mâles et femelles), comme point de référence pour l'estimation de la marge d'exposition (MOE). Cette valeur de BMDL_{10} plus faible que celle retenue par l'Anses en 2012 est celle retenue ici pour l'évaluation des risques. Le Cr(VI) étant un cancérigène génotoxique, l'EFSA considère une MOE critique de 10 000.

Par ailleurs, l'EFSA (2014) a sélectionné une BMDL_{10} de $0,11 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les lésions non-néoplasiques (hyperplasie épithéliale diffuse du duodénum) à partir de la même étude menée par le NTP (2008) chez la souris exposée pendant 2 ans. Il en résulte une valeur guide de $1 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour le Cr(VI), avec l'application d'un facteur d'incertitude de 100 (10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme, 10 pour la variabilité interindividuelle). Cette valeur est équivalente à la DJT sélectionnée par l'Anses en 2012. Des études de toxicité pour la reproduction et le développement ont été rapportées par l'EFSA mais les valeurs de DSENO sur la fertilité et la descendance sont supérieures aux valeurs de DSENO et de BMDL_{10} pour les lésions non néoplasiques.

Une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, les points de départ toxicologiques suivants sont retenus et appliqués à la population infantile :

- la BMDL_{10} de $1 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (EFSA, 2014) pour les effets néoplasiques associée à une MOE critique de 10 000
- la valeur guide de $1 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les effets non néoplasiques (EFSA, 2014).

Cr(III) :

La toxicité du Cr(III) par voie orale chez l'animal est nettement plus faible que celle du Cr(VI) du fait des limites de biodisponibilité mentionnées. La génotoxicité enregistrée *in vitro* sur cellules de mammifères n'est pas retrouvée dans les essais *in vivo*, que le Cr(III) soit sous forme inorganique ou organique. Dans la cellule, le Cr(III) peut induire des lésions à l'ADN, toutefois sa génotoxicité est limitée ou empêchée par la difficulté du Cr(III) à pénétrer dans les cellules. Aucun effet cancérigène n'a été mis en évidence dans l'étude du NTP (NTP 2008) et le CIRC a classé le Cr(III) et ses composés dans le groupe 3 « inclassable quant à sa cancérigénicité pour l'Homme » (EFSA 2014b, Anses 2012).

Chez l'animal, aucun effet indésirable n'a été mis en évidence chez des rats et souris exposés de manière sub-chronique et chronique à des composés du Cr(III) (EFSA 2014b, Anses 2012). Des résultats contradictoires concernant les effets du Cr(III) sur la reproduction et le développement ont été rapportés. Compte tenu des limites méthodologiques de ces études, ces résultats n'ont pas été utilisés pour établir la valeur de référence. L'EFSA (2014) a dérivé une DJT de $0,3 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à partir d'une DSENO de $286 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sur la base d'une étude de toxicité de 2 ans chez le rat exposé par voie orale à du picolinate de chrome (NTP 2010). Un facteur d'incertitude de 1000 a été retenu : 10 pour l'extrapolation animal-Homme, 10 pour la variabilité humaine et 10 pour tenir compte du manque de données de toxicité sur la reproduction et le développement (EFSA 2014b).

Malgré l'absence de preuve relative à son applicabilité à la population infantile, pour le Cr(III), il est ci retenu la DJT de $0,3 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, considérée comme robuste pour la population adulte.

Teneurs

Les analyses ont porté sur le chrome total. La LOD s'élève à $5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau, pour laquelle la LOQ est de $0,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Le taux de détection global du chrome total est de 99% (hors eau du robinet). Il est généralement élevé dans les matrices alimentaires, toujours supérieur à 60% et le plus souvent égal à 100% et avec une moyenne de 96% pour l'ensemble des matrices alimentaire et 100% pour l'eau.

Les teneurs moyennes en chrome total les plus élevées dans les aliments sont observées dans les biscuits sucrés, salés et barres ($232 \mu\text{g.kg}^{-1}$), puis dans les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés ($178 \mu\text{g.kg}^{-1}$), et les fromages ($111 \mu\text{g.kg}^{-1}$) (Tableau C1). La concentration la plus élevée a été relevée dans un échantillon de poudre cacaotée et sucrée pour boisson au chocolat non reconstitué ($1035 \mu\text{g.kg}^{-1}$ soit $42,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ après reconstitution). Si l'on considère les produits tels que consommés, les plus fortes teneurs sont retrouvées dans les mousses au chocolat et les biscuits secs au chocolat (280 et $232 \mu\text{g.kg}^{-1}$ respectivement).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Apports et exposition (Figures 1a et 1b)

Des hypothèses de spéciation ont été appliquées aux données de concentration en chrome total afin d'estimer la part de Cr(III) et Cr(VI) dans les aliments (voir Tome 2 – Partie 1). Pour les aliments autres que l'eau, il a été considéré d'une part que 100% du chrome était sous forme de Cr(III) et d'autre part que 10% du chrome était sous forme de Cr(VI) afin d'être protecteur. Pour l'eau du robinet, ont été utilisées les données de teneurs en chrome total d'une campagne nationale de mesures du chrome dans les eaux de distribution, et il a été considéré que 75% du chrome était sous forme de Cr(VI). Pour les eaux embouteillées, des données de concentrations en Cr total et Cr(VI) fournies par le laboratoire d'hydrologie de Nancy⁷ (LHN) ont été utilisées.

Synthèses des hypothèses de spéciation du chrome :

	Eau embouteillée	Eau du robinet	Autres aliments
Cr(VI)	Données LHN	75% Cr total	10% Cr total
Cr(III)	Cr total - Cr(VI)	25% Cr total	100% Cr total

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse haute (UB) pour le Cr(III) et le Cr(VI).

L'apport moyen de Cr(III) en UB est compris entre $16,1 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $32,1 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E1). Au P10, l'apport est compris entre 7,48 et $19,5 \mu\text{g.j}^{-1}$. Au P90, il est compris entre 27,6 et $47,4 \mu\text{g.j}^{-1}$.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $6,24 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $16,1 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 7-12 mois.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $31,6 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $55 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 7-12 mois.

⁷ Laboratoire national de référence

L'exposition moyenne journalière au Cr(III) en UB est comprise entre 2,64 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 3,66 $\mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E3). Au P90, l'exposition atteint 5,35 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E4), l'exposition moyenne se situe entre 4,65 chez les 13-36 mois et 6,49 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois.

L'exposition moyenne journalière au Cr(VI) en UB est comprise entre 0,25 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,36 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E3). Au P90, elle atteint 0,54 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB chez les 7-12 mois. Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E4), l'exposition moyenne se situe entre 0,46 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,65 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois en UB.

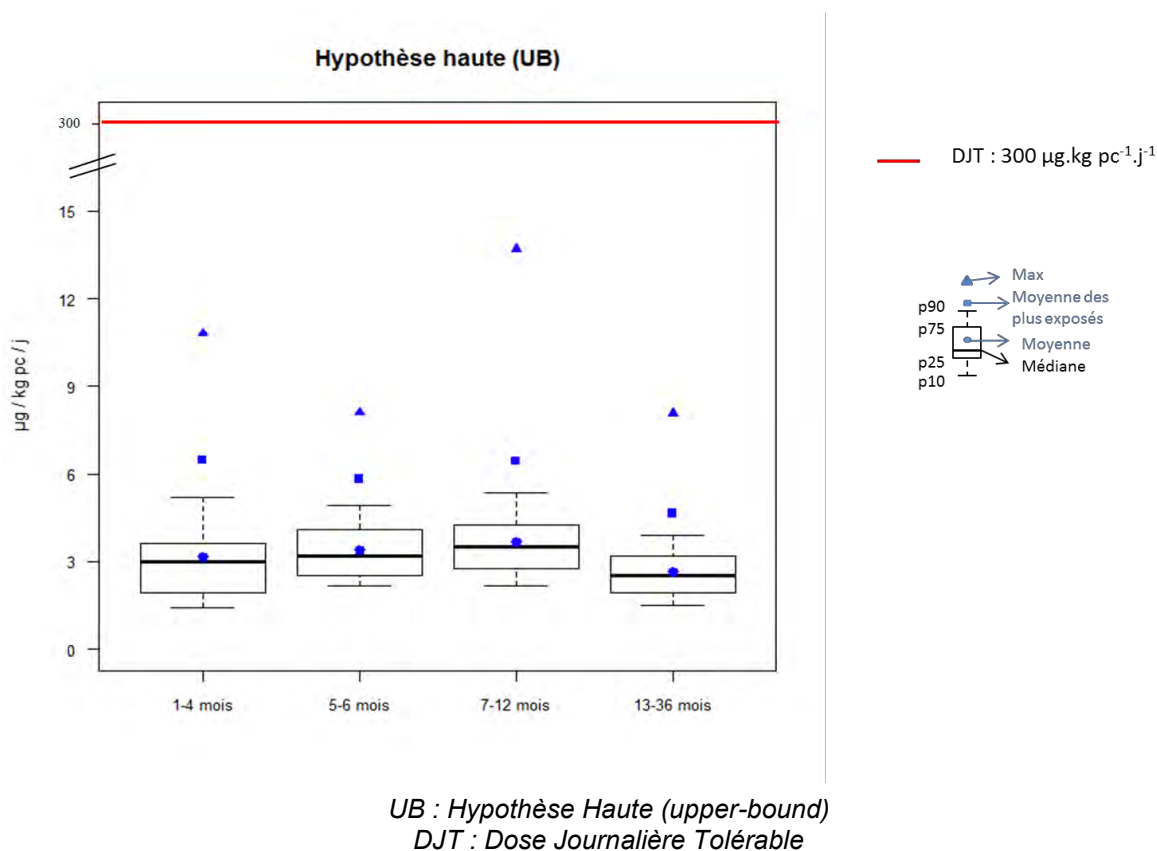


Figure 1a : Exposition des enfants de moins de 3 ans au Cr(III)

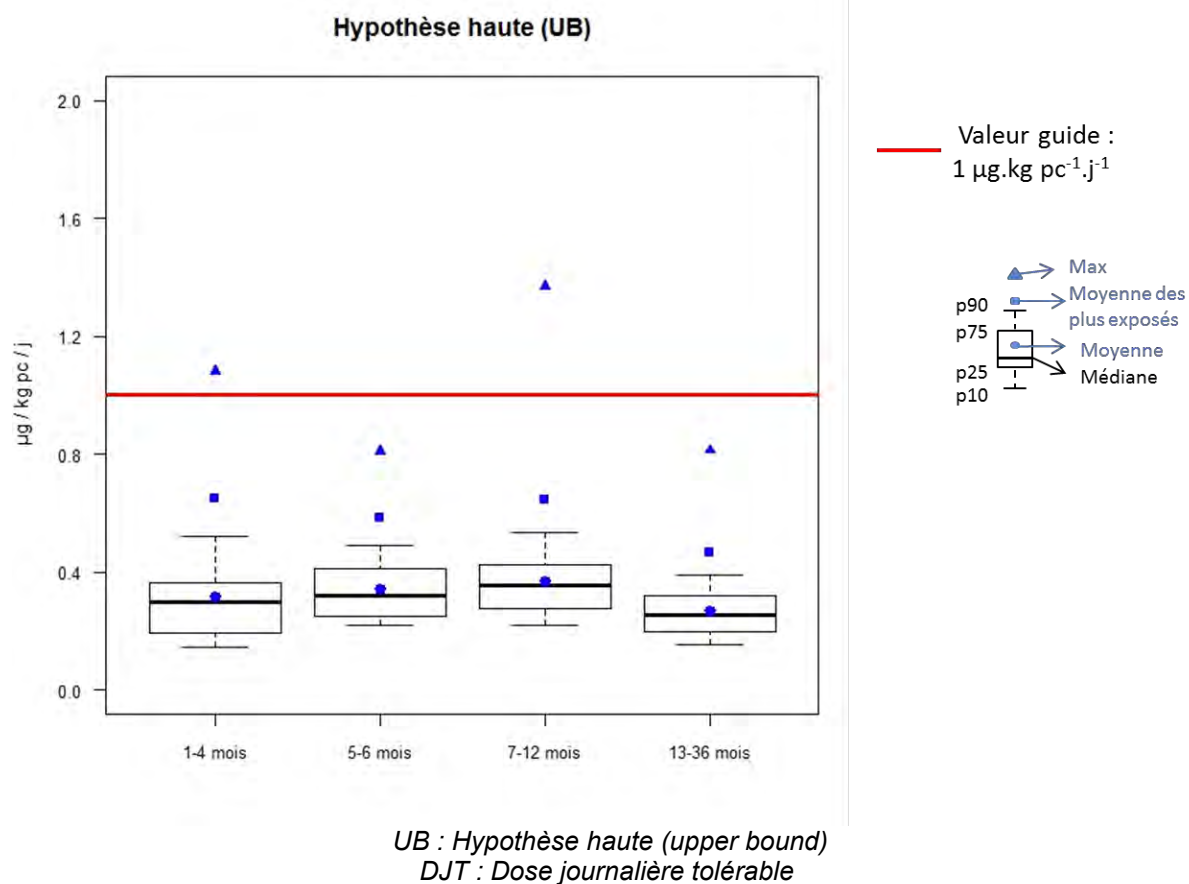


Figure 1b : Exposition des enfants de moins de 3 ans au Cr(VI)

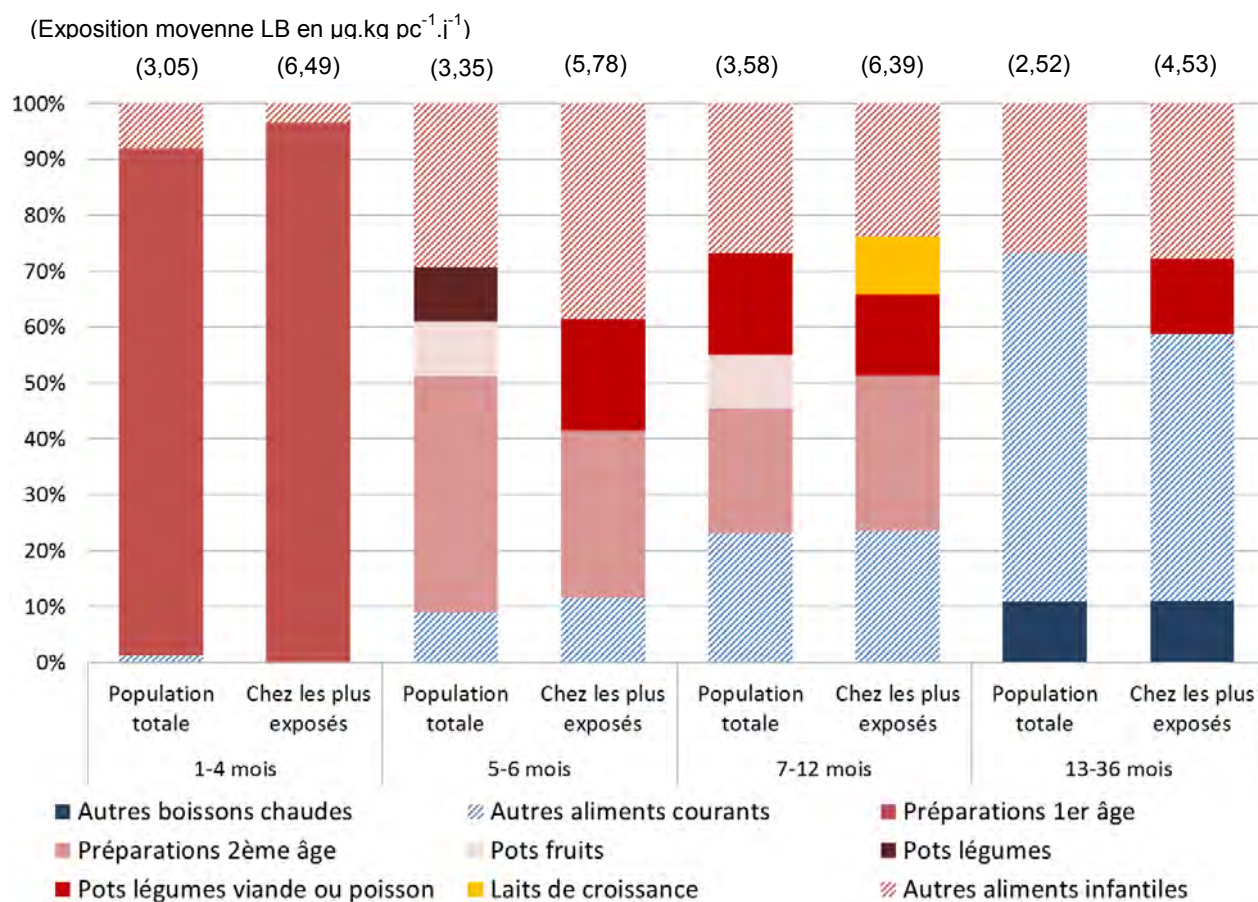
Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs à l'exposition au chrome total sont présentés en LB.

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'exposition au chrome total, avec 92% des apports chez les 1-4 mois, 50% des apports chez les 5-6 mois, et 24% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E5). Chez les 7-12 mois, les pots légumes-viande ou légumes-oignon apparaissent également comme contributeurs majeurs à l'exposition (18%). Chez les 13-36 mois enfin, seules les boissons chaudes (boissons chocolatées) contribuent à plus de 10% à l'exposition (11%).

Chez les enfants les plus exposés, les contributeurs majeurs sont les mêmes que pour l'ensemble de la population infantile, quelle que soit la classe d'âge ainsi que les pots légumes-viande ou légumes-poisson chez les 5-6 mois (20%) et chez les 13-36 mois (14%) et les laits de croissance (10%) chez les 7-12 mois (Tableau E6).

L'eau contribue de façon certaine à l'exposition au Cr(VI) dès la première classe d'âge, dans la mesure où les données utilisées pour l'eau dans la présente étude proviennent d'analyse de Cr(VI) et non de l'application d'une hypothèse de spéciation systématique sur le chrome total. Cependant, au vu des incertitudes sur la part de Cr(VI) dans le reste du régime, il n'est pas possible d'évaluer le niveau de contribution.



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au chrome total des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Dans l'étude de l'alimentation totale britannique de 2006, l'exposition moyenne au chrome total chez les enfants âgés de 1,5 à 4,5 ans était comprise entre 0,81 et 1,03 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Rose et al. 2010), soit une exposition trois fois plus basse que dans la présente étude. Ceci s'explique par des concentrations généralement plus faibles de l'ensemble des groupes d'aliments ($<40 \text{ mg.kg}^{-1}$ quel que soit le groupe considéré) dans l'étude britannique.

Le niveau d'apport moyen en chrome total des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 192,7 $\mu\text{g.j}^{-1}$, avec un P5 à 125,5 $\mu\text{g.j}^{-1}$ et un P95 à 268,8 $\mu\text{g.j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est plus élevé que les apports en CrT des moins de 3 ans. En effet, dans la présente étude, l'apport moyen en chrome total est de 32,7 $\mu\text{g.j}^{-1}$ en UB chez les 13-36 mois (P10 à 19,7 $\mu\text{g.j}^{-1}$ et P90 à 48,1 $\mu\text{g.j}^{-1}$). Ceci peut s'expliquer par le fait que, dans l'EAT2, certains ustensiles et équipements utilisés pour la préparation des échantillons pouvaient relarguer du chrome.

Conclusion et recommandations

Aucune référence nutritionnelle n'ayant été retenue pour le chrome, aucune prévalence d'inadéquation d'apport ne peut être calculée. Le risque sanitaire lié à un apport insuffisant de chrome ne peut être évalué pour les moins de 3 ans. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer des références nutritionnelles.

Sous l'hypothèse haute, aucun dépassement de la DJT de $0,3 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ retenue pour le Cr(III) n'est observé chez les moins de 3 ans. L'exposition au P90 représente moins de 2% de la DJT. Sur la base des connaissances actuelles et des données disponibles, l'exposition alimentaire de la population infantile au Cr(III) est jugée tolérable.

Synthèse des résultats d'exposition (UB) au Cr(III) des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DJT	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	% de dépassement de la valeur de référence
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$			
1-4 mois	300	3,14	5,19	Pas de dépassement
5-6 mois		3,40	4,92	
7-12 mois		3,66	5,35	
13-36 mois		2,64	3,89	

UB : Hypothèse haute (upper bound)

DJT : Dose Journalière Tolérable

Concernant le Cr(VI), il existe des dépassements chez les 1-4 mois et les 7-12 mois mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des faibles effectifs concernés et donc des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure d'exposition.

Au regard de la BMDL₁₀ de $1000 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les lésions néoplasiques, la MOE calculée sur la base de l'exposition moyenne est comprise entre 2700 et 3700 en UB. La MOE calculée sur la base de l'exposition au P90 est comprise entre 1900 et 2600 en UB.

Sur la base d'une hypothèse maximaliste de 10% de Cr(VI) dans les aliments (hors eau), un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au Cr(VI) ne peut donc être exclu pour certains groupes de consommateurs. Il conviendrait donc de disposer de données analytiques de spéciation du chrome dans les aliments afin d'affiner les hypothèses de spéciation, voire de s'en affranchir.

Synthèse des résultats d'exposition (UB) au Cr(VI) des enfants de moins de 3 ans

Concernant les effets non néoplasiques

Classe d'âge	Valeur guide	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	% de dépassement de la valeur guide
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$			
1-4 mois	1	0,314	0,519	NC*
5-6 mois		0,341	0,492	Pas de dépassement
7-12 mois		0,367	0,535	NC*
13-36 mois		0,267	0,391	Pas de dépassement

*non calculé en raison du faible effectif

Concernant les effets néoplasiques

Classe d'âge	BMDL ₁₀	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	Marge d'exposition pour l'exposition moyenne	Marge d'exposition pour l'exposition au P90
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$				
1-4 mois	1000	0,314	0,519	3200	1900
5-6 mois		0,341	0,492	2900	2000
7-12 mois		0,367	0,535	2700	1900
13-36 mois		0,267	0,391	3700	2600

UB : Hypothèse haute (upper bound)

BMDL : Bench Mark Dose Limit

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en chrome total ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	31,8	31,8
Infantile	Céréales infantiles	17	100	23,0	23,0
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	32,2	33
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	19,8	21
Infantile	Laits de croissance	9	100	27,1	27,7
Infantile	Potages, purées	11	100	39	39
Infantile	Pots fruits	30	100	42,7	42,7
Infantile	Pots légumes	27	100	50,4	50,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	68,9	68,9
Infantile	Préparations 1er âge	28	96	20,3	20,8
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	21,7	22,1
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	42,4	42,4
Courant	Beurre	1	100	30	30
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	232	232
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	83	11,5	13,2
Courant	Charcuterie	2	100	38,5	38,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	41,5	41,5
Courant	Eaux*	402	69	0,199	0,234
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	178	178
Courant	Fromages	1	100	111	111
Courant	Fruits	6	100	27,2	28
Courant	Lait	3	100	7,33	10,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	88	44	45,3
Courant	Œufs et dérivés	1	100	21	21
Courant	Pain et panification sèche	2	100	80,5	80,5
Courant	Poissons	3	100	81,7	81,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	35	35
Courant	Pâtes	1	100	33	33
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	28	28
Courant	Soupes et bouillons	1	100	46	46
Courant	Sucres et dérivés	1	100	12	12
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	15,2	17,2
Courant	Viande	2	100	91,5	91,5
Courant	Viennoiserie	2	100	95	95
Courant	Volaille et gibier	2	100	41	41

* Eaux embouteillées : données du LHN issues de la campagne nationale de mesures du chrome total et Cr(VI) dans les eaux conditionnées (données non publiées) ; Eau du robinet : données du LHN issues de la campagne nationale d'occurrence sur les perchlorates pendant laquelle le chrome total a été mesuré.

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en Cr(III) des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P10		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	15,8	16,1	15	15	6,57	7,48	27,6	27,6
5-6 mois	23,9	24,3	22,3	22,4	15,3	15,3	34,6	35,2
7-12 mois	31,4	32,1	30,3	30,7	17,9	19,5	44,9	46,6
13-36 mois	30,4	31,9	28,7	30,3	17,4	19	45,6	47,4

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'apport en Cr(III) des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) et les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Apports les plus faibles (<P10)				Apports les plus élevés (>P90)			
	Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	4,7	6,24	5,44	6,57	31,6	31,6	31,4	31,4
5-6 mois	13,5	13,6	14,2	14,2	39,9	40,5	40,8	40,9
7-12 mois	14,5	16,1	15,7	16,5	54,4	55	50,2	50,9
13-36 mois	13,7	15,3	14,2	15,7	52,6	54,4	49,6	51,9

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Estimation de l'exposition au chrome des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	CrT						Cr(III)						Cr(VI)					
	Moyenne		Médiane		P90		Moyenne		Médiane		P90		Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	3,05	3,14	2,98	2,98	5,19	5,19	3,05	3,14	2,98	2,98	5,19	5,19	0,31	0,31	0,30	0,30	0,52	0,52
5-6 mois	3,35	3,4	3,11	3,18	4,92	4,92	3,35	3,4	3,11	3,18	4,92	4,92	0,34	0,34	0,31	0,32	0,49	0,49
7-12 mois	3,58	3,66	3,49	3,52	5,35	5,35	3,58	3,66	3,49	3,52	5,35	5,35	0,36	0,37	0,35	0,35	0,54	0,54
13-36 mois	2,52	2,64	2,41	2,52	3,78	3,9	2,51	2,64	2,41	2,52	3,78	3,89	0,25	0,27	0,24	0,25	0,38	0,39

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E4 : Estimation de l'exposition au chrome des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	CrT				Cr(III)				Cr(VI)			
	Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	6,49	6,49	6,05	6,05	6,49	6,49	6,05	6,05	0,65	0,65	0,61	0,61
5-6 mois	5,78	5,83	5,26	5,75	5,78	5,83	5,26	5,75	0,58	0,58	0,53	0,58
7-12 mois	6,39	6,43	5,76	5,76	6,39	6,43	5,76	5,76	0,64	0,64	0,58	0,58
13-36 mois	4,53	4,65	4,27	4,47	4,53	4,65	4,27	4,47	0,46	0,47	0,43	0,45

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au chrome total en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,1	1,1	4,2	4,1	3,7	3,6	1,2	1,2
Infantile	Céréales infantiles	1,6	1,5	2,9	2,8	3,4	3,3	3,3	3,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	0,3	3,9	3,9	4,7	4,6	0,8	0,8
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	4,2	4,1	8,3	7,9
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0	.	.
Infantile	Potages, purées	0,6	0,6	2,1	2,1	3,1	3,1	1,7	1,6
Infantile	Pots fruits	1,4	1,4	9,7	9,5	9,6	9,4	2,6	2,5
Infantile	Pots légumes	1,2	1,1	9,9	9,7	6	5,9	2,3	2,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	8,9	8,8	18,2	17,8	5,6	5,3
Infantile	Préparations 1er âge	90,7	90,1	6,9	6,8	1,5	1,5	.	.
Infantile	dont eau	0,2	0,4	0	0	0	0	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	1,7	1,7	42,2	41,7	22,2	22,3	0,9	0,9
Infantile	dont eau	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0	0
Total aliments infantiles		98,7	97,9	91	89,8	76,8	75,7	26,7	25,6
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,1	1,5	1,5	10,9	10,3
Courant	Beurre	.	.	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,8	0,7	5,4	5,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,2	1,6	2
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Compotes et fruits cuits	0,2	0,2	0,2	0,1	1,2	1,1	3,3	3,2
Courant	Eaux	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,2	0,2	0,8	0,8	6,2	5,9
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,5	0,5	1,5	1,4
Courant	Fruits	.	.	0,5	0,5	0,7	0,7	3	3,1
Courant	Lait	0,9	1,7	1,1	2,1	1,1	2,2	3,7	6,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	0,2	1,9	2,1	4,8	4,9	7,2	7
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,4	0,4	2,5	2,3
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	1,3	1,2
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	1,5	1,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	0,1	2	2	3,5	3,5	5	4,8
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,4	0,4	2,4	2,3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,2	0,2	0,8	0,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	1	1	1	1	4,1	3,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	1,7	1,7	4,6	4,7	6,6	6,8
Courant	Viande	.	.	0,1	0,1	0,7	0,6	3,1	2,9
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,2	1,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,3	0,3	0,7	0,7
Total aliments courants		1,3	2,1	9	10,2	23,2	24,3	73,3	74,4

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au chrome total en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,3	1,3	7	6,9	4,8	4,8	2,7	2,6
Infantile	Céréales infantiles	0,1	0,1	2,8	2,8	1,9	1,9	4	3,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,5	0,5	3,2	3,2	4,2	4,2	0,9	0,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0	0
Infantile	dont eau	.	.	0	0	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	10,3	10,2	9,1	8,5
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	4,2	4,2	1,2	1,2	1,3	1,3
Infantile	Pots fruits	0,6	0,6	6,2	6,2	6,2	6,1	4,4	4,1
Infantile	Pots légumes	0,5	0,5	7,4	7,3	5,2	5,2	4,9	4,3
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	19,9	19,7	14,5	14,4	13,5	13,4
Infantile	Préparations 1er âge	96,6	96,6	7,6	7,6	.	.	.	.
Infantile	dont eau	0,1	0,3	0	0	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0,3	0,3	29,9	29,7	27,8	27,6	0,5	0,6
Infantile	dont eau	.	.	0	0,1	0	0,1	0	0
Total aliments infantiles		100	100	88,4	87,8	76,4	75,9	41,3	39,4
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,6	0,6	1	1	11	11,6
Courant	Beurre	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	1,7	1,7	8,3	8,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	0,8	1
Courant	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,6	0,6	1,9	1,9	1,1	1,2
Courant	Eaux	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	1,7	1,7	2,7	2,7
Courant	Fromages	.	.	0,1	0,1	0,8	0,8	1	0,9
Courant	Fruits	.	.	0,4	0,4	.	.	1,8	1,8
Courant	Lait	.	.	0,5	1	0,4	0,8	1,6	3,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	3	3,2	7,5	7,6	6,1	6,1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,3	1,4	1,4
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	0,6	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	3,8	3,8	1,8	1,8	3,5	3,4
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,2	0,2	1,2	1,2
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,5	0,5	0,2	0,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,3	0,3	3,1	3,1	6,5	5,9
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	1,5	1,5	2,1	2,3	5,6	5,5
Courant	Viande	.	.	0,3	0,3	0,1	0,1	2,3	2,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	1,8	1,8
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4
Total aliments courants		0	0	11,6	12,2	23,6	24,1	58,7	60,6

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.8 Cobalt

Le cobalt (Co) est un métal de transition naturellement présent dans la croûte terrestre (0,002%). Il apparaît principalement dans un état d'oxydation +2 (majoritaire) ou +3. Le cobalt et ses composés minéraux ont de nombreuses applications dans l'industrie chimique et pétrolière comme catalyseur, pour la fabrication d'alliages, comme pigment pour le verre et les céramiques, comme agent séchant des peintures, dans la fabrication de prothèses de hanche ou de genou *etc.* Il est également utilisé en tant qu'additif dans les aliments pour animaux pour les espèces capables de synthétiser la vitamine B₁₂. Le cobalt est en effet un élément essentiel en tant qu'atome central de liaison de cette vitamine (aussi appelée cobalamine), indispensable au métabolisme des folates et acides gras. Il existe peu de données permettant de préciser d'autres rôles du cobalt, en tant que tel, en nutrition humaine. Les fonctions et activités biologiques du cobalt sont celles de la vitamine B₁₂ : rôle dans l'érythropoïèse, régulation de diverses phosphoprotéines phosphatases, substitution au zinc dans les métallo-enzymes. On trouve le cobalt dans les produits animaux (incorporé à la cobalamine) et dans les végétaux (composé inorganique). L'alimentation constitue la principale voie d'exposition.

Caractérisation du danger

L'absorption gastro-intestinale du cobalt chez l'Homme est très variable (18 à 97 %) selon sa forme chimique et peut être augmentée lors d'une déficience en fer. La biodisponibilité du chlorure de cobalt (II) est rapportée comme étant plus élevée que celles d'autres sels de cobalt. Le cobalt est ensuite majoritairement retrouvé dans le foie et les reins. L'absorption du cobalt est 3 à 15 fois plus élevée chez les animaux jeunes que chez les adultes (chez le rat et le cochon d'Inde) (Naylor and Harrison 1995). Une fois dans la circulation, les formes solubles du cobalt peuvent passer la barrière placentaire et pénétrer dans le fœtus. Le cobalt est détecté en faible quantité dans le lait humain. Cette observation est confirmée par des études chez l'animal puisque le passage dans le lait est très faible (<0,1%) (ATSDR 2004a).

La plupart des études menées sur la toxicité du cobalt concerne les composés du cobalt(II). Les études toxicologiques effectuées chez l'animal montrent que les effets toxiques liés à une exposition par voie orale portent principalement sur le cœur, sur le système hématopoïétique, sur la thyroïde (altérations fonctionnelles et morphologiques) et le développement. Chez l'Homme, des traitements (sur 90 jours) chez des patientes anémiées pendant la grossesse, à des doses de 0,6 à 1 mg. kg pc⁻¹.j⁻¹ de chlorure de cobalt n'ont pas induit d'effets cardiaques indésirables ni d'effets sur les fœtus. Enfin, des études *in vitro* et *in vivo* effectuées avec des sels solubles du cobalt(II) ont démontré un fort pouvoir génotoxique. Ainsi, certains composés du cobalt (dichlorure, sulfate, diacétate, nitrate, carbonate) sont classés préoccupants pour l'Homme en raison d'effets mutagènes⁸ (ATSDR 2004a).

En 2004, l'ATSDR a établi une MRL de 10 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ sur la base d'une polycythémie constatée chez des hommes après administration de chlorure de cobalt pendant 22 jours. Cette VTR a été fixée à partir d'une DMENO de 1000 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ affectée d'un facteur de sécurité de 100 : 10 pour prendre en compte la variabilité intra-espèce et 10 pour tenir compte qu'il s'agit d'une DMENO (ATSDR 2004a). Cette valeur a été retenue par l'EFSA en 2009 (EFSA 2009a). Dans un avis de 2010, l'AFSSA a estimé qu'un facteur de sécurité

⁸ Classification harmonisée, annexe 6 du règlement CE n° 1272/2008.

supplémentaire de 6 aurait pu être appliqué pour tenir compte de l'extrapolation d'une exposition subaiguë à une exposition chronique ce qui ramène cette VTR à $1,6 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$. En tenant compte d'une autre étude effectuée chez le rat, l'AFSSA a dérivé une seconde VTR de $8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, sur la base d'une polycythémie constatée chez le rat exposé pendant 8 semaines. Cette VTR a été fixée à partir d'une DSENO de $600 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ affectée d'un facteur de sécurité de 80 : 4 pour prendre en compte la variabilité inter-espèce, 10 pour prendre en compte la variabilité intra-espèce et 2 pour tenir compte de l'extrapolation d'une exposition subaiguë à une exposition chronique. Ainsi, au vu du faible nombre d'études disponibles par voie orale, l'AFSSA a conclu que la DJT pour les effets toxiques à seuil pourrait se situer entre $1,6$ et $8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Afssa 2010). Néanmoins, compte tenu des résultats des études de génotoxicité et en l'absence d'étude de cancérogénèse la possibilité d'effets toxiques sans seuil ne peut être exclue.

Malgré l'absence de preuves relatives à son applicabilité à la population infantile et en l'absence d'études de cancérogénèse, la DJT de $1,6 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, considérée comme applicable à la population adulte, est retenue dans la présente étude.

A ce jour, même si le cobalt est considéré comme un oligoélément essentiel, les données disponibles ne permettent pas de fixer de valeur nutritionnelle de référence pour le Co seul ; les VNR ne concernent que la cobalamine. C'est la raison pour laquelle le risque nutritionnel lié à sa consommation ne peut être évalué.

Teneur

La LOD s'élève à $0,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,5 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du cobalt est de 84% (hors eau du robinet). Il est de 100% pour la plupart des groupes d'aliments, mais il est nul pour les œufs et le sucre.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres ($58 \mu\text{g.kg}^{-1}$), les entremets et crèmes desserts ($40 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et les viennoiseries ($19,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière en LB est comprise entre $0,062 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,274 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). En UB, elle est comprise entre $0,151$ et $0,308 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les mêmes classes d'âge. Le P90 se situe entre $0,167$ et $0,462 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB selon la classe d'âge retenue, et entre $0,202$ et $0,508 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre $0,226$ et $0,603 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre $0,282$ et $0,648 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, chez les 1-4 mois et 13-36 mois, respectivement.

Chez les 13-36 mois on note un enfant dont l'exposition élevée (au-dessus de la DJT) s'explique par une consommation importante de biscuits secs au chocolat (240g.j^{-1}) au cours des 3 jours d'enquête, aliment dont la teneur moyenne est l'une des plus élevée ($58 \mu\text{g.kg}^{-1}$).

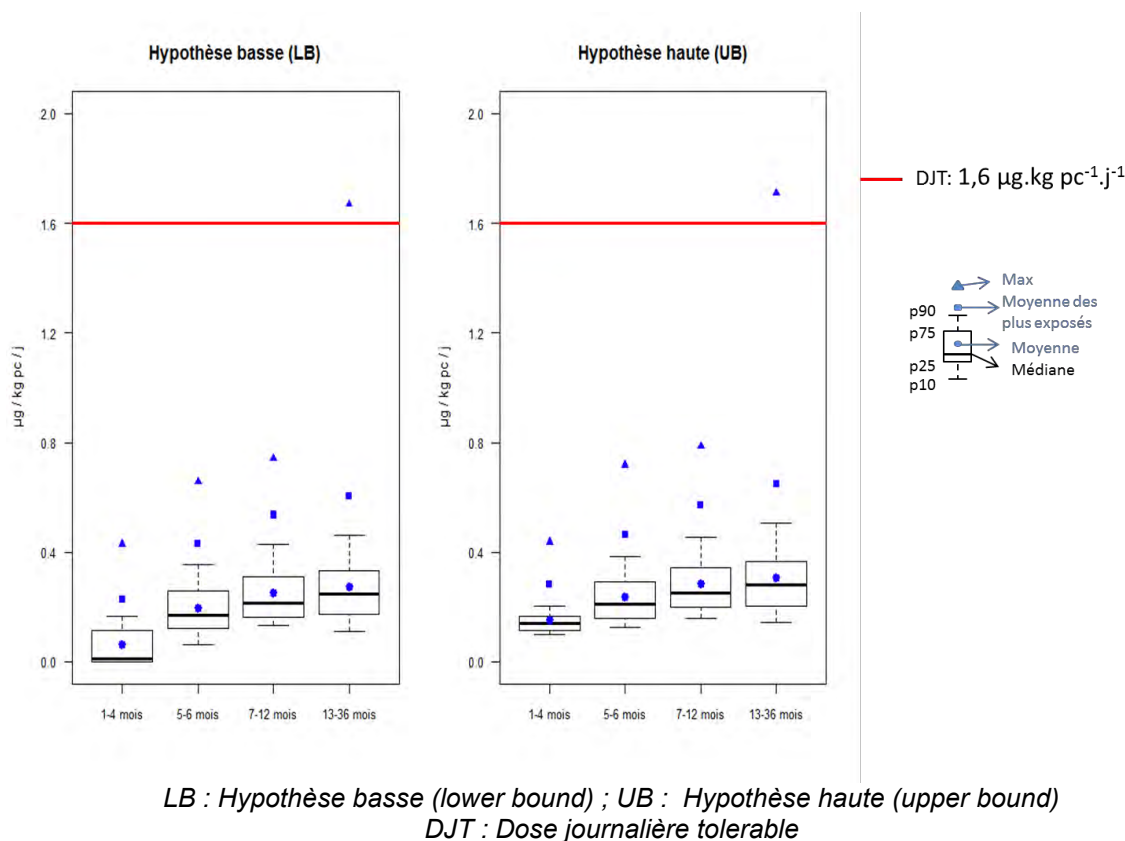


Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au cobalt

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés sous l'hypothèse basse (LB). Jusqu'à 12 mois, les contributeurs majeurs à l'exposition sont les aliments infantiles.

Chez les 1-4 mois, il s'agit des préparations 1^{er} âge (67%) (Tableau E3). Chez les 5-6 mois, les aliments suivants apparaissent comme contributeurs majeurs à l'exposition : les préparations 2^{ème} âge (22%), les desserts lactés infantiles (15%), les pots de fruits (11%) et les pots de légumes (12%). Chez les 7-12 mois, les desserts lactés infantiles et les pots légumes-viande ou légumes-poisson sont contributeurs majeurs à hauteur de 13% et 14%. Enfin chez les 13-36 mois, seuls les aliments courants apparaissent comme contributeurs majeurs à l'exposition : les boissons chaudes (20%), les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés (13%) et les biscuits sucrés, salés et barres (12%).

Chez les plus exposés, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés. Cependant, les boissons lactées (12%), les céréales infantiles (15%) et les desserts lactés infantiles (11%) apparaissent également comme contributeurs majeurs chez les 1-4 mois, les pommes de terre et apparentés le sont chez les 5-6 mois (12%), ainsi que les boissons chaudes chez les 7-12 mois (13%). Les pots de fruits et pots de légumes n'apparaissent en revanche plus contributeurs majeurs chez les 5-6 mois.

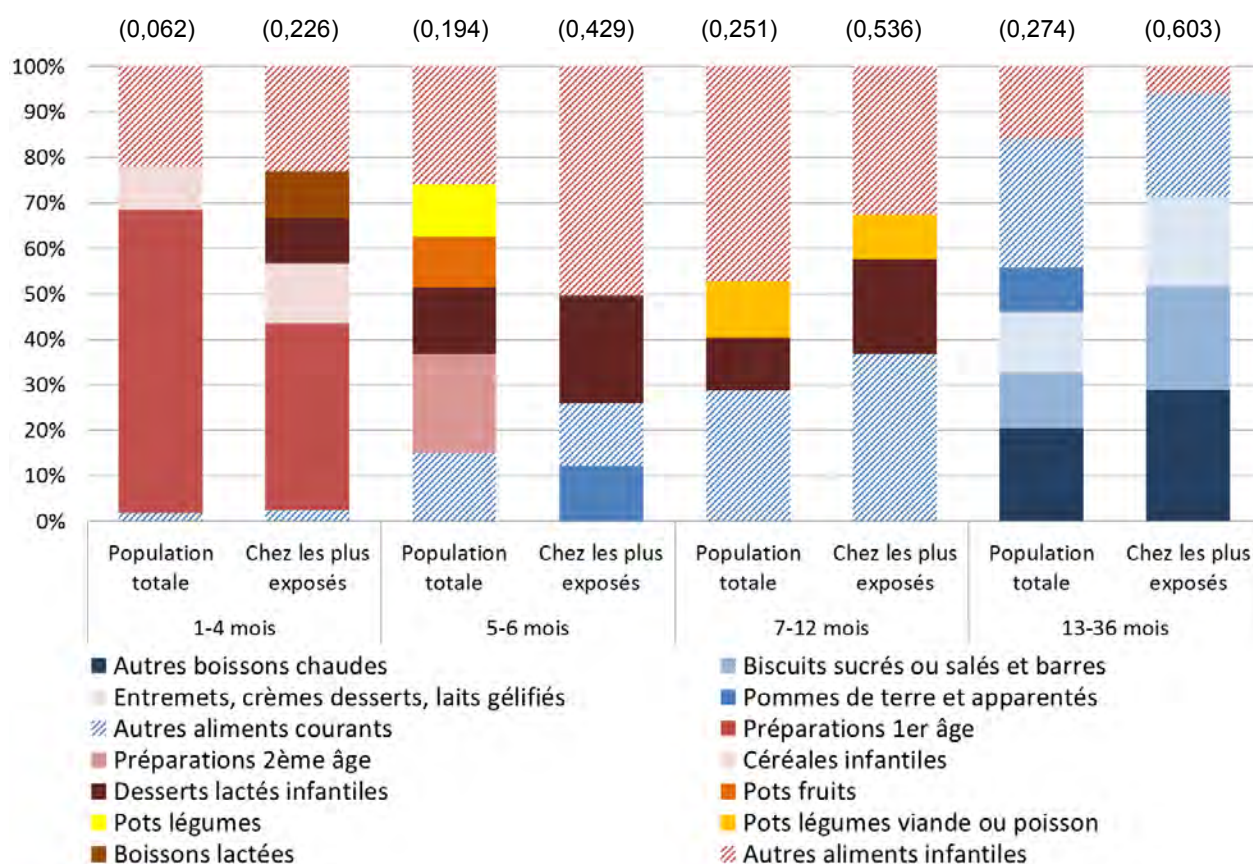
(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne des enfants de moins de 3 ans au cobalt

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans avaient été estimés dans l'EAT2 à $0,46 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est plus élevé que chez les 13-36 mois de la présente étude.

Evaluation du risque

Il existe des dépassements de la DJT chez les 13-36 mois, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Il s'agit d'un enfant ayant consommé au cours des 3 jours d'enquête une quantité importante de biscuits chocolatés (240g.j^{-1}).

Par ailleurs, le 90^{ème} centile d'exposition représente plus 10% de la DJT.

Synthèse des résultats d'exposition au cobalt des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DJT	Exposition moyenne LB-UB		90 ^{ème} centile LB-UB	% de dépassement de la DJT (LB-UB)
		<i>En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$</i>			
1-4 mois	1,6	0,062-0,151	0,167-0,202	Pas de dépassement	
5-6 mois		0,194-0,237	0,354-0,384		
7-12 mois		0,251-0,285	0,430-0,455		
13-36 mois		0,274-0,308	0,462-0,508	NC*-NC*	

**non calculé en raison de l'effectif trop faible*

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

DJT : Dose journalière tolérable

Conclusion et recommandations

En raison du manque de données disponibles sur le rôle du cobalt, autre que celui lié à sa présence dans la cobalamine, aucune référence nutritionnelle n'a pu être déterminée pour ce minéral en tant que tel. Le risque d'inadéquation d'apport en cobalt n'a donc pas pu être évalué.

Compte tenu de la faible robustesse de la VTR pour la population infantile et des niveaux d'exposition observés, un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au cobalt ne peut être exclu chez les enfants de moins de 3 ans. Il convient donc de poursuivre les efforts afin de réduire l'exposition alimentaire au cobalt.

Il conviendrait de disposer d'études toxicologiques sur le développement et la reproduction ainsi que des études de cancérogénèse afin de déterminer une VTR robuste applicable à l'enfant.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le cobalt ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	2,68	2,75
Infantile	Céréales infantiles	17	100	3,05	3,05
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	83	5,4	5,62
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	0,525	0,925
Infantile	Laits de croissance	9	67	0,467	0,9
Infantile	Potages, purées	11	100	2,67	2,73
Infantile	Pots fruits	30	100	2,87	2,87
Infantile	Pots légumes	27	96	3,67	3,69
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	3,82	3,82
Infantile	Préparations 1er âge	28	57	0,479	0,907
Infantile	Préparations 2ème âge	34	74	0,591	0,979
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	8,69	8,69
Courant	Beurre	1	100	0,7	1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	58	58
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	67	1,12	1,4
Courant	Charcuterie	2	100	3,35	3,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	2,5	2,5
Courant	Eaux*	221	3	0,026	0,613
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	40	40
Courant	Fromages	1	100	2	2
Courant	Fruits	6	100	4,45	4,5
Courant	Lait	3	67	0,9	1,23
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	4,8	4,88
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	0,7
Courant	Pain et panification sèche	2	100	6	6
Courant	Poissons	3	100	2,67	2,67
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	8,33	8,33
Courant	Pâtes	1	100	0,7	1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	1,35	1,5
Courant	Soupes et bouillons	1	100	4	4
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	0,7
Courant	Ultra-frais laitier	5	60	0,42	0,88
Courant	Viande	2	100	2	2
Courant	Viennoiserie	2	100	19,5	19,5
Courant	Volaille et gibier	2	100	0,85	1

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au cobalt ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,062	0,151	0,01	0,142	0,167	0,202
5-6 mois	0,194	0,237	0,17	0,211	0,354	0,384
7-12 mois	0,251	0,285	0,214	0,25	0,43	0,455
13-36 mois	0,274	0,308	0,248	0,282	0,462	0,508

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au cobalt ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,226	0,282	0,191	0,262
5-6 mois	0,429	0,465	0,403	0,434
7-12 mois	0,536	0,572	0,531	0,581
13-36 mois	0,603	0,648	0,563	0,597

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cobalt en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	5,1	2,1	7	5,8	5,1	4,5	1,1	1
Infantile	Céréales infantiles	9,5	3,9	6,7	5,5	6,5	5,7	4,8	4,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	4,9	2	14,6	12,1	13,2	11,9	1,3	1,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	1,3	1,8	1,5	2,6
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,2	.	.
Infantile	Potages, purées	2,1	0,9	2,9	2,4	2,9	2,6	1,1	1
Infantile	Pots fruits	4,2	1,7	11,1	9,1	9	7,9	1,7	1,5
Infantile	Pots légumes	3,4	1,4	11,5	9,4	6,2	5,6	1,6	1,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	7,1	5,8	14,2	12,5	2,9	2,6
Infantile	Préparations 1er âge	66,7	81,9	2,2	3,9	0,6	0,6	.	.
Infantile	dont eau	0	62,1	0	2,8	0	0,3	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,2	1,9	21,8	30	8	12,7	0,1	0,3
Infantile	dont eau	0	1,1	0	18,2	0	7	0	0,1
Total aliments infantiles		98,2	95,8	85	84,2	67,1	66,1	16	15,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,4	0,4	4,4	3,8	20,4	18,2
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	2,7	2,4	12,4	11
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,2	0,8	1,4
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0,2
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0,1	0,1	0,6	0,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0,6	0,3	0,1	0,1	1,1	0,9	1,9	1,7
Courant	Eaux	0	1	0	1	0,1	1,9	0,2	3,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1	0,8	2,8	2,5	13,2	11,8
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	2	1,6	2	1,8	6,4	5,7
Courant	Lait	0	2,4	0,1	2,2	0,6	2,3	1,1	4,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,5	0,2	3,4	2,9	5,7	5,2	5,7	5,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,3	1,3	1,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,7
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,6	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,6	0,2	6,3	5,1	9,4	8,2	9,7	8,7
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,1	0,1	0,5	0,6
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,1	0,1	0,7	0,6
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,8	0,7	0,8	0,7	2,4	2,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	0,8	1	2	2,6	1,9	2,8
Courant	Viande	.	.	0	0	0,3	0,2	0,8	0,7
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	2,1	1,9
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2
Total aliments courants		1,8	4,2	15	15,8	32,9	33,9	84	84,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au cobalt en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	11,5	7,8	8,9	9,2	6,9	6,7	.	.
Infantile	Céréales infantiles	14,8	12,8	6,9	7,5	2,2	2,7	4,2	2,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	11,2	8,9	23,8	21,8	23,2	20	0	0
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0	0
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,5	0,7	0,2	0,3
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	2,6	2,1	4,1	3,5	0,6	1	0,4	0,3
Infantile	Pots fruits	3,8	4,7	7,4	6,1	6,5	5,6	0,3	0,3
Infantile	Pots légumes	4,7	3,8	8,2	6,5	6	4,9	.	.
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	6,9	4,6	10,9	9,9	0,7	0,7
Infantile	Préparations 1er âge	45,7	43,5	.	.	.	.	.	.
Infantile	dont eau	0	32,8	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	3,1	4,2	7,7	10,1	2,4	3,6	0,1	0,3
Infantile	dont eau	0	3,1	0	4,7	0	2,2	0	0,1
Total aliments infantiles		97,3	87,8	74,2	69,4	59,3	55,2	5,9	4,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	1,6	1,4	12,5	12,3	28,9	27,1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	8,2	7,4	22,7	21,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,3	0,2	0,9
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	0	0,3
Courant	Charcuterie	.	.	0,1	0,1	0	0	0,4	0,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,8	0,5	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3
Courant	Eaux	0	2,7	0	0,3	0,3	1,8	0	2,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	2,5	3,9	8,6	8,9	19,7	19,8
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Fruits	.	.	1,7	2,3	0,3	0,3	3,6	3,3
Courant	Lait	0	6,5	0,1	3,6	0	2,8	0,2	3,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	1,2	1	5,5	5,3	1,2	1,2	2,4	2,3
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,5	0,5	0,6	0,6
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,4	0,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	1,4	1,1	12,2	11,2	5,3	5,3	5,9	5,6
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0	0	0,3	0,3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0	0	0,4	0,4
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,8	0,8	2	1,8	2,5	2
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	0,7	0,9	1	1,7	1,1	1,5
Courant	Viande	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	3,3	3,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0,1	0	0	0,1	0,1
Total aliments courants		2,7	12,2	25,8	30,6	40,7	44,8	94,1	95,8

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.9 Cuivre

Le cuivre (Cu) est un oligoélément essentiel soumis à une régulation homéostatique. Il intervient en tant que composant de nombreuses métallo-enzymes (cuproenzymes) engagées dans des réactions d'oxydo-réduction : cytochrome c oxydase, amines oxydases, superoxydes dismutases. Le cuivre intervient dans la qualité des cartilages et l'intégrité du tissu conjonctif, la minéralisation osseuse, la régulation de neurotransmetteurs, la fonction cardiaque (métabolisme glucidique), les mécanismes immunitaires et le métabolisme du fer. Enfin, le cuivre joue un rôle ambivalent dans le stress oxydant : il est cofacteur de la superoxyde dismutase (Cu, Zn, SOD), dont l'activité est déterminante dans la réduction de la concentration d'anions superoxyde et ainsi dans la lutte contre les effets des espèces réactives dérivées de l'oxygène (ERDO), mais, inversement, sous forme libre (en tant que métal de transition), il peut être à l'origine de la production d'ERDO.

Caractérisation du danger

Chez l'adulte, environ 30% du cuivre ingéré est absorbé au niveau du tube digestif, mais l'efficacité de son absorption diminue avec la quantité ingérée. Certains nutriments tels que le zinc, le fer, la vitamine C et le fructose ou le saccharose, un taux élevé de calcium, l'alcool peuvent diminuer l'absorption du cuivre (AFSSA 2001). L'excrétion se fait majoritairement par la voie biliaire.

Chez l'homme, la carence en cuivre avec manifestations cliniques en relation avec l'alimentation est rare. En général, une déficience en cuivre induit une réduction des activités des métallo-enzymes auxquelles il est lié. Elle se traduit par un métabolisme anormal du fer (lié au transport altéré qui empêche la formation de l'hème) et une anémie hypochromique non sensible au fer. En outre, les formes sévères sont associées à une ostéoporose avec des déformations osseuses, des fractures sub-métaphysaires, des lésions du myocarde et une hypertrophie cardiaque. Les autres signes incluent des démangeaisons cutanées, des retards de croissance, des retards psychomoteurs, une hypercholestérolémie et hypertriglycéridémie, une hypotension, une détérioration de la tolérance au glucose ainsi qu'une hépatosplénomégalie. Les altérations de la réponse immunitaire, du métabolisme du glucose et du cholestérol ont été également rapportées (Georgieff 2007, Klevay et al. 1984, Reiser et al. 1987).

L'EFSA a proposé une valeur d'apport considéré comme satisfaisant de $0,3 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les nourrissons âgés de 0 à 6 mois (EFSA 2013c).

Dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du cuivre (EFSA 2015c), l'EFSA propose des apports satisfaisants de $0,4 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les nourrissons de 7 à 12 mois et de $0,7 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les enfants de 1 à 3 ans. Ces références nutritionnelles sont retenues dans la présente étude.

Chez l'homme, l'intoxication aiguë par le cuivre est rare et peut résulter de l'ingestion de plusieurs grammes de sel de cuivre. Ceci peut notamment arriver lors d'utilisation du sulfate de Cu comme agent émétique, ou de la consommation de vinaigre, boissons gazeuses, jus d'agrumes restant de façon prolongée au contact des récipients ou de la tuyauterie en cuivre. Par ailleurs, des anomalies du métabolisme du cuivre ont été décrites dans certaines situations. La maladie autosomale récessive de Wilson correspond à une accumulation excessive de cuivre dans les érythrocytes, le foie, la cornée, le cerveau et les reins. Il s'ensuit une anémie hémolytique, une cirrhose, des atteintes rénales, des tremblements et éventuellement une démence. De plus, « la cirrhose infantile indienne » touche les nourrissons et les jeunes enfants en Inde. Elle semble être engendrée par une atteinte hépatique consécutive à une consommation excessive en cuivre (utilisation des récipients en

cuire pour stocker et faire bouillir le lait). Il n'est pas exclu qu'une exposition prolongée à des doses relativement faibles n'engendre pas de dommages hépatiques. Cependant, le rôle du cuivre exogène comme le principal facteur étiologique de cette maladie est encore débattu (Nayak and Chitale 2013). Enfin, la toxicose idiopathique au cuivre (Toxicose hépatique au cuivre du nourrisson et de l'enfant de type non-Wilson) pourrait être associée à la consommation excessive de cet élément.

En 2006, le SCF a fixé une LSS à 5 mg.j^{-1} pour les adultes basée sur l'absence d'effets indésirables de la fonction hépatique chez l'adulte recevant une supplémentation de gluconate de cuivre pendant 12 semaines. Cette LSS a été fixée à partir d'une DSENO de 10 mg.j^{-1} affectée d'un facteur de sécurité de 2 pour tenir compte des variabilités intra-spécifiques. En ajustant cette valeur aux poids corporels pour les enfants, une LSS de 1 mg.j^{-1} est obtenue pour les enfants de 1 à 3 ans (SCF 2006).

Une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, la LSS de 1 mg.j^{-1} est retenue et appliquée pour les enfants de 1 à 3 ans.

Teneur

La LOD s'élève à $0,010 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,020 \text{ mg.kg}^{-1}$ quelle que soit la matrice. Le taux de détection global du cuivre est de 98% (hors eau du robinet). Il est détecté à 100% dans toutes les matrices alimentaires, exceptés dans les préparations 1^{er} âge (96%) et dans les eaux (69%).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les biscuits sucrés, salés et barres ($2,71 \text{ mg.kg}^{-1}$), puis dans les pâtes ($1,91 \text{ mg.kg}^{-1}$) et les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés ($1,56 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Tableau C1). La concentration la plus élevée a été relevée dans un échantillon de poudre cacaotée et sucrée pour boisson au chocolat ($9,78 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Apports (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse haute (UB).

L'apport moyen journalier de cuivre en UB est compris entre $0,443 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,486 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Le P10 se situe entre $0,289$ et $0,321 \text{ mg.j}^{-1}$ et le P90 entre $0,627$ et $0,684 \text{ mg.j}^{-1}$ selon la classe d'âge retenue.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $0,203$ et $0,259 \text{ mg.j}^{-1}$.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre $0,671$ et $0,827 \text{ mg.j}^{-1}$.

On observe que 2 enfants (parmi les 13-36 mois) ont des apports très élevés en cuivre ($1,2$ et $1,4 \text{ mg.j}^{-1}$ en UB). Il s'agit d'enfants ayant consommé au cours des 3 jours d'enquête une quantité importante de biscuits chocolatés (240 g.j^{-1}) pour l'un, et une eau du robinet riche en cuivre pour l'autre ($1,86 \text{ mg.L}^{-1}$).

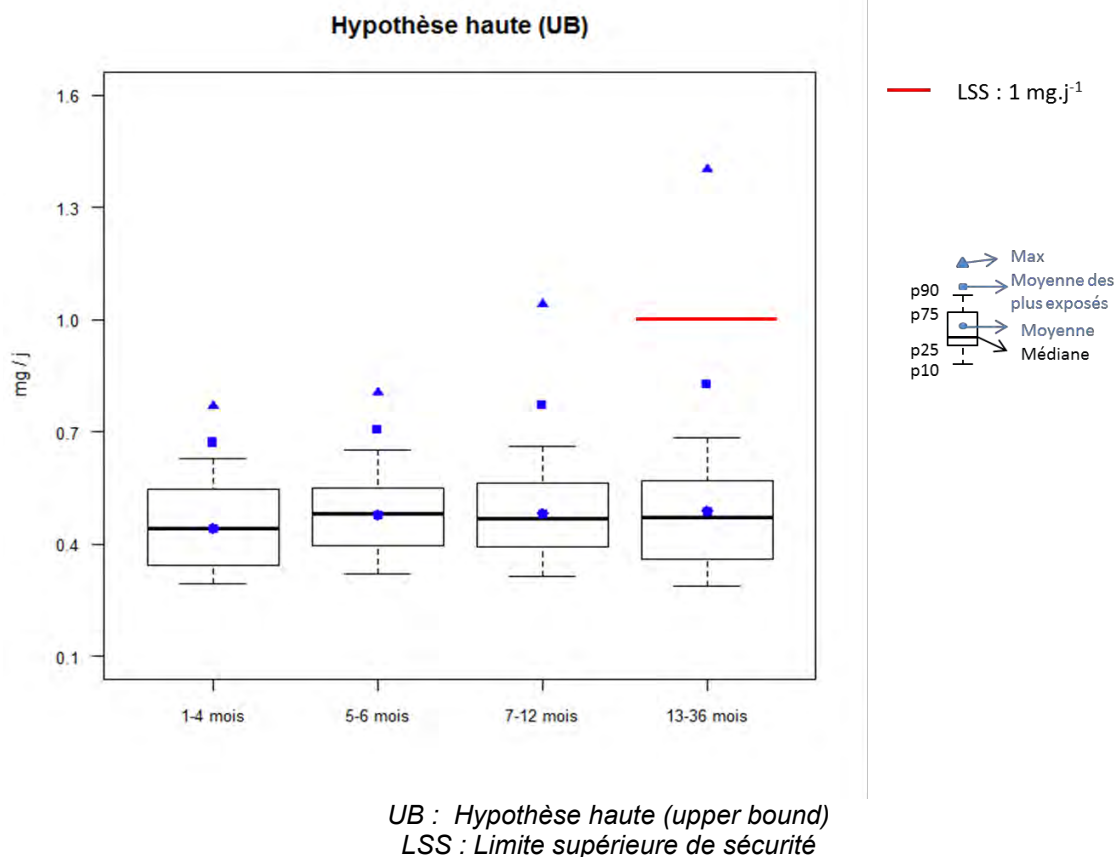


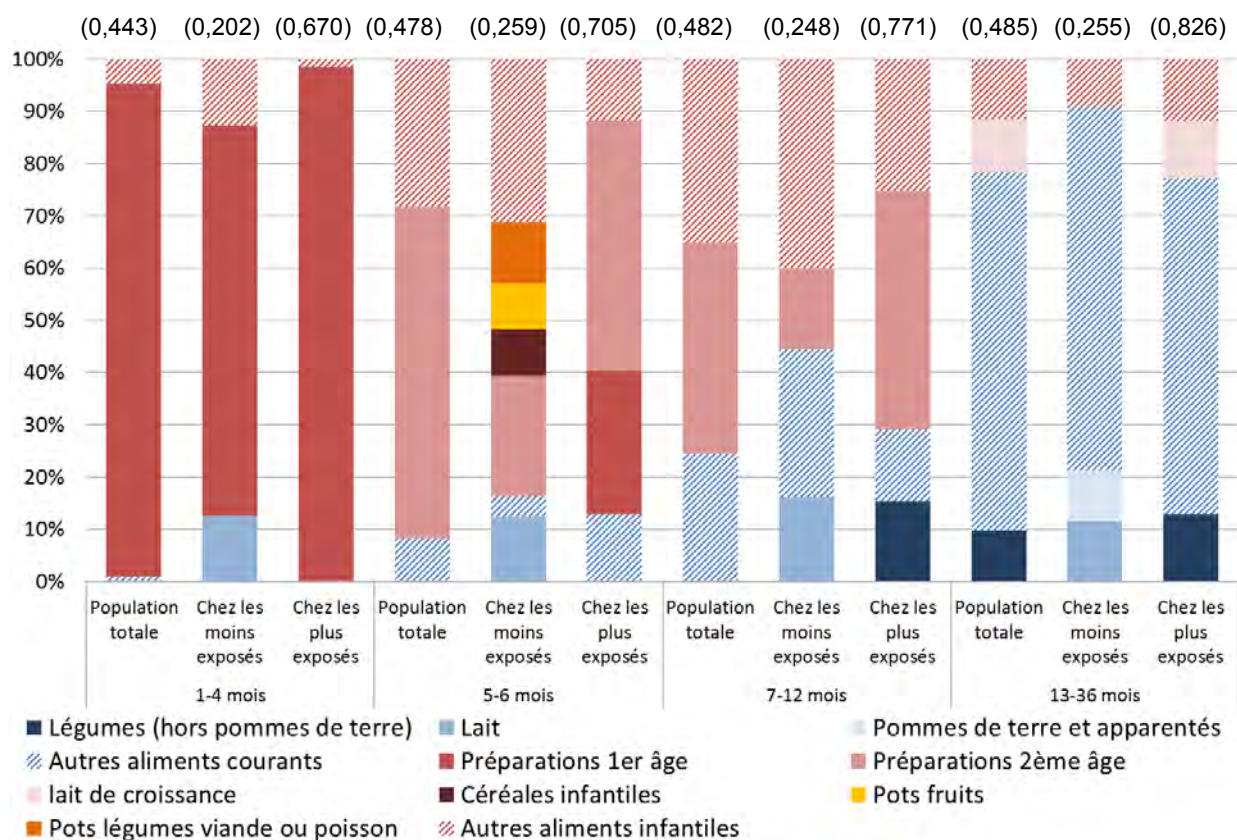
Figure 1 : Apports des enfants de moins de 3 ans en cuivre

Contribution des aliments aux apports (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Quelle que soit la classe d'âge, seuls les aliments infantiles apparaissent comme contributeurs majeurs à l'apport de cuivre : les préparations 1^{er} âge chez les 1-4 mois (94%), les préparations 2^{ème} âge chez les 5-6 mois (63%) et chez les 7-12 mois (40%), et les laits de croissance chez les 13-36 mois (10%) (Tableau E4).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport de cuivre jusque 12 mois, mais les contributions sont plus faibles que celles observées pour la population générale. Le lait courant apparaît dès 1-4 mois comme contributeur majeur pour les 4 classes d'âge. Chez les 5-6 mois s'ajoutent les pots légumes-viande ou légumes-poisson (13%) et les céréales infantiles (10%). Chez les 13-36 mois, seul le lait courant contribue à plus de 10% à l'apport.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont les mêmes qu'en population générale, excepté chez les 7-12 mois et les 13-36 mois pour lesquels les légumes (hors pomme de terre) apparaissent également (15 puis 13%).

(Apport moyen LB en $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen de cuivre des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Dans l'étude de l'alimentation totale britannique de 2006, l'exposition moyenne au cuivre chez les enfants âgés de 1,5 à 4,5 ans était de $44,71 \mu\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{pc}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$, ce qui correspond à un apport de $0,671 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ environ, pour un poids corporel de 15 kg (Rose et al. 2010), soit un apport du même ordre de grandeur que le P90 de la présente étude.

Le niveau d'apport moyen en cuivre des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de $0,703 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$, avec un P5 à $0,439 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ et un P95 à $1,118 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est plus élevé que les apports des moins de 3 ans.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants âgés de moins d'un an, les apports moyens sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en cuivre est donc globalement satisfaisante.

Chez les enfants de 1 à 3 ans, les apports moyens sont inférieurs à l'AS. Il n'est donc pas possible de savoir si et dans quelle mesure le besoin est couvert.

Il existe des dépassements de la LSS chez les enfants de plus d'un an, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Un risque lié à l'apport excessif de cuivre ne peut donc pas être exclu chez les enfants âgés de 1 à 3 ans.

En l'absence de valeur maximale d'apport pour les moins d'un an, il est impossible de conclure quant au risque lié à un excès d'apport en cuivre dans cette population. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une telle valeur pour cette classe d'âge.

Synthèse des résultats d'apports en cuivre des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	LSS	Apport moyen (LB-UB)*	10 ^{ème} centile (LB-UB)*	90 ^{ème} centile (LB-UB)*	% de dépassement de la LSS en UB
	En mg.j ⁻¹					
1-4 mois	0,3	-	0,443	0,295	0,627	-
5-6 mois	0,3	-	0,478	0,319-0,321	0,650	-
7-12 mois	0,4	-	0,482	0,313-0,314	0,660-0,662	-
13-36 mois	0,7	1	0,485-0,486	0,289	0,682-0,684	NC**

*Lorsqu'une seule valeur est indiquée dans le Tableau, cela signifie que LB=UB

**non calculé en raison du faible effectif

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

AS : Apport satisfaisant ; LSS : Limite supérieure de sécurité

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en cuivre (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	0,454
Infantile	Céréales infantiles	17	100	0,301
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	0,175
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	0,242
Infantile	Laits de croissance	9	100	0,518
Infantile	Potages, purées	11	100	0,349
Infantile	Pots fruits	30	100	0,583
Infantile	Pots légumes	27	100	0,364
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	0,415
Infantile	Préparations 1er âge	28	96	0,553
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	0,552
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,401
Courant	Beurre	1	100	0,024
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	2,71
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	0,214
Courant	Charcuterie	2	100	0,695
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	0,477
Courant	Eaux*	221	69	0,09-0,96**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	1,56
Courant	Fromages	1	100	0,187
Courant	Fruits	6	100	0,702
Courant	Lait	3	100	0,15
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	0,916
Courant	Œufs et dérivés	1	100	0,677
Courant	Pain et panification sèche	2	100	1,32
Courant	Poissons	3	100	0,534
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	1,03
Courant	Pâtes	1	100	1,91
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	1,47
Courant	Soupes et bouillons	1	100	0,362
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,039
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	0,11
Courant	Viande	2	100	0,866
Courant	Viennoiserie	2	100	1,29
Courant	Volaille et gibier	2	100	0,61

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

** LB-UB

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P10		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,443	0,443	0,442	0,442	0,295	0,295	0,627	0,627
5-6 mois	0,478	0,478	0,480	0,480	0,319	0,321	0,650	0,650
7-12 mois	0,482	0,482	0,467	0,467	0,313	0,314	0,66	0,662
13-36 mois	0,485	0,486	0,470	0,470	0,289	0,289	0,682	0,684

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,202	0,203	0,217	0,217
5-6 mois	0,259	0,259	0,273	0,273
7-12 mois	0,248	0,250	0,267	0,267
13-36 mois	0,255	0,256	0,268	0,268

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Estimation de l'apport en cuivre des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,670	0,671	0,660	0,660
5-6 mois	0,705	0,705	0,699	0,699
7-12 mois	0,771	0,771	0,737	0,737
13-36 mois	0,826	0,827	0,750	0,754

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,6	0,6	2,7	2,7	3,1	3,1	1	1
Infantile	Céréales infantiles	1	1	2,5	2,5	3,3	3,3	2,5	2,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	0,9	0,9	1,4	1,4	0,2	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	5,3	5,3	10,2	10,2
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0	.	.
Infantile	Potages, purées	0,2	0,2	1,1	1,1	1,9	1,9	1,1	1,1
Infantile	Pots fruits	0,6	0,6	6,3	6,3	8	8	2,2	2,2
Infantile	Pots légumes	0,3	0,3	3	3	2,7	2,7	1	1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	2,5	2,5	7,3	7,3	2,2	2,2
Infantile	Préparations 1er âge	94,2	94,2	9,1	9,1	2	2	.	.
Infantile	dont eau	0,6	2,2	0,1	0,2	0	0	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,1	2,1	63,4	63,4	40,3	40,3	1,2	1,2
Infantile	dont eau	0	0	0,3	1,2	0,2	0,7	0	0
Total aliments infantiles		99	99	91,7	91,7	75,5	75,4	21,7	21,6
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,1	0,9	0,9	6,5	6,5
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,6	0,6	4	4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,2	0,2	2	1,9
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Charcuterie	0	0	0,1	0,1	0,3	0,3	1,3	1,3
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	2,5	2,5
Courant	Eaux	0	0	0	0,1	0,3	0,5	3,5	3,8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5	3,5	3,5
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	0,5	0,5	0,9	0,9	5	5
Courant	Lait	0,7	0,7	1,2	1,2	1,8	1,8	5,4	5,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	0,1	2,9	2,9	7,3	7,3	9,8	9,8
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,3	2,1	2,1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,9	0,9
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	1	1
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	2	2	4,7	4,7	7,8	7,8
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1,4	1,4	8,9	8,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,5	0,5	3,4	3,4
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,9	0,9	1	1	3,3	3,3
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	0	0,5	0,5	1,7	1,7	2,6	2,6
Courant	Viande	.	.	0	0	0,6	0,6	2,4	2,4
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,2	1,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,4	0,4	0,8	0,8
Total aliments courants		1	1	8,3	8,3	24,5	24,6	78,3	78,4

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,3	1,3	7	7	3,9	3,9	1,6	1,6
Infantile	Céréales infantiles	9,3	9,3	10,2	10,2	7	6,9	0,8	0,8
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	.	2,6	2,6	3,6	3,6	0,1	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0,1	0,3	0,3	0,9	0,9	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	0	0	0	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	.	.	1,2	1,2
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	3	3	3,6	3,6	1,8	1,7
Infantile	Pots fruits	1,3	1,3	9,9	9,9	6,5	6,4	0,5	0,5
Infantile	Pots légumes	0,8	0,8	9,2	9,2	7,3	7,3	1	1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	13,2	13,2	7,3	7,3	2,2	2,2
Infantile	Préparations 1er âge	74,7	74,7	.	.	0	0	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0,6	2,1	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	.	.	26	25,9	15,4	15,3	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	0,3	0	0,1	.	.
Total aliments infantiles		87,4	87,3	81,5	81,3	55,5	55,2	9,2	9,1
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	0,3	0,3	4,3	4,6
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,4	0,4	3,2	3,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,2	0,2	2,5	2,4
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	.	.	0,3	0,3	2,5	2,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,3	0,3	0,6	0,6	4	3,7
Courant	Eaux	0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,6	1,8	2,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,9	0,9	1	1	5,5	5,5
Courant	Fromages	.	.	.	.	.	.	0,3	0,3
Courant	Fruits	.	.	0,6	0,6	2,9	2,9	7,2	7,6
Courant	Lait	12,5	12,5	14	14	16,1	16,1	11,4	11,6
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	.	.	4,7	4,7	7,7	7,6
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0,2	0,2	.	.
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,1	0,1	3	2,8
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	1,1	1,1
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,5	0,5	0,5	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	0,4	0,4	6,7	6,6	9,9	9,5
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1	1	9,1	8,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	2,3	2,3	3,7	3,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	.	0,3	0,3	2,1	2,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	2,2	2,2	4,2	4,2	4,9	4,6
Courant	Viande	.	.	.	.	0,4	0,4	3	3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0,2	0,2	1,9	2,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	.	1,9	1,9	1,5	1,4
Total aliments courants		12,6	12,7	18,5	18,7	44,5	44,8	90,8	90,9

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen de cuivre en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,9	0,9	1,2	1,2	4,7	4,7	1,1	1,1
Infantile	Céréales infantiles	0,2	0,2	2,5	2,5	1,7	1,7	1,2	1,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	8,7	8,7	10,8	10,8
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	2,4	2,4	.	.	0,8	0,8
Infantile	Pots fruits	0,3	0,3	3,1	3,1	6,8	6,8	2,8	2,8
Infantile	Pots légumes	.	.	1,1	1,1	1,6	1,6	0,8	0,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0,7	0,7	1	1	2	2
Infantile	Préparations 1er âge	98,5	98,5	27,5	27,5	.	.	.	.
Infantile	dont eau	0,7	2,1	0,2	0,6	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	.	.	48	48	45,7	45,6	2,9	2,9
Infantile	dont eau	.	.	0,2	0,9	0,2	0,8	0	0
Total aliments infantiles		100	100	87,2	87,2	70,9	71	22,7	22,7
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	6,5	6,5
Courant	Beurre	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,1	0,1	7,3	7,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0	1	1
Courant	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7	0,7
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,4	0,4	1,7	1,7	0,9	0,9
Courant	Eaux	0	0	0	0	0	0,1	7,9	8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	.	.	1,8	1,8
Courant	Fromages	.	.	.	.	0	0	0,2	0,2
Courant	Fruits	.	.	1	1	0,3	0,3	4,4	4,4
Courant	Lait	.	.	0,7	0,7	0	0	2,8	2,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	4,3	4,3	15,3	15,3	12,9	12,9
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,5	0,5	1,4	1,4
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	.	.
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	0,5	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	3,2	3,2	5,4	5,4	6,9	6,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,7	0,7	7,4	7,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,5	1,5	2,1	2,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2,9	2,9	2,4	2,4	7,6	7,6
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5	1,5	1,5
Courant	Viande	.	.	.	.	0,1	0,1	2,2	2,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0,7	0,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,2	0,2	0,3	0,3	0,6	0,6
Total aliments courants		0	0	12,8	12,8	29,1	29,1	77,3	77,3

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.10 Etain

L'étain (Sn), présent principalement sous forme Sn(II), Sn(IV) et sous forme métallique, est un métal qui résiste à la corrosion par l'eau de mer et l'eau douce. Il est utilisé dans le fer blanc pour la fabrication d'emballages métalliques, dans des alliages métalliques, des produits anti-algues, etc. Il est autorisé comme additif alimentaire sous forme de chlorure d'étain dans les conserves d'asperges blanches (E512). L'Homme peut y être exposé par inhalation et contact, cependant la voie alimentaire reste la principale voie d'exposition à l'étain, avec en particulier la consommation des produits de la mer. Dans les denrées alimentaires, l'étain peut être présent sous forme inorganique ou organique en proportions variables.

L'étain inorganique, constitutif des boîtes de conserve en fer blanc, migre de façon significative vers l'aliment au contact⁹ (Conseil de l'Europe 2014). Ces migrations ont néanmoins été considérablement réduites avec l'apparition des boîtes de conserves revêtues d'un film polymérique. L'étain organique peut provenir de la bioconcentration de polluants tels que le tributylétain dans le poisson ou de l'utilisation de produits phytosanitaires. Toutefois, l'analyse des différentes formes dans les aliments étant complexe, dans la présente étude, les dosages ont porté sur l'étain total.

Caractérisation du danger

L'étain inorganique est considéré comme peu toxique, du fait d'une très faible absorption (inférieure à 5%) et se distribue majoritairement dans les os mais aussi le foie et les reins. Il exerce surtout un effet d'irritation au niveau local. Les effets toxiques liés à l'administration répétée d'étain inorganique chez l'animal (effets sur la croissance, perte d'appétit, etc.) semblent plus liés à la perturbation de l'absorption d'autres éléments traces métalliques (zinc, fer et cuivre) (EFSA 2005). Même si des effets génotoxiques ont été mis en évidence pour les formes inorganiques de l'étain, ceux-ci n'ont pas été confirmés par des études *in vivo* (EFSA 2005). Des études ont permis de montrer chez l'animal que les composés inorganiques, tout comme les composés organiques de l'étain, étaient capables de traverser la barrière placentaire et d'atteindre le fœtus. Aucune donnée n'a cependant démontré un transfert des composés d'étain de la mère à l'enfant lors de la lactation (ATSDR 2005).

En 2005, l'ATSDR a fixé un niveau de risque minimum intermédiaire (exposition de durée comprise entre 15 jours et un an) de $0,3 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sur la base d'effets hématologiques chez le rat après administration dans l'alimentation sous forme SnCl₂ pendant 13 semaines (ATSDR 2005). Les données relatives à la toxicité à long terme sont trop limitées pour dériver une VTR chronique (EFSA 2005).

Les formes organiques (organoétains) sont beaucoup plus toxiques que l'étain inorganique, avec des effets sur la reproduction, le développement et le système immunitaire. Les dérivés organiques sont rapidement distribués au système nerveux central, au foie et aux reins. A l'exception de l'hydroxyde de triphénylétain classé en catégorie B2, cancérigène probable pour l'Homme par l'US-EPA (US-EPA 2006), aucun organoétain n'a été classé cancérigène par le CIRC.

De nombreuses études expérimentales ont été réalisées concernant les effets des organoétains. Des observations au regard de la cancérogénicité, toxicité sur la reproduction

⁹ Les boîtes de conserve en fer blanc, contrairement aux autres ne sont pas recouvertes d'une résine sur la face interne.

et le développement, ainsi que la neurotoxicité ont permis d'établir des DSENO inférieures à $1 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$. En 2004, l'EFSA a retenu une DSENO de $0,025 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sur la base des effets critiques hématologiques et immunologiques, dont elle a dérivé une DJT de $0,1 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ soit $0,25 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour la somme des tributylétain, dibutylétain, triphénylétain et dioctylétain (EFSA 2004a).

En ce qui concerne les organoétains, une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, cette DJT est applicable à la population infantile.

Cependant, les analyses ont porté sur l'étain total et aucune hypothèse de spéciation n'a été proposée dans la littérature pour estimer la part d'étain organique ou inorganique dans l'alimentation. Ainsi, l'évaluation de risque lié à l'exposition alimentaire à l'étain ne sera pas conduite dans la présente étude.

Contamination

La LOD s'élève à $42 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle elle est de $3 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global de l'étain total est de 14% (hors eau du robinet) et il varie entre 0 et 50% en fonction du groupe d'aliments considéré.

La plus forte concentration moyenne est retrouvée dans les pots à base de fruits ($393 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$), avec des concentrations allant jusqu'à $3300 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ dans certains pots contenant des fruits, sans qu'une explication ait pu être trouvée à ce jour. Des concentrations moyennes entre 21 et $35 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ sont retrouvées dans les légumes, les pommes de terre et apparentés, les pots à base de légumes et les jus de fruits infantiles.

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

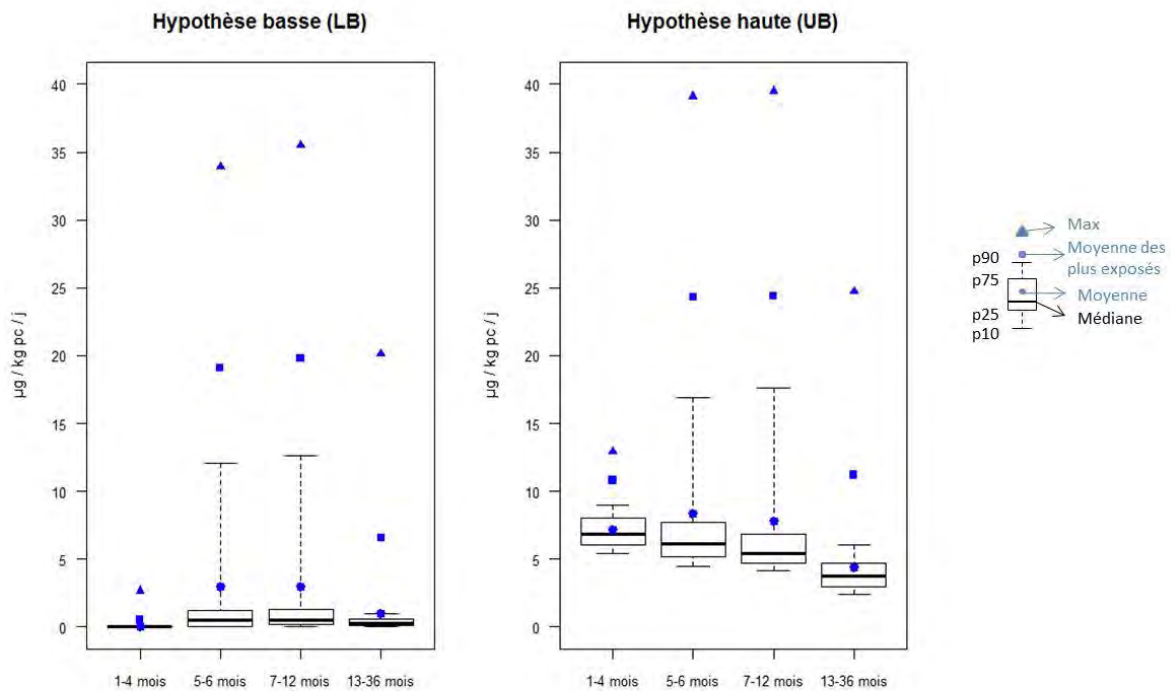
Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière en LB est comprise entre $0,055 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $2,98 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E1). En UB, elle est comprise entre $4,41 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ chez les 13-36 mois et $8,34 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ chez les 5-6 mois.

Le P90 se situe entre 0,08 et $12,6 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB, et entre 6,05 et $17,6 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge retenue.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre 0,503 et $19,8 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre 10,8 et $24,4 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon les classes d'âge.

On observe que 4 enfants de la classe 5-6 mois et des 7-12 mois respectivement ont une exposition à l'étain supérieure à la moyenne de leur classe d'âge (37 à $40 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$). Il s'agit d'enfants qui ont consommé pendant les 3 jours d'enquête une quantité significative de pots de fruits présentant des valeurs de contamination élevées ($>2000 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$).



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans à l'étain

Contribution des aliments à l'exposition

Le faible taux de détection rend difficile l'exploitation des contributeurs. On peut tout de même noter qu'à partir de 5 mois, les pots à base de fruits sont contributeurs majeurs, à la fois en population générale et chez les enfants les plus exposés.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 s'élèvent à $3,35 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sous l'hypothèse moyenne (Anses 2011a), ce qui est du même ordre de grandeur que pour notre étude chez les 13-36 mois. Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques (Rose et al. 2010), l'exposition moyenne à l'étain des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée à $89,3-89,8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (LB-UB). Les limites analytiques de la présente étude étant plus élevées que celle de l'EAT britannique, il est difficile de comparer les résultats obtenus.

Conclusion et recommandations

Les analyses ayant porté sur l'étain total, et en l'absence de données permettant d'établir des hypothèses de spéciation, il n'est pas possible de conclure quant au risque lié à l'apport alimentaire d'étain chez les enfants de moins de 3 ans.

Il apparaît nécessaire de distinguer dans les futures études l'apport sous forme inorganique de celui sous forme organique, et ainsi de mettre en œuvre des méthodes analytiques de routine pour la spéciation de l'étain dans les aliments.

Par ailleurs, en ce qui concerne les formes inorganiques de l'étain, il conviendrait de mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles.

Enfin, il serait intéressant de déterminer l'origine des teneurs élevées observées dans certains pots de fruits (autour de $3000 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par l'étain ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	42
Infantile	Céréales infantiles	17	18	7,41	49,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	0	0	42
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	50	21	62,5
Infantile	Laits de croissance	9	0	0	42
Infantile	Potages, purées	11	0	0	42
Infantile	Pots fruits	30	50	393	424
Infantile	Pots légumes	27	33	22,4	59,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	18	7,47	49,3
Infantile	Préparations 1 ^{er} âge	28	0	0	42
Infantile	Préparations 2 ^{ème} âge	34	0	0	42
Courant	Autres boissons chaudes	1	0	0	42
Courant	Beurre	1	0	0	42
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	0	0	42
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	42
Courant	Charcuterie	2	0	0	42
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	42
Courant	Eaux*	28	15	0,001	14
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	0	0	42
Courant	Fromages	1	0	0	42
Courant	Fruits	6	0	0	42
Courant	Lait	3	0	0	42
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	25	27,3	63,9
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	42
Courant	Pain et panification sèche	2	0	0	42
Courant	Poissons	3	0	0	42
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	33	35,3	63,3
Courant	Pâtes	1	0	0	42
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	0	0	42
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	42
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	42
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	42
Courant	Viande	2	0	0	42
Courant	Viennoiserie	2	0	0	42
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	42

*Données de l'EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à l'étain ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,055	7,14	0	6,85	0,08	8,99
5-6 mois	2,95	8,34	0,47	6,1	12,1	16,9
7-12 mois	2,98	7,77	0,48	5,43	12,6	17,6
13-36 mois	0,951	4,41	0,303	3,74	0,991	6,05

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) à l'étain ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,503	10,8	0,343	10,5
5-6 mois	19,1	24,3	14,2	19,7
7-12 mois	19,8	24,4	16,4	21,7
13-36 mois	6,59	11,2	1,68	8,75

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'étain en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	0,8	0	2,3	0	2,3	0	1
Infantile	Céréales infantiles	9	0,4	0,3	0,7	0,1	0,6	0,3	0,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,2	0	1,8	0	2,7	0	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0	0,2	0,4	0,3	0,4	0,1	0,3
Infantile	dont eau	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0	2,9	0	8,4
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,4	.	.
Infantile	Potages, purées	0	0,3	0	0,9	0	1,6	0	1,1
Infantile	Pots fruits	44	0,8	88,8	34,4	88,2	37,2	64,4	15,1
Infantile	Pots légumes	35,2	0,6	7	5,1	3,4	3,5	2,7	1,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	1,4	2,3	3,1	6,1	1,5	2,4
Infantile	Préparations 1er âge	0	90,3	0	5,3	0	0,9	.	.
Infantile	dont eau	0	78,8	0	4,7	0	0,7	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0	1,9	0	37,3	0	21,2	0	0,9
Infantile	dont eau	0	1,4	0	31,1	0	15,3	0	0,3
Total aliments infantiles		88,4	95,3	97,7	90,5	95,2	79,5	69	31,7
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0	0	0	0,3
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0	0,1	0	0,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,3	0	4
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	0	0,9
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0	0,1	0	0,8
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0,1	0	0,1	0	0,6	0	2
Courant	Eaux	0	1,3	0	1,5	0	3,9	0	9,8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0	0,1	0	0,2	0	1,6
Courant	Fromages	.	.	0	0	0	0,1	0	0,3
Courant	Fruits	.	.	0	0,3	0	0,4	0	3
Courant	Lait	0	3,1	0	3,6	0	4,3	0	17,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	11,6	0,1	1,6	1,5	4,1	3,6	20,6	7,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0	0,1	0	0,6
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0	0	0	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	0	0,1	0	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0	0,6	0,2	1,3	7	3,7
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0	0,2	0	1,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0	0,1	0	1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,6	0,5	0,5	0,5	3,3	2,4
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,2
Courant	Ultra-frais laitier	0	0,1	0	1,2	0	4	0	8,7
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0,2	0	1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	0	0,4
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,2	0	0,5
Total aliments courants		11,6	4,7	2,3	9,5	4,8	20,5	31	68,3

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne à l'étain en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	2,1	0	0,1	0	1,5	0	0,9
Infantile	Céréales infantiles	7,2	1,4	0,1	0,2	0	0,1	0,1	0,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0	0,9	0	1,3	0	0,8
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,2	.	0	0,1	0,1	0,2	0	0,9
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	0	0,9
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0	0,4	0	4,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0	.	0	0,4	0	0,7	0	1,1
Infantile	Pots fruits	44,4	1,2	97,7	78	97,8	79,9	87,6	52,3
Infantile	Pots légumes	36,3	.	1,4	2,6	0,7	1,6	1,3	1,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0,7	2	0,5	2,4	0,7	3,4
Infantile	Préparations 1er âge	0	81,6	0	1,5	.	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	73,4	0	1,4	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0	.	0	12,2	0	7,2	0	1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	.	0	10,6	0	4,8	0	0,9
Total aliments infantiles		88,1	86,4	99,9	98	99,1	95,2	89,8	66,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	.	.	0	0,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,3	0	1,8
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	0	0,7
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0	0	0	0,2
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,4	.	.	0	0	0	0,5
Courant	Eaux	0	3,4	0	0,4	0	0,9	0	7,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	.	.	0	0,8
Courant	Fromages	.	.	0	0	0	0,1	0	0,2
Courant	Fruits	.	.	.	.	0	0,1	0	0,9
Courant	Lait	0	9,8	0	0	0	1,1	0	7,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	11,9	.	0,1	0,4	0,7	1	6,3	4,6
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	.	.	0	0,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0	0,1
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	.	0	0,3	0	0,2	1,5	1,5
Courant	Pâtes	.	.	.	.	.	.	0	0,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	.	.	0	0,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,1	0,1	0,2	2,4	2,7
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0	.	0	0,7	0	0,7	0	4,1
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0	0	0,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0	0,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	.	0	0,1	0	0,1
Total aliments courants		11,9	13,6	0,1	2	0,9	4,8	10,2	33,7

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.11 Gallium

Le gallium (Ga) est un métal provenant essentiellement de l'extraction de l'aluminium et du zinc. Essentiellement sous forme de sels, il est utilisé en petite quantité pour la fabrication de semi-conducteurs, dans l'industrie électrique et électronique (arseniure et phosphore) et dans de nombreux objets de la vie courante (alliages, ordinateurs, DVD, LED...). C'est un substitut du mercure pour les lampes à arc et les thermomètres pour hautes températures. Plusieurs utilisations médicales sont décrites : traceur radioactif, alliages dentaires, traitement des hypercalcémies tumorales.

Caractérisation du danger

Dans le contexte de l'exposition professionnelle, le gallium et ses composés pénètrent par voie respiratoire. Le gallium et ses sels sont peu absorbés par le tractus gastro-intestinal, mais une accumulation dans les tissus peut être observée après des administrations répétées. Il se lie à la transferrine dans le sang (interférence avec le fer) et se distribue dans le foie, la rate, les tissus osseux et la moelle osseuse. Le gallium se concentre rapidement au niveau des os (moins de 4 heures) où il semble être assez stable et peut persister pendant plus de 3 mois.

La toxicité est basée essentiellement sur des études animales et varie selon les espèces et les composés du gallium. Les organes cibles sont le poumon, le système hématopoïétique, le système immunitaire, le rein et l'appareil reproducteur mâle. Les données humaines issues de populations de travailleurs de l'industrie, notamment des semi-conducteurs, ou au cours d'un usage thérapeutique, sont concordantes avec ces cibles toxicologiques, sauf la toxicité sur la reproduction, qui est insuffisamment documentée. L'arséniure de gallium est classé par le CIRC parmi les « cancérogènes pour l'Homme » (groupe 1) en s'appuyant surtout sur des données expérimentales animales et sans en avoir démontré le mécanisme d'action (IARC 2006a).

Concernant les effets toxiques par ingestion (avec ou sans seuil), aucune monographie n'est disponible. L'état des connaissances ne permet toujours pas de définir une valeur toxicologique de référence pour le gallium et *a fortiori* pas de VTR spécifique de l'enfant. En effet, il n'y a pas d'étude suffisamment robuste sur la toxicité subchronique et/ou chronique du gallium et/ou de ses dérivés permettant de dériver un POD toxicologique.

Contamination

La LOD s'élève à $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ quelle que soit la matrice, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la LOD est de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du gallium est de 14% (hors eau du robinet) et il varie de 0% à 100% selon la matrice.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres ($3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et UB), et les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés ($1,75 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et $2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en UB)(Tableau C1).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

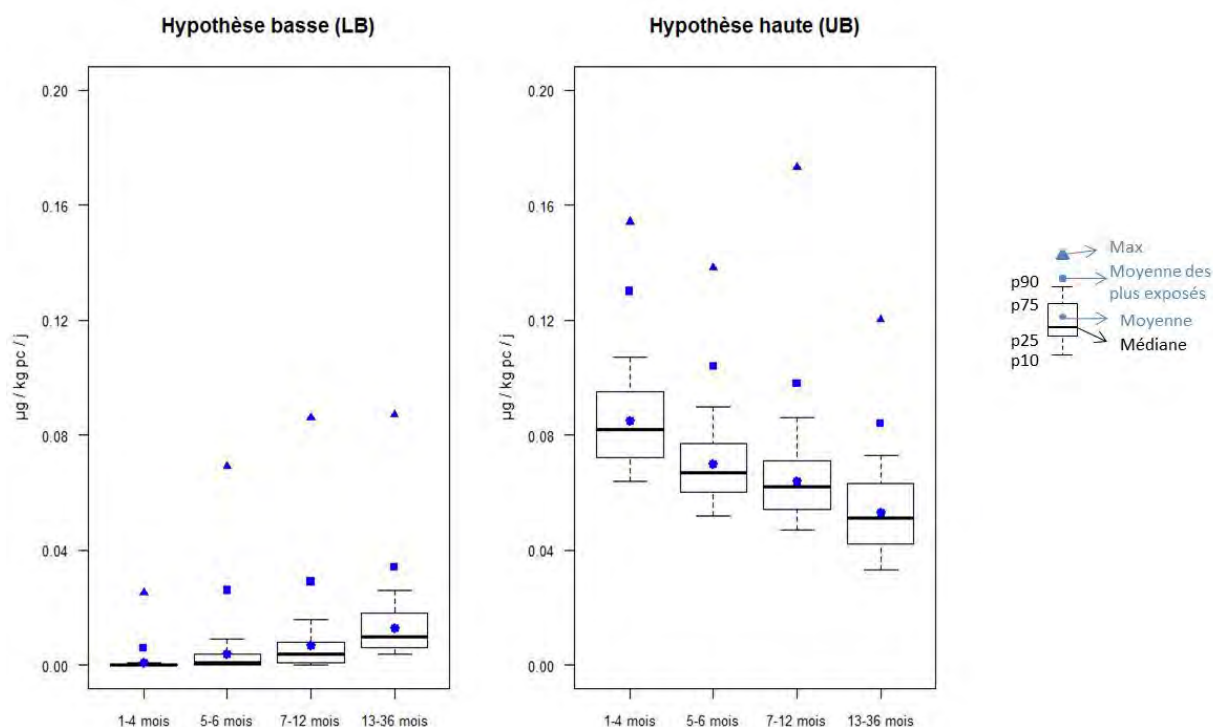
Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière sous l'hypothèse basse est comprise entre 0,001 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et 0,013 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Sous l'hypothèse haute, elle est comprise entre 0,053 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,085 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois. La Figure 1 montre des évolutions différentes des niveaux d'exposition en fonction de l'âge selon l'hypothèse retenue. Du fait de la faible détection, les niveaux d'exposition en UB sont dépendants du rapport consommation/poids, rapport qui diminue avec l'âge. A l'inverse, en LB, les niveaux d'exposition dépendent du peu d'échantillons dans lesquels le gallium a été détecté. Les teneurs les plus élevées ayant été retrouvées dans les échantillons d'aliments courants, l'exposition augmente avec la diversification alimentaire.

Le P90 se situe entre 0,001 et 0,026 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB, et entre 0,073 et 0,107 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge retenue (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre 0,006 et 0,034 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre 0,084 et 0,130 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge retenue.



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au gallium

Contribution des aliments à l'exposition

Compte tenu du taux de détection relativement faible, aucun contributeur majeur à l'exposition au gallium ne se dégage vraiment en population générale.

Chez les enfants les plus exposés, les légumes hors pomme de terre contribuent de façon majeure à l'exposition à partir de 5 mois, et les préparations 2^{ème} âge entre 5 et 12 mois.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 sont compris entre 0,0026 (LB) et 0,750 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (UB) en moyenne, ce qui est du même ordre de grandeur que les résultats de la présente étude en LB, mais plus élevé en UB.

Conclusion et recommandations

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié au gallium.

Il conviendrait donc de mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le gallium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	0,5
Infantile	Céréales infantiles	17	88	0,447	0,623
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	0	0	0,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	0,5
Infantile	Laits de croissance	9	11	0,056	0,556
Infantile	Potages, purées	11	0	0	0,5
Infantile	Pots fruits	30	3	0,017	0,517
Infantile	Pots légumes	27	15	0,074	0,574
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	7	0,033	0,533
Infantile	Préparations 1er âge	28	0	0	0,5
Infantile	Préparations 2ème âge	34	6	0,029	0,529
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,451	0,451
Courant	Beurre	1	0	0	0,5
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	3	3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	0,5
Courant	Charcuterie	2	0	0	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	0,5
Courant	Eaux*	20	0	0	0,251
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	2	2
Courant	Fromages	1	100	1	1
Courant	Fruits	6	17	0,083	0,583
Courant	Lait	3	0	0	0,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	63	0,75	1,19
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Pain et panification sèche	2	100	0,75	1
Courant	Poissons	3	0	0	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	0	0	0,5
Courant	Pâtes	1	0	0	0,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	50	0,5	0,75
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	0,5
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	0,5
Courant	Viande	2	0	0	0,5
Courant	Viennoiserie	2	50	1	1,25
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	0,5

*Données de l'EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au gallium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,001	0,085	0	0,082	0,001	0,107
5-6 mois	0,004	0,070	0,001	0,067	0,009	0,090
7-12 mois	0,007	0,064	0,004	0,062	0,016	0,086
13-36 mois	0,013	0,053	0,010	0,051	0,026	0,073

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au gallium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,006	0,130	0,003	0,130
5-6 mois	0,026	0,104	0,012	0,100
7-12 mois	0,029	0,098	0,025	0,090
13-36 mois	0,034	0,084	0,029	0,078

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au gallium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	0,8	0	3,4	0	3,3	0	1
Infantile	Céréales infantiles	83,4	0,8	26,5	2,1	22	2,6	7,6	2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,2	0	2,5	0	3,9	0	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,4	0	0,5	0	0,3
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	4,2	4,7	4	9,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,6	.	.
Infantile	Potages, purées	0	0,3	0	1,3	0	2,3	0	1,1
Infantile	Pots fruits	8	0,6	0,8	5,4	1,9	6,3	0,2	1,5
Infantile	Pots légumes	0	0,4	9,8	5,2	4,4	3,9	0,9	1,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	5,1	2,9	3,2	7,5	0,6	2,2
Infantile	Préparations 1er âge	0	90,4	0	7,5	0	1,4	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	78,9	0	6,8	0	1,1	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,4	1,9	7,4	53,8	6,8	31,3	0	0,9
Infantile	<i>dont eau</i>	0	1,4	0	44,4	0	22	0	0,3
Total aliments infantiles		93,9	95,4	49,6	84,6	42,5	67,5	13,4	20,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	1	0,1	8,1	0,9	22,3	5,5
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0,1	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	5	0,5	13,5	3,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,4	0	4
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	0	0,9
Courant	Charcuterie	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,7
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0,1	0	0,1	0	0,9	0	2
Courant	Eaux	0	1,3	0	2,2	0	5,6	0	9,8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	2,5	0,2	5,6	0,6	15	3,7
Courant	Fromages	.	.	0,1	0	2,5	0,3	2,6	0,6
Courant	Fruits	.	.	1,8	0,5	1,4	0,8	3	3,8
Courant	Lait	0	3,1	0	5,2	0	6,2	0	17
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	6,1	0,1	44,9	4,1	32,1	6,5	17,6	7,9
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	1,9	0,2	4,2	1,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0	0	0	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	0	0,1	0	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0	0,8	0	1,8	0	2,8
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0	0,3	0	1,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,8	0,2	6,5	1,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,4	0	0,5	0	1,7
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,2
Courant	Ultra-frais laitier	0	0,1	0	1,7	0	5,8	0	8,7
Courant	Viande	.	.	0	0	0	0,3	0	1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	2	0,8
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,3	0	0,5
Total aliments courants		6,1	4,6	50,4	15,4	57,5	32,5	86,6	79,8

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound) Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au gallium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	2	0	1,6	0	7,5	.	1,4
Infantile	Céréales infantiles	83	2,8	12,3	2,7	4,2	1,6	4,9	1,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0	0,1	0	1,6	0	3,5	0	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	.	0	0,4	0	0,5	0	1,5
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	1,5
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	9,5	4,2	6,8	5,3
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0	.	.	3,2	0	0,7	0	0,3
Infantile	Pots fruits	8,3	1,1	0	4,4	0,5	5,4	0,2	2,1
Infantile	Pots légumes	0	.	6,8	2,5	2	3,7	0	2,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	3,4	3,5	0	5,9	0	2,6
Infantile	Préparations 1er âge	0	80,5	.	7	.	.	.	.
Infantile	dont eau	0	72,5	.	6,3	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,5	.	12,1	38,6	14,9	23,4	0	1,1
Infantile	dont eau	0	.	0	28,6	0	16,9	.	0,5
Total aliments infantiles		93,7	86,6	34,7	65,4	31,1	56,4	11,9	18,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	9,5	2,3	24,4	6,6
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0,1	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	8,5	1,3	16,9	6,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,8	0	5,8
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,2	0	2,8
Courant	Charcuterie	0	.	0	0,1	0	0,1	0	0,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,4	0	0,4	0	1	0	0,6
Courant	Eaux	0	3,3	0	1,9	0	5,3	0	13
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	2,5	.	9,2	1,5	10,8	3,3
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,2	0,2	2	0,5
Courant	Fruits	.	.	0,2	0,8	0,3	0,1	1,1	2,4
Courant	Lait	0	9,7	0	12,6	0	9,2	0	16,2
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	6,3	.	62,6	15,5	40,6	12,5	23,8	10,3
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,2	0,5	2,1	0,7
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0	.	0	0,1
Courant	Poissons	.	.	.	.	0	0,1	0	0,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	.	0	2	0	2,3	0	2,2
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0	0,2	0	1,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,5	0,4	4,2	1,5
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,9	.	0,9	0	1,1
Courant	Sucres et dérivés	0	.	0	0	0	0,1	0	0,2
Courant	Ultra-frais laitier	0	.	0	0,2	0	4,3	0	6,3
Courant	Viande	.	.	.	.	0	0,2	0	0,7
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	2,9	0,5
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0,2	0	0,2	0	0,4
Total aliments courants		6,3	13,4	65,3	34,6	68,9	43,6	88,1	81,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.12 Germanium

Le germanium (Ge) est un métalloïde présent naturellement dans la croûte terrestre (7 mg.kg⁻¹ en moyenne). Il peut exister sous forme organique ou inorganique. Généralement obtenu à partir du raffinage du cuivre, du zinc et du plomb, il est utilisé principalement dans le secteur de l'électronique (diodes, transistors, etc.) et du verre (élément optique) du fait de ses propriétés proches de celles du silicium. Dans certains pays, il est également commercialisé sous forme organique en tant que complément alimentaire (Okada et al. 1989).

Caractérisation du danger

Les propriétés du germanium sous forme organique et inorganique sont différentes. Sous forme inorganique, il s'accumule dans le corps et peut induire des effets toxiques. Il n'y a pas de données de spéciation fiables pour le germanium dans les aliments. L'absorption du germanium au niveau intestinal est rapide et complète. Son élimination est principalement urinaire. Il n'est ni mutagène, ni cancérigène sous ses formes ioniques ou de dioxyde de germanium. Plusieurs cas rapportés de patients exposés de manière répétée à de fortes doses de germanium (complément alimentaire) indiquent notamment des perturbations au niveau rénal (Okada et al. 1989). D'après les études menées sur des rongeurs, ces néphropathies apparaissent parmi d'autres effets (anémie, faiblesse musculaire et neuropathie périphérique) comme étant les plus sensibles. Une dose minimale avec effet nocif observé (DMENO) de 37,5 mg.kg pc⁻¹.j⁻¹ de dioxyde de germanium a pu être déterminée chez le rat. Malgré des incertitudes, la synthèse des données disponibles chez l'Homme indique une plus forte sensibilité puisque les effets rénaux apparaissent généralement à partir de 1 mg.kg pc⁻¹.j⁻¹ (Tao and Bolger 1997). Actuellement, les données de toxicité par voie orale sont trop peu robustes pour établir une VTR.

Contamination (Tableau C1)

La LOD s'élève à 0,5 µg.kg⁻¹ et la LOQ à 1 µg.kg⁻¹ excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la LOQ est de 3 µg.L⁻¹. Le taux de détection global du germanium est de 7% (hors eau du robinet). Il est nul pour la plupart des groupes d'aliments, mais atteint 100% pour les biscuits sucrés ou salés et barres, 67% pour les poissons, 47% pour les céréales infantiles, et 50% pour les catégories suivantes : pain et panification sèche, riz et blé dur ou concassé, viande et viennoiserie.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres (0,5 µg.kg⁻¹ en LB et 1 µg.kg⁻¹ en UB), suivi des poissons (0,33 µg.kg⁻¹ en LB et 0,83 µg.kg⁻¹ en UB), puis le pain et panification sèche, le riz, la viande, les viennoiseries (0,25 µg.kg⁻¹ en LB et 0,75 µg.kg⁻¹ en UB). Pour les aliments infantiles, les concentrations moyennes les plus élevées sont retrouvées dans les céréales infantiles (0,244 µg.kg⁻¹ en LB et 0,685 µg.kg⁻¹ en UB).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière est comprise entre 0 chez les 1-4 mois et 0,002 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 13-36 mois sous l'hypothèse basse (LB) et entre 0,044 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 13-36 mois et 0,085 µg.kg pc⁻¹.j⁻¹ chez les 1-4 mois sous l'hypothèse haute (UB) (Tableau E1).

Le P90 s'élève entre 0 et 0,005 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre 0,061 et 0,107 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB pour les mêmes classes d'âge (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0,002 et 0,007 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre 0,069 et 0,129 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

Contribution des aliments à l'exposition

Dans la mesure où le germanium n'est détecté que dans quelques échantillons, les contributeurs ne sont pas présentés.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 s'élèvent entre 0,084 et 0,179 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en moyenne (LB-UB), ce qui plus élevé que dans la présente étude, quelle que soit l'hypothèse considérée (Anses 2011a). Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques, l'exposition moyenne au germanium des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée entre 0,002 et 0,053 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, ce qui est du même ordre de grandeur que l'exposition des 13-36 mois de la présente étude (Rose et al. 2010).

Conclusion et recommandations

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique et de données de spéciation du germanium dans les aliments, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au germanium.

Il conviendrait donc de mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le germanium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	0,5
Infantile	Céréales infantiles	17	58,8	0,244	0,685
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	0	0	0,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	0,5
Infantile	Laits de croissance	9	0	0	0,5
Infantile	Potages, purées	11	0	0	0,5
Infantile	Pots fruits	30	0	0	0,5
Infantile	Pots légumes	27	4	0,019	0,519
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	4	0,022	0,522
Infantile	Préparations 1er âge	28	0	0	0,5
Infantile	Préparations 2ème âge	34	0	0	0,5
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,041	0,041
Courant	Beurre	1	0	0	0,5
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	0,5	1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	0,5
Courant	Charcuterie	2	0	0	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	0,5
Courant	Eaux*	28	8	0	0,168
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	0	0	0,5
Courant	Fromages	1	0	0	0,5
Courant	Fruits	6	0	0	0,5
Courant	Lait	3	0	0	0,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	0	0	0,5
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Pain et panification sèche	2	50	0,25	0,75
Courant	Poissons	3	67	0,333	0,833
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	0	0	0,5
Courant	Pâtes	1	0	0	0,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	50	0,5	0,75
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	0,5
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	0,5
Courant	Viande	2	50	0,25	0,75
Courant	Viennoiserie	2	50	0,25	0,75
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	0,5

*Données de l'étude EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)
 LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
 N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au germanium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0	0,085	0	0,082	0	0,107
5-6 mois	0,001	0,066	0	0,064	0,002	0,082
7-12 mois	0,001	0,059	0	0,058	0,004	0,073
13-36 mois	0,002	0,044	0,002	0,043	0,005	0,061

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au germanium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,002	0,129	0,001	0,128
5-6 mois	0,004	0,092	0,004	0,090
7-12 mois	0,005	0,085	0,004	0,081
13-36 mois	0,007	0,069	0,006	0,067

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

1.13 Mercure

Le mercure (Hg) est un élément métallique naturellement présent dans la croûte terrestre ($0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$) et plus généralement dans l'environnement, qui présente la particularité d'être sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression. Le mercure peut être inorganique (sous forme de mercure métallique Hg^0 ou de sels mercurieux [Hg-Hg^{2+}] et mercuriques [Hg^{2+}]) ou bien organique, dont l'origine est la transformation biotique du mercure inorganique dans l'environnement (principalement aquatique). Le mercure et ses dérivés sont utilisés dans de très nombreuses industries (batteries, lampes, câbles et interrupteurs électriques, appareils de mesure, amalgames dentaires, antiseptiques), conduisant à des rejets dans l'environnement auxquels s'ajoute l'incinération des déchets. Le méthylmercure, forme principale de mercure organique, est bioaccumulable et se concentre fortement dans la chaîne alimentaire. Les différentes voies d'exposition sont l'inhalation, le contact cutané et l'ingestion, mais la consommation d'aliments contaminés reste l'une des principales origines du mercure dans la population générale (EFSA 2012b).

Caractérisation du danger

Mercure organique (méthylmercure) :

Les effets toxiques du méthylmercure portent essentiellement sur le système nerveux central mais des effets sur le système cardiovasculaire ont également été rapportés chez l'Homme. Le méthylmercure, dont la biodisponibilité par voie orale est élevée, est capable de franchir les barrières hémato-encéphalique et placentaire du fait de sa lipophilie, et tend à s'accumuler dans le fœtus et le cerveau. Chez l'Homme, le méthylmercure est classé cancérigène possible pour l'Homme par le CIRC (groupe 2B) (IARC 1993).

En 2003, le JECFA a établi une DHTP de $1,6 \text{ } \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ 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 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 mg.kg^{-1} de cheveux maternels) et la BMDL₀₅ issue de la cohorte conduite aux îles Féroé (12 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 infantile pour évaluer le risque lié au méthylmercure.

Mercure inorganique :

Les effets toxiques du mercure inorganique portent essentiellement sur le rein mais aussi le système nerveux, le système immunitaire, la reproduction et le développement. La biodisponibilité par voie orale du mercure inorganique est plus faible que celle du méthylmercure. Son taux de passage à travers les barrières hémato-encéphalique et placentaire n'a pas été déterminé. Cette forme de mercure n'a pas été classée cancérigène pour l'Homme (classé groupe 3 par le CIRC) (IARC 1993).

Le JECFA a fixé une DHT de $4 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ pour le mercure inorganique sur la base d'effets rénaux chez le rat (variation du poids relatif du rein) après ingestion de chlorure de mercure. Cette valeur se base sur une BMDL_{10} de $0,06 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à laquelle a été affecté un facteur de sécurité de 100 afin de tenir compte des variabilités inter et intra-espèces (JECFA 2011c). Cette DHT a été confirmée par l'EFSA en 2012 (EFSA 2012b). Des études de toxicité pour la reproduction et le développement sur deux générations ont été rapportées par l'EFSA mais des effets toxiques sur la descendance étaient constatés à des plus fortes doses que la BMDL_{10} de $0,06 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ fixée sur la base d'effets sur le rein (EFSA 2012b).

Une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée. Néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, la DHT de $4 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$ (soit $0,57 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) établie par le JECFA est retenue et appliquée à la population infantile pour évaluer le risque lié au mercure inorganique.

Contamination

Les analyses ont porté sur le mercure total. La LOD se situe à $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,26 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du mercure total est faible (8%, hors eau du robinet) et très variable selon les catégories (entre 0 et 100%).

Des hypothèses de spéciation ont été appliquées aux données de contamination en mercure total afin d'estimer la part de mercure organique et inorganique dans les aliments (EFSA 2012b). Pour les poissons, il a été considéré pour des besoins purement théoriques que 100% du mercure était présent sous forme méthylmercure et 20% sous forme inorganique (hypothèse maximaliste). Pour les autres aliments (hors crustacés et mollusques non échantillonnés dans cette étude), il a été considéré que 100% du mercure était présent sous forme inorganique. Pour les pots pour bébés légumes-poissons, il a été considéré d'une part que 100% du mercure était présent sous forme méthylmercure et d'autre part que 100% du mercure était présent sous forme inorganique.

Les concentrations moyennes en méthylmercure les plus élevées sont observées dans les poissons ($25,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$) (Tableau C1). C'est dans cette catégorie d'aliments que les plus fortes teneurs sont retrouvées : échantillons de lieu ou colin cuit ($22,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et de sole cuite ($53,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$). La présence de mercure inorganique dans le riz et le blé dur ou concassé et les céréales infantiles est notée à un niveau non négligeable.

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous les hypothèses basse (LB) et haute (UB).

L'exposition moyenne journalière au mercure total en LB est comprise entre $0,001 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,008 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois (Tableau E1). En UB, elle est comprise entre $0,048 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et $0,085 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois. Le P90 s'élève au plus à $0,028 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et à $0,107 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB. Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre $0,005$ et $0,130 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge et l'hypothèse considérées.

Sur la base des hypothèses de spéciation retenues (voir plus haut), l'exposition journalière moyenne au méthylmercure en LB est comprise entre 0 et $0,006 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Tableau E1). En UB elle est comprise entre 0 et $0,007 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Le P90 s'élève au maximum à $0,02 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB (7-12 mois) et en UB (7-12 mois). Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0,050 et $0,055 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge et l'hypothèse retenues.

L'exposition journalière moyenne au mercure inorganique est comprise entre 0,001 et $0,007 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre 0,045 et $0,085 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB (Tableau E1). Le P90 s'élève au maximum à $0,018 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB (7-12 mois) et à $0,107 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB (1-4 mois). Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 0,005 et $0,130 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge et l'hypothèse retenue.

Contribution des aliments à l'exposition

Dans la mesure où le mercure total n'est détecté que dans quelques échantillons, les contributeurs à l'exposition au mercure inorganique ne sont pas présentés.

Compte tenu des hypothèses retenues, seuls les poissons et petits pots à base de poisson contribuent à l'exposition. Cependant, compte tenu de l'incertitude sur l'hypothèse de spéciation retenue pour les pots à base de poisson (100%), il est difficile d'estimer la contribution réelle des groupes d'aliments.

Comparaison avec les données de la littérature

Le rapport de l'EFSA relatif au mercure et daté de 2012 relève des niveaux de contamination plus élevés que ceux de notre étude, et ce jusqu'à un facteur 10 (EFSA 2012b), du fait de limites analytiques plus élevées. Dans ce rapport de l'EFSA, l'exposition moyenne des enfants de 1 à 3 ans a été estimée à $0,09 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (et entre $0,66$ et $0,70 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les plus exposés). Ces expositions sont supérieures à celles estimées dans la présente étude, mais peuvent s'expliquer par les différences de contamination observées et les différences d'échantillonnage, en particulier des espèces de poissons.

Les niveaux d'exposition moyens au mercure total des enfants de 3 à 6 ans ont été estimés dans l'EAT2 à $0,059$ et $0,417 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon l'hypothèse considérée (Anses 2011a), ce qui est également plus élevé que dans la présente étude. Ceci peut s'expliquer par les concentrations plus faibles retrouvées dans les échantillons de l'EAT infantile mais aussi par des limites analytiques plus basses permettant d'affiner les expositions sous l'hypothèse haute.

Evaluation du risque

Sur la base des hypothèses considérées, aucun dépassement de la DHT définie pour le mercure inorganique n'est observé au sein de la population étudiée.

Concernant le méthylmercure, aucun dépassement de la DHT n'est observé chez les moins d'un an. Il existe des dépassements de la DHT chez les 13-36 mois (en LB et UB), mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'exposition.

Synthèse des résultats d'exposition (LB-UB) au mercure des enfants de moins de 3 ans

Substance	Classe d'âge	DHT	Exposition moyenne (LB-UB)	90 ^{ème} centile (LB-UB)	% de dépassement DHT
Mercure inorganique	1-4 mois	0,57	0,001-0,085	0,001-0,107	Pas de dépassement
	5-6 mois		0,004-0,069	0,004-0,090	
	7-12 mois		0,007-0,065	0,018-0,088	
	13-36 mois		0,003-0,045	0,007-0,062	
Méthylmercure*	1-4 mois	0,19	0	0	Pas de dépassement
	5-6 mois		0,002	0	
	7-12 mois		0,007	0,020	
	13-36 mois		0,006	0,009	NC**

* En ce qui concerne le méthylmercure, LB=UB

** non calculé en raison du nombre trop faible d'individus

Le seul dépassement de DHT observé correspond à un enfant de 13-36 mois ayant consommé 100 g.j^{-1} de sole sur les 3 jours d'enquête, dont l'échantillon présente la concentration en mercure total la plus élevée (0,053 $\mu\text{g.kg}^{-1}$).

Conclusion et recommandations

Sur la base des connaissances actuelles et des données disponibles, l'exposition alimentaire de la population infantile au mercure inorganique est jugée tolérable.

Un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au méthylmercure ne peut être exclu. Les données de contamination de cette étude n'ont porté que sur un nombre limité d'espèces de poissons, mais la littérature montre que d'autres espèces de poissons peuvent présenter des teneurs en méthylmercure équivalentes voire supérieures à la sole (Sirot et al. 2008). Il convient donc de tenir compte des recommandations établies par l'ANSES pour les enfants de moins de 3 ans (Anses 2013c) : « l'Agence recommande, afin de permettre une couverture optimale des besoins en nutriments tout en limitant le risque de surexposition aux contaminants

chimiques, la consommation de deux portions de poissons par semaine, dont une à forte teneur en EPA et DHA (saumon, sardine, maquereau, hareng, truite fumée), en variant les espèces de poisson et les lieux d'approvisionnement (sauvage, élevage, lieux de pêche etc...) [...], dans le cadre d'une alimentation diversifiée. [...] Il est recommandé [...] aux enfants de moins de trois ans de limiter la consommation de poissons prédateurs sauvages¹⁰ (lotte (baudroie), loup (bar), bonite, anguille, empereur, grenadier, flétan, brochet, dorade, raie, sabre, thon...), et d'éviter, à titre de précaution, celle d'espadon, marlin, siki, requin et lamproie en raison du risque lié au méthylmercure ».

¹⁰ Poissons prédateurs tels que définis par le règlement CE du 18 janvier 2005 N°78/2005

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le mercure ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Aliments		N	Hg Total			Méthylmercure*			Hg inorganique*		
Type	Catégorie		% détection	LB	UB	% détection	LB	UB	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Céréales infantiles	17	47	0,166	0,577	47	0	0	47	0,166	0,577
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	17	0,083	0,583	17	0	0	17	0,083	0,583
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Laits de croissance	9	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Potages, purées	11	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Pots fruits	30	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Pots légumes	27	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	16	0,356	0,8	16	0,344	0,378	16	0,356	0,8
Infantile	Préparations 1er âge	28	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Infantile	Préparations 2ème âge	34	3	0,015	0,515	3	0	0	3	0,015	0,515
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,5	1	100	0	0	100	0,5	1
Courant	Beurre	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Charcuterie	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Eaux**	9964	50	0	0,25	50	0	0	50	0	0,25
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Fromages	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5

Aliments		N	Hg Total			Méthylmercure*			Hg inorganique*		
Type	Catégorie		% détection	LB	UB	% détection	LB	UB	% détection	LB	UB
Courant	Fruits	6	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Lait	3	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	13	0,188	0,625	13	0	0	13	0,188	0,625
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Pain et panification sèche	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Poissons	3	67	25,2	25,4	67	25,2	25,4	67	5,05	5,08
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Pâtes	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	50	0,25	0,75	50	0	0	50	0,25	0,75
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Viande	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Viennoiserie	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5

* Les concentrations en méthylmercure et mercure inorganique ont été estimées à partir des concentrations en Hg total, sur la base des hypothèses retenues.

** Données de la base SISE-EAUX pour l'eau du robinet (Ministère chargé de la Santé 2011-2012)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Hg : mercure

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au mercure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Mercure total						Méthylmercure						Mercure inorganique					
	Moyenne		Médiane		P90		Moyenne		Médiane		P90		Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,001	0,085	0	0,082	0,001	0,107	0	0	0	0	0	0	0,001	0,085	0	0,082	0,001	0,107
5-6 mois	0,004	0,069	0	0,066	0,004	0,090	0,002	0,002	0	0	0	0	0,004	0,069	0	0,066	0,004	0,09
7-12 mois	0,008	0,065	0	0,059	0,028	0,090	0,006	0,007	0	0	0,020	0,020	0,007	0,065	0	0,059	0,018	0,088
13-36 mois	0,007	0,048	0,001	0,043	0,010	0,070	0,006	0,006	0	0	0,009	0,009	0,003	0,045	0,001	0,042	0,007	0,062

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au mercure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Mercure total				Méthylmercure				Mercure inorganique			
	Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,005	0,130	0,002	0,131	.	.	.	.	0,005	0,130	0,002	0,131
5-6 mois	0,029	0,107	0,014	0,100	NC*	NC*	NC*	NC*	0,029	0,107	0,014	0,100
7-12 mois	0,053	0,113	0,054	0,113	0,050	0,050	0,054	0,054	0,052	0,113	0,052	0,113
13-36 mois	0,056	0,108	0,038	0,084	0,055	0,055	0,036	0,037	0,020	0,077	0,013	0,071

*non calculé en raison du trop faible effectif

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

1.14 Nickel

Le nickel (Ni) est un métal naturellement présent dans la croûte terrestre. Ses propriétés - malléabilité, ferromagnétisme, conduction de la chaleur et de l'électricité - expliquent son utilisation dans de nombreuses applications industrielles principalement sous forme d'alliages (aciers inoxydables) et de catalyseurs pour les constructions automobile, navale et aéronautique, et l'industrie électrique. Le nickel se présente sous une grande variété de formes chimiques inorganiques (métal, oxydes, sels) ou organiques. L'Homme est exposé à ces composés par inhalation (exposition professionnelle), par ingestion (consommation d'eau et d'aliments) et par contact cutané. Dans ce dernier cas, il est allergisant et peut provoquer une dermatite de contact.

Caractérisation du danger

Le nickel mesuré dans les aliments est le nickel total, sans investigation sur les espèces chimiques présentes. L'absorption gastro-intestinale du nickel est très variable selon sa forme chimique et peut être augmentée lors d'une déficience en fer. Le nickel peut traverser la barrière placentaire et être excrété dans le lait (INERIS 2006, WHO 2005). Les données animales de toxicité orale sur des sels de nickel montrent que les effets toxiques portent essentiellement sur le développement, la reproduction, les reins, le foie et le système immunitaire (EFSA 2015a). Le nickel est immunotoxique et sensibilisant chez l'homme. Il a été démontré que l'exposition orale à des sels de nickel peut être à l'origine de dermatites de contact chez les populations sensibilisées au nickel par voie cutanée (EFSA 2015a).

Les données épidémiologiques notamment sur les populations professionnelles exposées aux composés du nickel par inhalation ont conduit à classer l'ensemble des composés comme « cancérogènes pour l'homme » (groupe 1 du CIRC). Toutefois, aucun effet cancérogène n'a été montré chez l'animal exposé par voie orale aux composés solubles du nickel, notamment le sulfate (Heim et al. 2007). Si les dérivés du nickel ne sont pas mutagènes sur bactéries et le sont faiblement sur cellules de mammifères dans les conditions des tests standardisés, ils induisent des dommages à l'ADN, des aberrations chromosomiques, et des micronoyaux *in vivo* et *in vitro* (IARC 2012). Ces effets génotoxiques résulteraient d'une action indirecte en lien avec un stress oxydatif, l'inhibition des processus de réparation de l'ADN et/ou l'inactivation génique par des mécanismes épigénétiques incluant des modifications du profil de méthylation de l'ADN et de la conformation des histones (EFSA 2015a, IARC 2012).

L'OMS, en 2005, a proposé une DJT fixée à $22 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (WHO 2005) basée sur une étude de reprotoxicité sur 2 générations chez le rat exposé par gavage au sulfate de nickel administré à doses faibles choisies à la suite d'une étude préliminaire. Cette même valeur a été retenue par l'AFSSA en 2008 (Afssa 2008). En utilisant la même étude pivot et l'étude préliminaire correspondante, et en intégrant en un seul critère, les pertes post-implantation et la mortalité périnatale à J+4 pour la génération F1, l'EFSA a analysé les résultats par une approche « *Benchmark dose* » et établi une DJT de $2,8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Cette VTR a été dérivée de la BMDL_{10} de $0,28 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ affectée d'un facteur de sécurité de 100 afin de tenir compte des différences de sensibilité inter et intra-espèces.

Par ailleurs, afin d'appréhender les risques d'hypersensibilité par voie orale se traduisant par des dermatites de contact chez les populations sensibilisées au nickel, l'EFSA a retenu une BMDL_{10} de $1,1 \mu\text{g.kg pc}^{-1}$. Une MOS critique de 10 est jugée suffisamment protectrice par l'EFSA.

Une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, la DJT de $2,8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établie par l'EFSA (EFSA 2015a) peut être appliquée à la population infantile. Par ailleurs, l'EATi ayant pour objectif d'évaluer les risques chroniques, une évaluation des risques aigus ne rentrait pas dans le champ de la présente étude. Néanmoins, afin d'appréhender les risques d'hypersensibilité, l'exposition moyenne calculée dans l'EATi (considérée comme représentative d'une ingestion quotidienne et donc sous-estimant l'exposition aigue) sera comparée à la BMDL_{10} de $1,1 \mu\text{g.kg pc}^{-1}$.

Contamination

La LOD s'élève à $25 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $50 \mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du nickel est de 55% (hors eau du robinet), et il est variable en fonction du groupe d'aliments : 100% pour les biscuits sucrés ou salés et barres, les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés, les viennoiseries, les fromages, le pain, les pommes de terre et apparentés, les pâtes, le riz et blé dur ou concassé et les boissons chaudes, mais nul pour certains aliments (laits de croissance, jus de fruits infantiles, ultra-frais laitier...).

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les biscuits sucrés ou salés et barres ($527 \mu\text{g.kg}^{-1}$) et les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés ($388 \mu\text{g.kg}^{-1}$). La valeur la plus forte observée est celle du cacao en poudre ($2347 \mu\text{g.kg}^{-1}$).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière en LB est comprise entre $0,395 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $2,68 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). En UB, elle est comprise entre $4,39$ chez les 13-36 mois et $4,85 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 7-12 mois. Le P90 se situe entre $1,3$ et $4,57 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB selon la classe d'âge retenue, et entre $6,51$ et $7,1 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre $3,12$ et $5,97 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre $7,72$ et $8,18 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

On observe que deux enfants (parmi les 7-36 mois) sont très fortement exposés au nickel ($14,6$ et $17,4 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB). Il s'agit d'enfants ayant consommé au cours des 3 jours d'enquête une quantité importante de pots de légumes (545g.j^{-1}) pour l'un, et de biscuits chocolatés (240g.j^{-1}) pour l'autre.

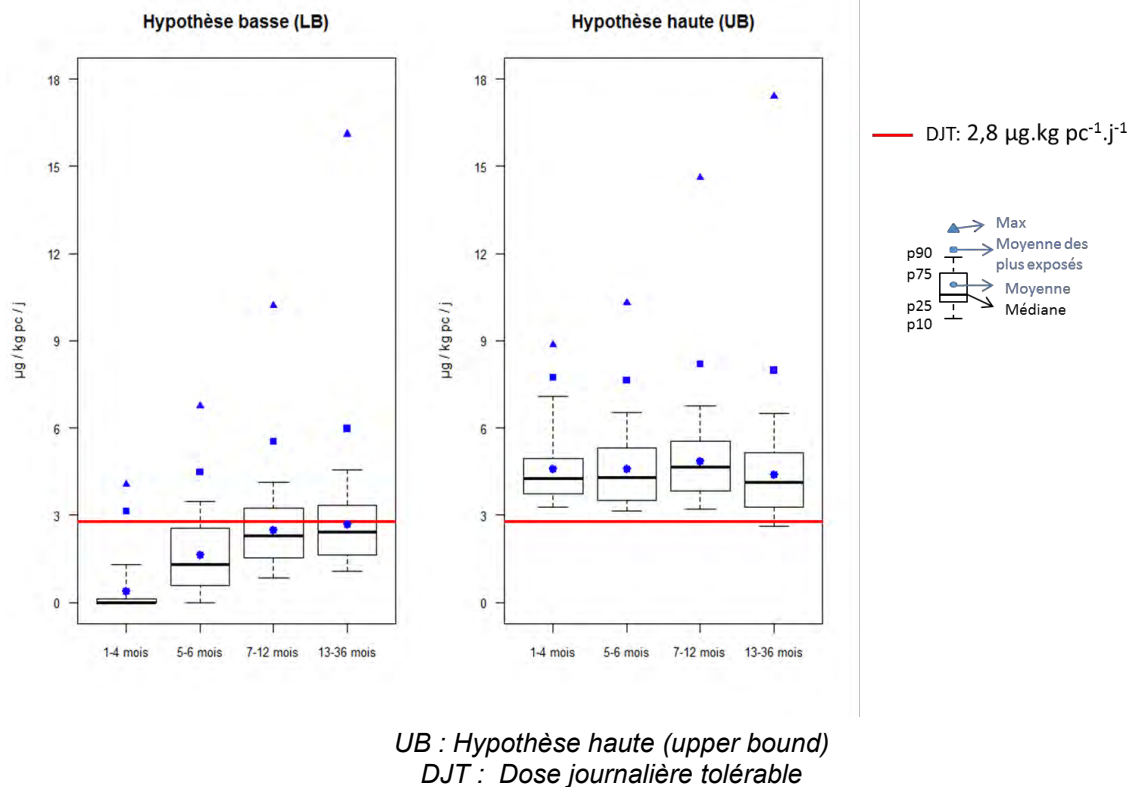


Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au nickel

Contribution des aliments à l'exposition

Chez les 1-4 mois, les contributeurs majeurs à l'exposition sont les préparations 1^{er} âge. Chez les 5-6 mois, les pots de légumes apparaissent comme contributeurs majeurs et chez les 7-12 mois, on notera les pots légumes-viande ou légumes-poisson. Aucun contributeur majeur ne se dégage chez les 13-36 mois.

Chez les enfants les plus exposés, les préparations 1^{er} âge contribuent toujours de façon majeure à l'exposition des 1-4 mois. Les pots légumes-viande ou légumes-poisson apparaissent comme contributeurs majeurs à la fois chez les 5-6 mois et les 7-12 mois. Chez les 13-36 mois enfin, les biscuits sucrés, salés et barres et les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés et les boissons chaudes (poudre cacotée) ressortent comme contributeurs majeurs.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans ont été estimés dans l'EAT2 à $5,71 \mu\text{g}.\text{kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est plus élevé que chez les 13-36 mois de la présente étude. L'EAT2 mentionnait les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés, ainsi que le chocolat, parmi les contributeurs majeurs à l'exposition (9% et 8% respectivement, chez les 3-6 ans). Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques, l'exposition moyenne au nickel des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée à $4,17-4,87 \mu\text{g}.\text{kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (LB-UB), ce qui est du même ordre de grandeur que l'exposition UB de la

présente étude (Rose et al. 2010). Enfin, le dernier rapport de l'EFSA (2015) rapporte une exposition moyenne des enfants de 1 à 3 ans comprise entre 5,3 et 13,1 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (minimum LB-maximum UB, sur la base de 7 études de consommation européennes), ce qui est plus élevé que dans la présente étude. Dans ce rapport, l'EFSA explique la forte contribution de certaines catégories d'aliments par la présence de produits à base de chocolat, notamment chez les enfants de plus de 3 ans.

Evaluation du risque

La DJT est dépassée par 8% à 38% des enfants en LB et par 86% à 98% des enfants en UB, selon la classe d'âge considérée.

Synthèse des résultats d'exposition au nickel des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DJT	Exposition moyenne (LB-UB)	90 ^{ème} centile (LB-UB)	% de dépassement (LB)	% de dépassement (UB)
1-4 mois	2,8	0,395-4,59	1,30-7,10	7,9 [1,9 ; 13,8]	98,0 [94,9 ; 100]
5-6 mois		1,63-4,59	3,48-6,54	20,5 [8,0 ; 33,1]	96,1 [90,1 ; 100]
7-12 mois		2,48-4,85	4,14-6,77	37,9 [29,1 ; 46,7]	95,6 [91,9 ; 99,3]
13-36 mois		2,68-4,39	4,57-6,51	35,9 [31,6 ; 40,3]	86,4 [83,3 ; 89,5]

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

DJT : Dose journalière tolérable

Chez les enfants présentant un dépassement de DJT sous l'hypothèse basse, les contributeurs majeurs sont les mêmes que ceux identifiés précédemment : les préparations 1^{er} âge chez les 1-4 mois, les pots légumes-viande ou légumes-poisson chez les 5-6 mois et les 7-12 mois, les biscuits sucrés, salés et barres et les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés chez les 13-36 mois. Les dépassements s'expliquent par une consommation des aliments les plus contaminés au sein de ces catégories. Chez les 13-36 mois notamment, certains produits à base de chocolat (biscuits au chocolat, poudre cacaotée et crèmes desserts) représentent entre 30 et 60% de la contribution à l'exposition.

Conclusion et recommandations

La situation est donc jugée préoccupante. Il convient de poursuivre les efforts afin de réduire les expositions, notamment via les produits à base de chocolat chez les enfants de 13-36 mois.

Les limites analytiques du nickel n'ont pas fait l'objet d'un développement particulier, sur la base de la DJT disponible lors de la mise en place de l'étude. Du fait de la nouvelle DJT, l'abaissement des limites analytiques serait nécessaire pour affiner les expositions.

Bien que l'EATi ne permette pas d'évaluer les expositions aiguës, les niveaux d'exposition chroniques calculés laissent supposer des situations préoccupantes pour les populations sensibilisées au nickel. Il serait donc nécessaire de mener une étude d'exposition aiguë afin de caractériser le risque chez ces personnes.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le nickel ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	25	10,5	32,4
Infantile	Céréales infantiles	17	100	40,1	43,0
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	33	20,3	41,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	25
Infantile	Laits de croissance	9	0	0	25
Infantile	Potages, purées	11	91	44,1	57,7
Infantile	Pots fruits	30	77	38,1	54,7
Infantile	Pots légumes	27	96	61,3	71,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	96	72,4	75,7
Infantile	Préparations 1er âge	28	4	0,893	25,9
Infantile	Préparations 2ème âge	34	6	1,47	26,5
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	96,2	96,2
Courant	Beurre	1	0	0	25
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	527	527
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	17	4,17	29,2
Courant	Charcuterie	2	50	12,5	37,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	50	28	40,5
Courant	Eaux*	221	15	1,78	15
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	388	388
Courant	Fromages	1	100	51	51
Courant	Fruits	6	67	31,5	44
Courant	Lait	3	0	0	25
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	63	49,9	62,4
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	25
Courant	Pain et panification sèche	2	100	69,5	69,5
Courant	Poissons	3	67	16,7	41,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	52,3	60,7
Courant	Pâtes	1	100	25	50
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	37,5	50
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	25
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	25
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	25
Courant	Viande	2	50	28,5	41
Courant	Viennoiserie	2	100	160	173
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	25

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)
 LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
 N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au nickel ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,395	4,59	0	4,25	1,30	7,10
5-6 mois	1,63	4,59	1,30	4,28	3,48	6,54
7-12 mois	2,48	4,85	2,30	4,67	4,14	6,77
13-36 mois	2,68	4,39	2,42	4,12	4,57	6,51

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au nickel ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	3,12	7,72	3,24	7,58
5-6 mois	4,47	7,62	4,06	7,55
7-12 mois	5,52	8,18	5,33	7,63
13-36 mois	5,97	7,98	5,52	7,14

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au nickel en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	0,7	1,5	2,9	1,3	2,7	0,5	0,8
Infantile	Céréales infantiles	17,1	1,5	9,3	3,4	7,7	4,1	5,4	3,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	1,5	0,3	5,4	3,5	4,5	4,4	0,5	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,3	0	0,3	0	0,2
Infantile	dont eau	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0	2,8	0	5
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,4	.	.
Infantile	Potages, purées	2,7	0,5	3	2,1	3,5	3	1,3	1,3
Infantile	Pots fruits	9,3	1,2	14,9	8,4	12,1	8,9	1,9	1,8
Infantile	Pots légumes	8,8	1	23,9	9,5	10,1	6,1	2,6	1,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	18,1	6,4	28,5	14,9	5,3	3,5
Infantile	Préparations 1er âge	57,8	88,7	1,3	6,2	0	0,9	.	.
Infantile	dont eau	0	73,1	0	5,1	0	0,7	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0,2	1,8	7,6	44	2,5	21,8	0	0,5
Infantile	dont eau	0	1,3	2,8	34,6	0,7	15	0	0,2
Total aliments infantiles		97,4	95,6	85,2	86,6	70,2	70	17,5	18,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,6	0,2	4,9	2,5	23,2	14,1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	2,5	1,3	11,5	7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,2	0,3	2,6
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	0,1	0,6
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0,1	0,3	0,1	0,8	0,8	1,9	1,9
Courant	Eaux	0	1,2	0,1	1,7	0	3,7	0,5	6,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1,1	0,4	2,7	1,4	13	7,9
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,4	0,2	0,6	0,4
Courant	Fruits	.	.	0,8	0,5	0,9	0,7	4,4	3,3
Courant	Lait	0	2,8	0	3,9	0	4,1	0	10,2
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	2	0,2	4,5	2,4	8,6	5,4	10,2	7,1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,4	0,2	1,6	1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,9	0,6
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,5	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,6	0,1	5,1	1,9	6,4	3,5	6,5	4,4
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,4	0,4	1,7	2,1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,3	0,2	1,1	1,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2,3	0,9	1,3	0,8	2,4	2,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0	0,1	0	1,3	0	3,9	0	5,2
Courant	Viande	.	.	0	0	0,1	0,2	0,4	0,8
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,7	1,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,2	0	0,3
Total aliments courants		2,6	4,4	14,8	13,4	29,8	30	82,5	81,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au nickel en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0	1,7	1,1	2	2,3	4,6	1	0,6
Infantile	Céréales infantiles	12,3	4,3	11,4	5,6	3,2	2,2	3,1	4,1
Infantile	Desserts lactés infantiles	1,7	0,1	2,3	2,7	3,6	4,3	0	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	.	0	0,4	0	0,1	0	0
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0	0,2	0	0,6
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	1,8	0,9	0,9	3,7	1,1	0,5	0,6	0,3
Infantile	Pots fruits	4,4	1,8	9,4	5,4	10,6	8,1	1,3	1,4
Infantile	Pots légumes	6,6	.	13,5	5,9	8,9	6,4	2,1	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	29,2	10,1	22,1	12,8	2,4	2
Infantile	Préparations 1er âge	70	79,8	0	.	.	.	.	.
Infantile	dont eau	0	50,2	0	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0	.	8	38,7	3,6	18,8	0	0,3
Infantile	dont eau	0	.	3,1	21,9	0	12,4	.	.
Total aliments infantiles		96,9	88,6	75,7	74,7	55,4	57,9	10,4	10,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	1,7	1	13,4	7,2	35,4	26,4
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0,1	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	7,3	4,3	19,5	14,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,8	0	2,3
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	0	0,8
Courant	Charcuterie	.	.	0	0,1	0	0,1	0,1	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,4	0,7	0,5	1,6	1,5	0,1	0,5
Courant	Eaux	0	2,8	0,2	0,8	0	3,3	0,1	3,7
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1,6	.	7,9	5,4	16,5	11,6
Courant	Fromages	.	.	0,1	0	0,2	0,1	0,2	0,1
Courant	Fruits	.	.	1	0,5	.	.	1,3	1,2
Courant	Lait	0	8,2	0	8,3	0	5,4	0	10,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	2,4	.	8,1	6,1	9,6	7	5,3	3,8
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,2	0,9	0,6
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,3
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,3	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,7	.	7,6	5,1	1,8	1,6	3,9	2,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,2	0,3	0,9	1,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,6	0,4	0,4	0,7
Courant	Soupes et bouillons	.	.	3,3	2,1	1,7	1,7	1,3	2
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0	0,5	0	2,6	0	3,4
Courant	Viande	.	.	0	0,1	0	0,1	0,2	0,6
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	2,8	2,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0,1	0	0	0	0,2
Total aliments courants		3,1	11,4	24,3	25,3	44,6	42,1	89,6	89,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.15 Plomb

Le plomb est un métal ubiquitaire naturellement présent dans la croûte terrestre. Son utilisation intensive par l'Homme (activités minières et industrielles, plomberie, peintures...) est à l'origine d'une forte dispersion dans l'environnement, où il y persiste et peut être transporté sur de longues distances.

Dans la population générale, l'Homme y est exposé par les aliments et l'eau qu'il consomme mais aussi *via* l'air, le sol, les poussières, ainsi que d'autres sources plus spécifiques¹¹ (Etchevers et al. 2015).

Du fait principalement de son interdiction, depuis la fin des années 1990, dans l'essence automobile mais aussi depuis la diminution progressive de sa présence dans les canalisations d'eau et les peintures utilisées à l'intérieur des habitations, le niveau d'exposition est en diminution dans les pays industrialisés, dont la France (Etchevers *et al.*, 2014). En France, la limite de qualité dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) a été abaissée de 25 à 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ à partir du 25 décembre 2013. Par ailleurs, le règlement (UE) 2015/1005¹² (prenant effet le 1^{er} janvier 2016, c'est-à-dire après que l'échantillonnage de la présente étude a été effectué) établit de nouvelles teneurs maximales en plomb dans les laits pour nourrissons et les laits de suite et fixe des teneurs maximales pour les préparations à base de céréales, ainsi que les aliments et boissons destinés aux nourrissons et aux enfants en bas âge.

En 2008-2009 en France, une plombémie moyenne de 15 $\mu\text{g.L}^{-1}$ a été observée chez des enfants de 6 mois à 6 ans (moyenne géométrique) avec un 95^{ème} centile de 32 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Etchevers et al. 2014). L'exposition alimentaire est la voie principale d'exposition pour la plupart des enfants (Anses 2013a). L'Anses a ainsi estimé que, chez les enfants de moins de 6 ans, l'alimentation contribuait en moyenne à 65% à la dose d'exposition totale (36% au P90).

Caractérisation du danger

Chez l'Homme, le principal organe cible est le système nerveux central, en particulier lorsqu'il est en cours de 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 et sur le système cardiovasculaire. Le plomb inorganique est classé par le CIRC dans le groupe 2A « probablement cancérigène ». Cette forme est présente de manière prépondérante dans l'environnement (EFSA 2013a). 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 » (IARC 2006b).

¹¹ Par exemple *via* le tabagisme, certaines activités professionnelles, l'utilisation de certains plats, de cosmétiques traditionnels, ou *via* la succion d'objets, etc.

¹² Règlement (UE) 2015/1005 de la commission du 25 juin 2015 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce concerne les teneurs maximales en plomb dans certaines denrées alimentaires.

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. En théorie, l'exposition prénatale est donc importante à considérer chez le jeune enfant (en plus des apports alimentaires) dans la mesure où l'enfant pourrait présenter à la naissance une plombémie proche de celle de sa mère, mais cela n'a pu être pris en compte dans la présente étude, compte tenu de la méthodologie mise en œuvre.

La VTR dérivée par le JECFA en 1986 était une DHTP de $25 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$, équivalente à $3,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$, valeur pour laquelle on n'observait pas d'augmentation de la plombémie (JECFA 2000). Plus récemment, l'EFSA (EFSA 2010) et le JECFA (JECFA 2011b) ont reconnu que cette DHTP n'était plus suffisamment protectrice mais n'ont pas été en mesure d'établir une nouvelle VTR, les données disponibles ne permettant pas de définir un niveau sans effet à partir de la relation dose/effet.

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 2010). Pour apprécier le risque chez les enfants, L'EFSA retient une BMDL_{01} de $0,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et considère que le risque est négligeable lorsque la MOS 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 sur le 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 2013a). 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 $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ est associée à une augmentation de 10% de la prévalence de la maladie rénale chronique¹³. 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_{01}) et $0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (BMDL_{10}) (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.

Contamination

La LOD se situe entre 0,3 et $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet, pour laquelle la limite analytique est de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du plomb est de 90% (hors eau du robinet).

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des biscuits sucrés ou salés et barres ($9,59 \mu\text{g.kg}^{-1}$), et les viennoiseries ($8,23 \mu\text{g.kg}^{-1}$) (Tableau C1). Les plus fortes concentrations sont retrouvées dans la poudre cacaotée et les céréales infantiles, avant

¹³ définie par la persistance pendant plus de trois mois d'un taux de filtration glomérulaire inférieur à 60 mL/min/1,73 m² de surface corporelle

dilution (respectivement $35 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et 4 et $27 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de produit sec) ainsi que dans certains légumes et fruits (concentrations entre 11 et $16 \mu\text{g.kg}^{-1}$ pour quatre échantillons)

Les concentrations élevées observées dans certains échantillons d'eau du robinet (6% présentent une concentration supérieure à $10 \mu\text{g.L}^{-1}$) sont dues à la présence de plomb dans le réseau intérieur de distribution. A noter que les données d'eau du robinet, issues de l'étude Plomb-Habitat, ont été collectées entre 2008 et 2009, soit avant la modification de la limite de qualité du plomb dans les EDCH.

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

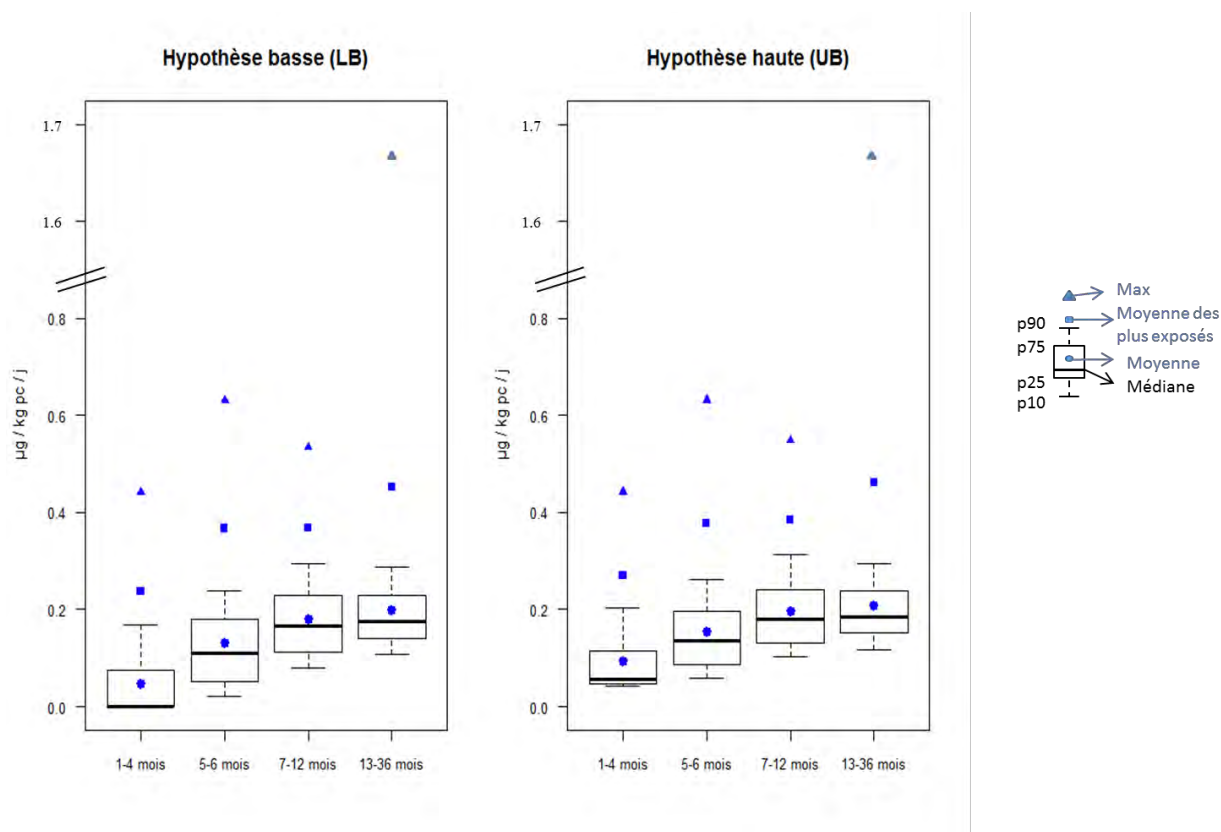
Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière sous l'hypothèse basse est comprise entre $0,048 \mu\text{g.kg p}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,199 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Sous l'hypothèse haute, elle est comprise entre $0,094 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,209 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois.

Le P90 s'élève entre $0,168$ et $0,295 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB, et entre $0,204$ et $0,314 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge considérée (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre $0,237$ et $0,453 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre $0,270$ et $0,461 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge considérée.

On observe qu'un enfant de 13-36 mois est très fortement exposé au plomb ($1,64 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB). Il s'agit d'un enfant ayant consommé durant les 3 jours d'enquête une quantité importante d'eau du robinet (583 ml), fortement contaminée ($34 \mu\text{g.L}^{-1}$).



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au plomb

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Les préparations 1^{er} âge sont un contributeur majeur chez les 1-4 mois (54%), ainsi que le lait courant (11%). A partir de 5 mois, les légumes (hors pomme de terre) sont un contributeur majeur (15% chez les 5-6 mois et les 13-36 mois et 19% chez les 7-12 mois).

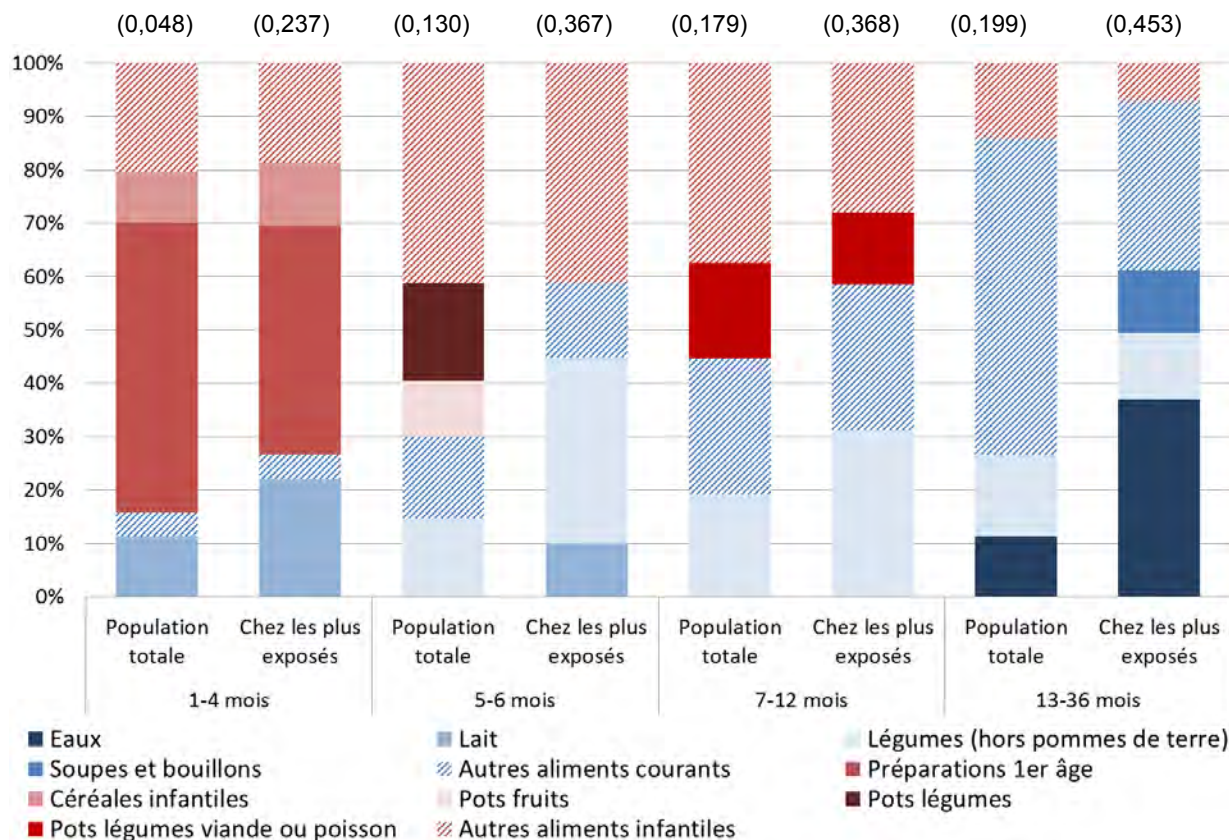
Les pots à base de légumes chez les 5-6 mois et les pots à base de légumes-viande ou légumes-poisson pour les 7-12 mois sont des contributeurs majeurs à hauteur de 18% à l'exposition moyenne, de même que les pots à base de fruits pour les 5-6 mois (10%). Enfin, les eaux de boisson sont également des contributeurs majeurs pour les 13-36 mois (11%).

Chez les enfants les plus exposés, la contribution des légumes est plus forte qu'en population générale chez les 5-12 mois (35% chez les 5-6 mois et 31% chez les 7-12 mois). En revanche, les pots de fruits et de légumes ne sont plus des contributeurs majeurs pour les enfants de 5-6 mois les plus exposés. Chez les 13-36 mois, la contribution des eaux est plus forte qu'en population générale (37%) et les soupes et bouillons apparaissent comme contributeurs à hauteur de 12%.

De façon générale, les légumes et plats à base de légumes contribuent au moins à 30% de l'exposition chez les plus de 4 mois. La présence de plomb dans certains légumes,

conduisant à une contribution importante de ce groupe d'aliments à l'exposition, résulterait principalement d'un dépôt atmosphérique (EFSA 2010, 2012c).

(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au plomb des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Par rapport à la présente étude, le rapport de l'EFSA relatif au plomb de 2012 relève des niveaux de contamination plus élevés dans les produits infantiles (EFSA 2012a). Cependant, cette différence peut être due au pourcentage de censure plus élevé (environ 50%) et aux limites analytiques plus hautes pour les données EFSA. Pour les plats préparés à destination des moins de 3 ans, la valeur de contamination moyenne indiquée par l'EFSA est de $14 \mu\text{g.kg}^{-1}$ contre environ $3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ dans notre étude. Dans ce rapport, l'exposition moyenne des nourrissons a été estimée entre $0,73$ et $1,09 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (et entre $1,39$ et $2,22 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les plus exposés) et entre $1,10$ et $1,54 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-3 ans. Ces expositions moyennes sont donc supérieures à celles mesurées dans notre étude, et peuvent s'expliquer par les différences de contamination observées.

Les niveaux d'exposition des enfants de 3 à 6 ans estimés dans l'EAT2 s'élèvent à $0,297 \mu\text{g.kg pc}^{-1}\text{.j}^{-1}$ en moyenne (Anses 2011a), ce qui est légèrement plus élevé que l'exposition des moins de 3 ans de la présente étude.

Evaluation du risque

Les marges de sécurité calculées en utilisant la dose de référence de l'Anses pour les effets néphrotoxiques du plomb ($0,63 \mu\text{g.kg pc}^{-1}\text{.j}^{-1}$) sont situées entre 2 et 7 selon la classe d'âge et l'exposition (moyenne ou P90) considérées, soit inférieures à la marge critique de 10 retenue par l'EFSA. Les marges de sécurité calculées avec la dose de référence proposée par l'EFSA ($0,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}\text{.j}^{-1}$) pour les effets sur le QI sont *a fortiori* légèrement plus faibles.

Synthèse des résultats d'exposition (LB-UB) au plomb des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	BMDL ₁₀	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	Marge de sécurité	
				Pour l'exposition moyenne	Pour l'exposition au P90
		<i>En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}\text{.j}^{-1}$</i>			
1-4 mois	0,63	0,048-0,094	0,168-0,204	13-7	4-3
5-6 mois		0,130-0,155	0,239-0,262	5-4	3-2
7-12 mois		0,179-0,196	0,295-0,314	4-3	2*
13-36 mois		0,199-0,209	0,287-0,295	3*	2*

*LB=UB

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
BMDL : Benchmark Dose Limit

Conclusion et recommandations

Les niveaux d'exposition au plomb des enfants de moins de 3 ans sont donc jugés comme étant préoccupants. Ces niveaux en population générale et chez les plus exposés résultent d'une contamination ubiquitaire de l'alimentation et de concentrations élevées dans certains aliments.

Chez les 13-36 mois, l'eau du robinet contribue de façon importante à l'exposition, en particulier chez les enfants les plus exposés (37%). Pour certains, la valeur de contamination utilisée est relative à des échantillons prélevés en 2008-2009 et se situe au-dessus de la limite de qualité en vigueur depuis 2013. De ce fait, l'exposition de ces enfants et la contribution de l'eau du robinet à ces expositions peuvent potentiellement être supérieures à celles qui pourraient être mesurées à ce jour. Cependant une éventuelle réduction de l'exposition de ces enfants via l'eau ne remet pas en cause les conclusions en termes de risque pour l'ensemble du régime alimentaire chez les enfants de moins de trois ans.

Compte tenu de la difficulté à réduire les contaminations en plomb dans les produits alimentaires, afin de réduire l'exposition des plus exposés, il est recommandé de varier le régime alimentaire de tous les enfants pour qu'ils ne pas consomment pas systématiquement les aliments les plus contaminés.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le plomb ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	1,11	1,11
Infantile	Céréales infantiles	17	100	1,40	1,40
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	1,20	1,27
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	3,72	3,79
Infantile	Laits de croissance	9	78	0,37	0,603
Infantile	Potages, purées	11	100	4,03	4,03
Infantile	Pots fruits	30	100	2,15	2,19
Infantile	Pots légumes	27	82	3,13	3,25
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	93	3,43	3,46
Infantile	Préparations 1er âge	28	86	1,01	1,08
Infantile	Préparations 2ème âge	34	77	0,678	0,819
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	1,44	1,44
Courant	Beurre	1	100	2,16	2,16
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	9,59	9,59
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	2,91	2,91
Courant	Charcuterie	2	100	3,4	3,4
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	3,24	3,24
Courant	Eaux*	221	42	1,38	1,78
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	4,8	4,8
Courant	Fromages	1	100	6,39	6,39
Courant	Fruits	6	100	0,945	1,08
Courant	Lait	3	100	1,11	1,11
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	6,29	6,29
Courant	Œufs et dérivés	1	100	1,44	1,44
Courant	Pain et panification sèche	2	100	4,67	4,67
Courant	Poissons	3	100	2,97	2,97
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	2,51	2,51
Courant	Pâtes	1	100	2,21	2,21
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	5,08	5,08
Courant	Soupes et bouillons	1	100	4,62	4,62
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,5	0,9
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	1,16	1,16
Courant	Viande	2	100	2,56	2,56
Courant	Viennoiserie	2	100	8,23	8,23
Courant	Volaille et gibier	2	100	2,43	2,43

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au plomb ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,048	0,094	0	0,057	0,168	0,204
5-6 mois	0,130	0,155	0,109	0,136	0,239	0,262
7-12 mois	0,179	0,196	0,165	0,181	0,295	0,314
13-36 mois	0,199	0,209	0,175	0,184	0,287	0,295

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au plomb ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,237	0,270	0,201	0,239
5-6 mois	0,367	0,378	0,355	0,359
7-12 mois	0,368	0,385	0,357	0,366
13-36 mois	0,453	0,461	0,345	0,360

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au plomb en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	3,3	1,7	4,5	3,7	2,9	2,6	0,5	0,5
Infantile	Céréales infantiles	9,5	4,8	7,7	6,4	5,8	5,3	2,6	2,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,6	0,3	3	2,7	3	2,9	0,4	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,3	0,2	1,4	1,2	1	0,9	0,2	0,2
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,7	1,5	1,5	2,5
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	3,1	1,6	4,4	3,7	4,5	4,1	2	1,9
Infantile	Pots fruits	4,9	2,6	10,4	9,1	8,8	8,4	1,7	1,7
Infantile	Pots légumes	7,2	3,7	18,4	15,8	7,3	7	1,6	1,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	9,3	7,8	17,9	16,5	3,7	3,6
Infantile	Préparations 1er âge	54,3	75	1,9	3,3	0	0,3	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0,2	42,9	1,1	2,5	0	0,2	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	1,1	1,5	8,9	20,4	3,4	8,4	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0,1	0,8	4,4	15	0,5	4,7	0	0
Total aliments infantiles		84,2	91,3	70	74,1	55,4	57,8	14,2	14,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,1	1	0,9	4,7	4,4
Courant	Beurre	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,6	0,6	2,8	2,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,3	0,3	3,7	3,6
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0,2	0,3
Courant	Charcuterie	0,1	0,1	0,2	0,1	0,4	0,4	1,3	1,2
Courant	Compotes et fruits cuits	1,6	0,8	0,2	0,2	2,3	2,1	3,6	3,4
Courant	Eaux	0	0,7	0	0,8	0,1	1,5	11,4	14,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,2	0,2	0,6	0,6	2,6	2,5
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,6	0,6	1,1	1
Courant	Fruits	.	.	0,5	0,4	0,5	0,5	1,8	1,7
Courant	Lait	11,3	5,7	5,8	4,8	4,6	4,2	9,3	8,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	2,3	1,1	14,7	12,3	19,2	17,5	15,2	14,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,5	0,5	1,8	1,7
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,2	0,2	1,2	1,1
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,2	0,1	2,1	1,8	3,1	2,8	3,6	3,4
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,5	0,4	2	1,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,5	0,4	3,2	3
Courant	Soupes et bouillons	.	.	3,4	2,8	2,5	2,3	6	5,7
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,3	0,1	2,5	2,1	5,7	5,2	5,7	5,4
Courant	Viande	.	.	0,1	0,1	0,6	0,5	1,6	1,5
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,6	1,5
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	0,6
Total aliments courants		15,8	8,7	30	25,9	44,6	42,2	85,8	85,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au plomb en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	4,1	3,4	2	1,9	4,2	3,9	0,5	0,5
Infantile	Céréales infantiles	11,9	9,6	6,8	6,6	4,9	4,6	2,1	1,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,6	0,3	1,5	1,5	2,1	2,1	0,2	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,2	0,1	1,5	1,4	1,2	1,2	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,3	0,5	0,3	0,6
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	2,4	0,7	3,5	3,4	1,2	1,1	0,3	0,2
Infantile	Pots fruits	3,3	2,6	7,4	7,4	7,4	8,2	0,9	0,9
Infantile	Pots légumes	8,1	5,9	5,1	4,9	5,5	5,3	1,1	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	7,1	6,9	13,6	12,7	1,8	1,7
Infantile	Préparations 1er âge	42,7	53,8	.	.	.	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	13,1	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0	1,4	6,3	7,8	1,1	3,7	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	1	0,9	2,4	0	2,3	.	.
Total aliments infantiles		73,3	77,9	41,2	41,9	41,6	43,3	7,1	6,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,3	0,3	1,4	1,3	3,6	3,4
Courant	Beurre	.	.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,9	0,8	3,4	3,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,3	0,3	0,9	1
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,6	0,6	2,6	2,4	2	2
Courant	Eaux	0	0,3	0	1	0	1,5	37	37,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	1,1	1	1,5	1,2
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,4	0,4	0,4	0,4
Courant	Fruits	.	.	0	0	0,1	0,1	0,8	0,9
Courant	Lait	22	18	10	9,7	3,1	2,9	6,1	5,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	4,4	3,6	34,8	33,7	31,2	29,5	12,4	11,9
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,9	0,8	0,8	0,9
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,5
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	0,7	0,8
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,3	0,2	4,1	4	2,6	2,5	1,7	1,7
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,3	0,2	0,9	0,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,9	0,8	2,2	2,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	5,1	4,9	7,9	7,7	11,7	12,4
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0,1	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	2,8	2,7	3,4	3,2	2,9	3
Courant	Viande	.	.	0,2	0,2	0,4	0,4	0,8	0,9
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	1,3	1,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5
Total aliments courants		26,7	22,1	58,8	58,1	58,4	56,7	92,9	93,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.16 Sélénium

Le sélénium (Se) est un métalloïde dont les propriétés physicochimiques sont proches de celles du soufre. Dans les tissus animaux, il est présent sous forme de sélénométhionine ou sélénocystéine. La grande majorité des fonctions du sélénium s'exerce par l'intermédiaire des sélénoprotéines. Chez l'Homme, les principales sélénoprotéines identifiées à ce jour sont les désiodases, les glutathion peroxydases, la sélénoprotéine P et la thiorédoxine réductase. Les désiodases sont impliquées dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes, les autres sélénoprotéines sont des enzymes intervenant dans la défense contre le stress oxydant (Rayman 2000).

Caractérisation du danger

L'absorption du sélénium varie en fonction de sa forme chimique ; elle est de 90% dans le cas de la sélénométhionine et de 80% pour le sélénite (Santhosh Kumar and Priyadarsini 2014). L'absorption du sélénate est proche de celle de la sélénométhionine (Barceloux 1999). L'absorption du sélénium est donc élevée mais varie selon la source et le sujet.

La carence en sélénium s'observe lorsque les apports alimentaires sont très faibles, notamment dans certaines régions où les sols sont pauvres en cet oligoélément. Lorsque la carence est sévère les symptômes peuvent être des troubles de la fonction musculaire, une dépigmentation des phanères (cheveux, ongles), une anémie, un retard de développement du système nerveux central, une augmentation de la fréquence des infections, des troubles de la fonction cardiaque.

Une carence en sélénium peut entraîner certaines maladies rares comme la maladie de Keshan, une cardiomyopathie, ou la maladie de Kashin-Beck, une ostéoarthropathie.

Une étude chez des nourrissons a montré que la supplémentation en sélénium (7 et 15 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sous forme de sélénate de sodium) durant 16 semaines a permis d'augmenter les concentrations plasmatique et érythrocytaire en sélénium et en glutathion peroxydase, en comparaison de nourrissons nourris avec une formule contenant moins de sélénium (6 $\mu\text{g.L}^{-1}$). La supplémentation n'a pas eu d'effet sur la croissance (Daniels et al. 2008). De même, une étude réalisée en Nouvelle-Zélande sur des nouveaux nés recevant une supplémentation en Se (17 $\mu\text{g.L}^{-1}$) a montré l'amélioration du statut en Se par rapport aux non-supplémentés (4,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$) (Darlow et al. 1995). Une étude menée en Pologne a également rapporté que les nourrissons dont les mères étaient supplémentées en sélénium présentaient une augmentation de ces différents indicateurs (Trafikowska et al. 1998).

L'EFSA a proposé les apports considérés comme satisfaisants (AS) suivants : 12 $\mu\text{g.j}^{-1}$ pour les enfants âgés de 0 à 6 mois, 15 $\mu\text{g.j}^{-1}$ pour ceux âgés de 7 mois à 3 ans (EFSA 2014d). Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

Un apport excessif de sélénium peut conduire à une sélénose (troubles gastro-intestinaux, perte de cheveux, dermatose, anomalies des ongles, neuropathie périphérique, fatigue, irritabilité) mais reste très rare en alimentation humaine (EFSA 2009d). Une LSS de 300 $\mu\text{g.j}^{-1}$ a été fixée pour l'adulte à partir de l'absence de sélénose clinique. Elle a été établie sur la base d'une DSENO de 850 $\mu\text{g.j}^{-1}$ affectée d'un facteur de sécurité de 3 pour tenir compte de la variabilité intra-individuelle. En ajustant cette valeur aux poids corporels pour les enfants, une limite de sécurité de 60 $\mu\text{g.j}^{-1}$ est obtenue pour les enfants de 1 à 3 ans (SCF 2006). Il n'existe pas de données indiquant que les enfants soient plus sensibles que les adultes à un apport excessif de sélénium.

Une évaluation exhaustive des données toxicologiques n'a pas été réalisée, néanmoins, compte tenu de la prise en compte d'études de toxicité sur la reproduction et le développement, la LSS de $60 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ est retenue et appliquée pour les enfants de 1 à 3 ans.

Teneur

La LOD s'élève à $5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et la LOQ à $10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet, pour laquelle la limite analytique est de $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Le taux de détection global du sélénium est de 69% (hors eau du robinet). Il est généralement élevé dans les matrices alimentaires (jusque 100%) mais il est nul dans les boissons fraîches sans alcool, les jus de fruits infantiles, les compotes et fruits cuits, et les sucres et dérivés.

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les poissons ($359 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), puis dans les œufs et dérivés ($276 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), et les volailles et gibiers ($185 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tableau C1). La concentration la plus élevée a été relevée dans un échantillon de sole cuite ($611 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

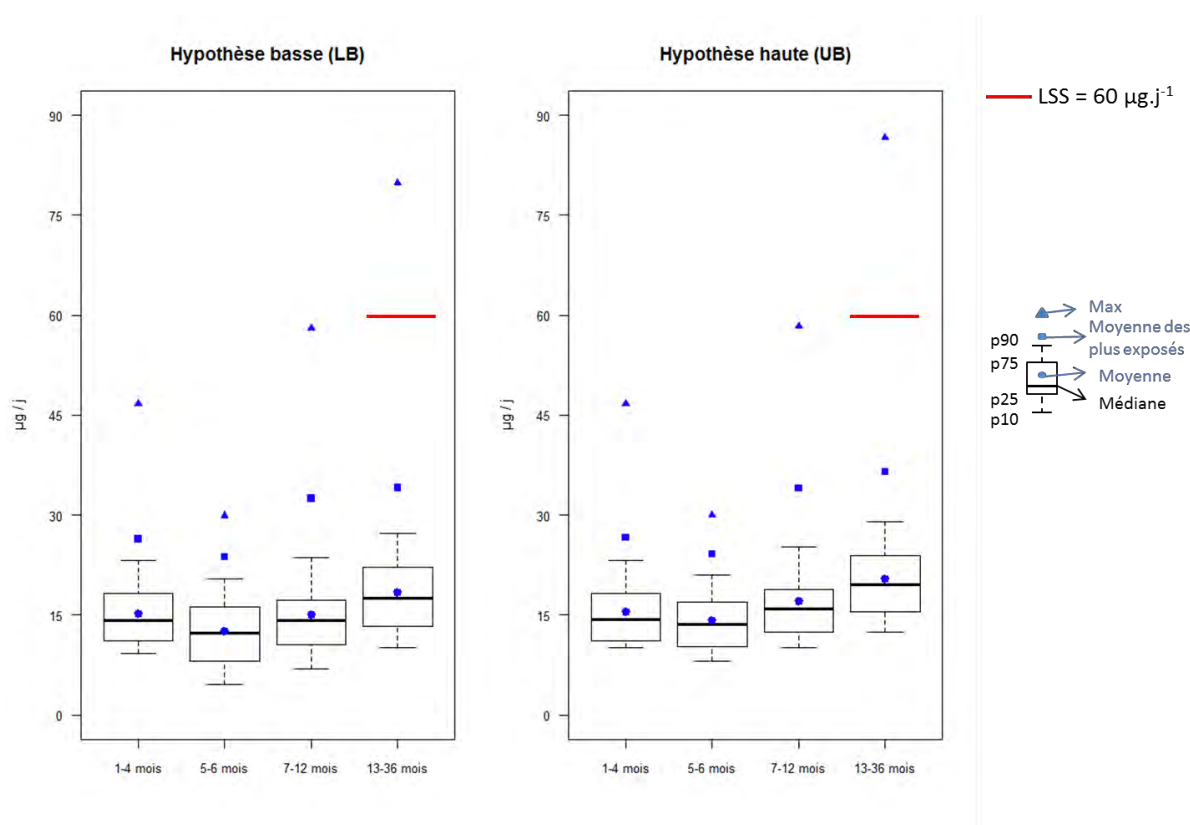
Apport (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'apport moyen journalier en sélénium en LB est compris entre $12,6 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ chez les 5-6 mois et $18,4 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). En UB, il est compris entre $14,2$ et $20,5 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$. Le P10 se situe entre $4,63$ et $10,2 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ en LB, et entre $8,16$ et $12,5 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ en UB, selon la classe d'âge. Le P90 quant à lui se situe entre $20,4$ et $27,2 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ en LB et entre $21,5$ et $29,0 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ en UB.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $3,99$ et $9,98 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$, selon la classe d'âge et l'hypothèse considérée. Chez ceux ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre $23,7$ et $36,5 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$.

Chez les 13-36 mois on note un enfant dont l'apport élevé (au-dessus de la LSS) s'explique par une consommation importante de sole ($100 \text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) au cours des 3 jours d'enquête, la sole étant l'aliment dont la teneur moyenne est la plus élevée parmi les aliments échantillonnés.



LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
LSS : Limite supérieure de sécurité

Figure 1 : Apports en sélénium des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport en sélénium, avec 96% des apports chez les 1-4 mois, 77% chez les 5-6 mois, et 40% chez les 7-12 mois (Tableau E4). Les produits ultra-frais laitiers et les laits de croissance contribuent également à l'apport des 7-12 mois à hauteur de 13% et 11%. Enfin, chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs à l'apport en sélénium sont le lait courant (18%), le lait de croissance (17%) et les produits ultra-frais laitiers (15%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), les contributeurs majeurs sont globalement les mêmes qu'en population générale, exceptés chez les 7-12 mois et 13-36 mois, pour lesquels les laits de croissance ne sont plus des contributeurs majeurs. En revanche, les desserts lactés infantiles apparaissent pour les 7-12 mois comme contributeur majeur à 13%. A noter également que les préparations 2^{ème} âge apparaissent dès 1-4 mois (11%).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont également les mêmes qu'en population générale, à l'exception du lait courant qui n'apparaît plus comme contributeur majeur pour les 13-36 mois, et des produits ultra-frais laitiers. Par ailleurs, le poisson devient contributeur majeur pour les 13-36 mois (16%).

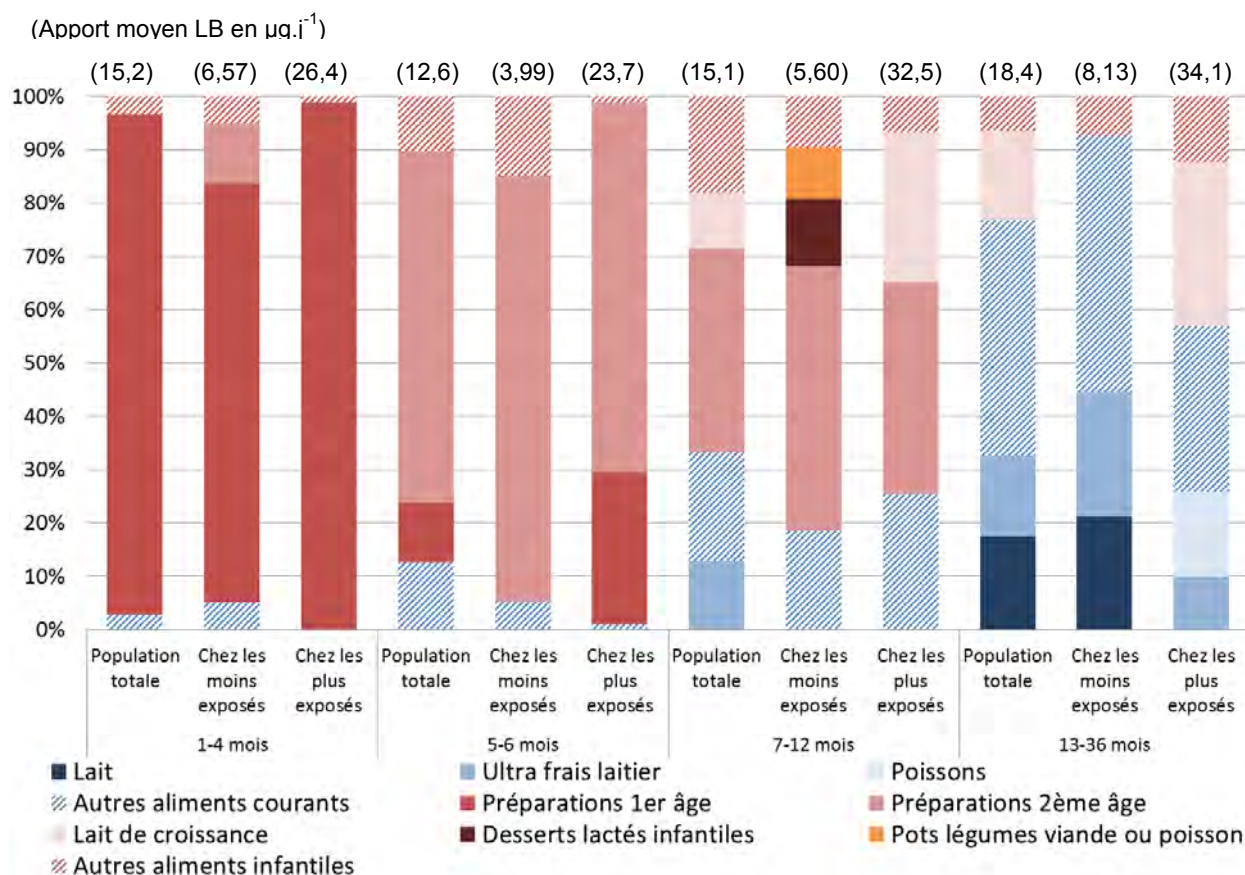


Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en sélénium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Dans l'étude de l'alimentation totale britannique de 2006, l'apport moyen en sélénium chez les enfants âgés de 1,5 à 4,5 ans était comprise entre 1,97 et 2,27 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{pc}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$, ce qui correspond à un apport de 30 à 34 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ environ, pour un poids corporel de 15 kg (Rose et al. 2010), soit environ le double de l'apport moyen évalué dans la présente étude. Ceci s'explique par des concentrations généralement plus élevées, en particulier le lait : 830 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans l'étude britannique contre 13,7 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour le lait courant dans la présente étude et moins de 20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans les préparations infantiles.

Le niveau d'apport moyen en sélénium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 35,3 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$, avec un P5 à 22,7 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ et un P95 à 53,5 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est également un peu plus élevé que les apports des moins de 3 ans.

Conclusion et recommandations

Quelles que soient la classe d'âge et l'hypothèse considérées, l'apport moyen en sélénium se situe au-dessus de l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en sélénium est donc globalement satisfaisante chez les enfants de moins de 3 ans.

En l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant au risque d'excès d'apport en sélénium chez les enfants de moins d'un an. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour cette classe d'âge.

Il existe des dépassements de la LSS chez les 13-36 mois, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Le risque lié à l'apport excessif en sélénium ne peut pas être exclu pour les enfants fortement consommateurs de poissons. Il convient de rappeler les recommandations établies par l'ANSES pour les enfants de moins de 3 ans : « il est recommandé de consommer deux portions de poisson par semaine, dont une à forte teneur en EPA-DHA (saumon, sardine, maquereau, hareng, truite fumée), en variant les espèces et les lieux d'approvisionnement (sauvage, élevage, lieux de pêche...), dans le cadre d'une alimentation diversifiée » (Anses 2013c).

Synthèse des résultats d'apports en sélénium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	LSS	Apport moyen LB-UB	10 ^{ème} centile LB-UB	90 ^{ème} centile LB-UB	% de dépassement de la LSS en LB-UB
	En $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$					
1-4 mois	12	-	15,2-15,5	9,28-10,1	23,2-23,2	-
5-6 mois	12	-	12,7-14,3	4,63-8,16	20,5-21,5	-
7-12 mois	15	-	15,1-17,1	6,98-10,2	23,6-25,2	-
13-36 mois	15	60	18,4-20,5	10,2-12,5	27,0-29,0	NC*-NC*

**non calculé en raison de l'effectif trop faible*

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

AS : Apport satisfaisant

LSS : Limite supérieure de sécurité

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments infantiles et courants en sélénium ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	13,4	15,3
Infantile	Céréales infantiles	17	100	8,88	9,17
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	10,8	12,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	5
Infantile	Laits de croissance	9	100	29,9	30,4
Infantile	Potages, purées	11	27	1,36	6,36
Infantile	Pots fruits	30	3	0,167	5,17
Infantile	Pots légumes	27	41	3,37	7,63
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	96	12,4	14,4
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	21,4	21,5
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	19,5	20,2
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	1,03	1,03
Courant	Beurre	1	100	5	10
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	21	21
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	5
Courant	Charcuterie	2	100	110	110
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	5
Courant	Eaux*	221	7	0,206	3,13
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	15,5	15,5
Courant	Fromages	1	100	52	52
Courant	Fruits	6	17	0,833	5,83
Courant	Lait	3	100	13,7	13,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	25	3,63	8
Courant	Œufs et dérivés	1	100	276	276
Courant	Pain et panification sèche	2	100	29,5	29,5
Courant	Poissons	3	100	359	359
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	12,3	14
Courant	Pâtes	1	100	36	36
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	26,5	29
Courant	Soupes et bouillons	1	100	5	10
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	5
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	20	20
Courant	Viande	2	100	107	107
Courant	Viennoiserie	2	100	37	37
Courant	Volaille et gibier	2	100	185	185

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P10		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	15,2	15,5	14,2	14,4	9,28	10,1	23,2	23,2
5-6 mois	12,6	14,2	12,3	13,6	4,63	8,16	20,4	21
7-12 mois	15,1	17,1	14,2	15,9	6,98	10,2	23,6	25,2
13-36 mois	18,4	20,5	17,5	19,6	10,2	12,5	27,2	29

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	6,57	8,77	6,59	9,22
5-6 mois	3,99	7,37	3,97	7,58
7-12 mois	5,6	9,14	5,92	9,4
13-36 mois	8,13	9,98	8,96	10,3

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Estimation de l'apport en sélénium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	26,4	26,6	25,1	25,7
5-6 mois	23,7	24,2	22,9	23,0
7-12 mois	32,5	34	28,2	31,5
13-36 mois	34,1	36,5	30,1	32

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,7	0,7	3,7	3,4	3,2	3,1	0,7	0,8
Infantile	Céréales infantiles	0,3	0,4	1,2	1,1	1,5	1,4	0,7	0,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	2,2	2,2	3,9	3,7	0,5	0,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0,2	0	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	10,6	9,3	16,9	15,2
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,2	.	.
Infantile	Potages, purées	0,1	0,1	0,4	0,8	0,5	1,2	0,2	0,6
Infantile	Pots fruits	0	0,2	0	1,9	0,1	2,1	0	0,5
Infantile	Pots légumes	0	0,1	0,2	1,7	0,5	1,5	0,3	0,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	2,4	2,6	6,4	6,7	1,8	1,8
Infantile	Préparations 1er âge	93,9	93,3	11,1	9,9	2	1,8	.	.
Infantile	dont eau	0	21,9	0	2,4	0	0,4	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2	2	66,1	63,2	38,1	36	2,1	1,9
Infantile	dont eau	0	0,4	0	15,5	0	7,3	0	0,1
Total aliments infantiles		97,2	96,8	87,4	87,1	66,8	66,8	23,3	22,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0,1	0,1	0,4	0,4
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	0	1,3
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0,3
Courant	Charcuterie	0,1	0,1	0,6	0,5	1,9	1,7	6,6	5,9
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0	0	0	0,3	0	0,6
Courant	Eaux	0	0,3	0	0,8	0	1,9	0,1	3,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,1	0,1	0,3	0,2	1,4	1,2
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,5	0,5	1,2	1,1
Courant	Fruits	.	.	0	0,1	0	0,2	0,1	1
Courant	Lait	2,6	2,5	6,1	5,4	6,9	6,1	17,5	15,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0	0	0,1	0,6	0,3	1,3	0,3	1,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0,3	0,3	1,6	1,5
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,2	0,2	1,1	1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,7	0,7
Courant	Poissons	.	.	.	.	1,1	1	8	7,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0,9	0,8	1,9	1,7	2,5	2,5
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,8	0,7	4,4	4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,4	0,4	0,8	1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	4,3	3,8	12,9	11,4	15,1	13,6
Courant	Viande	.	.	0,1	0,1	1,7	1,5	6,1	5,5
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,2	1,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,4	0,4	3,7	3,3	6,1	5,5
Total aliments courants		2,8	3,2	12,6	12,9	33,2	33,2	76,7	77,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	3,1	1,6	6,6	5,7	5,1	6,1	1,3	1,4
Infantile	Céréales infantiles	0,4	0,6	2,8	1,5	3	2,3	1	0,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,8	0,6	2,5	4,9	12,6	6,9	1,1	0,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0,4	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	.	3,4	1,2	3,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0,8	0,7	0,6	0,9	1,4	1,9	0,7	1,4
Infantile	Pots fruits	0	0,8	0	3,6	0,1	4,5	0,2	0,5
Infantile	Pots légumes	0	1,5	0,5	4,1	0,2	2,8	0,6	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	2	1	9,6	7,3	1,3	1,6
Infantile	Préparations 1er âge	78,6	84,3	.	.	0	0	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	29,8	.	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	11,3	6,1	79,9	64,4	49,6	50,7	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,8	0	27,1	0	17,1	.	.
Total aliments infantiles		95	96,1	94,8	86,2	81,5	86,3	7,3	10,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	0	0	0	0,3	0,3
Courant	Beurre	.	.	0	0,1	.	.	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	.	.	1,2	0,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,3	0	2,5
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	0	0,1
Courant	Charcuterie	.	.	.	.	5,2	1,5	6,6	6,8
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	.	.	0	0,5	0	1,3
Courant	Eaux	0	0,9	0	0,8	0	1,2	0	4,8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	0,7	.	.	4,7	2,9
Courant	Fromages	.	.	.	.	.	.	2,1	0,9
Courant	Fruits	.	.	0	0,1	0	0,5	0,2	2,2
Courant	Lait	4	3	0	5,9	3,8	2,8	21,2	18
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	1,2	2,1	0,2	1,5	0,6	1,6
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	2,3	1,8
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,6	.	2,7	2,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	4,4	0,9
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	.	0,1	0,8	0,7	2,7	3,5
Courant	Pâtes	.	.	.	.	.	0,7	5,4	4,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	.	.	0,5	0,9
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0	0,5	.	.	0,5	1
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0,1	0	0	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	1	.	1,5	2,1	5,7	2	23,4	20,9
Courant	Viande	.	.	.	.	0,2	0,8	5,4	6,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	2,1	1,5
Courant	Volaille et gibier	.	.	2,4	1,3	2,1	1,3	6,1	2,7
Total aliments courants		5	3,9	5,2	13,8	18,5	13,7	92,7	89,1

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sélénium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1	1	.	.	1	1,1	0,6	0,6
Infantile	Céréales infantiles	.	.	0,6	0,9	1,2	1,1	0,5	0,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,7	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	.	0	.	.	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	28,2	26,9	30,7	28,9
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,9	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	.	.	0,1	0,4	0	0,1
Infantile	Pots fruits	0	0,1	0	0,7	0	1,2	0	0,3
Infantile	Pots légumes	.	.	0	0,5	0,1	0,7	0	0,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0,4	0,9	2,5	2,8	1,9	1,8
Infantile	Préparations 1er âge	98,7	98,5	28,4	23,5	0,9	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	17,6	0	4,5	0	.	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	0,3	0,3	69,4	65,1	39,6	38,7	8,7	6,9
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	10,1	0	2,2	.	.
Total aliments infantiles		100	100	99	92	74,5	74,5	43,1	39,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Courant	Beurre	.	.	0	.	0	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,1	0,1	0,3	0,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	0	0,2
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	.	.
Courant	Charcuterie	.	.	.	1,9	3,2	3,1	3,1	3,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	.	0,1	0	0,1	0	0,4
Courant	Eaux	0	0	0	0,1	0	1,1	0,1	2,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits	.	.	.	.	0	0	0,7	0,7
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,3	0,3	1	1
Courant	Fruits	.	.	0	.	0	0,1	0	0,5
Courant	Lait	.	.	.	2,5	1,7	1,6	8,2	8,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	0	0,6	0	0,7	0,2	1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0,8	0,7
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,2	0,8	0,8
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,4	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	15,9	15,3
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	0,1	1	1,9	2	1,6	1,6
Courant	Pâtes	.	.	.	.	2,1	2	3,3	3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0	0	0,4	0,7
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	.	0	0,1	0,4	1,5
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	.	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0,9	0,1	6	5,6	9,8	8,9
Courant	Viande	.	.	.	.	3,1	2,9	4,2	3,8
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0,8	0,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	1,7	6,8	6,5	4,9	4,6
Total aliments courants		0	0	1	8	25,5	26,4	56,9	60,2

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.17 Strontium

Le strontium naturel (Sr) est un métal alcalino-terreux composé de 4 isotopes stables (Sr^{84} , Sr^{86} , Sr^{87} et pour plus de 80% de Sr^{88}). Le strontium est présent naturellement à faible teneur dans la croûte terrestre (0,03%) et à l'état de traces dans les divers compartiments de l'environnement notamment les sols, l'eau, les sédiments, les plantes et les organismes vivants. Les sels de strontium sont utilisés dans diverses applications industrielles, principalement comme colorant (pyrotechnie) ou pigment, comme agent fondant (céramiques) ou encore comme absorbeur de rayons X (tubes cathodiques).

Caractérisation du danger

Le strontium suit le même comportement bio-cinétique que le calcium après ingestion (principale voie d'incorporation du strontium dans l'organisme), mais son absorption intestinale est plus faible (facteur $f_1 = 0,3$ pour la plupart des composés du strontium) et son excrétion urinaire plus élevée que celles du calcium. Le strontium se dépose essentiellement dans les zones de croissance et de remodelage de l'os, puis se distribue dans le volume osseux (la rétention osseuse représentant 99% de la fraction absorbée). Le taux d'absorption est plus élevé chez les animaux jeunes que chez les adultes. De plus, le strontium peut traverser la barrière placentaire et être excrété dans le lait maternel (ATSDR 2004b).

A faible concentration, le strontium stimule la formation de l'os et a été utilisé pour le traitement de l'ostéoporose. Cependant, des troubles de la minéralisation osseuse ont été observés chez l'animal après administration répétée de fortes concentrations de strontium stable, du fait d'une compétition avec le calcium.

En se basant sur une même étude effectuée sur la rate jeune et adulte consommant pendant 20 jours un régime supplémenté en carbonate de strontium, l'US-EPA a fixé en 1996 une dose de référence (RfD) de $0,6 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ alors que l'ATSDR a fixé en 2004 un niveau de risque minimal (MRL) pour le moyen terme (15-364 j) de $2 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sur la base d'anomalies squelettiques évoquant le rachitisme. L'utilisation de différents facteurs de sécurité (300^{14} pour l'USEPA et 90^{15} pour l'ATSDR) et des différences dans le calcul de la dose d'administration (DSENO de $190 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour l'US-EPA contre une DSENO de $140 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour l'ATSDR) expliquent ces VTR divergentes (US-EPA 1996, ATSDR 2004b).

En 2013, dans son avis relatif à une évaluation des risques liés à la présence de strontium dans les eaux destinées à la consommation humaine, l'Anses a retenu une valeur toxicologique provisoire de $1,9 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ arrondie à $2 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ce qui est équivalent au niveau de risque minimal moyen terme proposé par l'ATSDR (Anses 2013b).

¹⁴ 10 pour l'incertitude inter-espèce, 3 pour l'incertitude intra-espèce et 10 lié au caractère incomplet de la base de données toxicologique.

¹⁵ 10 pour l'incertitude inter-espèce, 3 pour l'incertitude intra-espèce et 3 à la faible durée de l'étude et au faible nombre de données toxicologiques.

Toutefois pour l'EATi, une VTR chronique « vie entière » est requise. La dose journalière tolérable de $0,6 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établie par l'US-EPA est une VTR chronique. De plus, elle s'appuie sur une étude conduite sur des jeunes rats et est fixée sur la base d'effets spécifiques à la population juvénile (rachitisme) et est donc considérée comme applicable à la population infantile. A ce titre, la DJT de $0,6 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de l'US-EPA est retenue dans la présente étude (soit $600 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$).

Contamination

La LOD s'élève à $5 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à $10 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$ quelle que soit la matrice, à l'exception de l'eau du robinet pour laquelle la LOQ est de $0,5 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$. Le taux de détection global du strontium est de 99,7% (hors eau du robinet). Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans des aliments courants : les fromages ($1981 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$), les légumes hors pommes de terre ($1592 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$) et les poissons ($1407 \text{ }\mu\text{g.kg}^{-1}$) (Tableau C1). Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB et UB sont égaux.

L'exposition moyenne journalière est comprise entre $49,9 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et $140 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois (Tableau E1).

Le P90 s'élève entre 72,9 et $250 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les mêmes classes d'âge (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe entre 94 et $443 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$.

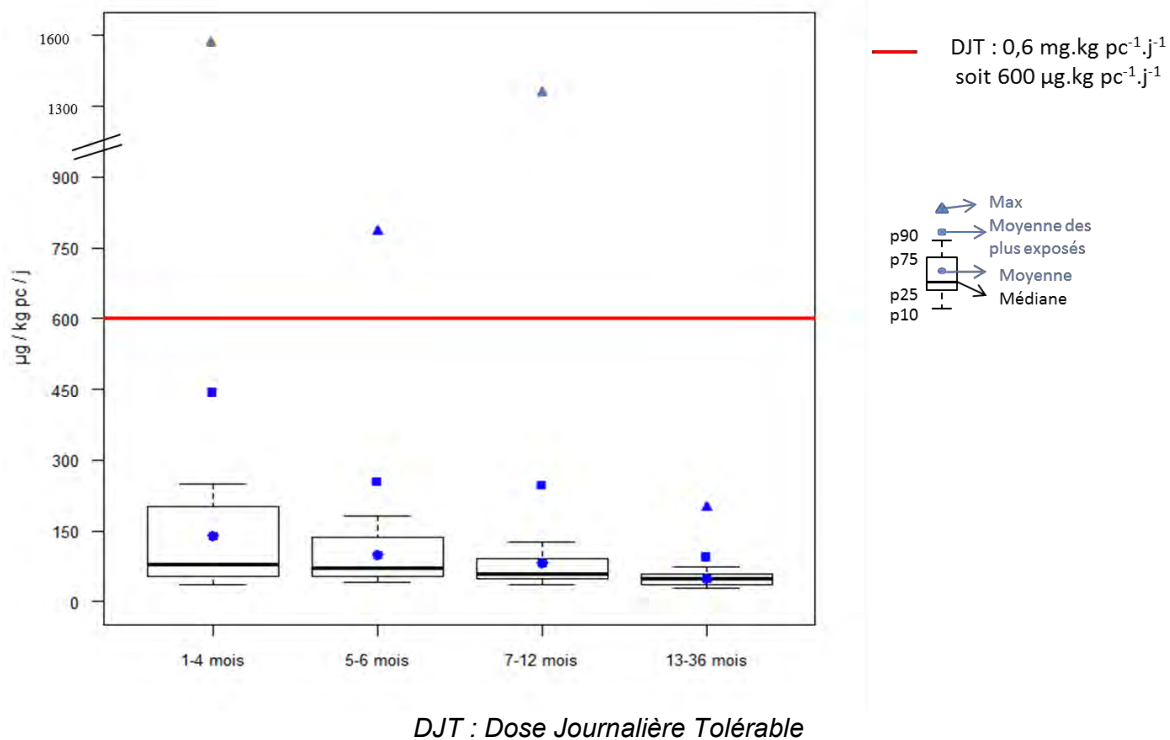


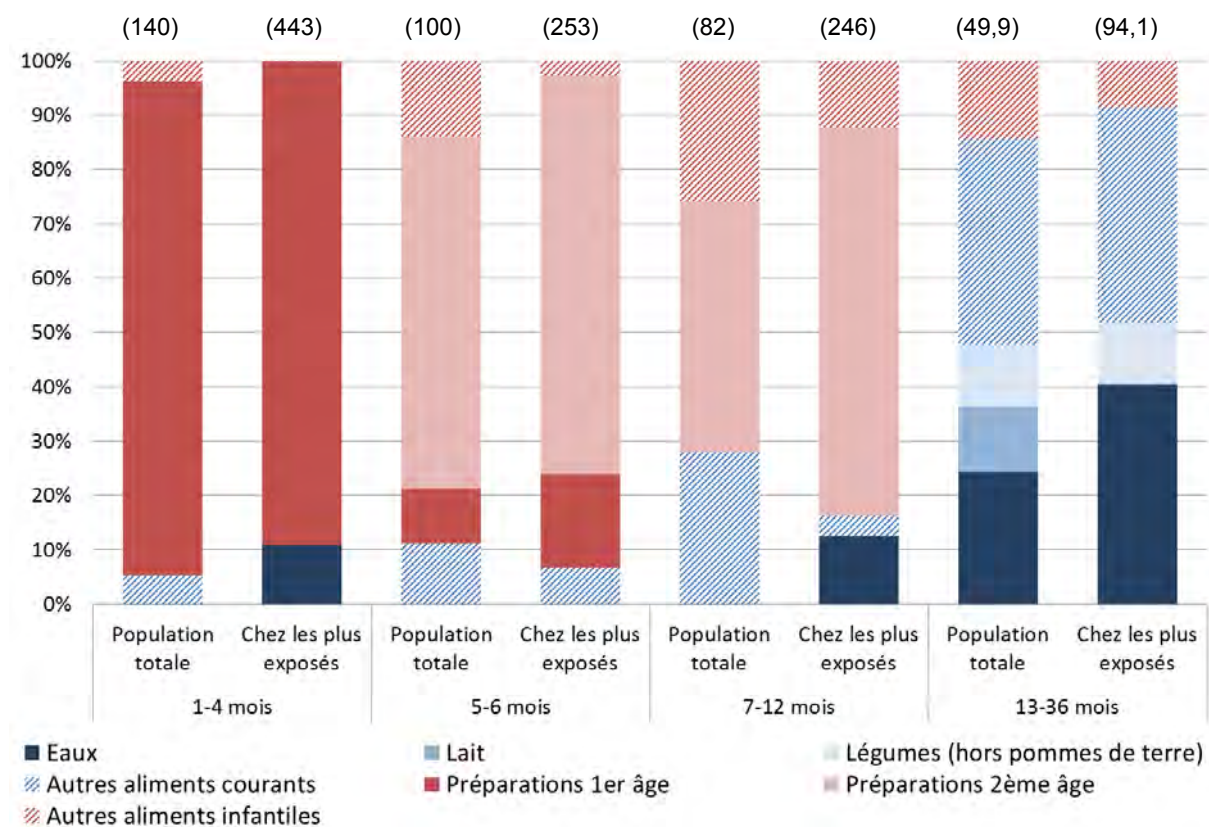
Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au strontium

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'exposition au strontium, avec 93% des apports chez les 1-4 mois, 75% chez les 5-6 mois, et 49% chez les 7-12 mois (Tableau E3). L'eau utilisée pour reconstituer ces préparations contribue particulièrement à l'exposition (35 à 72% selon les classes d'âge). Chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs à l'exposition sont des aliments courants : l'eau de boisson (24%), le lait (12%) et les légumes (12%).

Chez les enfants les plus exposés, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés dans toutes les classes d'âge (Tableau E4). Chez les 13-36 mois les plus exposés, le lait n'apparaît plus comme contributeur majeur. En revanche, la contribution de l'eau est renforcée (40% des apports).

(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{i}^{-1}$)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au strontium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans étaient estimés dans l'EAT2 à $42,82 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est du même ordre de grandeur que l'exposition des 13-36 mois de la présente étude. Dans la dernière EAT britannique portant sur les éléments traces métalliques, l'exposition moyenne au strontium des enfants de 1,5 à 4,5 ans était estimée à $42,8 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Rose et al. 2010), ce qui est également du même ordre de grandeur que l'exposition des 13-36 mois de la présente étude.

Evaluation du risque

Il existe des dépassements de la DJT chez les enfants de 1 à 12 mois, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'exposition.

Synthèse des résultats d'exposition au strontium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	DJT	Exposition moyenne	90 ^{ème} centile	% de dépassement
	En $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$			
1-4 mois	600	140	250	NC*
5-6 mois		100	183	NC*
7-12 mois		82	126	NC*
13-36 mois		49,9	72,9	Pas de dépassement

*non calculé en raison du faible effectif
LB=UB

DJT : Dose journalière tolérable

Les rares enfants ayant une exposition supérieure à la VTR ont non seulement une consommation journalière élevée de préparations infantiles mais aussi ces préparations infantiles ont été reconstituées avec une eau minérale naturelle présentant une contamination plus élevée que les autres eaux (9 vs $1,25 \text{ mg.L}^{-1}$ en moyenne pour la catégorie eaux), souvent recommandée lors de constipation, et donc généralement utilisée dans un temps limité.

Conclusion et recommandations

Un risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au strontium ne peut donc être exclu pour certains groupes de consommateurs. Les dépassements observés sont associés à l'utilisation pour la reconstitution des biberons d'une eau minérale naturelle (EMN) utilisée à des fins thérapeutique présentant une concentration élevée en strontium. Les experts de l'Anses rappellent que les EMN fortement minéralisées ne doivent être utilisées chez le nourrisson que sur avis médical et sur un temps limité.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le strontium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Concentration
Infantile	Boissons lactées	8	100	695
Infantile	Céréales infantiles	17	100	221
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	509
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	263
Infantile	Laits de croissance	9	100	325
Infantile	Potages, purées	11	100	581
Infantile	Pots fruits	30	100	273
Infantile	Pots légumes	27	100	568
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	580
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	512
Infantile	Préparations 2ème âge	34	100	495
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	153
Courant	Beurre	1	100	101
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	1304
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	511
Courant	Charcuterie	2	100	170
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	305
Courant	Eaux*	221	99,8	1253
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	861
Courant	Fromages	1	100	1981
Courant	Fruits	6	100	1155
Courant	Lait	3	100	358
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	1592
Courant	Œufs et dérivés	1	100	352
Courant	Pain et panification sèche	2	100	644
Courant	Poissons	3	100	1407
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	344
Courant	Pâtes	1	100	646
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	406
Courant	Soupes et bouillons	1	100	583
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0-5**
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	379
Courant	Viande	2	100	109
Courant	Viennoiserie	2	100	611
Courant	Volaille et gibier	2	100	50

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au strontium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P90
1-4 mois	140	80,2	250
5-6 mois	100	72,4	183
7-12 mois	82,0	59,9	126
13-36 mois	49,9	47,9	72,9

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au strontium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	443	270
5-6 mois	253	211
7-12 mois	246	138
13-36 mois	94,1	85,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au strontium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	0,5	2,2	2,1	0,6
Infantile	Céréales infantiles	0,5	1	1,3	1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	1,8	3,3	0,7
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,2	0,8	0,5
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,1	0,7	0,4
Infantile	Laits de croissance	.	.	2,2	5
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0,2	.
Infantile	Potages, purées	0,2	1	2	1,3
Infantile	Pots fruits	0,2	2	2,4	0,9
Infantile	Pots légumes	0,3	3,4	2,9	1,3
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	2,2	6,6	2,3
Infantile	Préparations 1er âge	90,9	10,1	2,3	.
Infantile	<i>dont eau</i>	72,3	8,3	1,6	.
Infantile	Préparations 2ème âge	2,1	64,9	46,2	0,8
Infantile	<i>dont eau</i>	1,3	46,8	34,5	0,4
Total aliments infantiles		94,7	88,8	72,1	14,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,2	2
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,2	1,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,3	4,7
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0,1	1,5
Courant	Charcuterie	0	0	0	0,2
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0,4	1,2
Courant	Eaux	3,9	3,3	9,2	24,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,3	2
Courant	Fromages	.	0	0,4	1,3
Courant	Fruits	.	0,1	0,3	6,2
Courant	Lait	1,2	2,4	3,2	12
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	3,3	7,1	11,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,1	0,8
Courant	Plats composés	.	.	0,1	0,6
Courant	Poissons	.	.	0,1	1,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,3	0,8	1,8
Courant	Pâtes	.	.	0,3	2,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,7
Courant	Soupes et bouillons	.	0,5	0,7	3
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	1,1	4	7,5
Courant	Viande	.	0	0	0,2
Courant	Viennoiserie	.	.	0	0,5
Courant	Volaille et gibier	.	0	0	0
Total aliments courants		5,3	11,2	27,9	85,7

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au strontium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	.	0,2	0,4	.
Infantile	Céréales infantiles	0	0,4	0,7	0,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	0,6	1,2	0,7
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	0,1	2,2	1,8
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	2,2	1,8
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,2	2,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	0,3	0,2	0,2
Infantile	Pots fruits	0,1	0,6	0,9	0,4
Infantile	Pots légumes	.	0,5	0,8	0,4
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	2,1	0,7
Infantile	Préparations 1er âge	89	17,1	3,5	.
Infantile	<i>dont eau</i>	82,5	15,2	2,9	.
Infantile	Préparations 2ème âge	.	73,4	71,4	1,5
Infantile	<i>dont eau</i>	.	65,3	66,1	1,3
Total aliments infantiles		89,1	93,2	83,7	8,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	1
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0	2,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	5,2
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	2,1
Courant	Charcuterie	.	.	0	0
Courant	Compotes et fruits cuits	0	.	0,2	0,4
Courant	Eaux	10,8	5,1	12,5	40,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	1,3
Courant	Fromages	.	.	0,2	1,1
Courant	Fruits	.	0	0,1	7,7
Courant	Lait	.	0	.	7,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	1,2	1,9	11,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0	0,5
Courant	Plats composés	.	.	.	0,1
Courant	Poissons	.	.	.	1
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,1	0,3	1,1
Courant	Pâtes	.	.	0,1	1,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,2	0,6
Courant	Soupes et bouillons	.	0,3	0,5	3,6
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	0,1	0,4	3,9
Courant	Viande	.	.	0	0,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,4
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0
Total aliments courants		10,9	6,8	16,3	91,5

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.18 Tellure

Le tellure (Te) est un métalloïde issu principalement des résidus d'affinage du cuivre. Il présente d'intéressantes propriétés sous forme d'alliages et de composés chimiques, utilisés dans plusieurs domaines industriels : métallurgie, industrie chimique, et électronique. Il peut également être utilisé dans le domaine médical en tant que produit contrastant ou traceur biologique, ou encore en agriculture où il entre dans la composition de certains pesticides et fongicides. La principale voie d'exposition au tellure est l'inhalation, toutefois l'Homme peut également y être exposé par contact et par l'ingestion d'aliments.

Caractérisation du danger

L'absorption du tellure par la voie orale est faible. Les effets toxiques du tellure sont dépendants de sa forme chimique, organique ou inorganique, et de son état d'oxydation. Les mécanismes cellulaires et moléculaires des effets toxiques du tellure (surtout sous la forme TeO_3^{2-}) dont le profil toxicologique est finalement très proche de celui du sélénium s'expliquent par une forte interaction avec les protéines (enzymes) contenant de résidus cystéines ou de sélénium. Ces altérations cellulaires sont à l'origine des syndromes de démyélinisation des nerfs observés. Par ailleurs, il n'est pas improbable que le tellure présent à l'état de trace dans l'organisme puisse avoir des effets métaboliques à l'image du sélénium.

De nombreuses études, mais peu récentes, ont évalué la toxicité des différentes formes du tellure. Les principaux effets du tellure (toutes formes confondues) observés chez l'animal après administrations répétées sont principalement des effets tératogènes, neurotoxiques et hépatotoxiques (*Ba et al. 2010*). Aucune de ces études n'a pu être utilisée pour permettre de proposer une valeur toxicologique de référence. Par ailleurs, il existe très peu d'études concernant la génotoxicité du tellure.

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible de se prononcer sur la caractérisation du danger par rapport au tellure, cependant, les effets tératogènes clairement mis en évidence chez l'animal devraient inciter à la prudence. L'établissement d'un indicateur toxicologique de référence s'avère indispensable pour l'analyse du risque pour un composé qui est de plus en plus utilisé dans l'industrie et en biologie (*Ba et al. 2010*).

Contamination

La LOD est de $1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ est de $2 \mu\text{g.kg}^{-1}$, quelle que soit la matrice. Le taux de détection global du tellure est de 1% (hors eau du robinet). Il n'a été détecté que dans un échantillon de riz avec une concentration de $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et dans un échantillon de céréales infantiles, avec une concentration égale à $0,126 \mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB.

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et l'hypothèse haute (UB).

En LB, l'exposition moyenne journalière est très faible (0,0003 pour les moins de 1 an et 0,002 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les 13-36 mois). En UB, elle est comprise entre 0,085 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,169 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 1-4 mois (Tableau E1).

Le P90 est compris entre 0 et 0,006 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB et entre 0,12 et 0,214 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge retenue (Tableau E1).

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne en LB se situe entre 0,0003 et 0,008 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et entre 0,135 et 0,258 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB.

Contribution des aliments à l'exposition

Dans la mesure où le tellure n'a été détecté que dans quelques échantillons, les contributeurs ne sont pas présentés.

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans ont été estimés dans l'EAT2 (Anses 2011a) entre 0,061 (LB) et 0,127 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (UB), ce qui est comparable aux niveaux d'exposition estimés dans la présente étude.

Conclusion et recommandations

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible, à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au tellure.

Il conviendrait donc de mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le tellure (mg.kg⁻¹) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	0	0	1
Infantile	Céréales infantiles	17	18	0,126	1,07
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	0	0	1
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	0	0	1
Infantile	Laits de croissance	9	0	0	1
Infantile	Potages, purées	11	0	0	1
Infantile	Pots fruits	30	0	0	1
Infantile	Pots légumes	27	0	0	1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	0	0	1
Infantile	Préparations 1er âge	28	0	0	1
Infantile	Préparations 2ème âge	34	0	0	1
Courant	Autres boissons chaudes	1	0	0	1
Courant	Beurre	1	0	0	1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	0	0	1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	0	0	1
Courant	Charcuterie	2	0	0	1
Courant	Compotes et fruits cuits	2	0	0	1
Courant	Eaux*	20	0	0	0,501
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	0	0	1
Courant	Fromages	1	0	0	1
Courant	Fruits	6	0	0	1
Courant	Lait	3	0	0	1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	0	0	1
Courant	Œufs et dérivés	1	0	0	1
Courant	Pain et panification sèche	2	0	0	1
Courant	Poissons	3	0	0	1
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	0	0	1
Courant	Pâtes	1	0	0	1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	50	0,5	1,5
Courant	Soupes et bouillons	1	0	0	1
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	1
Courant	Ultra-frais laitier	5	0	0	1
Courant	Viande	2	0	0	1
Courant	Viennoiserie	2	0	0	1
Courant	Volaille et gibier	2	0	0	1

*Données de l'EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans au tellure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	$<10^{-3}$	0,169	0	0,163	0	0,214
5-6 mois	$<10^{-3}$	0,132	0	0,129	0,002	0,163
7-12 mois	$<10^{-3}$	0,117	0	0,115	0,001	0,144
13-36 mois	0,002	0,085	0	0,083	0,006	0,120

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au tellure ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	$<10^{-3}$	0,258	0	0,253
5-6 mois	0,002	0,182	0,002	0,180
7-12 mois	0,003	0,167	0,002	0,156
13-36 mois	0,008	0,135	0,007	0,129

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

1.19 Vanadium

Le vanadium est un composé que l'on retrouve à l'état naturel dans la croûte terrestre. Il est principalement utilisé en métallurgie pour la réalisation des alliages de métaux, et dans d'autres industries pour ses propriétés catalytiques, colorantes ou anticorrosives (Fortoul et al. 2014). En fonction du degré d'oxydation, différents composés dérivés du vanadium ont été décrits. Dans l'organisme, les états d'oxydation prédominants du vanadium sont la forme trivalente, la forme tétravalente (vanadyl) et la forme pentavalente (vanadate). Leurs propriétés physicochimiques et le pH du milieu déterminent leur solubilité et donc leur biodisponibilité.

Les composés d'intérêt pour l'évaluation toxicologique sont : le pentoxyde de vanadium (composé le plus commercialisé), le metavanadate de sodium, l'orthovanadate de sodium, le sulfate de vanadyl et le vanadate d'ammonium. Chez l'Homme, l'inhalation de poussières de vanadium, notamment en milieu professionnel, et l'alimentation constituent les principales voies d'exposition aux composés du vanadium. Dans les aliments, ce dernier est principalement ingéré sous forme de vanadyl ou de vanadate. A ce jour, le pentoxyde de vanadium n'a pas été détecté dans la nourriture.

Caractérisation du danger

L'absorption des dérivés du vanadium dépend de leur solubilité, de leur degré d'oxydation et de leur voie de pénétration, mais elle reste faible. Chez les rongeurs, elle est estimée entre 2,6% pour le pentoxyde de vanadium et 16,5% pour le metavanadate de sodium par voie orale, mais elle augmente chez les jeunes individus en raison de l'immaturité de la barrière intestinale (J. Edel et al. 1984). La distribution est variable suivant le composé, mais on retrouve le pentoxyde de vanadium principalement dans le squelette, les poumons, le foie, la rate et les reins. Les concentrations de vanadium dans les reins, le foie et les poumons diminuent avec l'âge chez le rat. Dans le sang, le vanadium est principalement sous forme polyvanadate, et dans les tissus sous la forme vanadyl. Compte tenu de la faible absorption gastro-intestinale, une forte proportion de vanadium est excrétée dans les fèces après une administration orale chez le rat. La principale voie d'élimination du vanadium absorbé est la voie rénale.

Chez l'animal, les études expérimentales indiquent que les effets les plus sensibles observés suite à l'ingestion de sels de vanadium sont des perturbations du système cardiovasculaire, du système nerveux, de la fonction rénale et du développement.

Le pentoxyde de vanadium a été classé comme potentiellement carcinogène pour l'homme (groupe 2B) par le CIRC (2006) et l'US-EPA (2011), sur la base d'effets sur le poumon après une exposition des rongeurs par inhalation (IARC 2006a, US-EPA 2011). En outre, des effets génotoxiques de composés du vanadium ont été observés dans des études *in vivo* et *in vitro* (EFSA 2004b).

Pour le pentoxyde de vanadium, l'US-EPA en 2011 a réévalué la VTR de $9 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ établie en 1987 à partir d'une étude réalisée chez le rat. A partir d'une autre étude réalisée chez le rat exposé durant 103 jours, une DSENO de $10,5 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été établie sur la base d'une diminution du nombre d'érythrocytes. Suite à une extrapolation allométrique et à

l'application d'un facteur de sécurité de 3000¹⁶, l'US-EPA a proposé une nouvelle valeur de RfD de 0,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (US-EPA 2011). Compte tenu des protocoles utilisés dans cette étude (peu d'animaux par groupe, paramètres étudiés peu détaillés, ancienneté de l'étude), l'US-EPA a jugé faible le niveau de confiance de cette RfD, et cette valeur ne sera pas retenue dans le présent exercice.

Pour le sulfate de vanadyl, un niveau de risque minimal fixé à 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été défini chez l'Homme par l'ATSDR en 2012 pour une exposition subchronique, c'est-à-dire pour une exposition de durée comprise entre 15 jours et 1 an. Cette valeur a été obtenue sur la base d'une étude réalisée chez l'Homme. Après administration de 0,12 mg vanadium. $\text{kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ sous la forme de sulfate de vanadium pendant une période de 12 semaines, aucun effet adverse n'ayant été détecté, une DSENO de 0,12 mg. $\text{kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été retenue à laquelle un facteur 10 a été appliqué (ATSDR 2012c). Cette VTR n'est pas adaptée à une exposition chronique et ne peut donc être retenue dans le cadre de cette étude.

Pour les autres composés tels que les polyvanadates dont la biodisponibilité est supérieure aux autres composés du vanadium, aucune valeur toxicologique de référence n'a été établie.

Au regard de cette analyse, aucune VTR ne peut être proposée pour évaluer le risque sanitaire lié à l'exposition chronique au vanadium de la population infantile.

Contamination

La LOD s'élève à 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ et la LOQ à 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, quelle que soit la matrice. Le taux de détection global du vanadium est de 908% (hors eau du robinet), et il est variable selon la matrice. Il est de 0% dans le beurre et le sucre, et s'élève à 100% dans un grand nombre de groupe d'aliments courants comme par exemple les légumes, les pommes de terre, le poisson, ou encore les boissons. Le taux de détection est supérieur à 75% pour tous les groupes d'aliments infantiles.

Les concentrations moyennes les plus élevées sont observées dans biscuits sucrés ou salés et barres (37 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et UB), les fromages (36 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et UB) et dans les entremets, crèmes desserts et laits gélatifiés (23,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ en LB et UB) (Tableau C1).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Exposition (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'exposition moyenne journalière sous l'hypothèse basse est comprise entre 0,211 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et 0,261 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ chez les 5-6 mois (Tableau E1). Sous l'hypothèse haute, elle est respectivement de 0,240 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et 0,277 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les mêmes classes d'âge.

Le P90 s'élève entre 0,355 et 0,586 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en LB, et entre 0,385 et 0,586 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ en UB selon la classe d'âge retenue (Tableau E1).

¹⁶ 3 pour les différences toxicodynamiques interspécifiques, 10 pour la variation intra spécifique, 10 pour l'extrapolation d'exposition subchronique à chronique, et 10 pour compenser les incertitudes liées aux nombre d'études insuffisantes.

Chez les plus exposés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'exposition moyenne se situe en LB entre 0,430 et 0,920 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et en UB entre 0,467 et 0,923 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la classe d'âge.

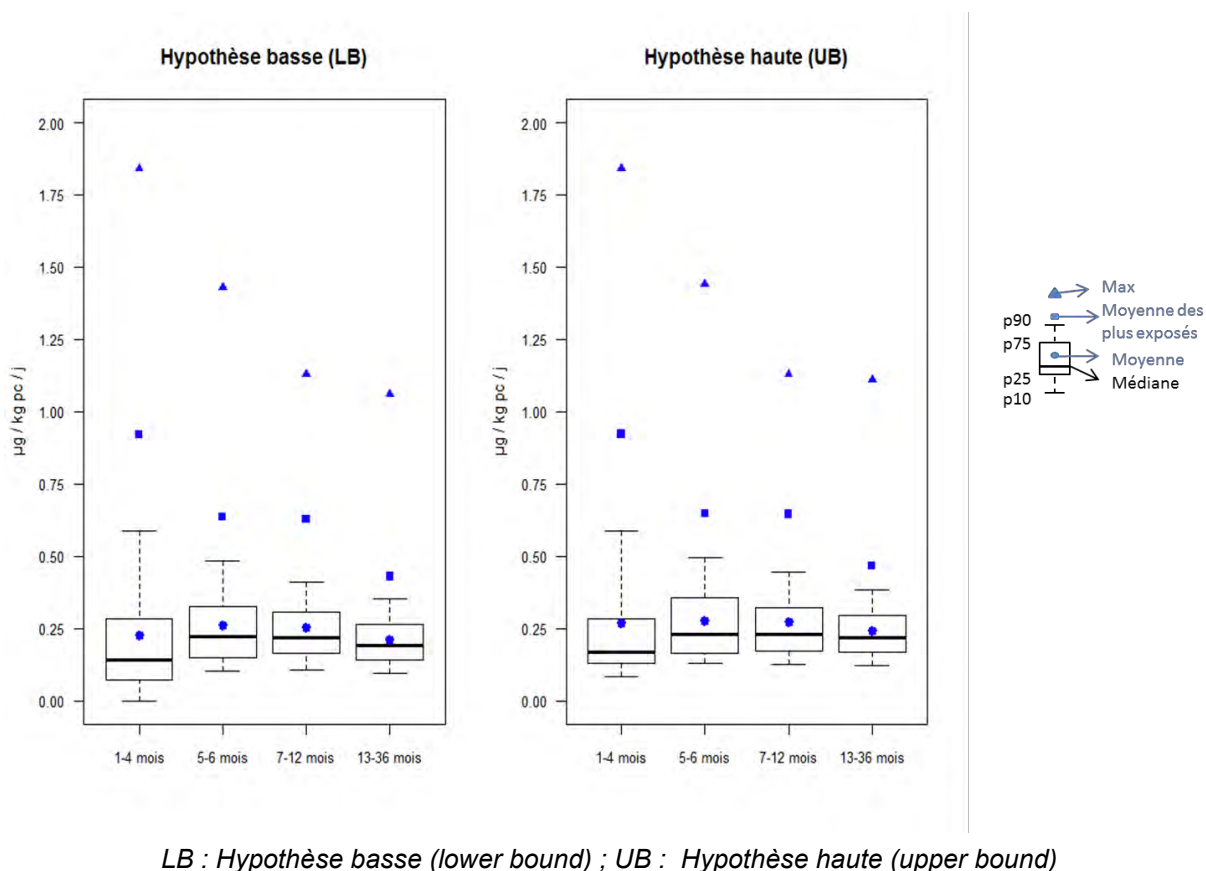


Figure 1 : Exposition des enfants de moins de 3 ans au vanadium

Contribution des aliments à l'exposition (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois les contributeurs majeurs à l'exposition au vanadium sont les préparations infantiles, avec 91% des apports en préparation 1^{er} âge chez les 1-4 mois, puis 60% chez les 5-6 mois, et 28% chez les 7-12 mois pour les préparations 2^{ème} âge (Tableau E3). Chez les 1-4 mois, l'eau de ces préparations contribue à 13% de l'exposition. Chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs à l'exposition sont des aliments courants : les autres boissons chaudes (13%), les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés (12%), les biscuits sucrés ou salé et barres (10%) et les légumes hors pomme de terre (10%).

Chez les plus exposés, les contributeurs majeurs restent inchangés, mais leur part augmente. En particulier, les préparations 1^{er} âge contribue à 27% de l'exposition des 7-12 mois. Par ailleurs, les légumes hors pommes de terre apparaissent comme contributeurs majeurs chez les 5-6 mois (13%), ainsi que les laits de croissance chez les 7-12 mois (16%).

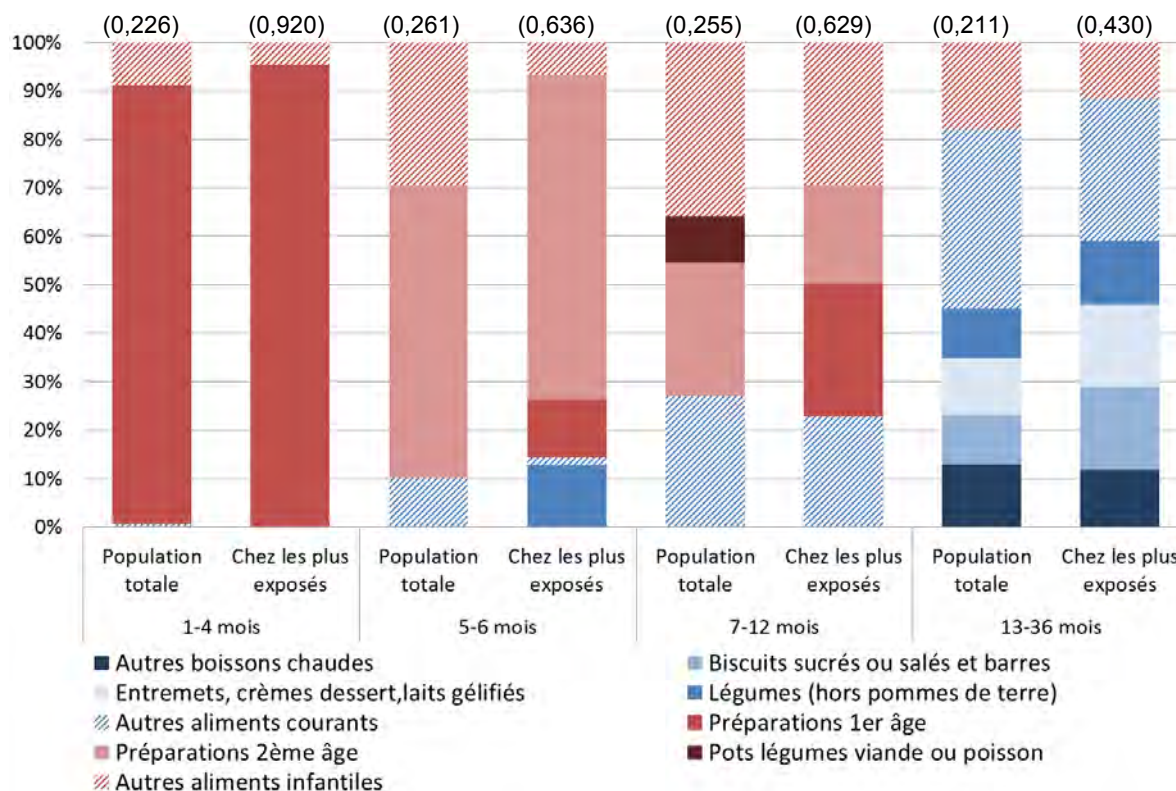
(Exposition moyenne LB en $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'exposition moyenne au vanadium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Les niveaux d'exposition moyens des enfants de 3 à 6 ans ont été estimés dans l'EAT2 (Anses 2011a) à $1,530 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$, ce qui est plus élevé que les résultats de la présente étude, notamment du fait de données différentes sur l'eau.

Conclusion et recommandations

En l'absence de données permettant d'établir un point de départ toxicologique, il n'est pas possible à l'heure actuelle, de conclure sur le risque sanitaire lié au vanadium.

Il conviendrait donc de mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles, ainsi que des études permettant de différencier les concentrations des différentes formes de vanadium dans les matrices alimentaires.

Tableau C1 : Estimation de la contamination moyenne des aliments infantiles et courants par le vanadium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	2,13	2,13
Infantile	Céréales infantiles	17	100	3,18	3,18
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	67	1,33	1,5
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	0,625	0,875
Infantile	Laits de croissance	9	89	2,22	2,5
Infantile	Potages, purées	11	100	2,18	2,18
Infantile	Pots fruits	30	100	1,2	1,4
Infantile	Pots légumes	27	100	2,13	2,19
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	2,54	2,56
Infantile	Préparations 1er âge	28	89	2,45	2,63
Infantile	Préparations 2ème âge	34	91	2,25	2,31
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	4,22	4,22
Courant	Beurre	1	0	0	0,5
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	37	37
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	67	2,83	3,17
Courant	Charcuterie	2	100	4	4
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	1,5	1,5
Courant	Eaux*	221	26	0,424	1,02
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	23,5	23,5
Courant	Fromages	1	100	36	36
Courant	Fruits	6	67	0,667	1
Courant	Lait	3	33	0,167	0,667
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	6,13	6,25
Courant	Œufs et dérivés	1	100	0,5	1
Courant	Pain et panification sèche	2	100	7	7
Courant	Poissons	3	100	4	4
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	4	4
Courant	Pâtes	1	100	3	3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	3,5	3,5
Courant	Soupes et bouillons	1	100	3	3
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	0,5
Courant	Ultra-frais laitier	5	40	0,5	0,9
Courant	Viande	2	100	1	1
Courant	Viennoiserie	2	100	12	12
Courant	Volaille et gibier	2	100	1,25	1,5

*données de l'étude Plomb-Habitat de 2008-2009 (Le Bot et al. 2013).
 LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)
 N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'exposition des enfants de moins 3 ans au vanadium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,226	0,267	0,142	0,168	0,586	0,586
5-6 mois	0,261	0,277	0,221	0,231	0,483	0,494
7-12 mois	0,255	0,271	0,217	0,230	0,409	0,446
13-36 mois	0,211	0,240	0,192	0,220	0,355	0,385

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans les plus exposés (>P90) au vanadium ($\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	0,920	0,923	0,708	0,784
5-6 mois	0,636	0,647	0,549	0,552
7-12 mois	0,629	0,646	0,518	0,538
13-36 mois	0,430	0,467	0,386	0,431

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au vanadium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,7	0,6	2,6	2,5	2,8	2,6	0,7	0,6
Infantile	Céréales infantiles	2,9	2,4	5,5	5,1	5,8	5,4	4,9	4,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	0,2	2,6	2,5	2,7	3	0,4	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,3	0,3	0,1	0,2	0	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0,2	0,2	0	0,1	0	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	7,3	7,2	5,3	5,8
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	0,4	0,3	1,5	1,4	2,5	2,4	1,1	1
Infantile	Pots fruits	0,5	0,5	3,4	3,8	3,9	4,1	0,9	0,9
Infantile	Pots légumes	0,6	0,5	4,5	4,3	3,6	3,5	1,2	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	4,4	4,1	9,6	9,1	2,6	2,2
Infantile	Préparations 1er âge	90,7	90,6	4,9	6,1	7	6,6	.	.
Infantile	dont eau	13,3	35	0	1,7	0,2	0,4	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	3,5	3	60,3	58,1	27,7	26,8	0,8	0,7
Infantile	dont eau	0,8	1,1	4,3	14,8	2,4	7,2	0	0,1
Total aliments infantiles		99,5	98,2	89,9	88,2	73,1	70,8	17,9	17,1
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,2	0,1	2,1	2	12,9	11,3
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	1,7	1,6	10,3	9
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,2	2,9	3,3
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0	0	0,2
Courant	Charcuterie	0	0	0,1	0,1	0,4	0,3	1,5	1,3
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	1,4	1,3
Courant	Eaux	0,1	0,5	0,2	0,8	1,1	2,5	2,1	6,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,5	0,5	2	1,9	11,7	10,3
Courant	Fromages	.	.	0,1	0,1	2,5	2,3	5,8	5,1
Courant	Fruits	.	.	0,1	0,2	0,3	0,3	0,7	1,2
Courant	Lait	0	1	0	1,3	0	1,5	0,2	3,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,2	0,2	5,8	5,6	8,1	7,7	10,2	9
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,5	0,4	2,4	2,1
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,7	0,6
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,1	1,1	0,9
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	0,8	0,8	1,8	1,7	4,5	4
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,5	0,4	2,6	2,3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,3	0,2	1,8	1,6
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,6	0,5	0,7	0,7	2,6	2,3
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	1,5	1,5	4	4,3	4,1	4,7
Courant	Viande	.	.	0	0	0,1	0,1	0,5	0,5
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,9	1,7
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,1	0,2	0,2	0,3
Total aliments courants		0,5	1,8	10,1	11,8	26,9	29,2	82,1	82,9

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound). Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'exposition moyenne au vanadium en fonction de la classe d'âge chez les enfants les plus exposés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,3	0,3	.	.	0,6	0,6	0,6	0,6
Infantile	Céréales infantiles	0,5	0,5	3,4	3,4	4,4	4,4	5,7	7,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	0,2	0	0	0,5	0,5	0	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	0	.	.	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	16	16	1,5	1,9
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,6	.	.
Infantile	Potages, purées	0,1	0,1	.	.	1,1	1,1	0,2	0,2
Infantile	Pots fruits	0,1	0,1	1,9	2,3	1,7	1,8	0,5	0,7
Infantile	Pots légumes	0,1	0,1	1,1	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0,4	0,4	4,2	4,2	0,9	0,9
Infantile	Préparations 1er âge	95	95,1	12,1	9,4	27,4	27,4	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	28,5	34,2	0	0,8	0,9	1,8	.	.
Infantile	Préparations 2ème âge	3,4	3,3	66,8	68,3	20,4	18,9	1,5	1,4
Infantile	<i>dont eau</i>	2	2	5,5	11,5	4,3	5,8	0	0,1
Total aliments infantiles		99,7	99,7	85,7	85,1	77,2	76,3	11,7	13,7
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	11,7	12,6
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	3,7	3,7	17,2	16,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	4,6	3,3
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0,3
Courant	Charcuterie	.	.	0,3	0,3	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Courant	Eaux	0,3	0,3	0	0,2	1,3	1,9	1,7	4,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	5,2	5,2	16,9	12,3
Courant	Fromages	.	.	.	.	1,6	1,6	6,8	5,9
Courant	Fruits	.	.	0	0,1	0,3	0,4	0,2	0,7
Courant	Lait	.	.	0	0,5	0	0,4	0	2,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	12,7	12,6	8,6	8,7	13,2	11,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	.	.	1,2	0,9
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,2	0,2
Courant	Poissons	.	.	.	.	.	.	0,7	0,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	0,9	0,9	0,7	0,7	2,9	2,8
Courant	Pâtes	.	.	.	.	0,1	0,1	2,1	2
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	.	.	1,4	1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	.	.	.	2,1	2,4
Courant	Sucres et dérivés	.	.	.	.	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0	0	0,8	1	2,5	3
Courant	Viande	.	.	.	.	0,1	0,1	0,4	0,3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	1,3	2,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1
Total aliments courants		0,3	0,3	14,3	14,9	22,8	24,2	88,3	86,3

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

1.20 Synthèse des résultats relatifs aux ETM et certains minéraux

Substances	Conclusions	Recommandations d'actions de gestion	Recommandations de recherche
Substances pour lesquelles la situation est jugée préoccupante			
Plomb	MOE très faibles (< 10) BMDL ₁₀ : 0,63 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹	Réduire les expositions en variant le régime alimentaire de tous les enfants	
Arsenic inorganique	MOE très faibles (< 36) BMDL ₀₁ : 0,3 à 8 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹	Réduire les expositions	Obtenir des données de spéciation dans les aliments (en priorité, les pots à base de légumes et de poisson ainsi que le riz et les céréales infantiles – principalement celles à base de riz) Actualiser les travaux de l'Anses sur l'évaluation des risques sanitaires associés à la limite de qualité de l'As dans les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux minérales naturelles et d'étudier l'opportunité d'abaisser cette limite de qualité. Réaliser des études de toxicité de l'arsenic sur le développement
Nickel	Risque chronique : 8 à 98% de dépassement de la DJT (2,8 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹) Risque d'hypersensibilité : Dépassements possibles pour les enfants sensibilisés (BMDL ₁₀ = 1,1 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹)	Réduire les expositions via les principaux contributeurs (produits à base de chocolat chez les 13-36 mois)	Abaisser les limites analytiques Obtenir des données d'exposition aiguë

Substances	Conclusions	Recommandations d'actions de gestion	Recommandations de recherche
Substances pour lesquelles le risque ne peut pas être écarté			
Aluminium	<p>Pas de dépassement pour les moins de 5 mois</p> <p>Dépassements non représentatifs à partir de 5 mois (DHTP = $1 \text{ mg.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)</p>	Réduire les expositions en variant les légumes consommés.	
Méthylmercure	<p>Pas de dépassement pour les moins d'un an</p> <p>Dépassements non représentatifs chez les 13-36 mois (DHTP = $1,3 \text{ }\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)</p>	<p>Recommandations Anses : « afin de permettre une couverture optimale des besoins en nutriments tout en limitant le risque de surexposition aux contaminants chimiques, la consommation de deux portions de poissons par semaine, dont une à forte teneur en EPA et DHA (saumon, sardine, maquereau, hareng, truite fumée), en variant les espèces de poisson et les lieux d'approvisionnement (sauvage, élevage, lieux de pêche etc...) [...], dans le cadre d'une alimentation diversifiée. [...] Il est recommandé [...] aux enfants de moins de trois ans de limiter la consommation de poissons prédateurs sauvages (lotte (baudroie), loup (bar), bonite, anguille, empereur, grenadier, flétan, brochet, dorade, raie, sabre, thon...), et d'éviter, à titre de précaution, celle d'espadon, marlin, siki, requin et lamproie en raison du risque lié au méthylmercure »</p>	

Substances	Conclusions	Recommandations d'actions de gestion	Recommandations de recherche
Strontium	Dépassements non représentatifs chez les moins d'un an Pas de dépassement chez les plus de 13 mois (DJT = 0,6 mg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹)	Rappeler aux parents que les eaux minérales naturelles fortement minéralisées ne doivent être utilisées chez le nourrisson que sur avis médical et sur un temps limité	
Chrome VI	Effets néoplasiques : MOE < 10 000 (pour toutes les classes d'âge) (BMDL ₁₀ = 1 mg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹) Effets non néoplasiques : dépassement de la valeur guide de 1 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹ chez les 1-4 mois et 7-12 mois		Disposer de données analytiques de spéciation du chrome dans les aliments afin d'affiner les hypothèses de spéciation, voire de s'en affranchir
Sélénium (chez les enfants de plus d'un an)	dépassements non représentatifs chez les 13-36 mois. (LSS = 60 µg.j ⁻¹) (pas de VTR pour les moins d'un an)	Rappeler les recommandations générales de consommation de poissons établies par l'ANSES pour les enfants de moins de 3 ans	
Cuivre (chez les enfants de plus d'un an)	dépassements non représentatifs chez les 13-36 mois. (LSS = 1 mg.j ⁻¹) (pas de VTR pour les moins d'un an)		
Cobalt	Niveaux d'exposition proches de la VTR jugée peu robuste chez les enfants de moins de 3 ans (DJT = 1,6 µg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹)	Poursuivre les efforts afin de réduire l'exposition alimentaire au cobalt	Réaliser les études toxicologiques manquantes (période périnatale)
Baryum	Niveaux d'exposition proches de la VTR jugée peu robuste chez les enfants de moins de 3 ans (RfD = 0,2 mg.kg pc ⁻¹ .j ⁻¹)		Réaliser les études toxicologiques manquantes (période périnatale)

Substances	Conclusions	Recommandations d'actions de gestion	Recommandations de recherche
Cadmium	Dépassement DHT (36%) à relativiser Effet néphrotoxique sur le long terme et l'exposition des trois premières années de vie ne contribue qu'à 3% de l'exposition cumulée pendant 50 ans. (DHT = $2,5 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)	Réduire les expositions dès le plus jeune âge. Réduire les contaminations des principaux contributeurs (principalement les légumes et les pommes de terre).	Confirmer l'existence d'effets cognitifs associés à des faibles niveaux d'exposition au cadmium.
Substances pour lesquelles le risque est jugé tolérable			
Chrome III	Pas de dépassement $P_{90} < 2\%$ de la DJT ($300 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)		
Mercure inorganique	Pas de dépassement $P_{90} < 18\%$ de la DHT ($4 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)		
Antimoine	Pas de dépassement $P_{90} < 3\%$ de la DJT ($6 \mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)		
Substances pour lesquelles il est impossible de conclure			
Germanium	Absence de VTR robuste		Mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles.
Cuivre (chez les enfants de moins d'un an)	Absence de VTR robuste pour les moins d'un an		Mener des études afin de déterminer une limite de sécurité pour cette classe d'âge
Sélénium (chez les enfants de moins d'un an)	Absence de VTR robuste pour les moins d'un an		Mener des études afin de déterminer une limite de sécurité pour cette classe d'âge.

Substances	Conclusions	Recommandations d'actions de gestion	Recommandations de recherche
Argent	Absence de VTR robuste		Mener des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles
Arsenic organique	Absence de VTR robuste		
Etain	Pas d'études de spéciation ou de données permettant d'établir des hypothèses de spéciation moins d'un anion	Mettre en œuvre des méthodes analytiques pour la spéciation de l'étain dans les aliments Déterminer l'origine des teneurs élevées observées dans certains pots de fruits	Mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles
Gallium	Absence de VTR robuste		Mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles
Tellure	Absence de VTR robuste		Mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles
Vanadium	Absence de VTR robuste et pas d'études de spéciation ou de données permettant d'établir des hypothèses de spéciation		Mener des études permettant de différencier les concentrations des différentes formes de vanadium dans les matrices alimentaires Mener à bien des études de toxicité permettant d'établir une VTR applicable à la population générale et tenant compte des spécificités infantiles

2 Minéraux

2.1 Calcium

Le calcium (Ca) est un métal alcalino-terreux. C'est le minéral le plus abondant du corps humain (1000 g à 1200 g chez le sujet adulte) ; environ 99% sont localisés dans les os et seulement 1% dans le compartiment sanguin et les tissus mous. Il joue un rôle clé dans la minéralisation du squelette, ainsi que dans de nombreuses fonctions biologiques telles que la contraction musculaire, l'excitabilité neuromusculaire, la vasomotricité, la coagulation sanguine, la perméabilité membranaire, la libération d'hormones, l'activation d'enzymes ainsi que la signalisation cellulaire. La calcémie est finement régulée par la parathormone, le 1,25 dihydroxychoolécalciférol (vitamine D) et la calcitonine et ce, aux dépens des réserves osseuses. La régulation du métabolisme calcique intervient au niveau de l'absorption intestinale et de l'excrétion urinaire du calcium, de la résorption et de la formation de la matrice osseuse.

Caractérisation du danger

Chez l'adulte, environ 25 à 35% du calcium issu des produits laitiers est absorbé. Ce coefficient est encore plus faible lorsqu'il s'agit de calcium d'origine végétale (environ 5% pour les épinards, par exemple) car il est rendu alors insoluble par les acides phytique ou oxalique présents (AFSSA 2001).

Les signes de la déficience en calcium ne sont apparents que lorsque surviennent, à moyen et long termes, des modifications au niveau osseux : troubles liés à des défauts de minéralisation du tissu ostéoïde pouvant empêcher d'atteindre un pic de masse osseuse optimal, engendrer des déformations (rachitisme), voire des fractures osseuses et altérer la croissance. Par ailleurs, lorsque la carence en calcium est responsable d'une hypocalcémie, elle peut être également responsable, chez le nourrisson, de crises convulsives et d'insuffisance cardiaque par cardiomyopathie (Maiya et al. 2008, Kossoff et al. 2002). En outre, Kalkwarf et al. ont rapporté qu'une faible consommation de produits laitiers (principale source de calcium) pendant l'enfance pouvait également impacter le capital osseux et donc le risque fracturaire au cours du vieillissement (Kalkwarf, Houry, and Lanphear 2003).

L'Efsa a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de 200 mg.j⁻¹ pour les nourrissons de 0 à 6 mois (EFSA 2013c), un AS de 280 mg.j⁻¹ pour les nourrissons de 7 à 12 mois ainsi qu'un besoin nutritionnel moyen (BNM) de 390 mg.j⁻¹ pour les enfants de 1 à 3 ans (EFSA 2015b). Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

Concernant les excès d'apport, compte tenu de la régulation fine de la calcémie, seuls des apports très élevés en calcium conduisent à la perturbation de son homéostasie et, en conséquence, à une hypercalcémie. L'hypercalcémie légère peut rester asymptomatique ou être associée à une perte d'appétit, des nausées ou des vomissements, une constipation, des douleurs abdominales, une sensation de soif. Les formes plus sévères peuvent conduire à des phénomènes de confusion, de délirium, de coma, voire entraîner la mort.

En 2003, le Scientific Committee on Food (SCF) a fixé une limite supérieure de sécurité (LSS) de 2500 mg.j⁻¹ (SCF 2006) chez l'adulte mais n'a pas pu la décliner chez l'enfant. Cette valeur a été fixée sur la base des effets critiques suivants : hypercalciurie, détérioration de la fonction rénale, formation de calculs rénaux, syndrome des buveurs de lait (*Milk-alkali*

syndrome), calcification vasculaire et maladie cardio-vasculaire. L'Efsa a confirmé cette valeur chez l'adulte et l'absence de déclinaison chez l'enfant (EFSA 2012d). Néanmoins, les experts de l'Anses ont considéré que les LSS proposées par l'Institute of Medicine (IOM 2011) pouvaient être adoptées. Pour les 0-6 mois, ces valeurs ont été définies à partir de la Dose sans effet néfaste observé (DSENO) pour les enfants (établie sur l'excrétion du Ca) ainsi que sur l'étude de Sargent (Sargent et al. 1999) réalisée chez des enfants âgés de 3 à 9 mois montrant qu'une dose de 1750 mg.j^{-1} n'entraîne pas d'effets indésirables sur l'excrétion du Ca, l'homéostasie du calcium et le statut en fer. Pour les enfants plus âgés, les LSS ont été établies à partir de la DSENO pour les adultes. Les LSS retenues sont donc de 1000 mg.j^{-1} pour les nourrissons de 0 à 6 mois, 1500 mg.j^{-1} pour les nourrissons de 7 à 12 mois et enfin 2500 mg.j^{-1} pour les enfants de 1 à 3 ans.

Teneur

La LOD s'élève à $2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de 1 mg.L^{-1} . Le taux de détection global du calcium est de 99,7% (hors eau du robinet). Le calcium est détecté dans tous les aliments, excepté dans les sucres et dérivés.

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les fromages avec 4906 mg.kg^{-1} , puis dans les produits ultra-frais laitiers avec 1206 mg.kg^{-1} , et les desserts lactés infantiles avec 1173 mg.kg^{-1} (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apport (Figure 1) :

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB et UB sont égaux.

L'apport moyen journalier de calcium est compris entre 457 mg.j^{-1} chez les 1-4 mois et 624 mg.j^{-1} chez les 7-12 mois (Tableau E1). Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre 257 et 366 mg.j^{-1} . Chez les 13-36 mois, les plus faibles apports sont liés à une consommation généralement moindre de lait courant (84 g.j^{-1} en moyenne contre 260 pour l'ensemble des 13-36 mois) et/ou lait de croissance (43 g.j^{-1} contre 61), ainsi que de produits ultra-frais laitiers (200 g.j^{-1} contre 345).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 842 et 1041 mg.j^{-1} . Chez les enfants de moins de 6 mois, les apports les plus élevés (au-dessus de la LSS) sont liés à une forte consommation ($>1\text{L.j}^{-1}$) de lait courant demi-écrémé, en moyenne plus riche en calcium que les préparations infantiles.

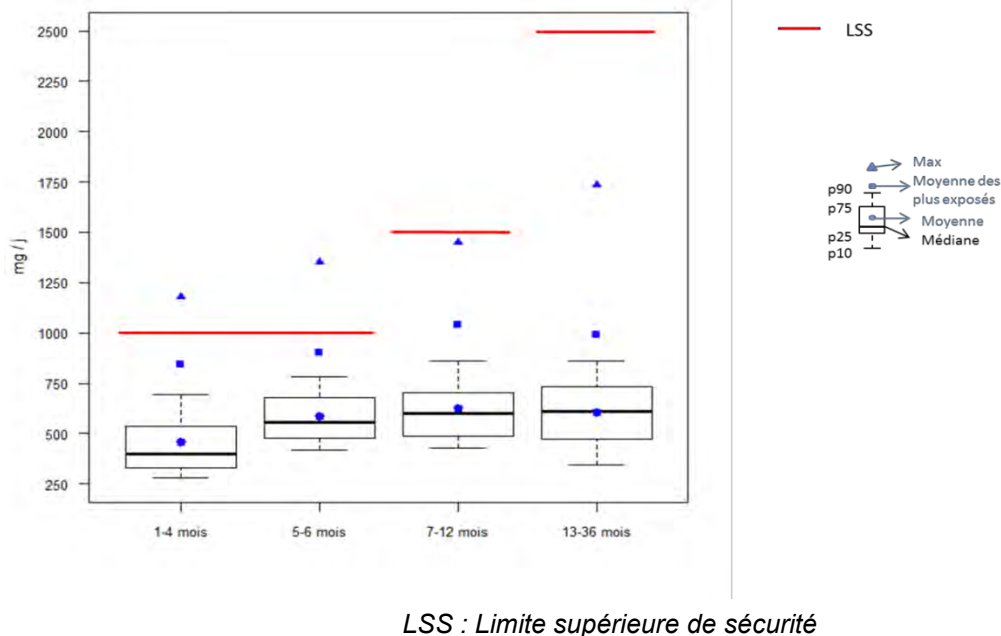


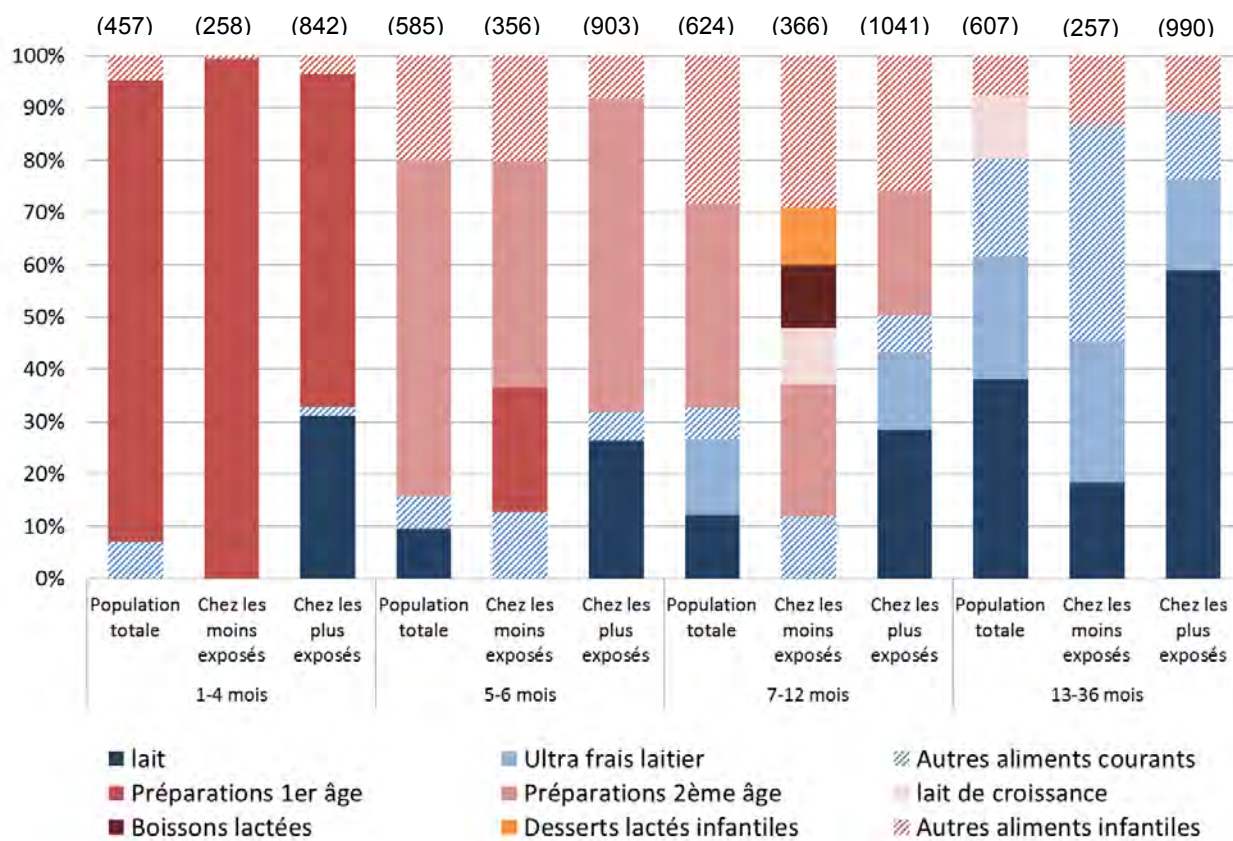
Figure 1 : Apports en calcium des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport de calcium, avec 88% des apports chez les 1-4 mois pour les préparations 1^{er} âge, 64% des apports chez les 5-6 mois pour les préparations 2^{ème} âge, et 39% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E4). Le lait courant contribue également de façon progressive à l'apport de calcium : respectivement 10, 12 puis 38% des apports des 5-6 mois, 7-12 mois et 13-36 mois. A partir de 7 mois, les produits ultra-frais laitiers représentent 15% puis 23% des apports. Enfin chez les 13-36 mois, le lait de croissance apporte 12% des apports moyens.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), les préparations 1^{er} âge contribuent de façon majeure à l'apport de calcium, et ce jusqu'à 12 mois (15%). La contribution des préparations 2^{ème} âge s'élève à 43% chez les 5-6 mois puis 25% chez les 7-12 mois. Le lait courant et les produits ultra-frais laitiers ne contribuent plus aux apports de façon majeure qu'à partir de 13 mois (18 et 27% respectivement). Chez les 7-12 mois enfin, les desserts lactés infantiles, les laits de croissance, et les boissons lactées apportent entre 10 et 12% des apports.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont les mêmes qu'en population générale. La contribution des préparations infantiles est plus faible, alors que celle du lait courant plus élevée. Le lait courant contribue également de façon majeure aux apports dès 1-4 mois (31%) et les préparations 2^{ème} âge contribue de façon majeure dès 5-6 mois (60%).

(Apport moyen en $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en calcium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Le rapport EFSA de 2012 fait état des apports moyens de calcium chez les enfants de moins d'un an de 730 à $824 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ ($\text{P}_{90} = 1085 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$) (EFSA 2012d). Pour les enfants de moins de 3 ans, les apports moyens rapportés se situent entre $664 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ (en Italie) et $1024 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ (en Grèce). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que dans la présente étude.

Le niveau d'apport moyen en calcium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de $633 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$, avec un P_5 à $325 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ et un P_{95} à $1077 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est du même ordre de grandeur que les apports des 1-3 ans de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins d'un an, les apports moyens sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en calcium est donc globalement satisfaisante. Chez les enfants de 1 à 3 ans, la prévalence d'insuffisance d'apport est de 14%.

Il n'y a pas de dépassement de la LSS chez les 7-36 mois. En revanche, il existe des dépassements de la LSS chez les enfants de 1 à 6 mois, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Chez ces enfants, 93% de la contribution à l'exposition est attribuable au lait courant. Ainsi, tous les enfants présentant des dépassements de la LSS ont consommé du lait demi-écrémé durant les 3 jours d'enquête et ce, en quantité supérieure à la

consommation moyenne (998 g.j⁻¹ en moyenne vs. 486 g.j⁻¹ pour l'ensemble des enfants de moins de 6 mois consommateurs de lait demi-écrémé). Par ailleurs, le lait est en moyenne plus riche en calcium que les préparations infantiles. Un risque lié à l'apport excessif de calcium ne peut donc pas être exclu chez ces enfants.

Au vu des résultats chez les 1-6 mois et de la contribution du lait chez les enfants les plus exposés, l'ANSES rappelle qu'en l'absence d'allaitement ou en complément de celui-ci, seules les préparations pour nourrissons et autorisées par la réglementation peuvent couvrir les besoins des nourrissons (Anses 2013d).

Synthèse des résultats d'apports en calcium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	Référence nutritionnelle	LSS	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile	Prévalence (%) d'insuffisance d'apport	% de dépassement de la LSS
	<i>En mg.j⁻¹</i>						
1-4 mois	AS = 200	1000	457	283	694	-	NC*
5-6 mois	AS = 200	1000	585	419	784	-	NC*
7-12 mois	AS = 280	1500	624	427	861	-	Pas de dépassement
13-36 mois	BNM = 390	2500	607	347	863	14 [11 ; 17]	Pas de dépassement

*NC : non calculé en raison du faible effectif

LSS : Limite supérieure de sécurité

AS : Apports satisfaisants

BNM : Besoin nutritionnel moyen

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en calcium (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliment	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	762
Infantile	Céréales infantiles	17	100	207
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	1173
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	68,5
Infantile	Laits de croissance	9	100	758
Infantile	Potages, purées	11	100	270
Infantile	Pots fruits	30	100	84,3
Infantile	Pots légumes	27	100	308
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	182
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	596
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	721
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	15,1
Courant	Beurre	1	100	146
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	449
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	67,7
Courant	Charcuterie	2	100	129
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	74,7
Courant	Eaux*	221	99,5	115
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	921
Courant	Fromages	1	100	4906
Courant	Fruits	6	100	189
Courant	Lait	3	100	1041
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	454
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	475
Courant	Pain et panification sèche	2	100	310
Courant	Poissons	3	100	232
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	252
Courant	Pâtes	1	100	131
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	106
Courant	Soupes et bouillons	1	100	147
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0-2,5**
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	1206
Courant	Viande	2	100	68,8
Courant	Viennoiserie	2	100	397
Courant	Volaille et gibier	2	100	65,2

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB (LB : hypothèse basse, UB : hypothèse haute)

N = nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	457	397	283	694
5-6 mois	585	558	419	784
7-12 mois	624	600	427	861
13-36 mois	607	610	347	863

Tableau E2 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	258	270
5-6 mois	356	389
7-12 mois	366	391
13-36 mois	257	266

Tableau E3 : Estimation de l'apport en calcium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	842	793
5-6 mois	903	845
7-12 mois	1041	1000
13-36 mois	990	929

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées				
Infantile	Céréales infantiles	0,4	0,8	1,1	0,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,4	5,3	9,2	1,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,1	0
Infantile	dont eau	0	0	0,1	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	6,3	12,2
Infantile	dont eau	.	.	0,1	.
Infantile	Potages, purées	0,2	0,7	1,1	0,7
Infantile	Pots fruits	0,1	0,7	0,8	0,2
Infantile	Pots légumes	0,2	1,5	1,7	0,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	0,8	2,3	0,8
Infantile	Préparations 1er âge	88,4	6,6	1,5	.
Infantile	dont eau	8	0,6	0,1	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,6	64,2	39	1,4
Infantile	dont eau	0,1	4,7	2,8	0
Total aliments infantiles		93,1	84,3	67,4	19,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0	0,2
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,1	0,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,6
Courant	dont eau	.	.	0	0,1
Courant	Charcuterie	0	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0,1	0,3
Courant	Eaux	0,4	0,3	0,8	2,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,5	3,1
Courant	Fromages	.	0	1,2	3,3
Courant	Fruits	.	0	0,1	0,9
Courant	Lait	6,3	9,5	12,1	38,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0	1,2	2,3	3,5
Courant	Œufs et dérivés	.	.	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0	0,3
Courant	Plats composés	.	.	0	0,2
Courant	Poissons	.	.	0	0,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,1	0,4	1,1
Courant	Pâtes	.	.	0,1	0,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0	0,2
Courant	Soupes et bouillons	.	0,2	0,2	0,8
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,2	4,1	14,5	23,4
Courant	Viande	.	0	0	0,1
Courant	Viennoiserie	.	.	0	0,4
Courant	Volaille et gibier	.	0	0	0,1
Total aliments courants		6,9	15,7	32,6	80,2

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	.	4,3	12,2	3,7
Infantile	Céréales infantiles	0,4	0,9	1,8	0,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	6	10,8	.
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	0	0,4	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0,1	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	10,7	6,9
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	1	2,1	1,5
Infantile	Pots fruits	.	2,8	2,2	0
Infantile	Pots légumes	.	2,4	3,4	0,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	2,7	4,3	0,5
Infantile	Préparations 1er âge	99,3	23,8	15	.
Infantile	<i>dont eau</i>	9,5	2,5	0,9	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	43,4	25,2	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	2,6	1	.
Total aliments infantiles		99,9	87,4	88,1	13,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0,2
Courant	Beurre	.	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0	1,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	1,8
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	0
Courant	Charcuterie	.	.	0	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	.	0	0,8
Courant	Eaux	0,1	0,9	1,2	6,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	8,9
Courant	Fromages	.	.	.	3,9
Courant	Fruits	.	.	0,4	2,3
Courant	Lait	.	0	4,1	18,3
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	4,9	1	5,1
Courant	Œufs et dérivés	.	.	0,1	0,5
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	0,8
Courant	Plats composés	.	.	.	0
Courant	Poissons	.	.	0	0,3
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,1	0,1	3,3
Courant	Pâtes	.	.	0,1	1,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0	0,5
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	1,4
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	6,7	4,5	27,1
Courant	Viande	.	.	0,1	0,3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,8
Courant	Volaille et gibier	.	0	0,1	0,1
Total aliments courants		0,1	12,6	11,9	86,8

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en calcium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	2	2,4	5,8	1,8
Infantile	Céréales infantiles	1,2	1	0,6	0,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	2,9	6,9	2,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	9,2	2
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0,3	.
Infantile	Potages, purées	.	1,1	0,4	0,5
Infantile	Pots fruits	0,1	0,2	0,3	0,2
Infantile	Pots légumes	.	0,3	1,5	1,3
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	0,5	1,1	0,7
Infantile	Préparations 1er âge	63,6	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	8,6	.	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	59,7	23,8	1,4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	5,9	4,5	0,1
Total aliments infantiles		67,1	68,1	50	11,1
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,1	0,2
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0	0,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	0,2
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0,1
Courant	Charcuterie	.	.	0	0
Courant	Compotes et fruits cuits	0	.	0,1	0,2
Courant	Eaux	1,8	0,6	1,5	1,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,3	0,2	3,6
Courant	Fromages	.	.	1,8	1,2
Courant	Fruits	.	0	.	0,3
Courant	Lait	31,1	26,4	28,4	58,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	1	1,4	2,2
Courant	Œufs et dérivés	.	.	.	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0	0,3
Courant	Plats composés	.	.	.	0,2
Courant	Poissons	.	.	0	0,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,1	0,9	1
Courant	Pâtes	.	.	0,2	0,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,1
Courant	Soupes et bouillons	.	0,3	0,3	0,7
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	3,3	15	17,6
Courant	Viande	.	.	0	0,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0
Total aliments courants		32,9	31,9	50,3	88,9

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.2 Fer

L'organisme d'un homme adulte renferme environ 4 g de fer (Fe), dont la majorité (70 %) est présent sous forme hémunique (associé à l'hémoglobine et à la myoglobine), le reste étant sous forme non hémunique (formes de transport et de réserve). Le fer joue un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions biologiques : respiration (constituant de l'hémoglobine qui est impliquée dans les échanges gazeux avec le milieu extérieur), fonction musculaire (constituant de la myoglobine, forme de réserve de l'oxygène du muscle), et intervient dans l'activité d'enzymes impliquées dans de nombreux métabolismes : activité mitochondriale (transport des électrons), défenses anti-radicalaires (co-facteur de la catalase et de peroxydases), synthèse d'ADN. Les réserves en fer dans l'organisme sont finement régulées par les systèmes complexes, ceci afin d'éviter une surcharge qui serait délétère pour l'organisme (de par sa propriété pro-oxydante, le fer étant un métal de transition et donneur d'électron). La majeure partie du fer dans l'organisme provient du recyclage du fer érythrocytaire. Le fer alimentaire sert essentiellement à combler les pertes et à répondre à l'accroissement des besoins dans certaines situations physiologiques. Ainsi, la capacité d'absorption est augmentée ou réduite en fonction des besoins.

Caractérisation du danger

Chez l'adulte, environ 25 % du fer alimentaire sous forme hémunique est biodisponible alors que généralement moins de 10 % du fer non hémunique est absorbé. La viande, la volaille, les poissons et différents acides organiques, notamment l'acide ascorbique (vitamine C), favorisent l'absorption du fer non hémunique. En revanche, les polyphénols, les phytates, le calcium, le zinc ainsi que certaines protéines d'origine animale (du lait ou de l'œuf) ou végétales (du soja) et les fibres alimentaires réduisent son absorption. L'absorption du fer à partir d'un repas peut ainsi varier de 1 à 20 % chez des individus ayant un statut en fer comparable. Enfin, de faibles réserves en fer conduisent à augmenter l'absorption du fer non hémunique (AFSSA 2001).

Chez l'enfant, les besoins en fer doivent permettre de couvrir les pertes basales, ainsi que l'expansion de la masse érythrocytaire et la croissance tissulaire générale. C'est pourquoi les besoins en fer sont très importants après l'âge de 6 mois. Avant 6 mois, les besoins sont plus faibles en raison de l'importance des réserves sous forme d'hémoglobine (Chappuis and Favier 1995).

Si la carence en fer conduit à un stade avancé à une anémie (anémie ferriprive qui se manifeste par fatigue, tachycardie, palpitations, essoufflement), les conséquences d'une carence modérée sur l'ensemble de ces processus physiologiques sont encore mal définies : réduction de la capacité physique et des performances intellectuelles (l'impact étant moindre chez les enfants de moins de 7 ans (Sachdev, Gera, and Nestel 2005), altération de la fonction immunitaire et moindre résistance aux infections, perturbations au cours de la gestation et anomalies dans le maintien de la température corporelle. La déficience d'apport en vitamine A ou en cuivre peut conduire à l'aggravation de l'anémie ferriprive (Suharno et al. 1993).

L'EFSA (EFSA 2013c) a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de $0,3 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les nourrissons de moins de 6 mois. Dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du fer (EFSA 2015d), l'EFSA a proposé un BNM de 8 mg.j^{-1} pour les nourrissons de 7 à 12 mois et de 5 mg.j^{-1} pour les enfants de 1 à 3 ans. Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

Des données épidémiologiques (Aggett et al. 2002) rapportent une association entre des apports élevés en fer et une augmentation de l'incidence des maladies cardiovasculaires, du

diabète de type II et des cancers digestifs chez l'adulte. Cependant, certains auteurs rapportent que ces effets sont surtout liés à l'apport en fer hémérique et non en fer total (Hunnicut, He, and Xun 2014). Le fer étant un puissant pro-oxydant, il peut causer des dommages radicalaires, mais l'impact chez l'enfant reste à démontrer.

L'EFSA n'a pas pu établir de LSS pour le fer, faute de données suffisantes, et considère qu'au regard des apports observés en Europe, le risque d'effet délétère d'apports élevés (incluant des aliments enrichis mais excluant les compléments alimentaires) est faible, excepté pour les individus homozygotes pour l'hémochromatose (SCF 2006). Ce dernier cas concerne entre 1 et 5 français sur 1000 (Orphanet 2006). La France, quant à elle, a fixé pour le fer une limite de sécurité à 28 mg/j chez l'adulte (Coudray and Hercberg 2001). Il faut noter que chez les individus souffrant d'hémochromatose héréditaire ou de certaines pathologies hépatiques, les effets secondaires liés à une forte exposition au fer peuvent apparaître pour des consommations inférieures à la LSS fixée à 40 mg par l'IOM (IOM 2001).

En raison du manque de données chez l'enfant de moins de trois ans, aucune LSS ne peut être retenue.

Teneur

La LOD s'élève à 0,042 mg.kg⁻¹ et la LOQ à 0,083 mg.kg⁻¹, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de 20 µg.L⁻¹. Le taux de détection global du fer est de 97% (hors eau du robinet). Il est détecté dans la plupart des échantillons de l'EATi, excepté dans les jus de fruits infantiles où le taux de détection est de 75%.

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les biscuits sucrés ou salés et barres avec 34,8 mg.kg⁻¹, puis les entremets, crèmes desserts et laits gélatifiés avec 22,1 mg.kg⁻¹ (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apport (Figure 1)

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB et UB sont égaux.

L'apport moyen journalier en fer est compris entre 4,31 mg.j⁻¹ chez les 13-36 mois et 6,97mg.j⁻¹ chez les 5-6 mois (Tableau E1). Le P10 est compris entre 1,71 et 3,73 mg.j⁻¹ selon la classe d'âge considérée, et le P90 se situe entre 7,26 et 10,5 mg.j⁻¹.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre 1,33 mg.j⁻¹ chez les 13-36 mois et 2,78 mg.j⁻¹ chez les 5-6 mois.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 8,78 mg.j⁻¹ chez les 1-4 mois et 11,6 mg.j⁻¹ chez les 7-12 mois.

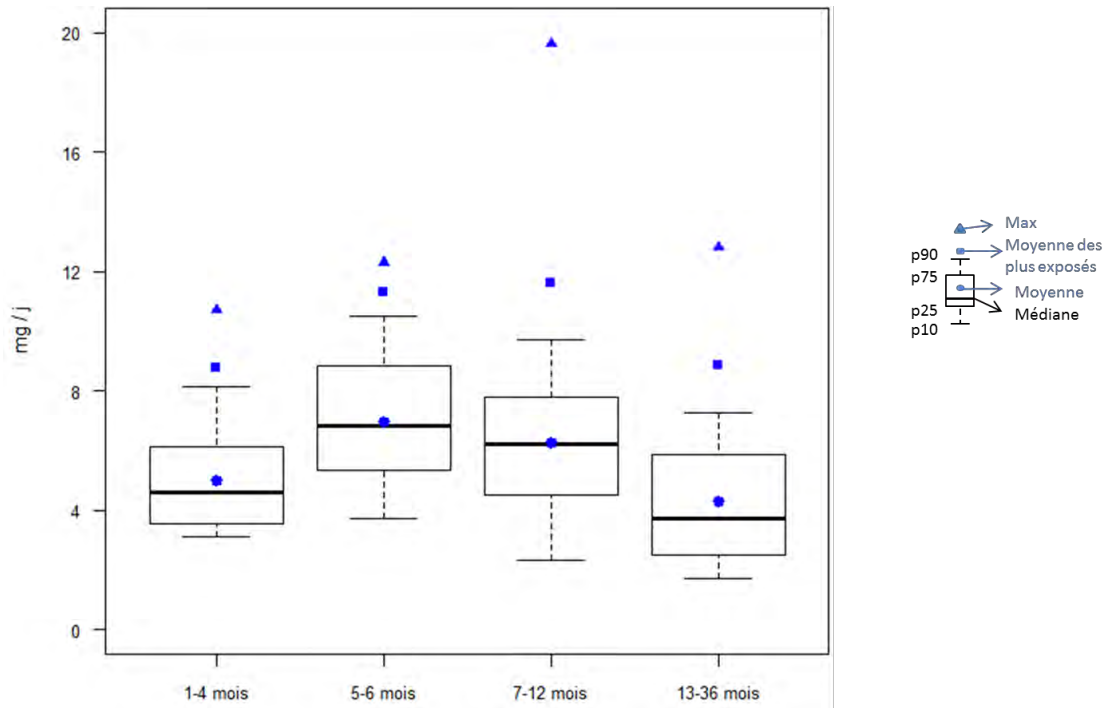


Figure 1 : Apports en fer des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Jusqu'à 12 mois, les contributeurs majeurs à l'apport en fer sont les préparations infantiles 1^{er} âge et 2^{ème} âge (95, 80 puis 54%) (Tableau E4). Les céréales infantiles contribuent également de façon majeure à l'apport chez les 7-12 mois (10%) de même que les laits de croissance pour les 7-36 mois (10 à 29%). Chez les 13-36 mois, les autres boissons chaudes contribuent à hauteur de 10% de l'apport.

Pour les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), la contribution des préparations infantiles est plus basse. En particulier, chez les 5-6 mois et les 7-12 mois, les céréales infantiles, les pots légumes viande ou légumes poissons et les boissons lactées (pour les 5-6 mois seulement), apparaissent comme contributeurs majeurs en plus des préparations infantiles. Enfin chez les 13-36 mois ayant les apports les plus faibles, la part de l'alimentation infantile dans l'apport de fer est plus faible qu'en population générale (10% contre 48%).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont globalement les mêmes que ceux de la population totale. La contribution des céréales infantiles représente cependant plus de 10% chez les 1-4 mois, les 7-12 mois et les 13-36 mois, et le lait de croissance contribue à hauteur de 17% dès 7 mois.

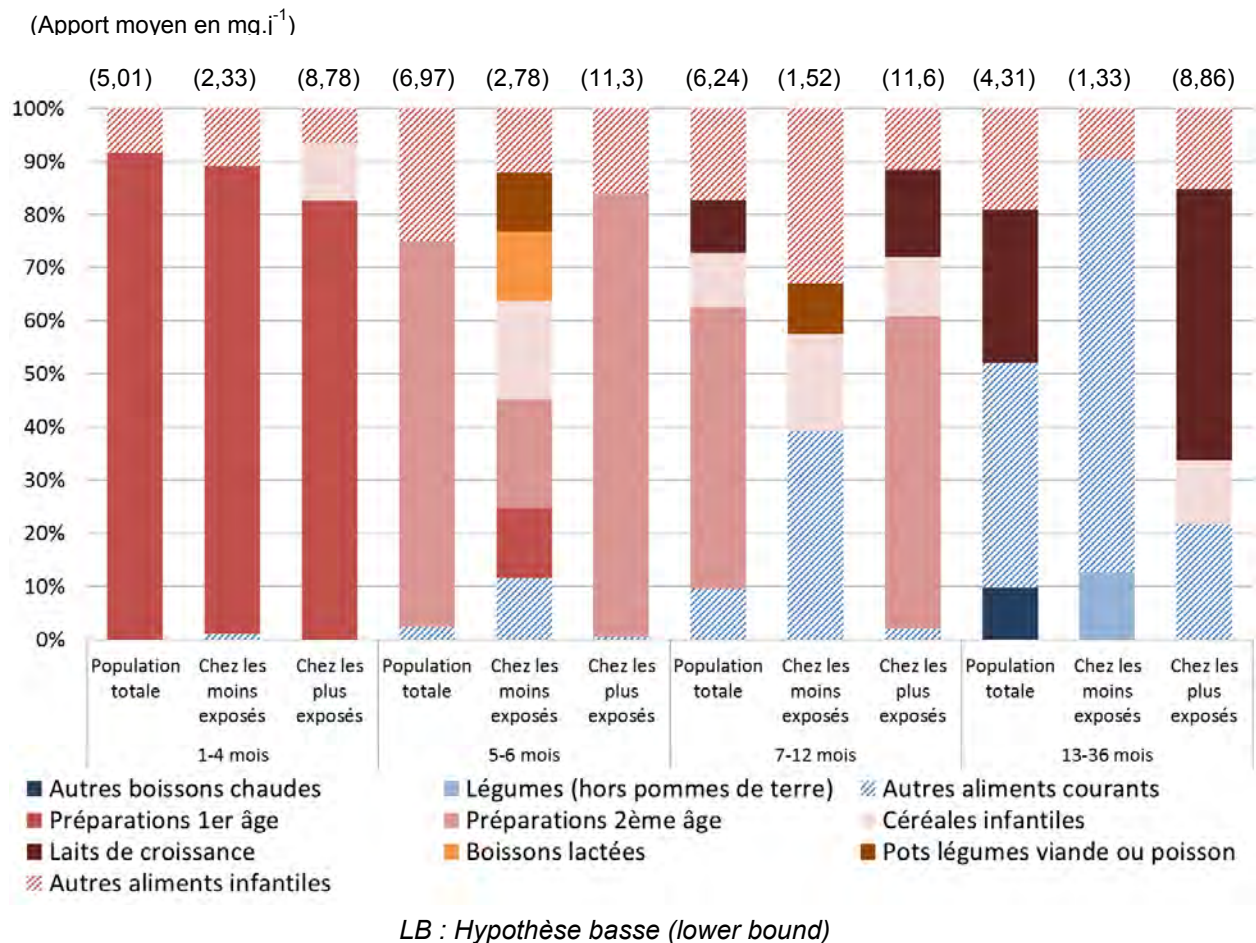


Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en fer des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Selon le rapport de l'EFSA (EFSA 2014f), l'apport moyen de fer des enfants de moins de 6 mois nourris avec des préparations infantiles se situe entre 0,3 et 8 mg.j⁻¹, et celui des enfants de 6 à 12 mois entre 4 et 10 mg.j⁻¹. Les résultats de l'EATi montrent des apports moyens du même ordre de grandeur.

Le niveau d'apport moyen en fer des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 5,18 mg.j⁻¹, avec un P5 à 2,84 mg.j⁻¹ et un P95 à 8,00 mg.j⁻¹ (Anses 2011a), ce qui est du même ordre de grandeur que celui des 13-36 mois de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 6 mois, les apports moyens sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en fer est donc globalement satisfaisante dans cette classe d'âge.

En revanche, la prévalence d'insuffisance d'apports est estimée à 48% chez les 7-12 mois, et à 81% chez les 13-36 mois. En raison d'une incertitude sur la biodisponibilité du fer dans l'alimentation infantile et donc sur la référence nutritionnelle utilisée, ces résultats nécessitent d'être confirmés par des études directes du statut martial des enfants de ces classes d'âge afin d'évaluer précisément le risque nutritionnel.

En l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport en fer. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour le fer.

Synthèse des résultats d'apports en fer des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	Référence nutritionnelle	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile	Prévalence (%) d'insuffisance d'apport
	<i>En mg.j⁻¹</i>				
1-4 mois	AS = 0,3	5,01	3,10	8,16	-
5-6 mois	AS = 0,3	6,97	3,73	10,5	-
7-12 mois	BNM = 8	6,24	2,33	9,72	48 [39 ; 57]
13-36 mois	BNM = 5	4,31	1,71	7,26	81 [78 ; 85]

AS : Apports satisfaisants

BNM : Besoin nutritionnel moyen

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en fer (mg.kg-1 PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	11,4
Infantile	Céréales infantiles	17	100	8,25
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	2,73
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	0,466-0,476**
Infantile	Laits de croissance	9	100	12,7
Infantile	Potages, purées	11	100	2,54
Infantile	Pots fruits	30	100	1,46
Infantile	Pots légumes	27	100	2,81
Infantile	Pots légumes viande ou légumes	45	100	3,04
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	6,42
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	9,28
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	5,4
Courant	Beurre	1	100	0,222
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	34,8
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	0,519
Courant	Charcuterie	2	100	7,54
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	1,23
Courant	Eaux*	221	24,9	0,012-0,041**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits	2	100	22,1
Courant	Fromages	1	100	2,88
Courant	Fruits	6	100	1,22
Courant	Lait	3	100	0,183
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	5,42
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	14,9
Courant	Pain et panification sèche	2	100	7,42
Courant	Poissons	3	100	3,25
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	3,73
Courant	Pâtes	1	100	5,68
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	3,13
Courant	Soupes et bouillons	1	100	1,71
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,127
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	0,348
Courant	Viande	2	100	13,3
Courant	Viennoiserie	2	100	14,1
Courant	Volaille et gibier	2	100	5,39

*Donnée de l'étude Pb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB : Hypothèse basse (lower bound) - Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	5,01	4,62	3,10	8,16
5-6 mois	6,97	6,81	3,73	10,5
7-12 mois	6,24	6,21	2,33	9,72
13-36 mois	4,31	3,74	1,71	7,26

Tableau E2 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	2,33	2,52
5-6 mois	2,78	3,00
7-12 mois	1,52	1,61
13-36 mois	1,33	1,44

Tableau E3 : Estimation de l'apport en fer des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	8,78	8,56
5-6 mois	11,3	11,0
7-12 mois	11,6	10,9
13-36 mois	8,86	8,67

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	1,3	4,5	6,7	3,4
Infantile	Céréales infantiles	3,5	7,9	10,2	8,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	1,2	1,4	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	10	28,7
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	0,1	0,4	0,9	0,7
Infantile	Pots fruits	0,1	1,1	1,6	0,6
Infantile	Pots légumes	0,2	1,5	1,6	0,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	1,3	4,1	1,8
Infantile	Préparations 1er âge	91,5	6,9	0,9	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0,3	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	3	72,8	53,1	2,6
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,2	0,1	0
Total aliments infantiles		99,8	97,6	90,4	47,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,1	0,9	9,7
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,6	5,7
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,4
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	0	0,1	0,2	1,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0,2	0,7
Courant	Eaux	0	0	0	0,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,6	6,1
Courant	Fromages	.	0	0,1	0,3
Courant	Fruits	.	0,1	0,1	1,1
Courant	Lait	0,1	0,1	0,2	0,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	1,1	2,9	6,1
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0,4
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,2	1,4
Courant	Plats composés	.	.	0	0,7
Courant	Poissons	.	.	0,1	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,4	1	2,8
Courant	Pâtes	.	.	0,3	2,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,5
Courant	Soupes et bouillons	.	0,3	0,4	1,8
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	0,1	0,5	1
Courant	Viande	.	0,1	0,9	5,1
Courant	Viennoiserie	.	.	0	1,4
Courant	Volaille et gibier	.	0	0,3	0,8
Total aliments courants		0,2	2,4	9,6	52,1

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	12,9	.	.
Infantile	Céréales infantiles	8,2	18,6	18,1	2,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,5	1,8	2,5	.
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,1	0	0
Infantile	dont eau	.	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,6	.
Infantile	dont eau	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0,8	1,6	5,5	2,4
Infantile	Pots fruits	0,4	3,1	6,1	0,3
Infantile	Pots légumes	0,7	5,7	5	3,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	11,1	9,6	0,6
Infantile	Préparations 1er âge	88,3	13,1	5,5	.
Infantile	dont eau	0,3	0,1	0,1	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	20,6	7,7	.
Infantile	dont eau	.	0	.	.
Total aliments infantiles		98,9	88,5	60,7	9,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	1	3,1	8
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,9	5,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	1,4
Courant	dont eau	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	0,2	0,9	5,4
Courant	Compotes et fruits cuits	0,2	.	1,1	3,5
Courant	Eaux	0	0	0,2	0,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	1,4	5,1	4,1
Courant	Fromages	.	.	0,1	0,5
Courant	Fruits	.	0,2	0,9	3,2
Courant	Lait	0,8	1,4	4,1	3,7
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	3,6	7,2	12,6
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,7
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,3	3,6
Courant	Plats composés	.	.	.	0,5
Courant	Poissons	.	.	0,5	1,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	1,2	5,9	9,2
Courant	Pâtes	.	.	1,2	5,1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	1,5
Courant	Soupes et bouillons	.	0,2	0,2	1,7
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	1,1	2,9	3,8
Courant	Viande	.	1,2	1,2	8,5
Courant	Viennoiserie	.	.	0,3	4,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	3,1	2,2
Total aliments courants		1,1	11,5	39,3	90,5

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en fer en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	4	0,2	7,6	4,3
Infantile	Céréales infantiles	10,9	7,2	11	11,9
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	0,4	0,8
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	.	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	16,6	51
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	0,1	0,1	0,2	0,4
Infantile	Pots fruits	0,1	0,6	0,9	0,8
Infantile	Pots légumes	0	0,9	0,9	0,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	0,3	0,9	2,6
Infantile	Préparations 1er âge	82,4	6,6	0,6	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0,2	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,2	83,6	58,9	5,6
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,1	0,1	0
Total aliments infantiles		99,8	99,6	98	78,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	2,6
Courant	Beurre	.	.	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0	3,8
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,1
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	0
Courant	Charcuterie	.	.	0	0,5
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0	0,4
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	3,1
Courant	Fromages	.	.	.	0,1
Courant	Fruits	.	0,1	0	0,3
Courant	Lait	0,2	.	.	0
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	0,1	0,7	3,9
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,2
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0	0,4
Courant	Plats composés	.	.	.	0
Courant	Poissons	.	.	.	0,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,1	0,1	1
Courant	Pâtes	.	.	0	1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0	0,1
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,3	1,4
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	0	0,1	0,5
Courant	Viande	.	.	0,5	1,6
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,3
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0,2
Total aliments courants		0,2	0,4	2	21,8

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.3 Lithium

Le lithium (Li) est un oligoélément présent dans l'organisme. Toutefois, son caractère indispensable n'est aujourd'hui pas clairement établi. Seuls quelques rares travaux expérimentaux sur des animaux ont montré des troubles de croissance et de reproduction lors d'une carence sévère en cet élément (WHO 1996). Son action a été essentiellement démontrée après l'administration de fortes doses. Le lithium agit sur l'organisme via divers mécanismes d'action (Can, Schulze, and Gould 2014). Il entre notamment en compétition avec les ions K^+ , Na^+ et Mg^{2+} , en inhibant les mécanismes de transmissions synaptiques de l'influx nerveux, en bloquant la libération de la thyroxine ; le lithium ralentit le fonctionnement de la thyroïde provoquant ainsi fatigue, prise de poids et apparition d'un goître. A des doses pharmacologiques (250 à 1 400 mg/j), il est utilisé en psychiatrie dans le traitement de certains troubles, notamment le trouble bipolaire ou la maladie maniaco-dépressive, et à des doses plus faibles (0,5 à 2 mg/j chez l'adulte, pour les produits commercialisés en France), il est utilisé en oligothérapie comme « modificateur du terrain, en particulier au cours de manifestations psychiques ou psychosomatiques mineures de l'enfant de plus de 6 ans et de l'adulte (troubles légers du sommeil, irritabilité) ».

Caractérisation du danger

Les déficiences et carences alimentaires en lithium n'ont pas été démontrées chez l'Homme et le devenir du lithium alimentaire reste mal connu. Il n'existe aucune recommandation nutritionnelle pour le lithium.

L'utilisation du lithium dans le cadre du traitement des troubles bipolaires a permis d'identifier des risques d'exposition à des fortes doses (McKnight et al. 2012, Gourion 2014). Les effets indésirables sont nombreux et incluent une prise de poids, des troubles gastro-intestinaux, des tremblements des mains, des vertiges, de la fatigue chronique, des atteintes rénales (atteintes rénales chroniques légères, polyurie, et dans quelques cas, risque de toxicité sévère), des perturbations endocriniennes (risque d'hypothyroïdie, forte prévalence d'hyperparathyroïdie), ainsi qu'une toxicité cardiaque en cas de surdosage aigu (modifications électrocardiographiques sans traduction clinique en administration chronique).

En ce qui concerne le nourrisson, une exposition fœtale par traitement au lithium de la femme enceinte peut être associée à des effets secondaires. Ils incluent des malformations cardiaques, un dysfonctionnement rénal (à la naissance, les reins sont particulièrement sensibles au lithium), un hypothyroïdisme et des complications neuromusculaires et du système central. En effet, le lithium peut franchir la barrière placentaire et passer dans le lait maternel (Newport et al. 2005, Viguera et al. 2007, Harari et al. 2012, Grandjean and Aubry 2009).

Cependant ces données ont généralement été obtenues dans le cadre d'un traitement médical. De plus, l'indispensabilité de cet élément n'ayant pas été démontrée, les organismes internationaux n'ont pas proposé de valeurs de référence pour le lithium. Par conséquent, aucune référence nutritionnelle ni LSS n'est retenue pour le lithium.

Teneur

La LOD s'élève à $1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et la LOQ à $2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la LOQ est de $1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Le taux de détection global du lithium est de 97% (hors eau du robinet). Il est de 100% dans toutes les matrices, excepté pour les sucres et dérivés et les pots de fruits (77%).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les pâtes avec $45 \mu\text{g.kg}^{-1}$, puis dans les légumes avec $40 \mu\text{g.kg}^{-1}$, et le riz et blé dur ou concassé avec $36,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (Tableau C1).

Les analyses effectuées couvrent 94% du régime total et 92% du régime théoriquement contributeur.

Apports (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse haute (UB). L'apport moyen journalier de lithium est compris entre $6,69 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $8,72 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $2,66$ et $4,26 \mu\text{g.j}^{-1}$ (Tableau E2). Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre $16,3$ et $20,5 \mu\text{g.j}^{-1}$ (Tableau E3). On observe que 2 enfants de la classe des 1-4 mois et des 7-12 mois ont un apport en lithium supérieur à la moyenne de leur classe d'âge (respectivement 77 et $85 \mu\text{g.j}^{-1}$). Il s'agit d'enfants qui ont consommé pendant les 3 jours d'enquête une quantité très importante de préparations infantiles 1^{er} ou 2^{ème} âge présentant des valeurs de concentrations élevées.

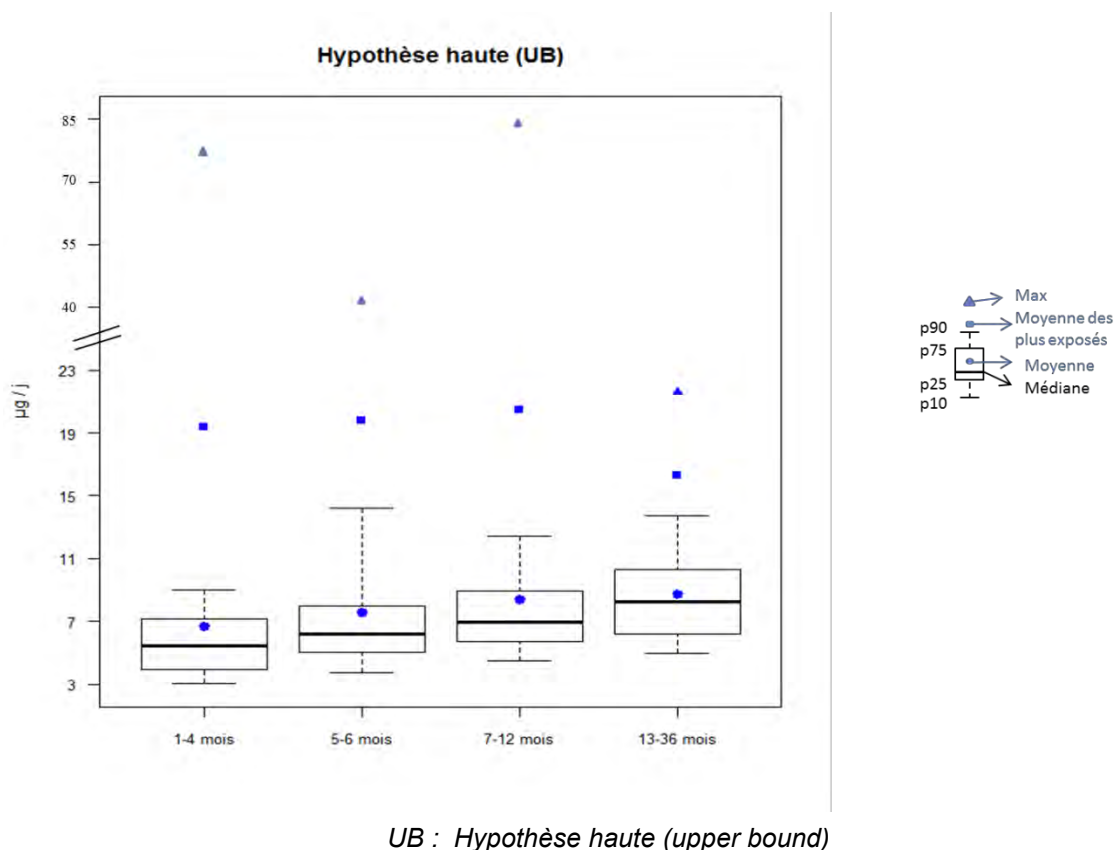


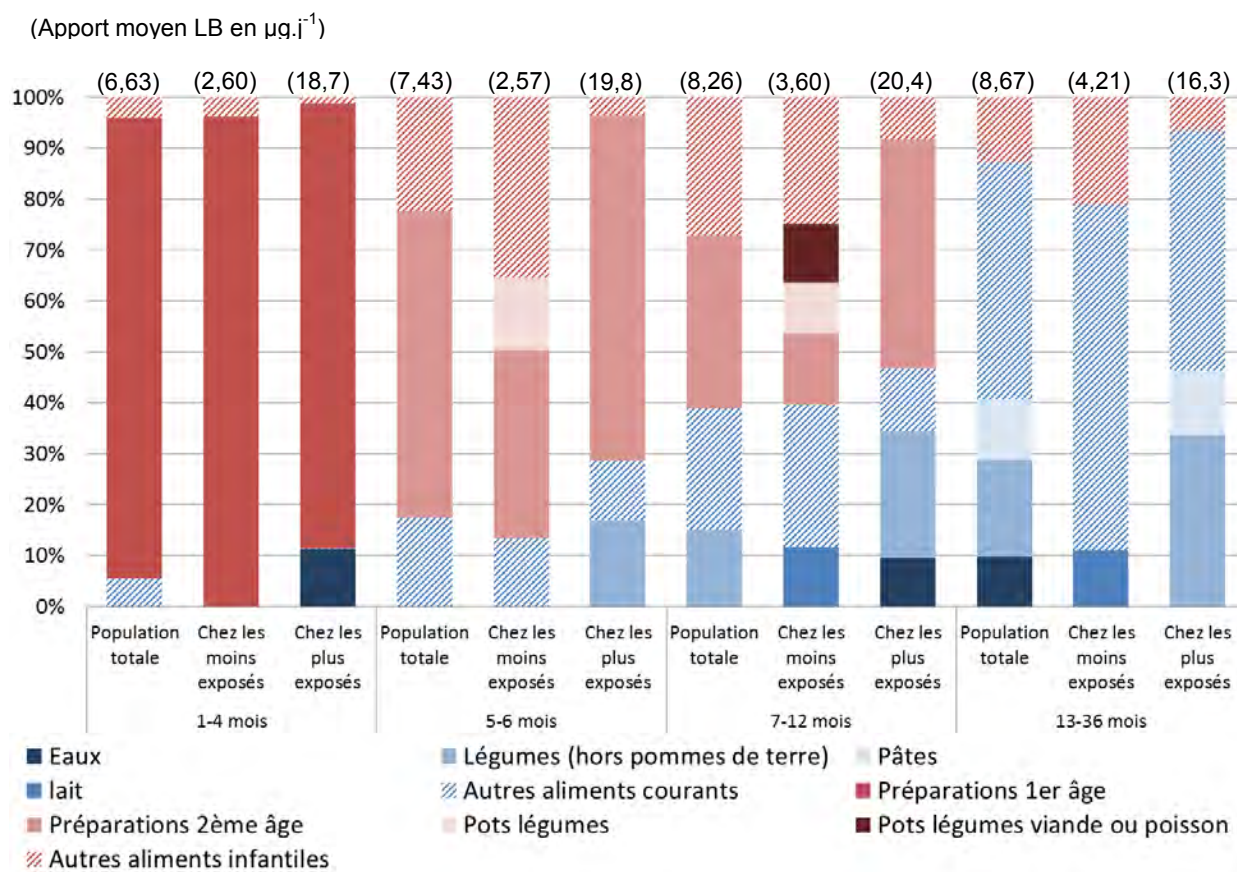
Figure 1 : Apports en lithium des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2) :

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport en lithium, avec 93% des apports chez les 1-4 mois, 67% des apports chez les 5-6 mois, et 36% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E4). L'eau de ces préparations contribue à l'apport à hauteur de 26 à 66%. A partir de 7 mois, les légumes hors pommes de terre représentent 15% puis 19% des apports. Chez les 13-36 mois, le lithium est également apporté par les pâtes (12%) et l'eau de boisson (10%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), les préparations 1^{er} et 2^e âge restent des contributeurs majeurs à l'apport en lithium (14 à 98%), avec une part importante de l'eau de ces préparations (jusque 71%). Chez les 5-6 mois, les pots de légumes contribuent aussi à l'apport (14%), de même que les pots légumes viande ou légumes poisson chez les 7-12 mois (12%). Parmi les aliments courants, seul le lait contribue de façon majeure à l'apport : 12% chez les 7-12 mois et 11% chez les 13-36 mois.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont globalement les mêmes qu'en population générale. Les légumes (courants) sont également contributeurs majeurs dès 5-6 mois (17, 25 puis 34%).



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en lithium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Le niveau d'apport moyen en lithium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 16,25 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$, avec un P5 à 7,72 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ et un P95 à 28,47 $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a), ce qui est supérieur aux apports des moins de 3 ans.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de trois ans, aucune référence nutritionnelle ni LSS n'ayant été retenue pour le lithium, aucune prévalence d'inadéquation d'apport ne peut être calculée. Il est impossible de conclure quant au risque lié à un éventuel excès ou à une éventuelle insuffisance d'apport en lithium.

Il conviendrait de mener des études afin de vérifier le caractère essentiel du lithium et de déterminer, le cas échéant, des références nutritionnelles et une LSS.

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en lithium ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ PF)

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	2,88	3,13
Infantile	Céréales infantiles	17	100	1,93	1,93
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	4,83	4,83
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	4,75	4,75
Infantile	Laits de croissance	9	100	4,44	4,56
Infantile	Potages, purées	11	100	10,3	10,3
Infantile	Pots fruits	30	76,7	1,97	2,5
Infantile	Pots légumes	27	100	7,89	7,93
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	9,38	9,4
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	7,61	7,61
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	6,76	6,91
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,287	0,287
Courant	Beurre	1	100	3	3
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	6	6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	6,83	6,83
Courant	Charcuterie	2	100	6	6
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	4	4
Courant	Eaux*	20	96,9	9,75	9,84
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	5,5	5,5
Courant	Fromages	1	100	9	9
Courant	Fruits	6	100	8,5	8,83
Courant	Lait	3	100	4,33	4,33
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	40	40
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	8	8
Courant	Pain et panification sèche	2	100	17	17
Courant	Poissons	3	100	23	23
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	18,3	18,3
Courant	Pâtes	1	100	45	45
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	36,5	36,5
Courant	Soupes et bouillons	1	100	8	8
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	1
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	3,4	3,4
Courant	Viande	2	100	5	5
Courant	Viennoiserie	2	100	4,5	4,5
Courant	Volaille et gibier	2	100	1	2

*Données de l'étude EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)

Tableau E1 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P10		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	6,63	6,69	5,46	5,46	2,99	3,04	8,88	8,98
5-6 mois	7,43	7,55	6,18	6,20	3,30	3,73	14,1	14,2
7-12 mois	8,26	8,37	6,85	6,92	4,40	4,49	12,4	12,4
13-36 mois	8,67	8,72	8,20	8,24	4,95	4,98	13,6	13,7

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	2,60	2,66	2,86	2,88
5-6 mois	2,57	2,95	2,95	3,10
7-12 mois	3,60	3,81	3,59	4,08
13-36 mois	4,21	4,26	4,39	4,47

LB : Hypothèse basse (lower bound) ; UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Estimation de l'apport en lithium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	18,7	19,4	11,2	11,3
5-6 mois	19,8	19,8	19,2	19,3
7-12 mois	20,4	20,5	16,2	16,2
13-36 mois	16,3	16,3	15,9	16,0

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	0,2	0,3	1	1,2	0,8	1	0,2	0,3
Infantile	Céréales infantiles	0,7	0,7	1,4	1,4	1,3	1,3	0,7	0,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,1	1,7	1,7	2,4	2,3	0,4	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0,3	0,3	0,7	0,7	0,3	0,3
Infantile	dont eau	0	0	0,1	0,1	0,6	0,5	0,2	0,2
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	2,5	2,5	4,3	4,3
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0,4	0,4	.	.
Infantile	Potages, purées	0,4	0,4	2,3	2,3	3,6	3,6	2	2
Infantile	Pots fruits	0,1	0,2	1,5	1,8	1,5	2	0,4	0,5
Infantile	Pots légumes	0,4	0,4	4,5	4,4	3,7	3,6	1,2	1,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	3,3	3,3	8,7	8,6	2,8	2,8
Infantile	Préparations 1er âge	90,4	90,4	6,3	6,4	2	1,9	.	.
Infantile	dont eau	64,7	65,4	4,3	4,4	0,9	0,9	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,2	2,2	60,2	60	34	34	0,4	0,5
Infantile	dont eau	1,4	1,4	43,9	43,6	24,8	24,5	0,2	0,2
Total aliments infantiles		94,6	94,6	82,6	82,8	61,2	61,6	12,7	13
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0	0	0,3	0,3
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,3	0,3	4,3	4,3
Courant	dont eau	.	.	.	.	0,1	0,1	1,3	1,3
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0,1	0,1	0,5	0,4
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0	0	0,4	0,4	1,2	1,1
Courant	Eaux	3,8	3,8	2,6	2,6	6,8	6,7	9,8	9,7
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,1	0,1	0,2	0,2	1,4	1,4
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,2	0,2	0,4	0,4
Courant	Fruits	.	.	0,1	0,2	0,4	0,5	2,9	3,1
Courant	Lait	1,2	1,2	2,1	2,1	2,5	2,5	8	7,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,3	0,3	7,8	7,7	15	14,8	19	18,9
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,3	0,3	1,6	1,6
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,7	0,7
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	1,6	1,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	0,1	2,7	2,6	5,7	5,6	8,4	8,3
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1,9	1,8	11,7	11,6
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	0,7	0,7	5,7	5,7
Courant	Soupes et bouillons	.	.	1,3	1,3	1,3	1,3	4,3	4,3
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	0	0,7	0,7	2,3	2,3	4	4
Courant	Viande	.	.	0	0	0,1	0,1	0,6	0,6
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	0,3	0,3
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Total aliments courants		5,4	5,4	17,4	17,2	38,8	38,4	87,3	87

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,7	1,9	2	6,2	3,2	3,9	0,2	0,3
Infantile	Céréales infantiles	0,3	0,3	4,4	4,3	3,8	2,9	1,3	1,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	.	5	5,2	2,6	2,4	1,4	1,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0,5	0,6	1,4	1,3	0,1	0,1
Infantile	dont eau	.	.	.	0,2	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	3,2	3	7,1	7
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	4,2	3,7	8,5	5,6	2	2
Infantile	Pots fruits	.	.	2,6	2,9	2,1	2,6	0,5	0,9
Infantile	Pots légumes	.	.	14,2	13,7	10	8	3,2	3,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	8,3	8,5	11,6	12,2	5,4	5,3
Infantile	Préparations 1er âge	96,1	96	8,5	.	0	0	.	.
Infantile	dont eau	70,7	81,9	2,9	.	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	1,6	1,7	36,9	40,1	13,7	20,4	.	.
Infantile	dont eau	.	.	15,6	21	3,8	9,5	.	.
Total aliments infantiles		99,9	99,9	86,5	85,3	60,2	62,2	21,1	21,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	0	0	0,4	0,4
Courant	Beurre	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	.	.	1,1	1,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,8	0,7	4,1	4
Courant	dont eau	.	.	.	.	0,5	0,4	.	.
Courant	Charcuterie	.	.	.	.	.	.	1	1
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	.	.	0,9	0,8	1,3	1,3
Courant	Eaux	.	.	4	3,9	8,2	7,3	8,9	8,8
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	0,6	0,6	0,7	0,7
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,1	0,1	1	0,9
Courant	Fruits	.	.	.	0,5	0,1	0,2	3,3	3,8
Courant	Lait	.	.	6,8	5,9	11,6	10,6	11	10,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	.	.	4,3	3,9	8,3	8,2
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	.	.	0,2	0,2
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,2	0,7	2,9	2,9
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	1,7	1,7
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,8	0,7	0,6	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	.	1,4	3,1	2,9	8,2	8,1
Courant	Pâtes	.	.	.	.	2,3	2,5	8,3	8,2
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	.	.	5,3	5,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	.	0,5	0,5	1,9	1,8
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	2,6	2,9	6,2	6,1	6,7	6,7
Courant	Viande	.	.	.	.	0,1	0,1	1,3	1,3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0,1	0,1	0,6	0,6
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	.	0,1	0,1	0,1	0,2
Total aliments courants		0,1	0,1	13,5	14,7	39,8	37,8	78,9	78,7

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en lithium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	.	.	0,1	0,1	0,3	0,5	0,2	0,2
Infantile	Céréales infantiles	0,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	.	0,7	0,7	1	1	0,3	0,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0,1	0,1	1,8	1,8	0,1	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	1,7	1,7	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,2	0,2	3,4	3,4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Infantile	Pots fruits	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	0,4	0,4
Infantile	Pots légumes	.	.	0,9	1	0,9	0,9	0,2	0,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	0,2	0,2	0,9	0,9	0,8	0,8
Infantile	Préparations 1er âge	87,4	87,4	.	.	1,5	1,4	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	71,5	71,4	.	.	0,5	0,5	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	1,1	1,1	67,9	67,7	44,9	44,7	0,5	0,5
Infantile	<i>dont eau</i>	1,1	1,1	61,1	61	40,4	40,2	0,4	0,4
Total aliments infantiles		88,7	88,7	71,4	71,5	53,2	53,3	6,5	6,6
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0	0	0,4	0,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,1	3,9	3,9
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	2,6	2,6
Courant	Charcuterie	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,4	0,4
Courant	Eaux	11,2	11,2	4	4	9,5	9,4	9,2	9,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélatifiés	.	.	.	.	.	.	0,5	0,5
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,1	0,1	0,5	0,5
Courant	Fruits	.	.	0	0,1	0,4	0,4	2,9	3
Courant	Lait	.	.	1,6	1,6	0,5	0,5	5	5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	17	16,9	24,8	24,7	33,6	33,5
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,2	0,2	0,9	0,9
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0	0
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	1,3	1,3
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	3,8	3,8	4,8	4,8	7,6	7,6
Courant	Pâtes	.	.	.	.	3	3	12,8	12,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,3	1,3	5,1	5
Courant	Soupes et bouillons	.	.	1,9	1,9	0,7	0,7	6,5	6,5
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	0,1	0,1	0,6	0,6	2	2
Courant	Viande	.	.	.	.	0,1	0,1	0,4	0,4
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0,1	0,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Total aliments courants		11,3	11,3	28,6	28,5	46,8	46,7	93,5	93,4

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.4 Magnésium

Le corps humain, à l'âge adulte, contient environ 25 g de magnésium (Mg) dont environ 50 à 60 % sont localisés dans les os et 25 % dans les muscles. Le magnésium extracellulaire ne représente que 1 % du magnésium corporel. Il est le quatrième cation le plus abondant dans l'organisme et le cation intracellulaire le plus abondant après le potassium. Ce minéral intervient dans plus de 300 systèmes enzymatiques. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques et fonctions physiologiques telles que la production d'énergie (glycolyse et ATP), la synthèse d'acides nucléiques et des protéines, la stabilité des membranes cellulaires, des protéines et des acides nucléiques, le transport ionique, la régulation de flux calciques, de nombreuses voies de signalisation cellulaire et la migration cellulaire. De ce fait le déficit en cet élément ubiquitaire peut avoir de nombreuses conséquences pathologiques. Dans les conditions physiologiques, 30 à 50% du magnésium alimentaire sont absorbés. Le rein est le principal organe impliqué dans l'homéostasie du magnésium (filtration-réabsorption rénale). En cas de carence prolongée, le magnésium échangeable tissulaire, en particulier du compartiment osseux, contribue au maintien de la magnésémie (0,75 à 0,96 mmol.L⁻¹, (EFSA 2015e).

Caractérisation du danger

Les carences sévères en relation avec l'alimentation sont rares. Cependant, l'alimentation occidentale, appauvrie en magnésium, est à l'origine du risque de carence marginale chronique. Le diagnostic des carences modérées en magnésium est difficile à établir. A la fatigue, l'hyperémotivité et l'anxiété s'ajoutent des dysfonctionnements physiologiques au niveau de nombreuses fonctions impliquant le magnésium, dont les principaux sont des risques de troubles neuromusculaires (crampes, tétanie, crises de spasmodophilie) et des perturbations métaboliques pouvant contribuer au développement du syndrome métabolique, de dyslipidémies et du diabète de type 2 (de Baaij, Hoenderop, and Bindels 2015). Plusieurs études épidémiologiques (Del Gobbo, Imamura et al. 2013, Nielsen 2014, (Moore-Schiltz et al. 2015) soulignent l'existence de relations entre l'apport ou le statut en magnésium faible et certaines pathologies chroniques (cardiovasculaires, inflammatoires, diabète de type 2). Toutefois, les liens directs entre les apports en magnésium et ces pathologies restent à préciser. Une déficience sévère est associée à une hypocalcémie, une hypokaliémie, une rétention sodée, une parathormonémie diminuée, ainsi que des symptômes neurologiques et musculaires (hyperexcitabilité neuromusculaire), une perte de l'appétit, des nausées et vomissements et des troubles de la personnalité. D'autres risques tels qu'hypotension sévère, léthargie, confusion et troubles du rythme cardiaque ont été identifiés.

L'EFSA (EFSA 2013c) a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de 25 mg.j⁻¹ pour les nourrissons de 0 à 6 mois. Par ailleurs, dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du magnésium (EFSA 2015e), l'EFSA propose également les AS suivants : 80 mg.j⁻¹ pour les 7-11 mois et 170 mg.j⁻¹ pour les 1-3 ans. Ces références nutritionnelles sont retenues pour la présente étude.

Une DSENO a été définie pour le magnésium sur la base d'études toxicologiques sans prendre en compte les apports alimentaires, ce qui n'a pas été considéré comme suffisant pour le SCF pour fixer une LSS (SCF 2006). L'IOM (IOM 1997) a quant à lui proposé une valeur maximale d'apport supplémentaire pour les 1 à 3 ans de 65 mg.j⁻¹. L'Afssa en 2001 (AFSSA 2001) a retenu les effets relatifs à l'accélération du transit intestinal (diarrhée), et les risques d'insuffisance rénale pour proposer une limite supérieure de sécurité (LSS) de 700 mg.j⁻¹ chez l'adulte, soit le BNM auquel est ajouté un apport supplémentaire de 350 mg.j⁻¹ (Rayssiguier, Boirie, and Durlach 2001).

En raison du manque de données chez l'enfant de moins de trois ans, aucune LSS ne peut être retenue.

Teneur

La LOD s'élève à $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Le taux de détection global du magnésium est de 100% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les biscuits sucrés ou salés et barres avec 444 mg.kg^{-1} , puis dans les volailles et gibiers avec 289 mg.kg^{-1} , les entremets, crèmes desserts et laits gélifiés avec 267 mg.kg^{-1} , et les poissons avec 263 mg.kg^{-1} (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apports (Figure 1)

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sont égaux sous les hypothèses LB et UB.

L'apport moyen journalier de magnésium est compris entre $66,6 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $108,0 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Le P10 se situe entre $40,3$ et $71,5 \text{ mg.j}^{-1}$ et le P90 entre $95,0$ et 147 mg.j^{-1} , selon la classe d'âge.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $36,7$ et $65,4 \text{ mg.j}^{-1}$.

Chez les enfants ayant les apports les plus forts (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 113 et 169 mg.j^{-1} .

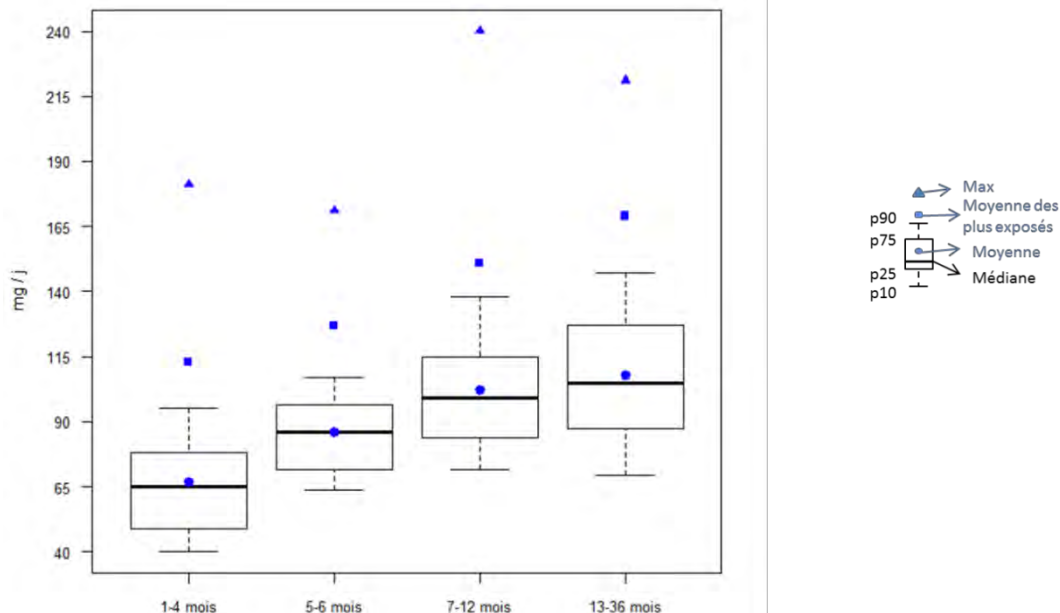


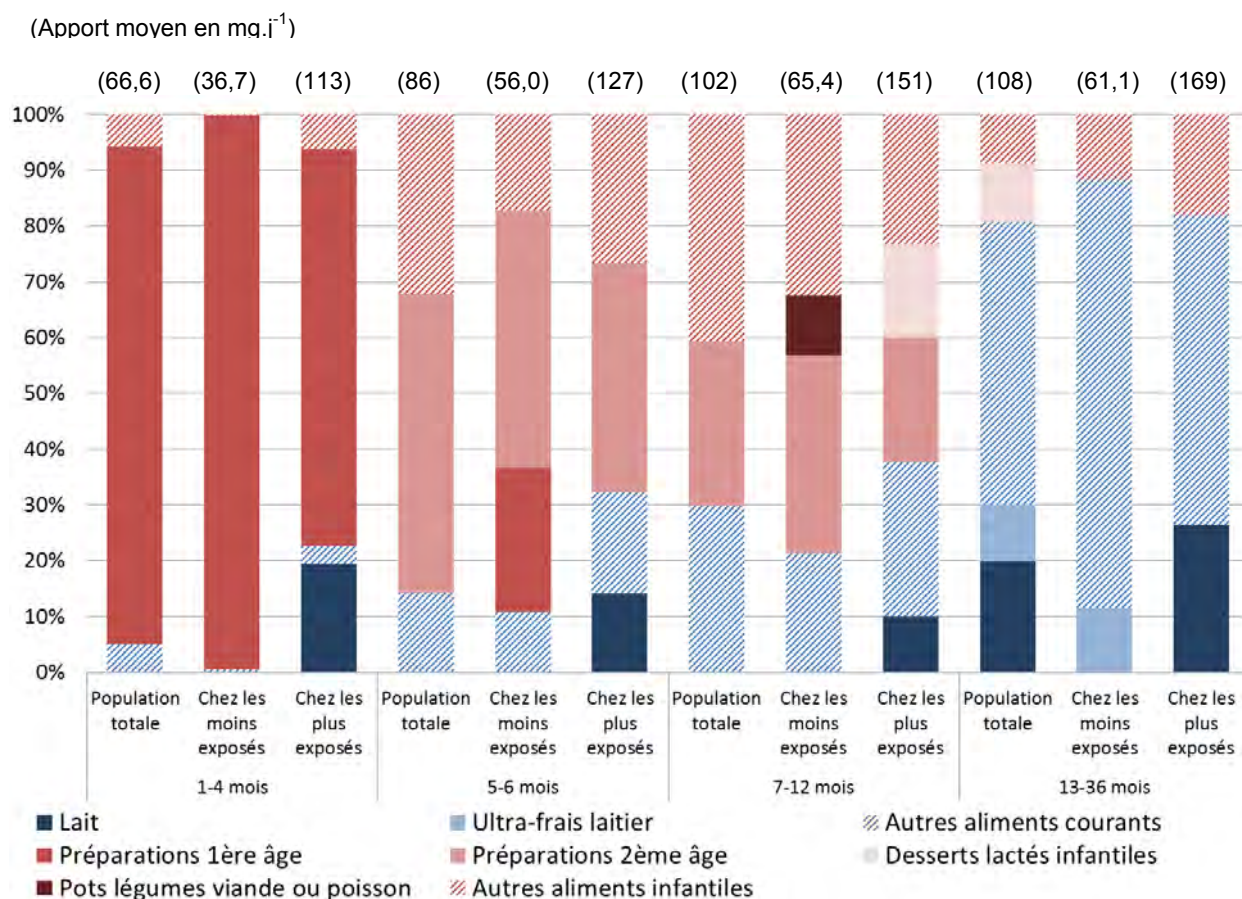
Figure 1 : Apports en magnésium des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majoritaire à l'apport en magnésium, avec 91% des apports chez les 1-4 mois, 60% des apports chez les 5-6 mois, et 31% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E4). L'eau de ces préparations contribue à l'apport à hauteur de 5 à 16%. Entre 7 et 12 mois, les desserts lactés infantiles représentent 11% des apports. Chez les 13-36 mois, le magnésium est principalement apporté par l'alimentation courante (81%), en particulier le lait courant (20%) et les produits ultra-frais laitiers (10%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles, les contributeurs majeurs restent globalement inchangés, avec une part plus élevée des aliments infantiles, en particulier des préparations 1^{er} et 2^{ème} âge, chez les moins d'un an (Tableau E5). Chez les 7-12 mois, les pots légumes-viande ou légumes-poisson contribuent également à l'apport en magnésium (11%).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés, la part de contribution des aliments infantiles chez les moins d'un an, en particulier des préparations 1^{er} et 2^{ème} âge, est légèrement plus basse, mais le lait courant devient contributeur majeur plus tôt : 19% chez les 1-4 mois, puis 14% chez les 5-6 mois, 10% chez les 7-12 mois et 26% chez les 13-36 mois (Tableau E6).



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en magnésium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Selon le rapport de l'EFSA (EFSA 2014f), l'apport moyen en magnésium des enfants de moins de 6 mois nourris avec des préparations infantiles se situe entre 43 et 70 mg.j⁻¹, et celui des enfants de 6 à 12 mois entre 75 et 140 mg.j⁻¹. Les résultats obtenus dans la présente étude montrent des apports moyens du même ordre de grandeur.

Le niveau d'apport moyen en magnésium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 192 mg.j⁻¹ avec un P5 à 124 mg.j⁻¹ et un P95 à 272 mg.j⁻¹ (Anses 2011a), ce qui est supérieur d'un facteur 2 environ aux apports des 13-36 mois de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 12 mois, les apports moyens sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en magnésium est donc globalement satisfaisante dans cette classe d'âge.

Chez les enfants âgés de 13 à 36 mois, les apports moyens en magnésium sont inférieurs à l'AS. Il n'est donc pas possible de savoir si et dans quelle mesure le besoin est couvert.

En l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport en magnésium. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour le magnésium.

Synthèse des résultats d'apports en magnésium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile
	<i>En mg.j⁻¹</i>			
1-4 mois	25	66,6	40,3	95,0
5-6 mois	25	85,9	63,8	107
7-12 mois	80	102	71,5	138
13-36 mois	170	108	69,5	147

AS : Apports satisfaisants

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en magnésium (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	76
Infantile	Céréales infantiles	17	100	59,7
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	210
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	46,7
Infantile	Laits de croissance	9	100	81,2
Infantile	Potages, purées	11	100	75
Infantile	Pots fruits	30	100	75
Infantile	Pots légumes	27	100	107
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	104
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	90,4
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	89,8
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	58,8
Courant	Beurre	1	100	19,6
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	444
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	51,1
Courant	Charcuterie	2	100	148
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	53
Courant	Eaux*	221	99,5	21
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	267
Courant	Fromages	1	100	159
Courant	Fruits	6	100	119
Courant	Lait	3	100	98,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	155
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	121
Courant	Pain et panification sèche	2	100	217
Courant	Poissons	3	100	263
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	172
Courant	Pâtes	1	100	182
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	148
Courant	Soupes et bouillons	1	100	61,5
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	101
Courant	Viande	2	100	232
Courant	Viennoiserie	2	100	210
Courant	Volaille et gibier	2	100	289

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	67	65	40	95
5-6 mois	86	86	64	107
7-12 mois	102	99	72	138
13-36 mois	108	105	70	147

Tableau E2 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	37	38
5-6 mois	53	56
7-12 mois	65	66
13-36 mois	61	65

Tableau E3 : Estimation de l'apport en magnésium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	113	106
5-6 mois	127	120
7-12 mois	151	143
13-36 mois	169	165

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	0,7	2,9	2,8	0,9
Infantile	Céréales infantiles	1,3	2,7	3	2,1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,4	5,7	10,5	1,7
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,2	0,3	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0,1	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	4,1	7,7
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0,1	.
Infantile	Potages, purées	0,2	1	1,6	0,9
Infantile	Pots fruits	0,5	4,6	4,9	1,3
Infantile	Pots légumes	0,6	5,4	4,1	1,3
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	3,2	8,2	2,5
Infantile	Préparations 1er âge	89,2	6,3	1,3	.
Infantile	<i>dont eau</i>	16,2	0,9	0,1	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,1	53,7	29,4	0,9
Infantile	<i>dont eau</i>	0,2	9,9	5	0,1
Total aliments infantiles		95	85,8	70,2	19,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,6	4,3
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,4	2,9
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,2	2,1
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0,2
Courant	Charcuterie	0	0,1	0,4	1,5
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	0,5	1,2
Courant	Eaux	0,8	0,6	1,4	2,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,6	3,4
Courant	Fromages	.	0	0,2	0,6
Courant	Fruits	.	0,5	0,7	4,5
Courant	Lait	3,9	5,9	6,8	19,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	2,8	5,1	6,7
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,3	1,6
Courant	Plats composés	.	.	0,1	0,7
Courant	Poissons	.	.	0,2	1,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	1,5	3,1	5,4
Courant	Pâtes	.	.	0,6	3,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,3	1,4
Courant	Soupes et bouillons	.	0,5	0,5	1,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	1,9	6,4	10,3
Courant	Viande	.	0	0,6	2,4
Courant	Viennoiserie	.	.	0	0,9
Courant	Volaille et gibier	.	0,1	0,8	1,5
Total aliments courants		5	14,2	29,8	80,7

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	3,4	7,6	2,1
Infantile	Céréales infantiles	0,1	2,4	4,7	1,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	3,2	2,3	.
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	0,1	0,7	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	1,9	4,8
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	0,6	1	1,7
Infantile	Pots fruits	.	3,7	5,5	0,1
Infantile	Pots légumes	.	2,8	4	.
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	1	10,7	1,4
Infantile	Préparations 1er âge	99,4	25,9	4,7	.
Infantile	<i>dont eau</i>	11,8	3,5	0,5	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	46,2	35,7	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	6,9	3,8	.
Total aliments infantiles		99,5	89,3	78,8	11,6
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,1	0,2	2,8
Courant	Beurre	.	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	4,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	4
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	.	2,4
Courant	Compotes et fruits cuits	0,5	.	0,3	2,9
Courant	Eaux	0	0,4	0,6	3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,9	7,2
Courant	Fromages	.	.	.	0,9
Courant	Fruits	.	0,8	0,8	6,4
Courant	Lait	.	5,5	6,4	8,9
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	0,6	2	6,1
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,5
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	2,9
Courant	Plats composés	.	.	.	0,4
Courant	Poissons	.	.	0,7	0,9
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	2	2,3	8,3
Courant	Pâtes	.	.	.	5,7
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	2,5
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,2	0,5
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	1,4	5,5	11,5
Courant	Viande	.	.	0,3	3,5
Courant	Viennoiserie	.	.	0,1	1,3
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,8	1,2
Total aliments courants		0,5	10,7	21,2	88,4

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en magnésium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	1,5	1,4	6	1
Infantile	Céréales infantiles	3,7	3,5	2,4	2,9
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	7,1	16,7	4
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	0,3	0,2	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,2	2,2
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	2,5	1,2	0,8
Infantile	Pots fruits	0,9	3,2	3,6	1,4
Infantile	Pots légumes	.	2,4	3,6	1,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	5	6,1	3
Infantile	Préparations 1er âge	71,1	1,2	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	20,1	0,3	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	41,1	22,5	1,6
Infantile	<i>dont eau</i>	.	11	7,9	0,3
Total aliments infantiles		77,4	67,7	62,4	18
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,3	1,1	4,3
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	1	5,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,5	1,2
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0,2
Courant	Charcuterie	.	0,6	0,2	0,9
Courant	Compotes et fruits cuits	0,2	0,2	0,2	0,5
Courant	Eaux	3	1,2	2,4	1,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1,2	3,9
Courant	Fromages	.	.	0,1	0,4
Courant	Fruits	.	0,8	0,1	4,3
Courant	Lait	19,4	14,1	10	26,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	7,1	6,2	5,4
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,5	1,1
Courant	Plats composés	.	.	.	0,4
Courant	Poissons	.	.	0,2	1,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	4,8	4	4,8
Courant	Pâtes	.	.	1,5	3,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,7	0,4
Courant	Soupes et bouillons	.	1,5	0,6	4,1
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	0,9	4,9	7,9
Courant	Viande	.	0,3	0,8	1,9
Courant	Viennoiserie	.	.	.	1
Courant	Volaille et gibier	.	0,5	1,3	1,2
Total aliments courants		22,6	32,3	37,6	82

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.5 Manganèse

Le manganèse (Mn) est un oligoélément existant sous de nombreux états d'oxydation. Les formes Mn^{2+} et Mn^{3+} sont les formes biologiques les plus actives. Le manganèse est le composant ou l'activateur de nombreuses enzymes. Il est notamment impliqué dans les métabolismes glucidique (cofacteur d'enzyme comme la pyruvate carboxylase ou phosphoénolpyruvate carboxykinase, synthèse et sécrétion d'insuline) et lipidique (synthèse du cholestérol), la formation du cartilage et de l'os (glycosyltransférase), la cicatrisation (il est nécessaire à l'activation de la prolidase, une enzyme impliquée dans la régulation de la synthèse du collagène), mais également dans la synthèse du monoxyde d'azote (arginase) et la protection anti-oxydante (dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène par la Mn-superoxyde dismutase, principale enzyme mitochondriale antioxydante).

Chez l'adulte, l'absorption intestinale du manganèse est faible : moins de 5%. Quant à sa biodisponibilité, elle serait réduite par des nutriments tels que le fer, le calcium, les polyphénols et les fibres (AFSSA 2001).

Caractérisation du danger

Les effets de carences expérimentales en Mn ont été étudiés chez plusieurs espèces animales : rat, souris, lapin, poulet, ruminants. Les symptômes de carence sont : les altérations de la croissance, du squelette, de la fonction reproductrice, l'ataxie chez le nouveau-né, les altérations du métabolisme lipidique et glucidique.

Il y a peu de données substantielles sur la survenue et les effets de la carence en Mn chez l'Homme. Des conditions expérimentales de 39 jours d'un régime carencé en Mn ($0,11 \text{ mg.j}^{-1}$), ont montré chez des jeunes hommes une hypocholestérolémie, une dermatite ainsi qu'une augmentation de la calcémie et phosphatémie (Friedman et al. 1987).

En 2013, l'(Arnaud 2001)(Arnaud 2001)(Arnaud 2001)(Arnaud 2001)Efsa a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de $3 \mu\text{g.j}^{-1}$ pour les nourrissons de 0 à 6 mois sur la base de la teneur moyenne du lait maternel (EFSA 2013c). Dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du manganèse (EFSA 2013d), l'Efsa fixe un AS sous forme d'intervalle de $0,02$ à $0,5 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les nourrissons de 7 à 12 mois et de $0,5 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les enfants de 1 à 3 ans. Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

Malgré la faible absorption du manganèse, des données suggèrent une neurotoxicité pour des apports élevés (Greger 1998). Elle serait favorisée chez l'enfant par une carence martiale associée, en raison de l'action du fer sur l'absorption du Mn. Les enfants ayant une forte exposition au manganèse (via la consommation d'eau) présentent des performances intellectuelles altérées et une hyperactivité (Wasserman et al. 2006, Bouchard et al. 2007, Menezes-Filho et al. 2009). Toutefois, la relation entre l'exposition au manganèse et les effets observés est difficile à établir de façon certaine.

Le SCF a estimé qu'il n'était pas possible de fixer de LSS pour le manganèse, étant donné l'insuffisance de données chez l'animal et chez l'Homme (SCF 2006). Pour l'adulte, la France a fixé une LSS de 10 mg.j^{-1} (Arnaud 2001) et l'IOM a quant à lui fixé une LSS de 11 mg.j^{-1} (IOM 2001) sur la base de concentrations sanguines en manganèse élevées et d'effets neurotoxiques. Par extrapolation de cette valeur, l'IOM a fixé une LSS à 2 mg.j^{-1} chez le jeune enfant de 1 à 3 ans, non extrapolable aux nourrissons de 0 à 12 mois. La LSS de 2 mg.j^{-1} est donc retenue pour les 1-3 ans.

Teneur

La LOD s'élève à $0,0025 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,005 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour toutes les matrices. Le taux de détection global du manganèse est de 96% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les biscuits sucrés ou salés et barres avec $6,26 \text{ mg.kg}^{-1}$, puis dans le pain et les produits de panification sèche avec $5,17 \text{ mg.kg}^{-1}$, et les viennoiseries avec $3,64 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apport (Figure 1) :

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sont égaux sous les hypothèses LB et UB.

L'apport moyen journalier de manganèse est compris entre $0,126 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $0,653 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $0,040$ et $0,298 \text{ mg.j}^{-1}$ (Tableau E2). Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre $0,348$ et $1,26 \text{ mg.j}^{-1}$ (Tableau E3). Chez les 13-36 mois, on note un enfant dont l'exposition excessive (au-dessus de la LSS) s'explique par une consommation élevée, sur les 3 jours d'enquête, de biscuits (240 g.j^{-1}), dont la concentration est la plus élevée.

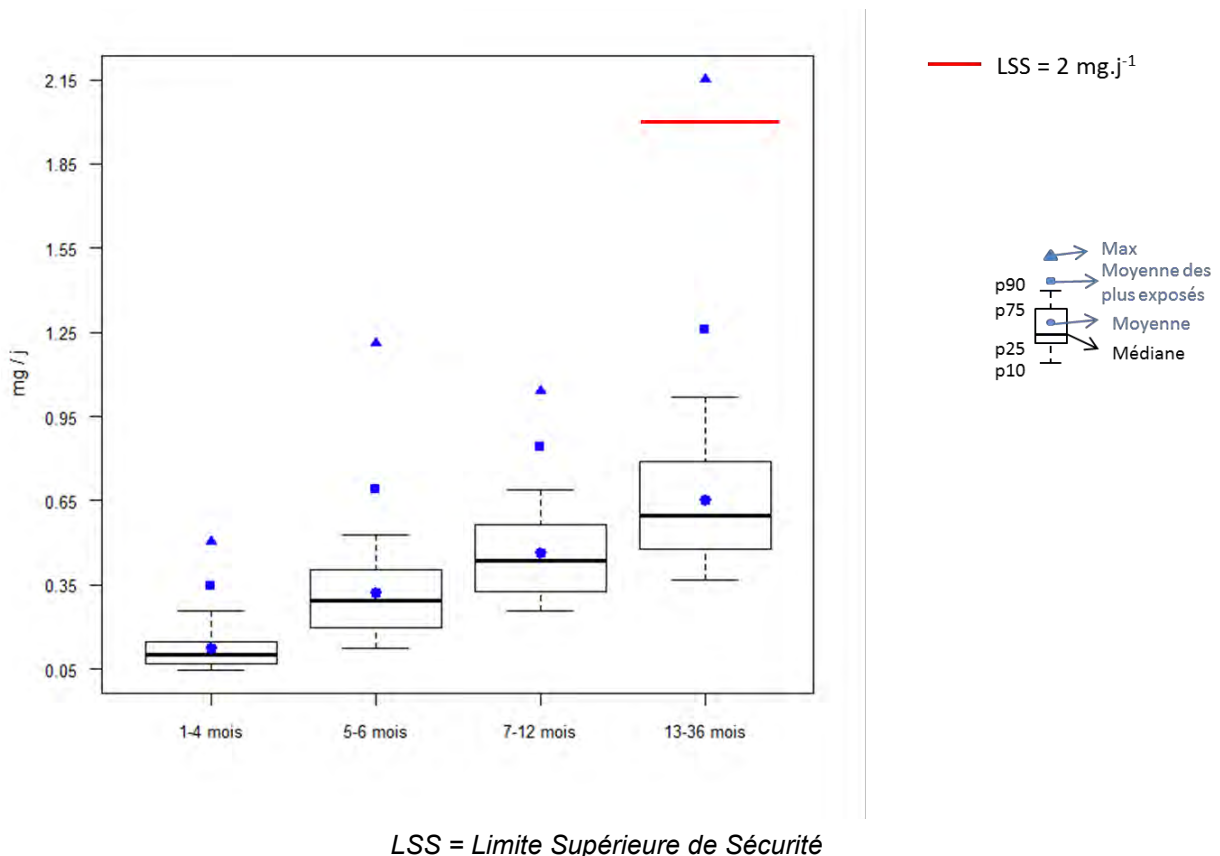


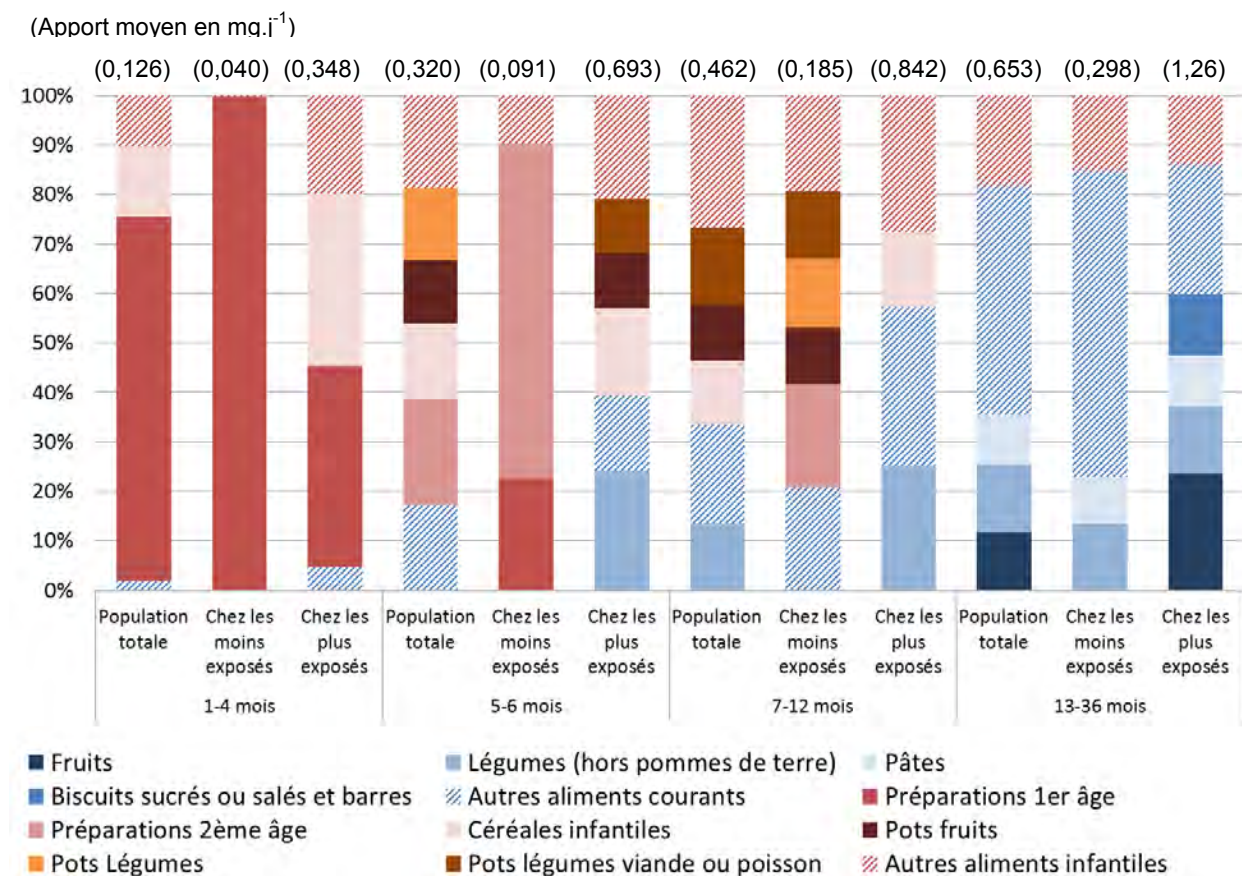
Figure 1 : Apports en manganèse des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Chez les 1-4 mois, les préparations 1^{er} âge contribuent de façon majeure à l'apport de manganèse (74%), ainsi que les céréales infantiles (14%) (Tableau E4). Chez les 5-6 mois, les contributeurs majeurs sont les préparations 2^{ème} âge (21%) et les céréales infantiles (15%). Chez les 7-12 mois, les contributeurs majeurs sont les pots légumes-viande ou légumes-poisson (16%), les céréales infantiles et les légumes hors pomme de terre (13% chacun), et les pots de fruits (11%). Enfin, chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs sont des aliments courants : légumes hors pomme de terre (14%), fruits (12%), et pâtes (10%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), la contribution des préparations 1^{er} et 2^{ème} âge à l'apport de manganèse est plus élevée, et ce jusqu'à 6 mois (entre 79 et 100%). Chez les 7-12 mois, les pots (fruits, légumes, légumes viande et légumes poisson) contribuent à l'apport à hauteur de 39%. Chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs sont aussi des aliments courants : les légumes hors pomme de terre et pâtes.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), les contributeurs majeurs sont globalement les mêmes qu'en population générale, avec une part de l'alimentation courante plus élevée dès 5-6 mois.



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en manganèse des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

L'EFSA rapporte des niveaux d'apport en manganèse d'environ 0,030 mg.j⁻¹ chez les enfants de moins de 6 mois nourris au lait maternel ou avec des préparations infantiles, et d'environ 0,5 mg.j⁻¹ de 7 à 12 mois (EFSA 2014f), ce qui est inférieur aux apports estimés pour les 1-6 mois dans la présente étude, mais du même ordre de grandeur pour les 7-12 mois.

Le niveau d'apport moyen en manganèse des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 1,128 mg.j⁻¹, avec un P5 à 0,591 mg.j⁻¹ et un P95 à 1,820 mg.j⁻¹ (Anses 2011a), ce qui est supérieur aux apports des moins de 3 ans.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 3 ans, quelles que soient les classes d'âge considérées, les apports moyens en manganèse sont supérieurs ou se situent dans l'intervalle de l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en manganèse est donc globalement satisfaisante.

En l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport en manganèse chez les enfants de moins d'un an. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour cette classe d'âge.

Chez les enfants de plus d'un an, il existe des dépassements de la LSS, mais il est difficile d'estimer la proportion de dépassement compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Un risque lié à l'apport excessif de manganèse ne peut donc pas être exclu chez les enfants âgés de 1 à 3 ans.

Synthèse des résultats d'apports en manganèse des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	LSS	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile	% de dépassement de la LSS en UB
	En mg.j ⁻¹					
1-4 mois	0,003	-	0,126	0,048	0,259	-
5-6 mois	0,003	-	0,320	0,124	0,528	-
7-12 mois	0,02 à 0,5	-	0,462	0,258	0,689	-
13-36 mois	0,5	2	0,653	0,367	1,020	NC*

*non calculé en raison du faible effectif

AS : Apports satisfaisants

LSS : Limite supérieure de sécurité

UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en manganèse (mg kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur**
Infantile	Boissons lactées	8	100	0,388
Infantile	Céréales infantiles	17	100	0,919
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	0,16
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	0,593
Infantile	Laits de croissance	9	100	0,143
Infantile	Potages, purées	11	100	0,565
Infantile	Pots fruits	30	100	0,842
Infantile	Pots légumes	27	100	1,05
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	0,903
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	0,16
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	0,128
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,437
Courant	Beurre	1	100	0,009
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	6,26
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	0,348
Courant	Charcuterie	2	100	0,126
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	0,639
Courant	Eaux*	221	8,47	0,001-0,005**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	1,74
Courant	Fromages	1	100	0,145
Courant	Fruits	6	100	1,46
Courant	Lait	3	100	0,022
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	1,76
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	0,293
Courant	Pain et panification sèche	2	100	5,17
Courant	Poissons	3	100	0,685
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	0,973
Courant	Pâtes	1	100	2,93
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	2,4
Courant	Soupes et bouillons	1	100	0,477
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,011
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	0,118
Courant	Viande	2	100	0,156
Courant	Viennoiserie	2	100	3,64
Courant	Volaille et gibier	2	100	0,124

* Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB : LB : Hypothèse basse (lower bound) – UB : Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	0,126	0,100	0,048	0,259
5-6 mois	0,320	0,296	0,124	0,528
7-12 mois	0,462	0,436	0,258	0,688
13-36 mois	0,653	0,596	0,367	1,02

Tableau E2 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	0,040	0,043
5-6 mois	0,091	0,095
7-12 mois	0,185	0,201
13-36 mois	0,298	0,307

Tableau E3 : Estimation de l'apport en manganèse des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	0,348	0,330
5-6 mois	0,693	0,621
7-12 mois	0,842	0,832
13-36 mois	1,26	1,18

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Type	Catégorie				
Infantile	Boissons lactées	1,5	3,5	3	0,7
Infantile	Céréales infantiles	14,4	15,4	13	5,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	1,4	1,5	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,3	0,4	0,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	1	2,6
Infantile	dont eau	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	0,9	2,1	2,8	1,1
Infantile	Pots fruits	2,6	12,7	11,2	2
Infantile	Pots légumes	3,3	14,8	8,3	2,1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	7,7	15,6	3,6
Infantile	Préparations 1er âge	73,6	3,7	1,4	.
Infantile	dont eau	0	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	1,6	21,3	8,5	0,2
Infantile	dont eau	0	0	0	0
Total aliments infantiles		98,2	82,8	66,5	18,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,1	1	5,3
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	1,4	6,8
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	1,4
Courant	dont eau	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	0	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	0,3	0,2	1,2	2,4
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,2	0,6	2,9
Courant	Fromages	.	0	0	0,1
Courant	Fruits	.	2,8	3	11,6
Courant	Lait	0,5	0,4	0,3	0,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,9	9	13,4	13,7
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	1,4	6,2
Courant	Plats composés	.	.	0,2	1,5
Courant	Poissons	.	.	0,2	1,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	2,3	3,9	5,1
Courant	Pâtes	.	.	2,2	10,1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	1	3,9
Courant	Soupes et bouillons	.	1,6	1,3	3,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,7	1,9	2
Courant	Viande	.	0	0,1	0,3
Courant	Viennoiserie	.	.	0,1	3
Courant	Volaille et gibier	.	0	0,1	0,1
Total aliments courants		1,8	17,2	33,5	81,8

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	.	1,6	2,7
Infantile	Céréales infantiles	.	0,9	7,6	3,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	0,4	1,9	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0,1	.
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	2,9	1,1
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	.	.	5,1	4,6
Infantile	Pots fruits	.	5,6	11,5	0,2
Infantile	Pots légumes	.	2,8	13,9	0,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	13,6	2,2
Infantile	Préparations 1er âge	99,9	22,6	0	.
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	0	0	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	0,1	67,6	20,9	.
<i>Infantile</i>	<i>dont eau</i>	.	0	0	.
Total aliments infantiles		100	100	79,3	15,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,4	9,4
Courant	Beurre	.	.	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	5,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	3,2
<i>Courant</i>	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	.	0	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,3	4
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1,5	7,2
Courant	Fromages	.	.	0	0,3
Courant	Fruits	.	.	.	4
Courant	Lait	.	.	1,8	2,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	4,8	13,4
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	4,4
Courant	Plats composés	.	.	.	2,4
Courant	Poissons	.	.	1,5	0,4
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	4,6	8,5
Courant	Pâtes	.	.	.	9,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	4,3
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,6	0,9
Courant	Sucres et dérivés	.	.	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	4	2,4
Courant	Viande	.	.	.	0,7
Courant	Viennoiserie	.	.	1,1	1,8
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,1	0,3
Total aliments courants		0	0	20,7	84,8

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en manganèse en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	3,7	1,9	2,8	0,7
Infantile	Céréales infantiles	34,9	17,5	15,1	5,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,6	0,5	0,7	0,1
Infantile	Jus de fruits infantiles	0,1	0,2	1,3	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,4	2,4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	1,3	2,8	0,2	0,4
Infantile	Pots fruits	3,4	11,2	4,8	1,8
Infantile	Pots légumes	7	7,9	3,8	0,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	10,9	8,4	1,9
Infantile	Préparations 1er âge	40,5	.	1,9	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	.	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	3,8	7,7	3,4	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0
Total aliments infantiles		95,3	60,5	42,8	13,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,4	.	3,3
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	2,8	12,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,1	0,6
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0,6	2,6	0,8
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	1,1	2
Courant	Fromages	.	.	0	0,1
Courant	Fruits	.	4,9	6,4	23,6
Courant	Lait	1	0,6	0,2	0,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	3,3	24	25,1	13,6
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	2,6	4,5
Courant	Plats composés	.	.	.	0,4
Courant	Poissons	.	.	0	0,8
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,4	5,5	4,2	3,5
Courant	Pâtes	.	.	4,4	10,3
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	2,4	2,1
Courant	Soupes et bouillons	.	2,9	4,1	4,6
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	0,5	0,9	1,1
Courant	Viande	.	0	0,1	0,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	1,7
Courant	Volaille et gibier	.	0	0,2	0,1
Total aliments courants		4,7	39,5	57,2	86,1

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.6 Molybdène

Le molybdène (Mo) est un minéral essentiel. Chez l'Homme, il est le cofacteur d'enzymes (molybdoenzymes) telles que la xanthine oxydase, la sulfite oxydase, l'aldéhyde oxydase et le composé mitochondrial réducteur de l'amidoxime (mARC). Ces enzymes interviennent dans le métabolisme des acides aminés soufrés et des purines.

Chez l'adulte, l'absorption du molybdène est d'environ 90 % (AFSSA 2001). Le molybdène franchit la barrière placentaire.

Caractérisation du danger

Une carence en molybdène peut apparaître chez des sujets en nutrition parentérale ou présentant une malabsorption (maladie de Crohn). Elle est associée à des concentrations plasmatiques élevées de méthionine et basses d'acide urique et à des concentrations urinaires élevées de xanthine et de sulfates (AFSSA 2001). Sur le plan clinique, les symptômes sont la tachycardie, la cécité nocturne et des troubles neurologiques.

La carence expérimentale chez les animaux conduit à une mortalité accrue, un retard de croissance et des troubles de la reproduction avec baisse du taux de conception et augmentation du taux d'avortements.

L'Efsa (EFSA 2013c) a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de $2 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ pour les nourrissons de 0 à 6 mois, sur la base de l'apport moyen par le lait maternel. Dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du molybdène (EFSA 2013b), l'Efsa fixe un AS dérivé de la valeur chez l'adulte ($65 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) de $10 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ pour les nourrissons de 7 à 12 mois et de $15 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ pour les enfants de 1 à 3 ans. Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

La toxicité du molybdène est faible. L'intoxication par le molybdène s'accompagne d'un large éventail de symptômes, certains pouvant être en relation avec une carence secondaire en cuivre. En effet, l'excès de molybdène augmente l'excrétion urinaire du cuivre et peut réduire son absorption intestinale.

L'exposition au molybdène peut conduire à l'augmentation de l'uricémie et de la concentration plasmatique en céruloplasmine (Vyskocil and Viau 1999, Walravens et al. 1979). L'intoxication aiguë par molybdène ($300\text{-}800 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) chez l'adulte a conduit à une psychose aiguë avec hallucinations visuelles et auditives, convulsions et d'autres symptômes neurologiques (Momcilović 1999). L'intoxication expérimentale aiguë au molybdène entraîne des altérations osseuses et articulaires (Ostrom, Van Reen, and Miller 1961, Pitt 1976).

L'Efsa (EFSA 2013c) reprend l'intervalle de sécurité fixé par le SCF en 2000 pour les enfants âgés d'un an et plus, à savoir une LSS comprise entre 100 et $500 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$, déterminée par extrapolation de la valeur de la LSS déterminée par les adultes, sur la base du poids corporel (SCF 2006). L'IOM comme l'Efsa ne fixent pas de LSS pour les moins de 12 mois. La borne basse de l'intervalle fixé par l'Efsa, soit $100 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$, est retenue pour les enfants de plus de 1 an.

Teneur

La LOD s'élève à $0,005 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,010 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Le taux de détection global du molybdène est de 92% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans des produits céréaliers courants : le riz et blé dur concassé avec $148 \mu\text{g.kg}^{-1}$, puis le pain et les produits de panification sèche avec $135 \mu\text{g.kg}^{-1}$, les pâtes avec $118 \mu\text{g.kg}^{-1}$ et les biscuits sucrés ou salés et barres avec $102 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (Tableau C1). Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

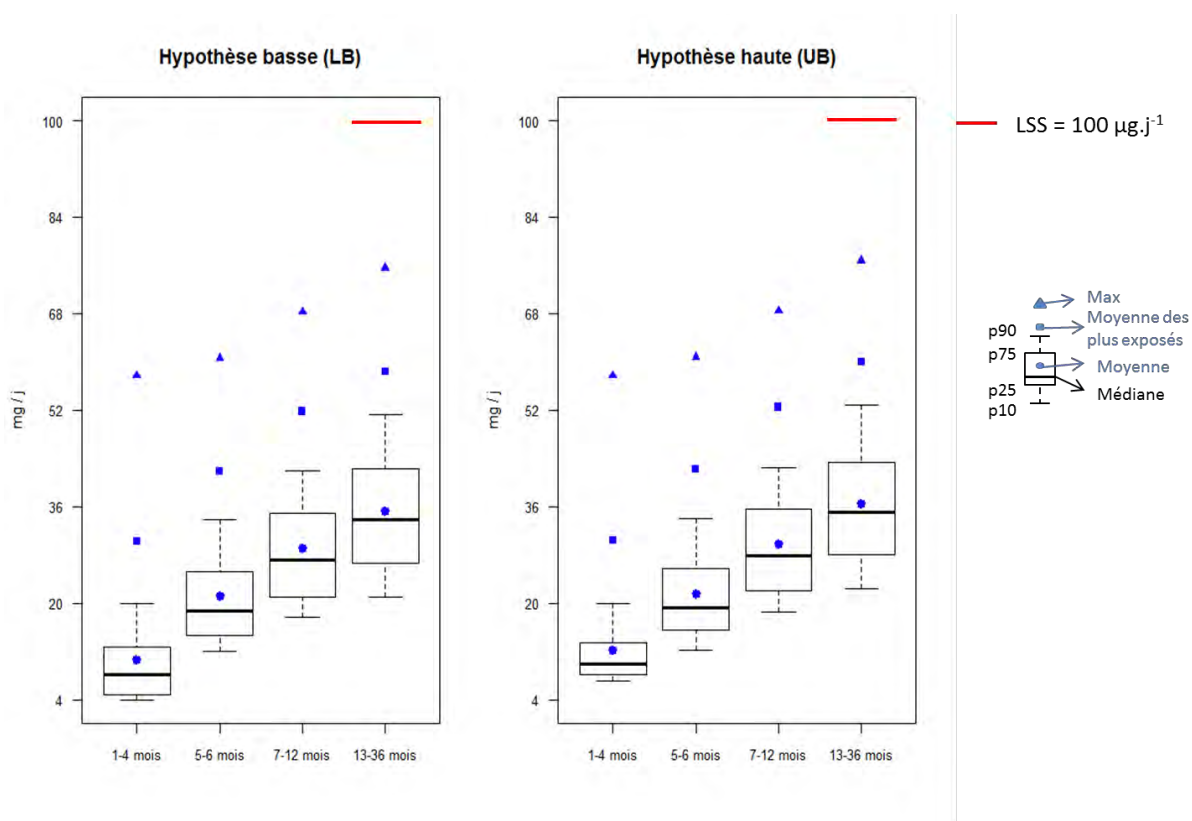
Apports (Figure 1)

Sur la base des recommandations OMS (GEMS/Food-EURO 2013), les données seront présentées ci-après sous l'hypothèse basse (LB) et sous l'hypothèse haute (UB).

L'apport moyen journalier de molybdène en LB est compris entre $10,6 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois et $35,2 \mu\text{g.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois (Tableau E1). En UB, il est compris entre 12,3 et $36,5 \mu\text{g.j}^{-1}$.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre 2,99 et $18,4 \mu\text{g.j}^{-1}$ en LB et entre 5,88 et $19,9 \mu\text{g.j}^{-1}$ en UB.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 30,2 et $58,4 \mu\text{g.j}^{-1}$ en LB et entre 30,5 et $60,0 \mu\text{g.j}^{-1}$ en UB.



LSS : Limite supérieure de sécurité

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

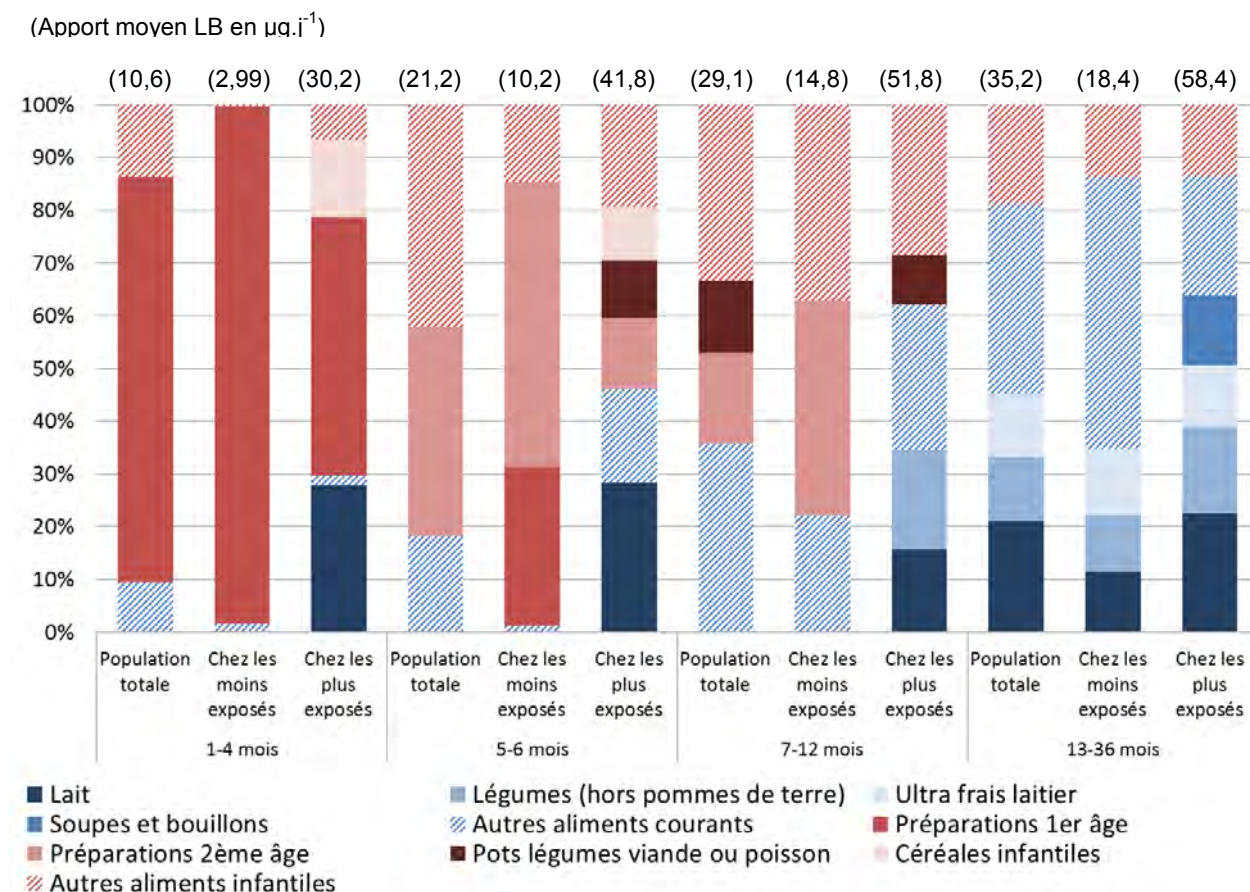
Figure 1 : Apports en molybdène des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Les contributeurs sont présentés en LB. Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^e âge contribuent de façon majeure à l'apport de molybdène, avec 79% des apports chez les 1-4 mois, 44% des apports chez les 5-6 mois, et 19% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E4). Les pots légumes-viande ou légumes-poisson contribuent aussi à hauteur de 14% à l'apport des 7-12 mois. Chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs sont le lait (21%) et légumes hors pommes de terre (12%) et l'ultra-frais laitier (12% chacun).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), les contributeurs majeurs restent globalement inchangés.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), le lait courant apparaît comme contributeur majeur dès 1 mois (28%). Chez les 1-4 mois et les 5-6 mois, les céréales infantiles contribuent à 15 et 10% de l'apport, et les pots légumes-viande ou légumes-poisson à 11% chez les 5-6 mois. Enfin, les soupes et bouillons s'ajoutent aux contributeurs majeurs chez les 13-36 mois (13%).



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en molybdène des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Dans l'étude de l'alimentation totale britannique de 2006, l'apport moyen en molybdène chez les enfants âgés de 1,5 à 4,5 ans était compris entre 4,80 et 4,87 $\mu\text{g.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Rose et al. 2010). Pour un poids corporel de 15 kg, cet apport correspond à un apport de 72 $\mu\text{g}.\text{j}^{-1}$ environ, ce qui est supérieur aux estimations de la présente étude, mais proche du niveau d'apport moyen des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 : 63,1 $\mu\text{g}.\text{j}^{-1}$, avec un P5 à 37,8 $\mu\text{g}.\text{j}^{-1}$ et un P95 à 97,9 $\mu\text{g}.\text{j}^{-1}$ (Anses 2011a). Ces niveaux sont légèrement plus élevés que les apports des enfants de moins de 3 ans de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 3 ans, quelles que soient les classes d'âges, les apports moyens en molybdène sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport en molybdène au besoin est donc globalement satisfaisante.

Sous l'hypothèse haute, aucun dépassement de la borne basse de la limite de sécurité n'est observé chez les 13-36 mois. Le risque lié à un excès d'apport en molybdène peut donc être écarté dans cette classe d'âge.

Chez les enfants de moins d'un an, en l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport en molybdène. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour cette classe d'âge.

Synthèse des résultats d'apports en molybdène des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	LSS	Apport moyen LB-UB	10 ^{ème} centile LB-UB	90 ^{ème} centile LB-UB	% de dépassement de la LSS en UB
	<i>En $\mu\text{g}.\text{j}^{-1}$</i>					
1-4 mois	2	-	10,6-12,3	3,94-7,18	19,9-19,9	-
5-6 mois	2	-	21,2-21,6	12,0-12,2	33,8-34,0	-
7-12 mois	10	-	29,1-29,9	17,7-18,6	41,9-42,5	-
13-36 mois	15	100	35,2-36,5	21,0-22,5	51,3-52,8	Pas de dépassement

AS : Apports satisfaisants

LSS : Limite supérieure de sécurité

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en molybdène ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	8	100	31,1	31,1
Infantile	Céréales infantiles	17	100	39,2	39,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	33,7	33,7
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	50	2,5	7,5
Infantile	Laits de croissance	9	100	23,4	23,4
Infantile	Potages, purées	11	100	42,4	42,4
Infantile	Pots fruits	30	100	14,9	15,7
Infantile	Pots légumes	27	100	45,6	45,7
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	47	47
Infantile	Préparations 1er âge	28	96,4	15,1	16,3
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	15,7	16,4
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	3,53	3,53
Courant	Beurre	1	100	19	19
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	102	102
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	33,3	1,67	6,67
Courant	Charcuterie	2	100	10	12,5
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	8,5	11
Courant	Eaux*	221	10,6	0,144	2,84
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	54	54
Courant	Fromages	1	100	82	82
Courant	Fruits	6	100	12,3	15,7
Courant	Lait	3	100	35	35
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	87,5	62,5	63,1
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	29	29
Courant	Pain et panification sèche	2	100	135	135
Courant	Poissons	3	33,3	18	21,3
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	43,7	43,7
Courant	Pâtes	1	100	118	118
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	148	148
Courant	Soupes et bouillons	1	100	19	19
Courant	Sucres et dérivés	1	0	0	5
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	38,6	38,6
Courant	Viande	2	100	9,5	12
Courant	Viennoiserie	2	100	81	81
Courant	Volaille et gibier	2	100	23,5	23,5

*Données de l'EAT2 pour l'eau du robinet (Anses 2011a)
N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne		Médiane		P10		P90	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	10,6	12,3	8,21	9,86	3,94	7,18	19,9	19,9
5-6 mois	21,2	21,6	18,8	19,2	12,0	12,2	33,8	34,0
7-12 mois	29,1	29,9	27,1	27,8	17,7	18,6	41,9	42,5
13-36 mois	35,2	36,5	33,9	35,2	21,0	22,5	51,3	52,8

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E2 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	2,99	5,88	3,46	6,4
5-6 mois	10,2	10,7	10,7	10,7
7-12 mois	14,8	15,8	15,1	16,1
13-36 mois	18,4	19,9	18,9	20,6

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E3 : Estimation de l'apport en molybdène des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne		Médiane	
	LB	UB	LB	UB
1-4 mois	30,2	30,5	27,0	27,1
5-6 mois	41,8	42,2	40,3	40,4
7-12 mois	51,8	52,5	52,3	52,8
13-36 mois	58,4	60,0	58,3	59,1

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	1,7	1,4	4,6	4,5	4	3,9	1,1	1
Infantile	Céréales infantiles	6,9	5,9	7,3	7,2	5,4	5,3	2,3	2,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,5	0,4	4	3,9	5,6	5,4	0,8	0,8
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	3,9	3,8	6,6	6,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0,1	.	.
Infantile	Potages, purées	0,7	0,6	2,2	2,1	3,1	3	1,7	1,6
Infantile	Pots fruits	0,6	0,6	3,9	4,1	3,6	3,7	0,8	0,8
Infantile	Pots légumes	1,2	1	8,7	8,6	5,8	5,7	1,8	1,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	6,8	6,7	13,6	13,3	3,3	3,2
Infantile	Préparations 1er âge	76,9	79,7	4,7	5	2	1,9	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	27,8	0	1,6	0	0,2	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,3	1,9	39,6	39,2	17,4	17,6	0,5	0,5
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0,5	0	10,2	0	4,2	0	0,1
Total aliments infantiles		90,6	91,5	81,8	81,4	64,4	63,7	18,9	18,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0	0	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Beurre	.	.	0	0	0	0	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,4	0,3	2,1	2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0,1	0,2	0,9
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	.	0	0	0	0,2
Courant	Charcuterie	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0,1	0	0	0,3	0,4	0,6	0,8
Courant	Eaux	0	0,4	0	0,5	0	1,1	0,1	1,9
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,2	0,2	0,5	0,5	2,7	2,6
Courant	Fromages	.	.	0	0	0,4	0,4	1	0,9
Courant	Fruits	.	.	0,3	0,4	0,4	0,4	1,6	1,9
Courant	Lait	8,6	7,3	8,3	8,1	8,3	8,1	21	20,3
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,5	0,5	3	3,1	8,9	8,9	12,1	11,9
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,5	0,5	2,8	2,7
Courant	Plats composés	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,7
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,1	0,1	0,8	0,8
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0	1,1	1,1	2,1	2	3,8	3,7
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1,4	1,4	7,5	7,2
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1	0,9	4,3	4,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	2,1	2,1	1,7	1,6	4,3	4,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,2	0,2	3	3	8,9	8,7	12,2	11,8
Courant	Viande	.	.	0	0	0,1	0,1	0,5	0,5
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	0	0	1,2	1,2
Courant	Volaille et gibier	.	.	0	0	0,3	0,3	0,4	0,4
Total aliments courants		9,4	8,5	18,2	18,6	35,6	36,3	81,1	81,7

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	.	.	1,7	1,6	0,4	0,4	2,1	2,2
Infantile	Céréales infantiles	.	.	4,9	2,1	5,1	4,6	1,5	1,5
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	0,2	1,8	2,7	8,9	6,9	0,1	.
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	.	.	0	0,4	0,1	.
Infantile	dont eau	.	.	.	.	0	0,3	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	.	.	7,5	5,2
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	.	.	.	0,5	0,5	1,3	1,2
Infantile	Pots fruits	.	.	5,6	3,2	7,6	6,3	0,1	0,3
Infantile	Pots légumes	.	.	0,7	1	7,1	8,1	0,2	0,2
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	.	.	5,9	7,2	1	0,5
Infantile	Préparations 1er âge	98,2	98,4	30	31,8	1,7	1,6	.	.
Infantile	dont eau	0	39	0	11,4	.	.	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	.	54,1	57,2	40,6	50,3	.	.
Infantile	dont eau	.	.	0	22	0	12,8	.	.
Total aliments infantiles		98,5	98,5	98,8	99,6	77,8	86,3	13,8	11
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	.	.	0,9	0,9
Courant	Beurre	.	.	.	.	0	0	0,2	0,2
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,3	.	2,4	2,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0	0	0,4	2,3
Courant	dont eau	.	.	.	.	.	.	0	0,4
Courant	Charcuterie	.	.	.	.	0	0,1	0,4	0,6
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	.	.	0,1	0,1	1,2	1,8
Courant	Eaux	0	0,7	0	0,4	0	0,5	0,1	3,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	.	.	.	6,7	6
Courant	Fromages	.	.	.	.	.	.	2,2	2,3
Courant	Fruits	.	.	.	.	1,5	0,8	3,5	3,3
Courant	Lait	.	.	.	.	0,8	0,1	11,4	13
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	.	0	.	5,6	3,5	10,8	10,5
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	0,2	0,1	0,5	0,3
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,2	1,3	5,9	5,5
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	1,2	1,1
Courant	Poissons	.	.	.	.	0	0	0,3	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	.	1,2	.	4,3	2,5	7,2	6,7
Courant	Pâtes	.	.	.	.	1	0,2	7,2	6,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	1,4	.	5,8	5,3
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	.	.	.	1,3	0,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	.	.	0	0	0	0,1
Courant	Ultra-frais laitier	1,5	0,8	.	.	5,8	4,2	12,5	12,2
Courant	Viande	.	.	.	.	0,1	0	1,1	1,1
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	2,5	2,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	.	.	0,9	0	0,4	0,4
Total aliments courants		1,5	1,5	1,2	0,4	22,2	13,7	86,2	89

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en molybdène en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Aliments		1-4 mois		5-6 mois		7-12 mois		13-36 mois	
Type	Catégorie	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Infantile	Boissons lactées	2,3	2,3	2,8	2,7	4,5	4,4	1,3	1,3
Infantile	Céréales infantiles	14,8	14,8	10,2	10,1	5,3	5,3	1,7	1,6
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,5	0,5	1,9	1,9	3,4	3,5	0,3	0,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0,1	0	0	.	0,1
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	0,1
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	.	0,1	0,1	3,1	3
Infantile	dont eau	.	.	.	.	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	0,4	0,4	2,9	2,9	0,8	0,8	2	2
Infantile	Pots fruits	0,5	0,6	2,5	2,6	1,7	1,8	0,7	0,7
Infantile	Pots légumes	0,6	0,6	6,9	6,9	4,4	4,3	2,4	2,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	10,8	10,7	9,5	9,4	2	1,9
Infantile	Préparations 1er âge	48,9	48,6	2,4	2,4	1,5	1,5	.	.
Infantile	dont eau	0	9,2	0	0,2	0	0,1	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,2	2,2	13,6	13,5	6,8	6,9	.	.
Infantile	dont eau	0	0,7	0	3	0	1,7	.	.
Total aliments infantiles		70,3	70	54	53,7	37,9	38	13,5	13,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	.	0,2	0,2	0,5	0,5
Courant	Beurre	.	.	0	0	0,1	0,1	0,1	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	.	.	0,8	0,8	3,6	3,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	.	.	0,1	0,2	0,1	0,4
Courant	dont eau	.	.	.	.	0	0,1	0	0,1
Courant	Charcuterie	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0,1	0,1	0,4	0,5	0,3	0,4
Courant	Eaux	0	0,4	0	0,2	0	0,9	0	1,3
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,3	0,3	1,1	1,1	1,4	1,4
Courant	Fromages	.	.	.	.	0,2	0,3	0,4	0,4
Courant	Fruits	.	.	0,3	0,4	0,2	0,2	1	1,2
Courant	Lait	27,8	27,7	28,3	28,1	15,7	14,1	22,4	22,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	1,7	1,7	5,6	5,7	18,8	18,6	16,4	15,1
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	.	0	0	0,1	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	.	0,4	0,4	2,2	2,2
Courant	Plats composés	.	.	.	.	.	.	0,6	0,6
Courant	Poissons	.	.	.	.	0,2	0,2	0,6	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	0,1	1,7	1,6	2	1,9	3,1	2,9
Courant	Pâtes	.	.	.	.	3,1	3,1	5,7	5,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	.	.	2,2	2,2	1,6	2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	7,9	7,8	7,4	8,4	13,2	12,9
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,1	1,7	1,6	8,7	8,2	11,8	11,5
Courant	Viande	.	.	.	.	0,2	0,2	0,3	0,3
Courant	Viennoiserie	.	.	.	.	.	.	0,7	0,6
Courant	Volaille et gibier	.	.	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3	0,3
Total aliments courants		29,7	30	46	46,3	62,1	62	86,5	86,2

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

LB : Hypothèse basse (lower bound), UB : Hypothèse haute (upper bound)

2.7 Potassium

Le potassium (K), minéral essentiel, est le principal cation intracellulaire de l'organisme. Il est principalement impliqué, avec le sodium, dans le potentiel membranaire. Le potassium joue un rôle fondamental dans la transmission nerveuse, la contraction musculaire et la fonction cardiaque. Il est également impliqué dans la sécrétion d'insuline, dans les métabolismes glucidique (cofacteur de la pyruvate kinase) et protéique et dans l'équilibre acido-basique.

Caractérisation du danger

Le potassium apporté par l'alimentation est entièrement absorbé au niveau du tube digestif (AFSSA 2001). Dans les populations occidentales, les besoins physiologiques sont largement couverts par les apports alimentaires. La carence en potassium (hypokaliémie) est généralement secondaire à des pertes digestives (diarrhées, vomissements) ou urinaires excessives. Elle engendre une altération du potentiel de membrane et des perturbations du métabolisme cellulaire et peut avoir comme conséquence une faiblesse musculaire, la survenue de crampes, une apathie, un météorisme abdominal, des douleurs intestinales et une constipation. Une hypokaliémie sévère peut engendrer une paralysie musculaire et des troubles du rythme cardiaque qui peuvent être fatals. Ceci explique que les études épidémiologiques ont associé l'hypokaliémie avec les risques d'accidents vasculaires cérébraux, d'ostéoporose et de calculs rénaux (hypercalciurie engendrée par une acidose métabolique) (Weaver 2013).

L'EFSA a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de 400 mg.j⁻¹ pour les nourrissons de 0 à 6 mois (EFSA 2013c). A ce jour, l'EFSA n'a pas publié d'avis spécifique sur le potassium. Le CES NUT a donc choisi de suivre la recommandation de l'OMS (WHO 2012), à savoir que le rapport molaire sodium/potassium doit être environ égal à 1. Pour déterminer la valeur de référence du potassium pour les enfants selon ce principe, la valeur médiane des apports en Na a été utilisée. Ainsi, les valeurs d'AS suivantes ont été retenues : 400 mg.j⁻¹ pour les nourrissons âgés de 0 à 6 mois, 670 mg.j⁻¹ pour les 7-12 mois et 920 mg.j⁻¹ pour les 13-36 mois.

Chez l'adulte, la surcharge alimentaire en potassium, exceptionnelle chez les individus sains, peut conduire à une hyperkaliémie dont les conséquences peuvent être des troubles du rythme cardiaque. Elle est également caractérisée par une faiblesse musculaire, voire une paralysie temporaire, une diminution de la fonction rénale et une altération de la production d'insuline. L'EFSA a estimé que les données étaient insuffisantes pour fixer une limite supérieure de sécurité (LSS). Aussi, aucune LSS n'est retenue.

Teneur

La LOD s'élève à 2,5 mg.kg⁻¹ et la LOQ à 5,0 mg.kg⁻¹, excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de 0,05 mg.L⁻¹. Le taux de détection global du potassium est de 98% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les viandes avec 3483 mg.kg⁻¹, puis dans les volailles et gibiers avec 3419 mg.kg⁻¹, et les pommes de terre et apparentés avec 2986 mg.kg⁻¹ (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apports (Figure 1)

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB et UB sont égaux.

L'apport moyen journalier de potassium est compris entre 639 mg.j⁻¹ chez les 1-4 mois et 1290 mg.j⁻¹ chez les 13-36 mois (Tableau E1).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre 385 et 735 mg.j⁻¹.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 1116 et 2021mg.j⁻¹.

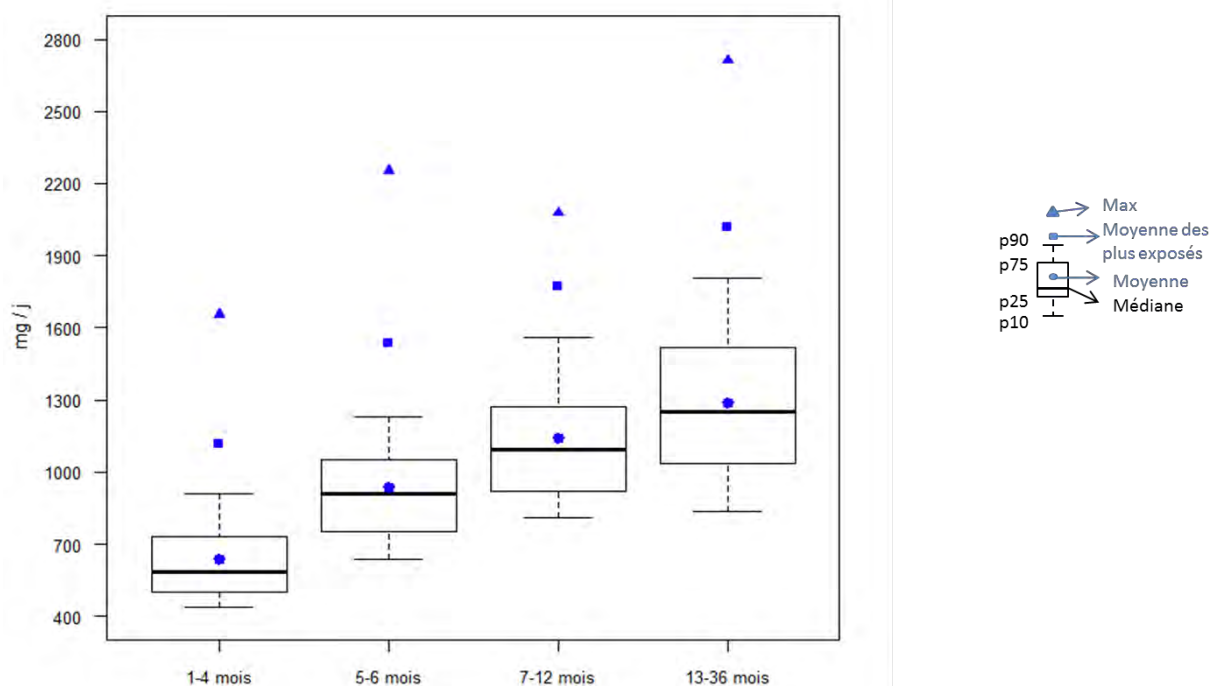


Figure 1 : Apports en potassium des enfants de moins de 3 ans

Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

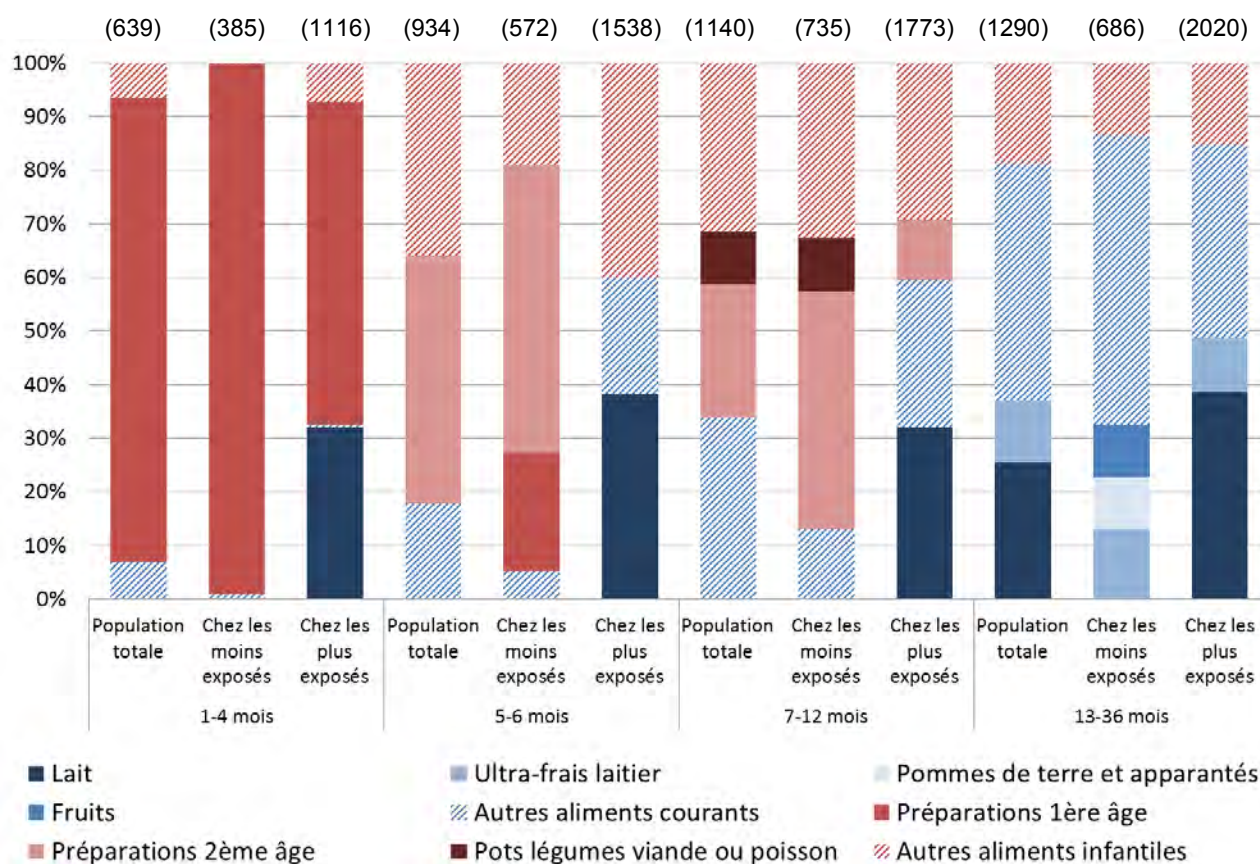
Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport en potassium, avec 89% des apports chez les 1-4 mois, 52% des apports chez les 5-6 mois, et 26% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E4). De 7 à 12 mois, les pots légumes-viande ou légumes-poisson représentent 10% des apports. Chez les 13-36 mois, le potassium est principalement apporté par le lait courant (25%) et l'ultra-frais laitier (12%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles, la part des aliments infantiles est un peu plus élevée. Les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent aussi de façon majeure à l'apport en potassium jusqu'à 1 an (Tableau E5). Chez les 13-36 mois, le potassium est principalement

apporté par les produits courants : l'ultra-frais laitier (13%), les fruits et les pommes de terre et apparentés (10% chacun).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés, la contribution des aliments infantiles est plus faible, notamment la part des préparations 1^{er} et 2^{ème} âge est plus faible pour toutes les classes d'âge. En revanche, le lait courant contribue de façon majeure à l'apport en potassium dès 1-4 mois (32 à 39%) (Tableau E6).

(Apport moyen en mg.j^{-1})



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en potassium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

L'EFSA rapporte des niveaux d'apport en potassium d'environ 490 à 900 mg.j^{-1} chez les enfants de moins de 6 mois nourris avec des préparations infantiles, et d'environ 1000 à 1400 mg.j^{-1} de 7 à 12 mois (EFSA 2014f), ce qui est de même ordre de grandeur que dans la présente étude.

Le niveau d'apport moyen en potassium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 1909 mg.j^{-1} , avec un P5 à 1149 mg.j^{-1} et un P95 à 2751 mg.j^{-1} (Anses 2011a), ce qui est légèrement supérieur aux apports des enfants de moins de 3 ans.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 3 ans, quelle que soit la classe d'âge, les apports moyens sont supérieurs aux AS. L'adéquation de l'apport au besoin en potassium est donc globalement satisfaisante.

En l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport en potassium. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS ainsi que des références nutritionnelles chez les enfants de moins de 3 ans.

Synthèse des résultats d'apports en potassium des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	AS	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile
	<i>En mg.j⁻¹</i>			
1-4 mois	400	639	437	909
5-6 mois	400	935	638	1231
7-12 mois	670	1140	812	1559
13-36 mois	920	1290	838	1806

AS : Apports satisfaisants

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en potassium (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	990
Infantile	Céréales infantiles	17	100	404
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	1380
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	539
Infantile	Laits de croissance	9	100	998
Infantile	Potages, purées	11	100	1052
Infantile	Pots fruits	30	100	1313
Infantile	Pots légumes	27	100	1514
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	1371
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	784
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	828
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	344
Courant	Beurre	1	100	322
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	2367
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	836
Courant	Charcuterie	2	100	2264
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	1128
Courant	Eaux*	221	70,6	1,99-3,14**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	2624
Courant	Fromages	1	100	1189
Courant	Fruits	6	100	1889
Courant	Lait	3	100	1453
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	1835
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	1440
Courant	Pain et panification sèche	2	100	1222
Courant	Poissons	3	100	2217
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	2986
Courant	Pâtes	1	100	489
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	618
Courant	Soupes et bouillons	1	100	1129
Courant	Sucres et dérivés	1	100	19,6
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	1396
Courant	Viande	2	100	3483
Courant	Viennoiserie	2	100	1269
Courant	Volaille et gibier	2	100	3419

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB : LB Hypothèse basse (lower bound), UB Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	639	583	437	909
5-6 mois	935	910	638	1231
7-12 mois	1140	1092	812	1559
13-36 mois	1290	1249	838	1806

Tableau E2 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	385	393
5-6 mois	573	593
7-12 mois	735	751
13-36 mois	686	756

Tableau E3 : Estimation de l'apport en potassium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	1116	988
5-6 mois	1538	1328
7-12 mois	1773	1752
13-36 mois	2021	1968

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	1	3,8	3,2	0,9
Infantile	Céréales infantiles	0,8	1,6	1,8	1,1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,3	4,1	5,9	0,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,2	0,2	0,1
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	4,1	7,8
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	0,4	1,4	2	1,1
Infantile	Pots fruits	1	7,5	7,8	1,9
Infantile	Pots légumes	0,9	7,6	5,4	1,5
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	3,9	9,8	2,7
Infantile	Préparations 1er âge	86,7	5,8	1,1	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,1	46,4	24,9	0,7
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	0
Total aliments infantiles		93,2	82,3	66,3	18,7
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,3	2,1
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,2	1,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,2	2,4
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	0	0,2	0,5	1,9
Courant	Compotes et fruits cuits	0,1	0,1	1	2,2
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,2	0,6	3,2
Courant	Fromages	.	0	0,2	0,4
Courant	Fruits	.	0,8	1	5,5
Courant	Lait	6,3	8,4	9,3	25,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,1	2,9	5,3	6,3
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,1	0,8
Courant	Plats composés	.	.	0,1	0,6
Courant	Poissons	.	.	0,2	1,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0,1	2,3	4,7	7,8
Courant	Pâtes	.	.	0,2	0,9
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,4
Courant	Soupes et bouillons	.	0,5	0,6	2,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	2,2	7,5	11,6
Courant	Viande	.	0,1	0,8	3
Courant	Viennoiserie	.	.	0	0,5
Courant	Volaille et gibier	.	0,1	0,8	1,5
Total aliments courants		6,8	17,7	33,7	81,3

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	4	5,8	3
Infantile	Céréales infantiles	0	1,6	2,5	1,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	2,1	5,1	0,4
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	0,2	0,6	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	7,5
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	1,2	0,6	0,5
Infantile	Pots fruits	.	4,3	9,4	.
Infantile	Pots légumes	.	4,2	4,7	.
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	1,5	10	0,4
Infantile	Préparations 1er âge	98,8	22,2	3,9	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	53,6	44,5	0,5
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0	.
Total aliments infantiles		99	94,9	87,1	13,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	0,1	.	1,4
Courant	Beurre	.	0	0	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,1	2,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	5,9
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	.	0
Courant	Charcuterie	.	.	0,1	3,1
Courant	Compotes et fruits cuits	1	.	0,4	4,5
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	7,4
Courant	Fromages	.	.	.	0,9
Courant	Fruits	.	1,2	1,3	9,8
Courant	Lait	.	0,2	0,6	7,8
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	0,6	2,2	5,4
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0,1	0,5
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	1,6
Courant	Plats composés	.	.	.	1,3
Courant	Poissons	.	.	0,1	0,6
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,9	0,8	9,8
Courant	Pâtes	.	.	0,1	1,6
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,8
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	0,6
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	2,2	4,5	12,9
Courant	Viande	.	.	0,4	5,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	1
Courant	Volaille et gibier	.	.	2,1	2,2
Total aliments courants		1	5,1	12,9	86,5

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en potassium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	2	5,3	4,5	1,3
Infantile	Céréales infantiles	2,5	2,5	1,2	1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	2,9	4,8	0,3
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0,3	0,1	.
Infantile	dont eau	.	0	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,2	2,2
Infantile	dont eau	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	1,4	0,7	0,5
Infantile	Pots fruits	2	6,4	6,5	2,5
Infantile	Pots légumes	0,7	5	4,2	2,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	7,1	7	3,8
Infantile	Préparations 1er âge	60,2	.	.	.
Infantile	dont eau	0,1	.	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	9,3	11,1	0,9
Infantile	dont eau	.	0	0	0
Total aliments infantiles		67,5	40,1	40,4	15,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	1,1	1,9
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,5	2,4
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0,7	1,5
Courant	dont eau	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	0,4	0,1	1,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0,5	0,4	0,4	1,1
Courant	Eaux	0	0	0	0
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,4	1,7	3,9
Courant	Fromages	.	.	0,2	0,3
Courant	Fruits	.	1,2	0,2	3,7
Courant	Lait	32	38,2	32,1	38,6
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	7,4	3,8	4,3
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,3	0,6
Courant	Plats composés	.	.	.	0,2
Courant	Poissons	.	.	0,2	0,9
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	6,3	5,9	7,2
Courant	Pâtes	.	.	0,4	0,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0	0,2
Courant	Soupes et bouillons	.	1,1	1	2
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	4	8,6	10,1
Courant	Viande	.	.	1,2	2,2
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,2
Courant	Volaille et gibier	.	0,5	1,4	1
Total aliments courants		32,5	59,9	59,6	84,7

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.8 Sodium

Le sodium (Na) est le principal cation du liquide extracellulaire. Il est généralement présent sous forme de chlorure de sodium (NaCl). Le sodium est constamment échangé entre les compartiments extra- et intracellulaires de manière à maintenir son homéostasie dans des limites étroites. La concentration intracellulaire en sodium est d'environ 10 % de la concentration extracellulaire. Ainsi, le sodium joue un rôle déterminant dans la régulation de la pression osmotique et donc du volume du liquide extracellulaire. Le rôle du sodium dans le maintien du potentiel membranaire est essentiel pour les transmissions nerveuses et contractions musculaires. Il joue également un rôle important dans l'absorption intestinale du chlore, des acides aminés, du glucose et de l'eau et dans leur réabsorption au niveau rénal.

Caractérisation du danger

Chez l'adulte, l'absorption intestinale du sodium ingéré est totale (AFSSA 2001).

Les déficiences en sodium ne résultent pas, chez l'enfant sain, d'apports alimentaires inadéquats en raison de la capacité de régulation rénale. Chez l'adulte, une hyponatrémie (concentration sérique inférieure à 136 mmol.l^{-1}) peut être induite par des taux d'hormone antidiurétique (ADH) inadaptés (tels qu'observés notamment dans les affections du système nerveux central) ou sous l'action de certains médicaments (en particulier certains néphrotoxiques augmentant son excrétion), mais elle peut éventuellement être consécutive à un apport hydrique excessif ou résulter d'une augmentation des pertes en cas de diarrhée, de vomissements, de transpiration importante et persistante, de prise de diurétiques ou de pathologie rénale (Adrogué and Madias 2000).

L'EFSA a proposé une valeur d'apport considéré comme satisfaisant (AS) de 120 mg.j^{-1} pour les nourrissons de 0 à 6 mois (EFSA 2013c). L'AFSSA n'a pas proposé de référence nutritionnelle et l'EFSA n'a pas publié à ce jour d'avis spécifique pour le sodium. Cependant, en 2013, l'EFSA avait proposé de considérer un apport en sodium compris entre 170 et 370 mg.j^{-1} comme satisfaisant pour les enfants de 7 mois à 3 ans, sur la base d'avis émis par d'autres agences (NHMRC, D-A-CH, IoM) (EFSA 2013c). En l'absence d'une analyse approfondie des études disponibles, le CES NUT estime que ces valeurs ne peuvent être utilisées pour l'évaluation de risque dans l'étude EATi.

Une hypernatrémie sévère génère, chez l'adulte, un œdème, une hypertension, une tachycardie, des difficultés respiratoires, des convulsions. Des apports excessifs ont été associés à une augmentation du risque de cancer gastrique, d'ostéoporose (en raison d'une fuite urinaire calcique), de calculs rénaux, d'hypertension et de maladies cardiovasculaires et, dans les cas extrêmes, un coma, voire la mort.

En raison du manque de données chez l'enfant de moins de trois ans, aucune limite supérieure de sécurité (LSS) ne peut être retenue.

Teneur

La LOD s'élève à $2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à 5 mg.kg^{-1} , excepté pour l'eau du robinet pour laquelle la limite analytique est de 2 mg.L^{-1} . Le taux de détection du sodium est de 99% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans la charcuterie avec $6,98 \text{ g.kg}^{-1}$, puis dans les fromages avec $5,51 \text{ g.kg}^{-1}$, puis dans le pain et les produits de panification sèche avec $4,80 \text{ g.kg}^{-1}$ (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apport (Figure 1)

Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB et UB sont égaux.

L'apport moyen journalier de sodium est compris entre 184 mg.j⁻¹ chez les 1-4 mois et 583 mg.j⁻¹ chez les 13-36 mois (Tableau E1). Le P90 atteint 880 mg.j⁻¹ chez les 13-36 mois.

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre 97,8 et 279 mg.j⁻¹ (Tableau E2).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E3), l'apport moyen se situe entre 334 et 1118 mg.j⁻¹ (Tableau E3).

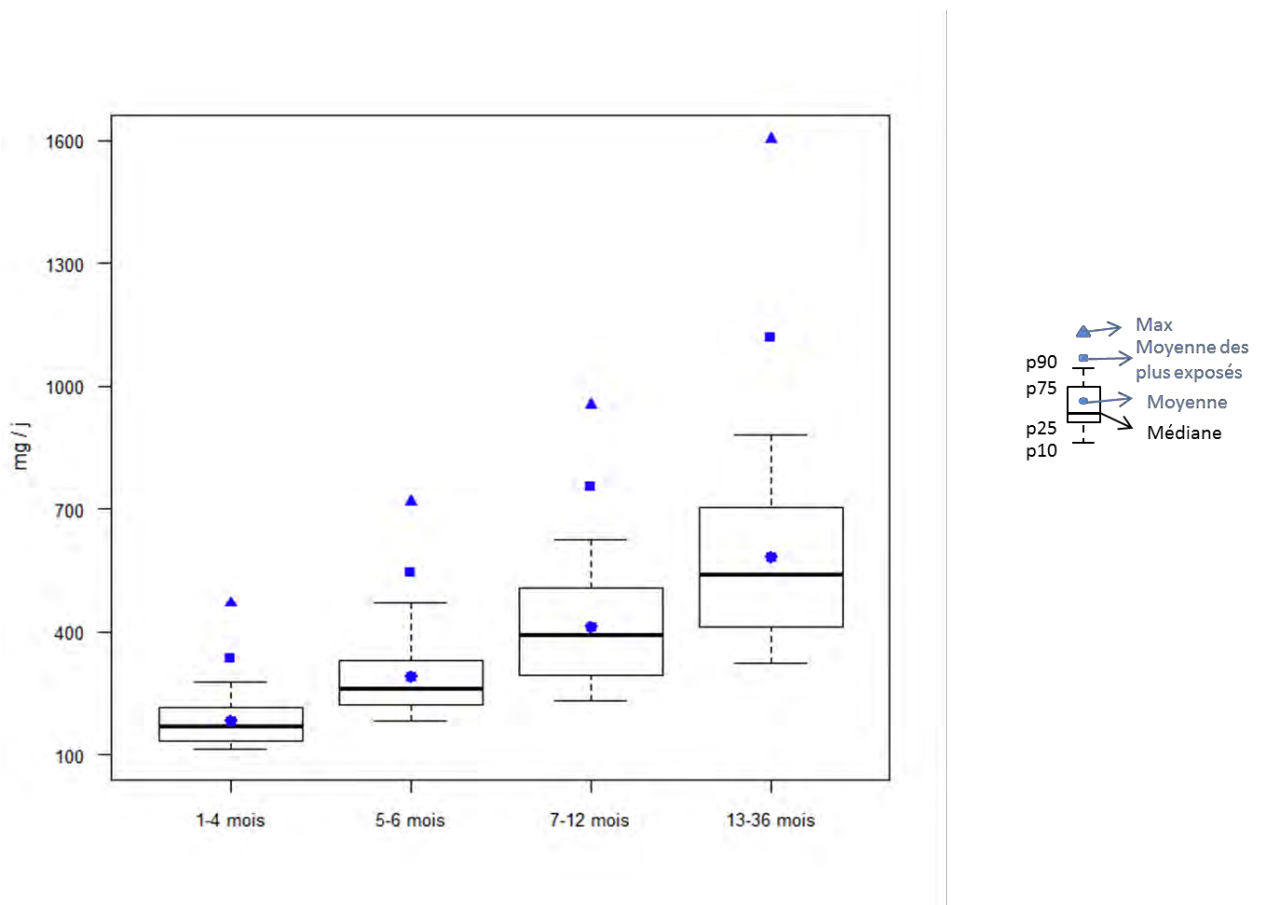


Figure 1 : Apports en sodium des enfants de moins de 3 ans

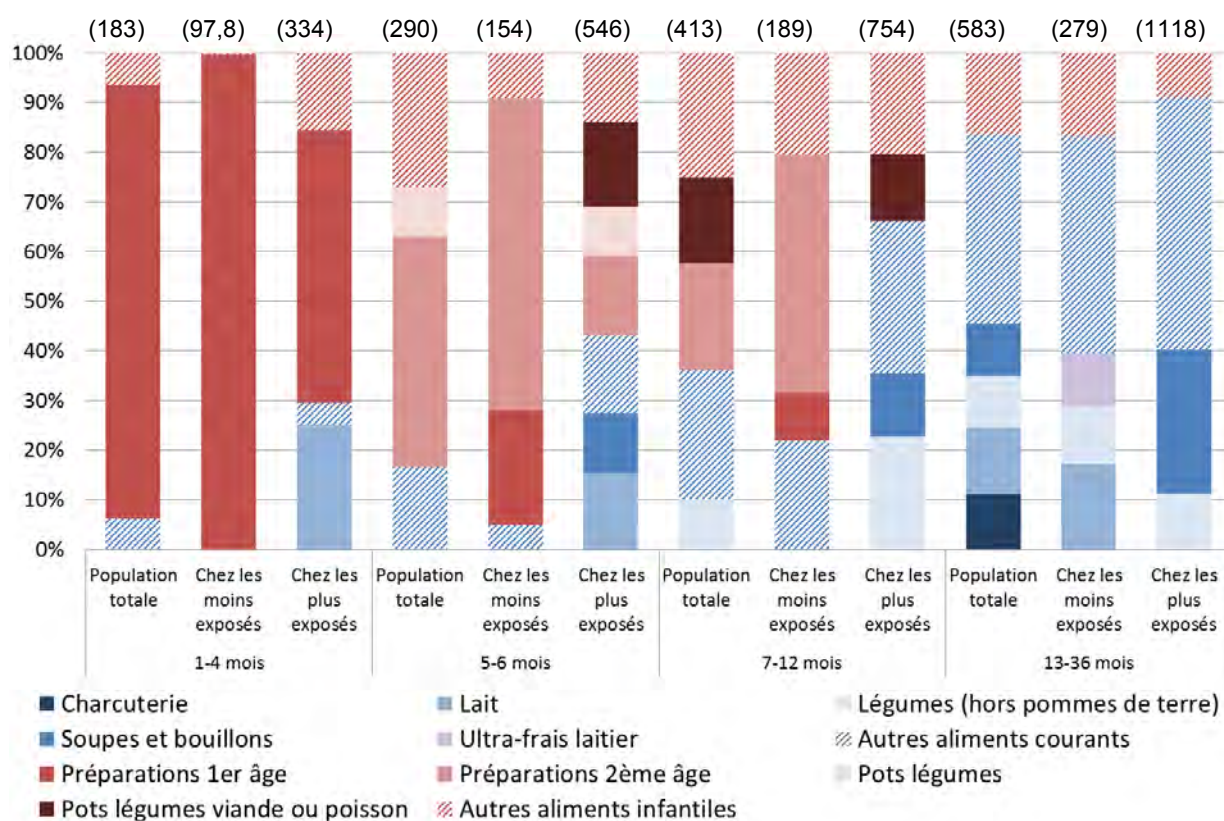
Contribution des aliments à l'apport (Figure 2)

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} âge et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport en sodium : 90% chez les 1-4 mois, puis 52% chez les 5-6 mois et 23% chez les 7-12 mois (Tableau E4). Chez les 5-6 mois, les pots de légumes contribuent à hauteur de 10%, et chez les 7-12 mois, les pots légumes-viande ou légumes-poissons apportent 17%. Enfin, chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs sont des aliments courants : les soupes et bouillons (10%), le lait courant (13%), les légumes hors pommes de terre et la charcuterie (11% chacun).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (Tableau E5), la part des aliments infantiles dans les apports en sodium est plus élevée, notamment pour les préparations 1^{er} et 2^{ème} âges qui contribuent à plus de 95% de l'apport jusqu'à 7 mois, et à 56% chez les 7-12 mois. Chez les 13-36 mois, les contributeurs majeurs sont aussi des aliments courants : le lait (17%), les légumes hors pomme de terre (12%) et l'ultra-frais laitier (11%).

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (Tableau E6), la part des aliments courants est plus élevée, et ce dès 1-4 mois. Le lait courant notamment contribue fortement à l'apport de sodium chez les 1-4 mois (25%) et les 5-6 mois (15%), alors que les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge ne contribuent plus qu'à 60% et 17% des apports, respectivement. Les pots de légumes, légumes-viande et légumes-poisson contribuent de façon majeure aux apports dès 5-6 mois. Les soupes et bouillons contribuent à plus de 12% dès 5-6 mois (puis 13% et 29%) et les légumes 23% pour les 7-12 mois (puis 11%)

(Apport moyen en $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en sodium des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

L'EFSA rapporte des niveaux d'apport en sodium d'environ 180 à 240 mg.j⁻¹ chez les enfants de moins de 6 mois nourris avec des préparations infantiles, et d'environ 270 à 730 mg.j⁻¹ de 7 à 12 mois (EFSA 2014f), ce qui est du même ordre de grandeur que dans la présente étude.

Le niveau d'apport moyen en sodium des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 1520 mg.j⁻¹, avec un P5 à 920 mg.j⁻¹ et un P95 à 2271 mg.j⁻¹ (Anses 2011a), ce qui est supérieur aux apports des 1-3 ans de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de trois ans, quelle que soit la classe d'âge, aucune référence nutritionnelle ni LSS n'ayant été retenue pour le sodium, aucune prévalence d'inadéquation d'apport ne peut être calculée. Il est impossible de conclure quant au risque lié à un éventuel excès ou à une éventuelle insuffisance d'apport en sodium. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer des références nutritionnelles et une LSS pour les enfants de moins de 3 ans.

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en sodium (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	315
Infantile	Céréales infantiles	17	100	190
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	387
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	100	6,71
Infantile	Laits de croissance	9	100	330
Infantile	Potages, purées	11	100	763
Infantile	Pots fruits	30	100	11,4
Infantile	Pots légumes	27	100	675
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	913
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	230
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	260
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	31,2
Courant	Beurre	1	100	421
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	2102
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	100	14,9
Courant	Charcuterie	2	100	6980
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	8,25
Courant	Eaux*	221	95,6	14,4-14,7**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	552
Courant	Fromages	1	100	5508
Courant	Fruits	6	83,3	8,67-9,09**
Courant	Lait	3	100	342
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	736
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	1467
Courant	Pain et panification sèche	2	100	4802
Courant	Poissons	3	100	2066
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	510
Courant	Pâtes	1	100	181
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	249
Courant	Soupes et bouillons	1	100	3004
Courant	Sucres et dérivés	1	100	2,5
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	352
Courant	Viande	2	100	881
Courant	Viennoiserie	2	100	3800
Courant	Volaille et gibier	2	100	856

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB : LB Hypothèse basse (lower bound), UB Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans (mg.j^{-1}) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	183	170	113	279
5-6 mois	290	261	184	472
7-12 mois	413	394	231	625
13-36 mois	583	540	323	880

Tableau E2 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	97,7	100
5-6 mois	154	156
7-12 mois	189	192
13-36 mois	279	286

Tableau E3 : Estimation de l'apport en sodium des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) (mg.j^{-1})

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	334	315
5-6 mois	546	529
7-12 mois	754	711
13-36 mois	1118	1022

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	1,3	4,1	2,9	0,7
Infantile	Céréales infantiles	0,2	0,5	0,7	0,3
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,4	4	4,6	0,6
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0
Infantile	dont eau	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	4	6
Infantile	dont eau	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	1	3,8	5,1	2,1
Infantile	Pots fruits	0	0,2	0,2	0
Infantile	Pots légumes	1,4	9,9	6,6	1,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	9	17,2	4,4
Infantile	Préparations 1er âge	87,3	5,6	1,1	.
Infantile	dont eau	2,2	0,1	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,4	46,5	21,6	0,6
Infantile	dont eau	0,1	1	0,4	0
Total aliments infantiles		93,8	83,5	63,9	16,4
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,1	0,4
Courant	Beurre	.	0	0,1	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,5	2,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,1
Courant	dont eau	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	0,3	1,2	3,2	11
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0	0
Courant	Eaux	0,1	0,1	0,1	0,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,4	1,6
Courant	Fromages	.	0,1	2,1	3,9
Courant	Fruits	.	0	0	0
Courant	Lait	5,2	6,4	6,1	13,4
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0,5	3,5	10,1	10,6
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0,1	0,3
Courant	Pain et panification sèche	.	.	1,6	6,7
Courant	Plats composés	.	.	0,3	2,4
Courant	Poissons	.	.	0,6	3,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,2	0,6	2,1
Courant	Pâtes	.	.	0,2	0,7
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,4
Courant	Soupes et bouillons	.	2,9	3,3	10,4
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	1,8	5,2	6,5
Courant	Viande	.	0,1	0,6	2
Courant	Viennoiserie	.	.	0,1	3,6
Courant	Volaille et gibier	.	0,1	0,7	1
Total aliments courants		6,2	16,5	36,1	83,6

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	1,2	3,4	1,5
Infantile	Céréales infantiles	0,1	1,1	1,4	0,4
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	1,6	6,4	0,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0	0
Infantile	dont eau	.	.	0	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	.	7,4
Infantile	dont eau	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	1,6	.	1,8
Infantile	Pots fruits	0	0,6	0,4	0,1
Infantile	Pots légumes	0,3	2,8	2,4	1,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	6,6	2,3
Infantile	Préparations 1er âge	99,6	23,2	9,6	.
Infantile	dont eau	2,8	0,6	0,3	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	62,9	47,9	0,9
Infantile	dont eau	.	1,7	0,8	.
Total aliments infantiles		99,9	95,1	78,1	16,8
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	.	0,5
Courant	Beurre	.	0	0,1	0,3
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,4	4,2
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,3
Courant	dont eau	.	.	.	0
Courant	Charcuterie	.	.	0,5	8,6
Courant	Compotes et fruits cuits	0	.	0	0,1
Courant	Eaux	0	0,1	0,2	0,6
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	.	1,4
Courant	Fromages	.	.	.	2,7
Courant	Fruits	.	0	0,1	0,1
Courant	Lait	.	0,2	1,1	17,2
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	2,4	8,7	11,7
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0,6	1,2
Courant	Pain et panification sèche	.	.	1,3	7,4
Courant	Plats composés	.	.	.	.
Courant	Poissons	.	.	0,4	2,1
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,1	0,2	2,7
Courant	Pâtes	.	.	0,6	1,6
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,4	1,6
Courant	Soupes et bouillons	.	.	.	1,8
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	2	3	10,7
Courant	Viande	.	.	0,5	2,6
Courant	Viennoiserie	.	.	.	2,1
Courant	Volaille et gibier	.	.	3,9	1,8
Total aliments courants		0,1	4,9	21,9	83,2

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en sodium en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	4,6	2,1	2,6	0,8
Infantile	Céréales infantiles	0,7	0,8	0,6	0,2
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,4	3,2	2,7	0,2
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	0,2	2,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	1,9	6,9	2,6	1
Infantile	Pots fruits	0	0,1	0,1	0
Infantile	Pots légumes	3,4	9,9	2,5	0,8
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	17,1	13,4	2,8
Infantile	Préparations 1er âge	55	0,7	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	1,3	0	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	4,5	16	9,2	0,8
Infantile	<i>dont eau</i>	0,1	0,3	0,1	0
Total aliments infantiles		70,5	56,9	33,8	8,9
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,1	0,3
Courant	Beurre	.	0,1	0,2	0,1
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	1,2	3,1
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	1,6	4,9	3,1	7,2
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0	0	0
Courant	Eaux	0	0	0,1	0,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,3	0,7	1,5
Courant	Fromages	.	0,4	5,6	3,9
Courant	Fruits	.	0	.	0
Courant	Lait	25,2	15,4	8,4	8,2
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	2,6	7,8	22,7	11,2
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0,1	0
Courant	Pain et panification sèche	.	.	1,3	5,5
Courant	Plats composés	.	.	.	3,2
Courant	Poissons	.	.	0,7	4,2
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,5	1,5	1,6
Courant	Pâtes	.	.	0,3	0,4
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,3	0,3
Courant	Soupes et bouillons	.	12	12,8	29
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0,1	0,9	5,2	3,8
Courant	Viande	.	0,3	0,9	1,4
Courant	Viennoiserie	.	.	.	5
Courant	Volaille et gibier	.	0,4	1	0,7
Total aliments courants		29,5	43,1	66,2	91,1

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.9 Zinc

Le zinc (Zn) est un oligoélément essentiel impliqué dans de nombreuses fonctions cellulaires d'ordre catalytique, structural et régulateur. Il intervient dans l'activité de près de 300 enzymes et dans les différentes étapes de la synthèse protéique, notamment l'activation des enzymes impliquées dans la synthèse des acides nucléiques, la réparation de l'ADN, la régulation des histones et le déclenchement de la lecture du génome par l'intermédiaire des facteurs de transcription (protéines « à doigts de zinc »). Le zinc est également impliqué dans la stabilisation de la structure tertiaire de certaines hormones peptidiques (insuline, thymuline), dans le métabolisme des acides gras polyinsaturés et des prostaglandines ainsi que dans la stabilité des membranes cellulaires. Enfin, le zinc est cofacteur de la superoxyde dismutase (Cu, Zn SOD), dont l'activité est déterminante dans la réduction de la concentration d'anions superoxyde et ainsi dans la lutte contre les effets des espèces réactives dérivées de l'oxygène (ERDO). Le zinc est un antagoniste du fer et du cuivre.

La biodisponibilité du zinc est étroitement dépendante de nombreux facteurs alimentaires qui peuvent interférer avec cet élément, par exemple les phytates, le calcium et le fer diminuent son absorption (Milner 1990).

Caractérisation du danger

La carence en zinc avec signes cliniques apparents, voire la déficience avec anomalies plasmatiques isolées, entraînent des troubles de la réponse immunitaire, provoquent des lésions au niveau de la peau et des phanères, affectent la cicatrisation et causent des troubles de l'odorat, du goût, de l'appétit ainsi que des perturbations digestives parfois associées à des diarrhées pouvant conduire à un ralentissement de la croissance staturo-pondérale et à un retard du développement neurologique (consistant notamment en une altération des facultés de mémorisation et d'apprentissage) et comportemental, ainsi qu'à une plus forte émotivité, une hyperactivité (Roussel and Hininger-Favier 2009). Des troubles de la maturation sexuelle ont également été décrits.

L'EFSA a proposé un apport considéré comme satisfaisant (AS) de 2 mg.j^{-1} pour les nourrissons de moins de 6 mois (EFSA 2013c). Dans son avis fixant les références nutritionnelles spécifiques du zinc (EFSA 2014e), l'EFSA fixe un besoin nutritionnel moyen (BNM) de $2,4 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les nourrissons de 7 à 12 mois (RNP de $2,9 \text{ mg.j}^{-1}$), et un BNM de $3,6 \text{ mg.j}^{-1}$ pour les enfants de 1 à 3 ans (RNP de $4,3 \text{ mg.j}^{-1}$). Ces références nutritionnelles sont retenues pour les enfants de moins de 3 ans.

La toxicité aiguë du zinc peut conduire à des troubles gastro-intestinaux qui se traduisent par des douleurs abdominales, des nausées et vomissements, ainsi que des diarrhées. Les études de supplémentation chronique en zinc n'ont pas montré d'effet sur la cuprémie chez les enfants sains (Sazawal et al. 2004, Bertinato et al. 2013). En 2002, le SCF a fixé une limite supérieure de sécurité (LSS) de 7 mg.j^{-1} pour les enfants de 1 à 3 ans, valeur extrapolée de la valeur définie chez l'adulte (50 mg.j^{-1}) et établie sur l'absence d'effet indésirable sur le statut en cuivre (SCF 2002). Cette valeur est reprise par l'EFSA en 2013 sans être déclinée pour les sous-populations plus jeunes. Pour ces populations, le CES propose de retenir les LSS fixées par l'IOM (IOM 2001) sur la base de la DSENO établie pour les nourrissons de moins de 6 mois grâce à l'étude de Walravens and Hambidge mettant en évidence l'absence d'effet indésirable, notamment sur le statut en cuivre et la cholestérolémie (Walravens and Hambidge 1976). La valeur de LSS retenue pour les 7-12 mois est dérivée de la valeur établie pour les 0-6 mois. Les valeurs de LSS retenues sont donc de 4 mg.j^{-1} pour les nourrissons de moins de 6 mois, 5 mg.j^{-1} pour les nourrissons de 7 à 12 mois, ainsi que la valeur de 7 mg.j^{-1} proposée par l'EFSA pour les 1-3 ans.

Teneur

La LOD s'élève à $0,025 \text{ mg.kg}^{-1}$ et la LOQ à $0,050 \text{ mg.kg}^{-1}$. Pour l'eau du robinet la limite analytique est de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$. Le taux de détection global du zinc est de 96% (hors eau du robinet).

Les teneurs moyennes les plus élevées dans les aliments sont observées dans les produits animaux : $34,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les viandes, $16,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les charcuteries, $12,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ pour les volailles et gibiers et $11,6$ pour les œufs et dérivés (Tableau C1).

Les analyses couvrent 94% du régime total et 95% du régime théoriquement contributeur.

Apport (Figure 1)

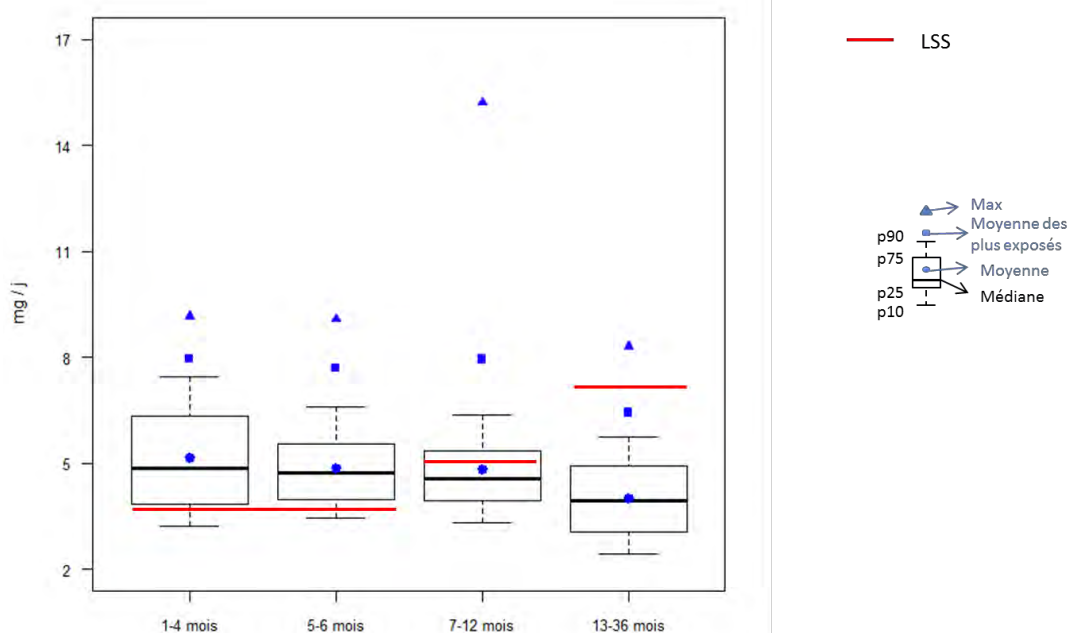
Compte tenu du taux de détection très élevé, les résultats sous les hypothèses LB en UB sont égaux.

L'apport moyen journalier en zinc est compris entre $4,02 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 13-36 mois et $5,17 \text{ mg.j}^{-1}$ chez les 1-4 mois (Tableau E1).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles (en-dessous du P10, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $1,90$ et $2,98 \text{ mg.j}^{-1}$.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés (au-dessus du P90, Tableau E2), l'apport moyen se situe entre $6,43$ et $7,96 \text{ mg.j}^{-1}$.

On observe qu'un enfant de 7-12 mois présente des apports en zinc très supérieurs à la moyenne (15 mg.j^{-1}). Il s'agit d'un enfant ayant consommé en quantité importante et durant les 3 jours d'enquête un lait de croissance dont l'échantillon est particulièrement riche en zinc.



LSS : Limite supérieure de sécurité

Figure 1 : Apports en zinc des enfants de moins de 3 ans

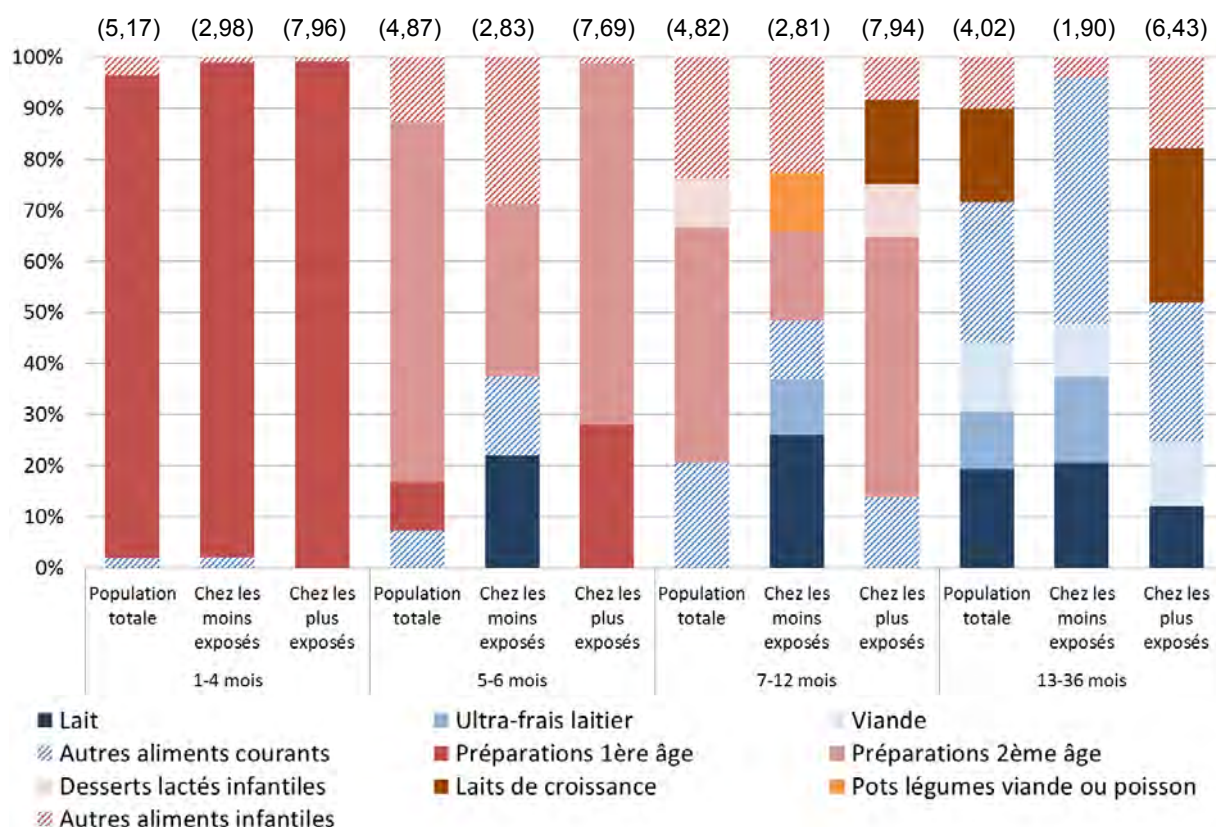
Contribution des aliments à l'apport (Figures 2) :

Jusqu'à 12 mois, les préparations 1^{er} et 2^{ème} âge contribuent de façon majeure à l'apport en zinc, avec 97% des apports chez les 1-4 mois, 80% des apports chez les 5-6 mois, et 48% des apports chez les 7-12 mois (Tableau E3). A partir de 7 mois, les desserts lactés infantiles représentent 10% des apports. Chez les 13-36 mois, le zinc est principalement apporté par le lait courant (19%) et le lait de croissance (18%), la viande (14%) et l'ultra-frais laitier (11%).

Chez les enfants ayant les apports les plus faibles, les contributeurs majeurs sont globalement les mêmes. Le lait courant apparait comme contributeur majeur dès 5-6 mois (plus de 20%), ainsi que l'ultra-frais laitier (11%) et les pots légumes-viande ou légumes-poissons (12%) chez les 7-12 mois. Chez les 13-36 mois, le lait de croissance n'est plus un contributeur majeur.

Chez les enfants ayant les apports les plus élevés, les contributeurs majeurs sont également les mêmes qu'en population générale. Le lait de croissance contribue à plus de 16% des apports dès 7-12 mois.

(Apport moyen en mg.j⁻¹)



LB : Hypothèse basse (lower bound)

Figure 2 : Contribution des différents groupes d'aliments à l'apport moyen en zinc des enfants de moins de 3 ans

Comparaison avec les données de la littérature

Selon le rapport de l'EFSA, l'apport moyen pour les enfants de moins de 6 mois nourris avec des préparations infantiles se situe entre 2,1 et 4,7 mg.j⁻¹, et entre 3,1 et 6,7 mg.j⁻¹ chez les enfants de 6 à 12 mois (EFSA 2014f). Les résultats obtenus dans la présente étude sont du même ordre de grandeur pour les 7-36 mois, et dans la fourchette haute pour les 1-6 mois.

Le niveau d'apport moyen en zinc des enfants de 3 à 6 ans estimé dans l'EAT2 est de 5,23 mg.j⁻¹, avec un P5 à 3,12 mg.j⁻¹ et un P95 à 7,85 mg.j⁻¹ (Anses 2011a), ce qui est légèrement plus élevé que l'apport des 1-3 ans de la présente étude.

Conclusion et recommandations

Chez les enfants de moins de 6 mois, les apports moyens sont supérieurs à l'AS. L'adéquation de l'apport au besoin en zinc est donc globalement satisfaisante dans cette classe d'âge.

Chez les 13-36 mois, la prévalence d'insuffisance d'apports s'élève à 37%. Cette situation est jugée préoccupante. Chez les 7-12 mois, il existe des situations d'insuffisance d'apports également, mais il est difficile d'estimer la proportion compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport.

Environ 75% des 1-6 mois dépassent les LSS, ainsi que 37% des 7-12 mois. Chez les 13-36 mois, il existe des situations de dépassements de la LSS également, mais il est difficile d'estimer la proportion compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport.

Un risque lié à l'apport excessif de zinc ne peut pas être exclu. Il apparaît cependant que les besoins en zinc sont moins bien satisfaits à mesure que les enfants grandissent, alors que dans le même temps les dépassements de la LSS diminuent. Il conviendrait donc de déterminer les teneurs en zinc des aliments infantiles qui permettraient de continuer à couvrir les besoins tout en réduisant la prévalence de dépassement de la LSS.

Synthèse des résultats d'apports en zinc des enfants de moins de 3 ans

Classe d'âge	Références nutritionnelles	LSS	Apport moyen	10 ^{ème} centile	90 ^{ème} centile	Prévalence (%) d'insuffisance d'apport	% de dépassement de la LSS
	En mg.j ⁻¹						
1-4 mois	AS = 2	4	5,17	3,21	7,45	-	74 [64 ; 83]
5-6 mois	AS = 2	4	4,87	3,45	6,60	-	76 [62 ; 89]
7-12 mois	BNM = 2,4	5	4,82	3,31	6,36	NC*	37 [28 ; 45]
13-36 mois	BNM = 3,6	7	4,02	2,42	5,72	37 [33 ; 41]	NC*

*non calculé en raison du faible effectif

AS : Apports satisfaisants

BNM : Besoin nutritionnel moyen

LSS : Limite supérieure de sécurité

Tableau C1 : Estimation de la teneur moyenne des aliments en zinc (mg.kg⁻¹ PF) – Résultats de l'EATi

Type d'aliments	Catégorie	N	% détection	Teneur
Infantile	Boissons lactées	8	100	5,69
Infantile	Céréales infantiles	17	100	1,37
Infantile	Desserts lactés infantiles	6	100	7,12
Infantile	Jus de fruits infantiles	4	75	0,157-0,163**
Infantile	Laits de croissance	9	100	7,69
Infantile	Potages, purées	11	100	1,78
Infantile	Pots fruits	30	100	0,541
Infantile	Pots légumes	27	100	2,47
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	45	100	3,14
Infantile	Préparations 1er âge	28	100	6,7
Infantile	Préparations 2e âge	34	100	6,62
Courant	Autres boissons chaudes	1	100	0,678
Courant	Beurre	1	100	0,446
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	1	100	7,37
Courant	Boissons fraîches sans alcool	6	83,3	0,143-0,152**
Courant	Charcuterie	2	100	16,2
Courant	Compotes et fruits cuits	2	100	0,288
Courant	Eaux*	221	54,2	0,043-0,055**
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	2	100	5,33
Courant	Fromages	1	100	8,88
Courant	Fruits	6	100	0,702
Courant	Lait	3	100	3,42
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	8	100	2,84
Courant	Oeufs et dérivés	1	100	11,6
Courant	Pain et panification sèche	2	100	5,92
Courant	Poissons	3	100	4,89
Courant	Pommes de terre et apparentés	3	100	2,59
Courant	Pâtes	1	100	5,08
Courant	Riz et blé dur ou concassé	2	100	4,36
Courant	Soupes et bouillons	1	100	1,11
Courant	Sucres et dérivés	1	100	0,025
Courant	Ultra-frais laitier	5	100	3,89
Courant	Viande	2	100	34,2
Courant	Viennoiserie	2	100	6,42
Courant	Volaille et gibier	2	100	12,5

*Données de l'étude Plomb-Habitat pour l'eau du robinet (Le Bot et al. 2013)

**LB-UB : LB Hypothèse basse (lower bound), UB Hypothèse haute (upper bound)

N : nombre d'échantillons composites analysés

Tableau E1 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : population totale

Classe d'âge	Moyenne	Médiane	P10	P90
1-4 mois	5,17	4,85	3,21	7,45
5-6 mois	4,87	4,72	3,45	6,60
7-12 mois	4,82	4,57	3,31	6,36
13-36 mois	4,02	3,94	2,42	5,72

Tableau E2 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus faibles (<P10) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	2,98	3,06
5-6 mois	2,83	3,03
7-12 mois	2,81	2,95
13-36 mois	1,90	1,84

Tableau E3 : Estimation de l'apport en zinc des enfants de moins de 3 ans ayant les apports les plus élevés (>P90) ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$)

Classe d'âge	Moyenne	Médiane
1-4 mois	7,96	7,97
5-6 mois	7,69	7,29
7-12 mois	7,94	7,23
13-36 mois	6,43	6,44

Tableau E4 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	0,6	2,9	3,7	1,5
Infantile	Céréales infantiles	0,4	1,1	1,4	1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,2	3,7	9,7	1,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	0
Infantile	dont eau	0	0	0	0
Infantile	Laits de croissance	.	.	7,9	18,3
Infantile	dont eau	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	0,1	0,5	0,9	0,7
Infantile	Pots fruits	0	0,6	0,7	0,2
Infantile	Pots légumes	0,2	1,9	1,9	0,9
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	1,8	5,3	2
Infantile	Préparations 1er âge	94,4	9,5	1,9	.
Infantile	dont eau	0	0	0	.
Infantile	Préparations 2e âge	2,1	70,5	46	2,1
Infantile	dont eau	0	0	0	0
Total aliments infantiles		98	92,7	79,4	28,5
Courant	Autres boissons chaudes	.	0	0,2	1,3
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,2	1,3
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,1
Courant	dont eau	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	0	0,2	0,9	4,4
Courant	Compotes et fruits cuits	0	0	0	0,2
Courant	Eaux	0	0	0	0,2
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	0,1	0,3	2,2
Courant	Fromages	.	0	0,3	0,9
Courant	Fruits	.	0	0,1	0,6
Courant	Lait	1,8	3,8	5,2	19,2
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	0	0,9	2,3	3,6
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	0	0,3
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,1	1,1
Courant	Plats composés	.	.	0,1	0,7
Courant	Poissons	.	.	0,1	0,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	0	0,3	0,8	2
Courant	Pâtes	.	.	0,4	2,8
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,2	1,1
Courant	Soupes et bouillons	.	0,2	0,3	1,1
Courant	Sucres et dérivés	0	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	0	1,5	5,8	11,3
Courant	Viande	.	0,2	2,7	13,5
Courant	Viennoiserie	.	.	0	0,9
Courant	Volaille et gibier	.	0,1	0,8	2
Total aliments courants		2	7,3	20,6	71,5

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E5 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus faibles

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	.	5,1	6,8	.
Infantile	Céréales infantiles	0,4	3,1	1,9	1,1
Infantile	Desserts lactés infantiles	.	5,9	2,9	.
Infantile	Jus de fruits infantiles	0	0	0	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	3,7	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Potages, purées	.	1,6	2,6	1,4
Infantile	Pots fruits	0,2	1,8	1,7	0,1
Infantile	Pots légumes	0,5	4,6	3,1	0,6
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	6,5	11,6	1
Infantile	Préparations 1er âge	96,8	.	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	.	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	33,8	17,3	.
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0	.
Total aliments infantiles		97,9	62,5	51,6	4,3
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	0,6	1,1
Courant	Beurre	.	0	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,9	2,6
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0,3
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	0
Courant	Charcuterie	.	0,5	.	7,4
Courant	Compotes et fruits cuits	.	0	0	0,5
Courant	Eaux	0	0	0	0,4
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	2,1	5,7
Courant	Fromages	.	.	.	1,2
Courant	Fruits	.	.	0,3	1,8
Courant	Lait	2,1	22	26,1	20,5
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	5,5	1	4,3
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	1,2
Courant	Pain et panification sèche	.	.	.	2,2
Courant	Plats composés	.	.	.	0,3
Courant	Poissons	.	.	0,3	0,7
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0,8	0,6	3,4
Courant	Pâtes	.	.	0,2	5,1
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,2	2,2
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,1	3,8
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	8,6	10,9	16,8
Courant	Viande	.	.	0,2	10,5
Courant	Viennoiserie	.	.	0,1	1,7
Courant	Volaille et gibier	.	0,2	4,6	2
Total aliments courants		2,1	37,5	48,4	95,7

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

Tableau E6 : Contribution des aliments (%) à l'apport moyen en zinc en fonction de la classe d'âge chez les enfants ayant les apports les plus élevés

Type d'aliments	Catégorie	1-4 mois	5-6 mois	7-12 mois	13-36 mois
Infantile	Boissons lactées	0,8	.	3,1	2,2
Infantile	Céréales infantiles	.	.	0,6	1
Infantile	Desserts lactés infantiles	0,1	0,9	10,6	5,9
Infantile	Jus de fruits infantiles	.	.	0	0
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	.	.
Infantile	Laits de croissance	.	.	16,3	30,3
Infantile	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Infantile	Potages, purées	.	0,1	0,3	0,6
Infantile	Pots fruits	0	0,2	0,5	0,3
Infantile	Pots légumes	.	0,1	1,4	1
Infantile	Pots légumes viande ou légumes poisson	.	.	2,5	2,9
Infantile	Préparations 1er âge	99,1	27,9	.	.
Infantile	<i>dont eau</i>	0	0	.	.
Infantile	Préparations 2e âge	.	70,7	50,8	4
Infantile	<i>dont eau</i>	.	0	0	0
Total aliments infantiles		100	99,8	86,2	48,2
Courant	Autres boissons chaudes	.	.	.	0,6
Courant	Beurre	.	.	0	0
Courant	Biscuits sucrés ou salés et barres	.	.	0,1	0,5
Courant	Boissons fraîches sans alcool	.	.	0	0
Courant	<i>dont eau</i>	.	.	0	.
Courant	Charcuterie	.	.	0,7	2,8
Courant	Compotes et fruits cuits	.	.	0	0,1
Courant	Eaux	0	0	0	0,1
Courant	Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	.	.	0,1	1,9
Courant	Fromages	.	.	0,4	0,8
Courant	Fruits	.	.	0,1	0,4
Courant	Lait	.	.	1,5	12,1
Courant	Légumes (hors pommes de terre)	.	0,1	1,4	2,9
Courant	Oeufs et dérivés	.	.	.	0,1
Courant	Pain et panification sèche	.	.	0,1	0,6
Courant	Plats composés	.	.	.	0,4
Courant	Poissons	.	.	.	0,5
Courant	Pommes de terre et apparentés	.	0	0,8	0,9
Courant	Pâtes	.	.	0,7	2,5
Courant	Riz et blé dur ou concassé	.	.	0,1	0,5
Courant	Soupes et bouillons	.	.	0,2	1,5
Courant	Sucres et dérivés	.	0	0	0
Courant	Ultra-frais laitier	.	.	1,8	8,3
Courant	Viande	.	.	4,6	12,7
Courant	Viennoiserie	.	.	.	0,4
Courant	Volaille et gibier	.	.	1,2	1,2
Total aliments courants		0	0,2	13,8	51,8

Un point dans une case signifie que la catégorie d'aliments n'est pas consommée par les enfants de cette classe d'âge

2.10 Synthèse des résultats relatifs aux minéraux

Douze minéraux ont été analysés dans le cadre de l'EAT infantile. Les résultats de cette étude montrent une adéquation de l'apport au besoin globalement satisfaisante chez les enfants de moins de 3 ans. C'est le cas pour le fer et le zinc chez les moins de six mois, pour le magnésium, le calcium et le cuivre chez les moins d'un an, et enfin pour le manganèse, le sélénium, le molybdène et le potassium chez les moins de trois ans.

En revanche, il existe des insuffisances d'apports en zinc (37%) et calcium (14%) chez les 13-36 mois et en fer chez les 7-36 mois (48% chez les 7-12 mois et 81% chez les 13-36 mois). Pour le magnésium et le cuivre chez les 13-36 mois, les apports sont inférieurs à l'apport satisfaisant (AS), c'est-à-dire à l'apport moyen observé pour un groupe d'individus en apparente bonne santé. Aussi, étant donné la nature de cette référence nutritionnelle, le risque sanitaire lié à un apport insuffisant ne peut pas être évalué.

Aucune référence nutritionnelle n'ayant été retenue pour le chrome, le lithium et le sodium, aucune prévalence d'inadéquation d'apport ne peut être calculée. Le risque sanitaire lié à un apport insuffisant en ces éléments ne peut pas être évalué pour les moins de trois ans. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer des références nutritionnelles.

Concernant les excès d'apports, il n'y a pas de dépassement de la limite supérieure de sécurité (LSS) fixée pour le molybdène chez les 1-3 ans, ni pour le calcium chez les 7-36 mois. Le risque lié à un excès d'apport peut donc être écarté pour ces classes d'âge.

En revanche, des dépassements de LSS sont observés pour le calcium chez les moins de six mois, pour le manganèse, le sélénium et le cuivre chez les 1-3 ans. Il est cependant difficile d'estimer la proportion de la population exposée compte tenu des limites liées à l'échantillonnage voire à la mesure de l'apport. Concernant le calcium, tous les enfants présentant des dépassements de la LSS ont consommé du lait demi-écrémé durant les 3 jours d'enquête et ce, en quantité supérieure à la consommation moyenne. Par ailleurs, le lait est en moyenne plus riche en calcium que les préparations infantiles. Ainsi, ces dépassements sont attribuables à la consommation de lait courant. Enfin, pour le zinc, des dépassements sont observés dans toutes les classes d'âge (jusqu'à 75% pour les moins de 6 mois). Un risque lié à l'apport excessif de ces minéraux ne peut donc pas être exclu pour certains groupes de consommateurs.

Pour le fer, le potassium, le sodium, le lithium et le magnésium, en l'absence de LSS, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport pour les enfants de moins de trois ans. De la même façon, pour le manganèse, le molybdène, le sélénium et le cuivre, en l'absence de LSS pour les enfants de moins d'un an, il est impossible de conclure quant à un éventuel excès d'apport. Il conviendrait de mener des études afin de déterminer une LSS pour ces tranches d'âge.

Résultats synthétiques des évaluations des risques nutritionnels

Conclusions relatives à la couverture des besoins nutritionnels		
Adéquation des apports aux besoins	Insuffisances d'apports	Impossible de conclure
Fer (< 6 mois), zinc, (< 6 mois), magnésium (< 1 an), calcium (< 1 an), cuivre (< 1 an), manganèse, sélénium, molybdène, potassium	Zinc (entre 7 mois et 3 ans), calcium (entre 1 et 3 ans), fer (entre 7 mois et 3 ans)	Magnésium (entre 1 et 3 ans) ^a , cuivre (entre 1 et 3 ans) ^a , chrome ^b , lithium ^b , sodium ^b
Conclusions relatives au dépassement des limites supérieures de sécurité		
Pas de dépassements	Dépassements	Impossibilité de conclure^c
Molybdène (entre 1 et 3 ans), calcium (entre 7 mois et 3 ans)	Calcium (< 6 mois), manganèse (entre 1 et 3 ans), sélénium (entre 1 et 3 ans), cuivre (entre 1 et 3 ans), zinc	Fer, potassium, sodium, lithium, magnésium, manganèse (< 1 an), molybdène (< 1 an), sélénium (< 1 an), cuivre (< 1 an)

^a : apports en ces minéraux inférieurs à l'apport satisfaisant

^b : absence de référence nutritionnelle pour ces minéraux

^c : absence de limite supérieure de sécurité pour ces minéraux

3 BIBLIOGRAPHIE

- Adrogué, H. J., and N. E. Madias. 2000. "Hyponatremia." *New England Journal of Medicine* 342 (21):1581-1589. doi: 10.1056/NEJM200005253422107.
- AFSSA. 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. AFSSA.
- Afssa. 2007a. Avis de l'Afssa relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité du baryum dans les eaux destinées à la consommation humaine. (saisine n°2004-SA-0060, saisine liée n°2003-SA-0164). Maisons-Alfort: AFSSA. 12 p.
- Afssa. 2007b. Rapport de l'Afssa relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine – Tome 1. Maisons-Alfort: AFSSA. 252 p.
- Afssa. 2008. Avis de l'Afssa relatif à la demande d'informations générales sur la toxicité du Nickel dans la chaîne alimentaire. (saisine n°2007-SA-0245). Maisons-Alfort: Afssa. 14 p.
- 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). Maisons-Alfort: AFSSA. 20 p.
- Afssa. 2010. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à une demande d'appui scientifique et technique sur la migration de cobalt de plats à gratin en porcelaine destinés à entrer en contact avec des aliments. (saisine n°2010-SA-0095). Maisons-Alfort: Afssa. 7 p.
- Aggett, P. J., C. Agostoni, I. Axelsson, J. L. Bresson, O. Goulet, O. Hernell, B. Koletzko, H. L. Lafeber, K. F. Michaelsen, J. L. Micheli, J. Rigo, H. Szajewska, and L. T. Weaver. 2002. "Iron metabolism and requirements in early childhood: Do we know enough?: A commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition." *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* 34 (4):337-345. doi: 10.1097/00005176-200204000-00003.
- Al-Saleh, I., N. Shinwari, A. Mashhour, D. Mohamed Gel, and A. Rabah. 2011. "Heavy metals (lead, cadmium and mercury) in maternal, cord blood and placenta of healthy women." *Int J Hyg Environ Health* 214 (2):79-101. doi: 10.1016/j.ijheh.2010.10.001.
- 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. Maisons-Alfort: Anses. 305 p.
- 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). Maisons-Alfort: Anses. 31 p.
- Anses. 2012. Avis de l'Anses relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux dépassements de la limite de qualité du chrome dans les eaux destinées à la consommation humaine. (saisine n°2011-SA-0127). Maisons-Alfort. 33 p.
- Anses. 2013a. 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. 2013b. Avis de l'Anses relatif à une évaluation des risques sanitaires liés à la présence de strontium dans les eaux destinées à la consommation humaine. (saisine n°2012-SA-0262). Maisons-Alfort: Anses. 28 p.
- Anses. 2013c. Avis de l'Anses relatif aux recommandations sur les bénéfices et les risques liés à la consommation de produits de la pêche dans le cadre de l'actualisation des repères nutritionnels du PNNS. (saisine n°2012-SA-0202). Maisons-Alfort: Anses. 7 p.

- Anses. 2013d. Avis de l'Anses relatif aux risques liés à l'utilisation de boissons autres que le lait maternel et les substituts du lait maternel dans l'alimentation des nourrissons de la naissance à 1 an. (saisine n°2011-SA-0261). Maisons-Alfort: Anses. 8 p.
- Arnaud, J. 2001. "Autres oligoéléments." In *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e édition*, edited by Tec&Doc, 170-176. Paris, France: Lavoisier.
- ATSDR. 2004a. Toxicological Profile for Cobalt. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2004b. Toxicological Profile for Strontium. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2005. Toxicological Profile for Tin and Tin Compounds. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2008. Toxicological Profile for Aluminum. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2012a. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2012b. Toxicological Profile for Chromium. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- ATSDR. 2012c. Toxicological Profile for Vanadium. Atlanta, GA, USA: ATSDR.
- Ba, L. A., M. Doring, V. Jamier, and C. Jacob. 2010. "Tellurium: an element with great biological potency and potential." *Org Biomol Chem* 8 (19):4203-16. doi: 10.1039/c0Ob00086h.
- Barceloux, D. G. 1999. "Selenium." *Journal of Toxicology - Clinical Toxicology* 37 (2):145-172. doi: 10.1081/CLT-100102417.
- Bertinato, J, JR Simpson, L Sherrard, J Taylor, LJ Plouffe, D Van Dyke, M Geleynse, YY Dam, P Murphy, C Knee, L Vresk, N Holland, H Quach, DR Mack, M Cooper, MR L'abbé, and S Hayward. 2013. "Zinc supplementation does not alter sensitive biomarkers of copper status in healthy boys." *J Nutr* 143 (3):284-9. doi: 10.3945/jn.112.171306.
- Bondy, S. C. 2011. "Nanoparticles and colloids as contributing factors in neurodegenerative disease." *Int J Environ Res Public Health* 8 (6):2200-11. doi: 10.3390/ijerph8062200.
- Bouchard, M., F. Laforest, L. Vandelac, D. Bellinger, and D. Mergler. 2007. "Hair manganese and hyperactive behaviors: Pilot study of school-age children exposed through tap water." *Environmental Health Perspectives* 115 (1):122-127. doi: 10.1289/ehp.9504.
- 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.
- Can, A., T. G. Schulze, and T. D. Gould. 2014. "Molecular actions and clinical pharmacogenetics of lithium therapy." *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 123:3-16. doi: 10.1016/j.pbb.2014.02.004.
- 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.
- Chappuis, Phillipe, and Alain Favier. 1995. *Les oligoéléments en nutrition et en thérapeutique*.
- Ciesielski, T., J. Weuve, D. C. Bellinger, J. Schwartz, B. Lanphear, and R. O. Wright. 2012. "Cadmium exposure and neurodevelopmental outcomes in U.S. children." *Environ Health Perspect* 120 (5):758-63. doi: 10.1289/ehp.1104152.
- Conseil de l'Europe. 2014. Métaux et alliages constitutifs des matériaux et objets pour contact alimentaire. Guide pratique à l'intention des fabricants et des autorités réglementaires. .
- Coudray, C., and S. Hercberg. 2001. "Fer." In *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e édition*, edited by Tec&Doc, 150-155. Paris, France: Lavoisier.
- Daniels, L., R. A. Gibson, K. Simmer, P. Van Dael, and M. Makrides. 2008. "Selenium status of term infants fed selenium-supplemented formula in a randomized dose-response trial." *American Journal of Clinical Nutrition* 88 (1):70-76.
- Darlow, B. A., T. E. Inder, K. B. Sluis, G. Nuthall, N. Mogridge, and C. C. Winterbourn. 1995. "Selenium status of New Zealand infants fed either a selenium supplemented or a standard formula." *Journal of Paediatrics and Child Health* 31 (4):339-344.

- de Baaij, J.H., J.G. Hoenderop, and R.J. Bindels. 2015. "Magnesium in man: implications for health and disease." *Physiol Rev.* 95 (1):1-46. doi: 10.1152/physrev.00012.2014.
- Donohue, J. M., and C. O. Abernathy. 1999. "Exposure to Inorganic Arsenic from Fish and Shellfish." In *Arsenic Exposure and Health Effects III*, edited by Elsevier, 88-98.
- EFSA. 2004a. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission to assess the health risks to consumers associated with exposure to organotins in foodstuffs. In *The EFSA journal*, N°102. Parma: EFSA.
- EFSA. 2004b. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Vanadium. In *The EFSA journal*, N°33. Parma: EFSA.
- EFSA. 2005. Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Tin. . In *The EFSA journal*, N°254. Parma: EFSA.
- EFSA. 2008. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials on Safety of aluminium from dietary intake. . In *The EFSA journal*, N°754. Parma: EFSA.
- EFSA. 2009a. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed on the use of cobalt compounds as additives in animal nutrition. In *The EFSA journal*, N°7 (12). Parma: EFSA.
- 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.
- EFSA. 2009c. Scientific opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on Cadmium in food. In *The EFSA journal*, N°980. Parma: EFSA.
- EFSA. 2009d. Scientific Opinion of the Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food on L-selenomethionine as a source of selenium added for nutritional purposes to food supplements. In *The EFSA journal*, N°1082. Parma: EFSA.
- EFSA. 2010. Scientific Opinion of the EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on Lead in Food. In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.
- EFSA. 2011. Statement of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on tolerable weekly intake for cadmium. . In *The EFSA journal*, N°9 (2). Parma: EFSA.
- EFSA. 2012a. Scientif report of EFSA on lead dietary exposure in the European population. In *The EFSA journal*, N°10 (7). Parma: EFSA.
- 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.
- EFSA. 2012c. Scientific Opinion of the EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on lead in Food. In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.
- EFSA. 2012d. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on the Tolerable Upper Intake Level of calcium. In *The EFSA journal*, N°10 (7). Parma: EFSA.
- EFSA. 2013a. Scientific Opinion of EFSA panel on Contaminants in the Food Chain on lead in Food. In *The EFSA journal*, N°8 (4). Parma: EFSA.
- EFSA. 2013b. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on dietary Reference Values for molybdenum. In *The EFSA journal*, N°11 (8). Parma: EFSA.
- EFSA. 2013c. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on nutrient requirements and dietary intakes of infants and young children in the European Union. In *The EFSA journal*, N°11 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2013d. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on dietary Reference Values for manganese. In *The EFSA journal*, N°11 (11). Parma: EFSA.

- EFSA. 2013e. Technical report on dietary exposure to aluminium-containing food additives. In *The EFSA journal*, N°EN-411. Parma: EFSA.
- EFSA. 2014a. Scientific report of EFSA on dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. In *The EFSA journal*, N°12 (3). Parma: EFSA.
- EFSA. 2014b. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on the risks to public health related to the presence of chromium in food and drinking water. In *The EFSA journal*, N°12 (3). Parma: EFSA.
- EFSA. 2014c. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for chromium. In *The EFSA journal*, N°12 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2014d. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for selenium. In *The EFSA journal*, N°12 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2014e. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for zinc. In *The EFSA journal*, N°12 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2014f. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on the essential composition of infant and follow-on formulae. In *The EFSA journal*, N°12 (7). Parma: EFSA.
- EFSA. 2015a. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. In *The EFSA journal*, N°13 (2). Parma: EFSA.
- EFSA. 2015b. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for calcium. In *The EFSA journal*, N°13 (5). Parma: EFSA.
- EFSA. 2015c. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for copper. In *The EFSA journal*, N°13 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2015d. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for iron. In *The EFSA journal*, N°13 (10). Parma: EFSA.
- EFSA. 2015e. Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on Dietary Reference Values for magnesium. In *The EFSA journal*, N°13 (7). Parma: EFSA.
- EFSA. 2016. Scientific opinion of the EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources Added to Food on the re-evaluation of silver (E 174) as food additive. In *The EFSA journal*, N°14 (1). Parma: EFSA.
- Etchevers, A., P. Bretin, C. Lecoffre, M. L. Bidondo, Y. Le Strat, P. Glorennec, and A. Le Tertre. 2014. "Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008-2009." *Int J Hyg Environ Health* 217 (4-5):528-37. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.10.002.
- Etchevers, A., A. Le Tertre, J. P. Lucas, P. Bretin, Y. Oulhote, B. Le Bot, and P. Glorennec. 2015. "Environmental determinants of different blood lead levels in children: A quantile analysis from a nationwide survey." *Environ Int* 74:152-159.
- Fortoul, T. I., M. Rojas-Lemus, V. Rodriguez-Lara, A. Gonzalez-Villalva, M. Ustarroz-Cano, G. Cano-Gutierrez, S. E. Gonzalez-Rendon, L. F. Montano, and M. Altamirano-Lozano. 2014. "Overview of environmental and occupational vanadium exposure and associated health outcomes: an article based on a presentation at the 8th International Symposium on Vanadium Chemistry, Biological Chemistry, and Toxicology, Washington DC, August 15-18, 2012." *J Immunotoxicol* 11 (1):13-8. doi: 10.3109/1547691X.2013.789940.
- Friedman, B. J., J. H. Freeland-Graves, C. W. Bales, F. Behmardi, R. L. Shorey-Kutschke, R. A. Willis, J. B. Crosby, P. C. Trickett, and S. D. Houston. 1987. "Manganese balance and clinical observations in young men fed a manganese-deficient diet." *Journal of Nutrition* 117 (1):133-143.
- GEMS/Food-EURO. 2013. Addendum 2013 - Second Workshop on Reliable Evaluation of Low-Level Contamination of Food. Workshop in the frame of GEMS/Food-EURO. Technical report. Kulmbach, Germany: WHO.
- Georgieff, M. K. 2007. "Nutrition and the developing brain: Nutrient priorities and measurement." *American Journal of Clinical Nutrition* 85 (2):614S-620S.

- Gourion, D. 2014. "Why and how prescribe lithium today?" *Annales Medico-Psychologiques* 172 (3):202-206. doi: 10.1016/j.amp.2014.02.009.
- Grandjean, E. M., and J. M. Aubry. 2009. "Lithium: Updated human knowledge using an evidence-based approach: Part III: Clinical safety." *CNS Drugs* 23 (5):397-418. doi: 10.2165/00023210-200923050-00004.
- Greger, J. L. 1998. "Dietary Standards for Manganese: Overlap between Nutritional and Toxicological Studies." *J Nutr* 128 (2):368S-371S.
- Hamadani, J. D., F. Tofail, B. Nermell, R. Gardner, S. Shiraji, M. Bottai, S. E. Arifeen, S. N. Huda, and M. Vahter. 2011. "Critical windows of exposure for arsenic-associated impairment of cognitive function in pre-school girls and boys: a population-based cohort study." *Int J Epidemiol* 40 (6):1593-604. doi: 10.1093/ije/dyr176.
- Harari, F., A. M. Ronco, G. Concha, M. Llanos, M. Grandér, F. Castro, B. Palm, B. Nermell, and M. Vahter. 2012. "Early-life exposure to lithium and boron from drinking water." *Reproductive Toxicology* 34 (4):552-560. doi: 10.1016/j.reprotox.2012.08.009.
- HCSP. 2014. Expositions au plomb : détermination de nouveaux objectifs de gestion.
- Heim, K. E., H. K. Bates, R. E. Rush, and A. R. Oller. 2007. "Oral carcinogenicity study with nickel sulfate hexahydrate in Fischer 344 rats." *Toxicol Appl Pharmacol* 224 (2):126-37. doi: 10.1016/j.taap.2007.06.024.
- Hunnicut, J., K. He, and P. Xun. 2014. "Dietary iron intake and body iron stores are associated with risk of coronary heart disease in a meta-analysis of prospective cohort studies." *Journal of Nutrition* 144 (3):359-366. doi: 10.3945/jn.113.185124.
- IARC. 1989. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Organic Solvents, Resin Monomers and Related Compounds, Pigments and Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting. N°47. Lyon: IARC.
- IARC. 1993. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. N°58. Lyon: IARC.
- IARC. 2006a. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Cobalt in Hard Metals and Cobalt Sulfate, Gallium Arsenide, Indium Phosphide and Vanadium Pentoxide. N°86. Lyon: IARC.
- IARC. 2006b. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Inorganic and Organic Lead Compounds. N°87. Lyon: IARC.
- IARC. 2012. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. N°100C. Lyon, France: IARC.
- INERIS. 2006. Données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Nickel et ses dérivés. 71 p.
- IOM. 1997. Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride. edited by National Academy Press. Washington, D.C.: IOM.
- IOM. 2001. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. edited by National Academy Press. Washington, D.C.: IOM.
- IOM. 2011. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. edited by The National Academies Press. Washington, DC IOM.
- J. Edel, R. Pietra, E. Sabbioni, E. Marafante, A. Springer, and L. Ubertalli. 1984. "Disposition of vanadium in rat tissues at different age." *Chemosphere* 13 (1):87-93.
- JECFA. 1977. Summary of toxicological data of certain food additives. In *WHO Food Additives Series*, N°12. Geneva: WHO.
- JECFA. 2000. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Food Additives Series*, N° 44 (53rd meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.

- JECFA. 2004. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Food Additives Series*, N°52 (61st meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- JECFA. 2006. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Food Additives Series*, N°58 (67th meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- JECFA. 2011a. Evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO technical report series*, N°966 (74th report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive.). Geneva: WHO.
- JECFA. 2011b. Evaluation of certain food additives and contaminants. In *WHO Technical Report Series*, N°960 (73rd report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Geneva: WHO.
- JECFA. 2011c. 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.
- Kalkwarf, H. J., J. C. Khoury, and B. P. Lanphear. 2003. "Milk intake during childhood and adolescence, adult bone density, and osteoporotic fractures in US women." *American Journal of Clinical Nutrition* 77 (1):257-265.
- Kippler, M., M. B. Hossain, C. Lindh, S. E. Moore, I. Kabir, M. Vahter, and K. Broberg. 2012. "Early life low-level cadmium exposure is positively associated with increased oxidative stress." *Environ Res* 112:164-70. doi: 10.1016/j.envres.2011.11.012.
- Kippler, M., F. Tofail, J. D. Hamadani, R. M. Gardner, S. M. Grantham-McGregor, M. Bottai, and M. Vahter. 2012. "Early-life cadmium exposure and child development in 5-year-old girls and boys: a cohort study in rural Bangladesh." *Environ Health Perspect* 120 (10):1462-8. doi: 10.1289/ehp.1104431.
- Klevay, L. M., L. Inman, L. K. Johnson, M. Lawler, J. R. Mahalko, D. B. Milne, H. C. Lukaski, W. Bolonchuk, and H. H. Sandstead. 1984. "Increased cholesterol in plasma in a young man during experimental copper depletion." *Metabolism* 33 (12):1112-1118. doi: 10.1016/0026-0495(84)90096-9.
- Kossoff, E. H., M. T. Silvia, A. Maret, M. Carakushansky, and E. P. G. Vining. 2002. "Neonatal hypocalcaemic seizures: Case report and literature review." *Journal of Child Neurology* 17 (3):236-239.
- 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 Bot, B., J.-P. Lucas, F. Lacroix, and P. Glorennec. 2013. "Population-based metals concentrations in tap water consumed by young children in France." 2013 Conference of the International Society of Environmental Epidemiology (ISEE), the International Society of Exposure Science (ISES), and the International Society of Indoor Air Quality and Climate (ISIAQ). Available at: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.ehbasel13>, Basel, Switzerland, August 19–23, 2013.
- Maiya, S., I. Sullivan, J. Allgrove, R. Yates, M. Malone, C. Brain, N. Archer, Q. Mok, P. Daubeney, R. Tulloh, and M. Burch. 2008. "Hypocalcaemia and vitamin D deficiency: An important but preventable, cause of life-threatening infant heart failure." *Heart* 94 (5):581-584. doi: 10.1136/hrt.2007.119792.
- McKnight, R. F., M. Adida, K. Budge, S. Stockton, G. M. Goodwin, and J. R. Geddes. 2012. "Lithium toxicity profile: A systematic review and meta-analysis." *The Lancet* 379 (9817):721-728. doi: 10.1016/S0140-6736(11)61516-X.
- Menezes-Filho, J. A., C. R. Paes, A. M. de C. Pontes, J. C. Moreira, P. N. Sarcinelli, and D. Mergler. 2009. "High levels of hair manganese in children living in the vicinity of a ferro-manganese alloy production plant." *NeuroToxicology* 30 (6):1207-1213. doi: 10.1016/j.neuro.2009.04.005.
- Milner, J. A. 1990. "Trace minerals in the nutrition of children." *The Journal of Pediatrics* 117 (2 PART 2):S147-S155. doi: 10.1016/S0022-3476(05)80013-7.

Ministère chargé de la Santé, . 2011-2012. Données issues de la base SISE-EAUX alimentée par les résultats des analyses réalisées dans le cadre du contrôle sanitaire de l'eau du robinet mis en oeuvre par les ARS.

Momcilović, B. 1999. "A case report of acute human molybdenum toxicity from a dietary molybdenum supplement--a new member of the "Lucor metallicum" family." *Arh Hig Rada Toksikol* 50 (3):289-97.

Moore-Schiltz, L., J.M. Albert, M.E. Singer, J. Swain, and N.L. Nock. 2015. "Dietary intake of calcium and magnesium and the metabolic syndrome in the National Health and Nutrition Examination (NHANES) 2001-2010 data." *Br J Nutr* 114 (6):924-35. doi: 10.1017/S0007114515002482.

Nayak, N. C., and A. R. Chitale. 2013. "Indian childhood cirrhosis (ICC) & ICC-like diseases: the changing scenario of facts versus notions." *Indian J Med Res* 137 (6):1029-42.

Naylor, G. P., and J. D. Harrison. 1995. "Gastrointestinal iron and cobalt absorption and iron status in young rats and guinea pigs." *Hum Exp Toxicol* 14 (12):949-54.

Newport, D. J., A. C. Viguera, A. J. Beach, J. C. Ritchie, L. S. Cohen, and Z. N. Stowe. 2005. "Lithium placental passage and obstetrical outcome: Implications for clinical management during late pregnancy." *American Journal of Psychiatry* 162 (11):2162-2170. doi: 10.1176/appi.ajp.162.11.2162.

NTP. 2008. "NTP Toxicology and carcinogenesis studies of sodium dichromate dihydrate (Cas No. 7789-12-0) in F344/N rats and B6C3F1 mice (drinking water studies)." *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser* (546):1-192.

NTP. 2010. "NTP Toxicology and carcinogenesis studies of chromium picolinate monohydrate (CAS No. 27882-76-4) in F344/N rats and B6C3F1 mice (feed studies)." *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser* (556):1-194.

NTP. 2012. "NTP Monograph on health effects of low-level lead." *NTP Monogr*:xiii, xv-148.

Okada, K., K. Okagawa, K. Kawakami, Y. Kuroda, K. Morizumi, H. Sato, H. Morita, S. Shimomura, and S. Saito. 1989. "Renal failure caused by long-term use of a germanium preparation as an elixir." *Clin Nephrol* 31 (4):219-24.

Orphanet. 2006. "L'hémochromatose." <https://www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/hemochromatose-FRfrPub92.pdf>.

Ostrom, C.A., R. Van Reen, and C.W. Miller. 1961. "Changes in the Connective Tissue of Rats Fed Toxic Diets Containing Molybdenum Salts " *J DENT RES* 40:520-528. doi: 10.1177/00220345610400032001.

Pitt, M.A. 1976. "Molybdenum toxicity: interactions between copper, molybdenum and sulphate." *Agents Actions* 6 (6):758-69.

Rayman, M. P. 2000. "The importance of selenium to human health." *Lancet* 356 (9225):233-241.

Rayssiguier, Y., Y. Boirie, and J. Durlach. 2001. "Magnésium." In *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e édition*, edited by Tec&Doc, 146-149. Paris, France: Lavoisier.

Reiser, S, A Powell, C Y Yang, and J Canary. 1987. "Effect of copper intake on blood cholesterol and its lipoprotein distribution in men." *Nutrition reports International* 36:641-9.

Rose, M., M. Baxter, N. Brereton, and C. Baskaran. 2010. "Dietary exposure to metals and other elements in the 2006 UK Total Diet Study and some trends over the last 30 years." *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 27 (10):1380-404. doi: 10.1080/19440049.2010.496794.

Roussel, A.M, and I Hinger-Favier. 2009. "Éléments-trace essentiels en nutrition humaine : chrome, sélénium, zinc et fer." *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Endocrinologie-Nutrition* 10-359-B-10. doi: 10.1016/S1155-1941(09)49501-5.

Sachdev, H. P. S., T. Gera, and P. Nestel. 2005. "Effect of iron supplementation on mental and motor development in children: Systematic review of randomised controlled trials." *Public Health Nutrition* 8 (2):117-132. doi: 10.1079/PHN2004677.

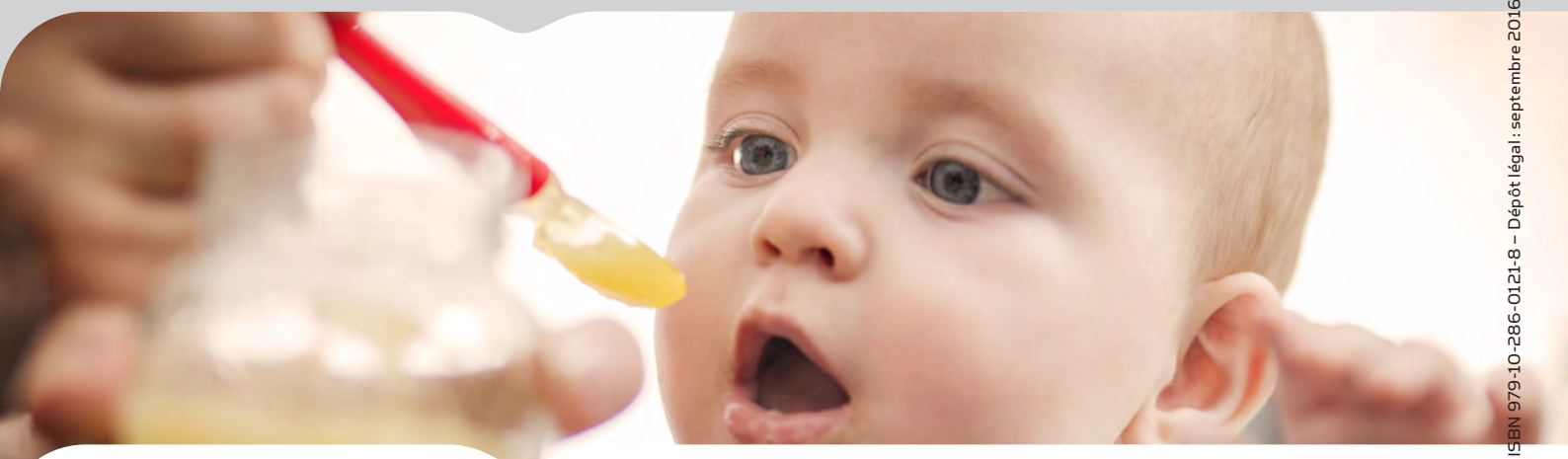
Santhosh Kumar, B., and K. I. Priyadarsini. 2014. "Selenium nutrition: How important is it?" *Biomedicine and Preventive Nutrition* 4 (2):333-341. doi: 10.1016/j.bionut.2014.01.006.

- Sargent, James D , Madeline A Dalton, Gerald T O'Connor, Elaine M Olmstead, and Robert Z Klein. 1999. "Randomized trial of calcium glycerophosphate-supplemented infant formula to prevent lead absorption." *Am J Clin Nutr* 69 (6):1224-1230.
- Saxena, D. K., R. C. Murthy, B. Lal, R. S. Srivastava, and S. V. Chandra. 1990. "Effect of hexavalent chromium on testicular maturation in the rat." *Reprod Toxicol* 4 (3):223-8.
- Sazawal, S, P Malik, S Jalla, N Krebs, M Bhan, and R Black. 2004. "Zinc supplementation for four months does not affect plasma copper concentration in infants." *Acta Paediatrica* 93 (5):599-602. doi: 10.1111/j.1651-2227.2004.tb18254.x.
- SCF. 1975. Reports from the Scientific committee on food. 1st series. Brussels: SCF. 35 p.
- SCF. 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Zinc. Brussels: SCF.
- SCF. 2006. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Brussels: SCF.
- Schroeder, H. A., I. H. Tipton, and A. P. Nason. 1972. "Trace metals in man: strontium and barium." *J Chronic Dis* 25 (9):491-517.
- Siro, V., T. Guerin, Y. Mauras, H. Garraud, J L Volatier, and J. C. Leblanc. 2008. "Methylmercury exposure assessment using dietary and biomarker data among frequent seafood consumers in France CALIPSO study." *Environ Res* 107:30-38.
- Sughis, M., J. Penders, V. Haufroid, B. Nemery, and T. S. Nawrot. 2011. "Bone resorption and environmental exposure to cadmium in children: a cross-sectional study." *Environ Health* 10:104. doi: 10.1186/1476-069X-10-104.
- Suharno, D., Muhilal, D. Karyadi, C. E. West, J. G. A. J. Hautvast, and C. E. West. 1993. "Supplementation with vitamin A and iron for nutritional anaemia in pregnant women in West Java, Indonesia." *The Lancet* 342 (8883):1325-1328. doi: 10.1016/0140-6736(93)92246-P.
- Szkup-Jablonska, M., B. Karakiewicz, E. Grochans, A. Jurczak, G. Nowak-Starz, I. Rotter, and A. Prokopowicz. 2012. "Effects of blood lead and cadmium levels on the functioning of children with behaviour disorders in the family environment." *Ann Agric Environ Med* 19 (2):241-6.
- Tao, S. H., and P. M. Bolger. 1997. "Hazard assessment of germanium supplements." *Regul Toxicol Pharmacol* 25 (3):211-9. doi: 10.1006/rtph.1997.1098.
- Trafikowska, U., E. Sobkowiak, J. A. Butler, P. D. Whanger, and B. A. Zachara. 1998. "Organic and inorganic selenium supplementation to lactating mothers increase the blood and milk Se concentrations and Se intake by breast-fed infants." *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 12 (2):77-85.
- Trickler, W. J., S. M. Lantz, R. C. Murdock, A. M. Schrand, B. L. Robinson, G. D. Newport, J. J. Schlager, S. J. Oldenburg, M. G. Paule, W. Slikker, Jr., S. M. Hussain, and S. F. Ali. 2010. "Silver nanoparticle induced blood-brain barrier inflammation and increased permeability in primary rat brain microvessel endothelial cells." *Toxicol Sci* 118 (1):160-70. doi: 10.1093/toxsci/kfq244.
- US-EPA. 1996. Toxicological review of Strontium (CAS N° 7440-24-6). In *Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)* Washington DC: US EPA.
- US-EPA. 1997. Toxicological review of Silver (CAS N° 7440-22-4). In *Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)* Washington DC: US EPA.
- US-EPA. 2005. Toxicological review of baryum and compounds (CAS No. 7440-39-3). Washington DC, USA: US EPA.
- US-EPA. 2006. Chemicals Evaluated for Carcinogenic Potential by the Office of Pesticide Programs.: Science Information Management Branch Health Effects Division Office of Pesticide Programs U.S. Environmental Protection Agency.
- US-EPA. 2011. Toxicological review of vanadium pentoxide (CAS N° 1314-62-1). In *Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)* Washington DC: US EPA.
- Viguera, A. C., T. Whitfield, R. J. Baldessarini, D. J. Newport, Z. Stowe, A. Reminick, A. Zurick, and L. S. Cohen. 2007. "Risk of recurrence in women with bipolar disorder during pregnancy: Prospective

- study of mood stabilizer discontinuation." *American Journal of Psychiatry* 164 (12):1817-1824. doi: 10.1176/appi.ajp.2007.06101639.
- Vyskocil, A., and C. Viau. 1999. "Assessment of molybdenum toxicity in humans." *J Appl Toxicol* 19 (3):185-92.
- Walravens, P.A., R. Moure-Eraso, C.C. Solomons, R. Chapell, and G. Bentley. 1979. "Biochemical abnormalities in workers exposed to molybdenum dust." *Arch Environ Health* 34 (5):302-308.
- Walravens, PA, and KM Hambidge. 1976. "Growth of infants fed a zinc supplemented formula." *Am J Clin Nutr* 29 (10):1114-21.
- Wasserman, G. A., X. Liu, F. Parvez, H. Ahsan, D. Levy, P. Factor-Litvak, J. Kline, A. van Geen, V. Slavkovich, N. J. Lolocono, Z. Cheng, Y. Zheng, and J. H. Graziano. 2006. "Water manganese exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh." *Environmental Health Perspectives* 114 (1):124-129. doi: 10.1289/ehp.8030.
- Weaver, C. M. 2013. "Potassium and health." *Advances in Nutrition* 4 (3):368S-377S. doi: 10.3945/an.112.003533.
- WHO. 1996. Trace elements in human nutrition and health Geneva: WHO.
- WHO. 2003. Antimony in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. N°WHO/SDE/WSH/03.04/74. Geneva: WHO.
- WHO. 2005. Nickel in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. N°WHO/SDE/WSH/05.08/55. Geneva: WHO.
- WHO. 2010. Exposure to cadmium: a major public health concern. Geneva: WHO.
- WHO. 2012. Guideline: potassium intake for adults and children. Geneva: WHO.
- Yorifuji, T., T. Tsuda, H. Doi, and P. Grandjean. 2011. "Cancer excess after arsenic exposure from contaminated milk powder." *Environ Health Prev Med* 16 (3):164-70. doi: 10.1007/s12199-010-0182-x.

Notes





ISBN 979-10-286-0121-8 - Dépôt légal : septembre 2016 - © Anses Éditions : septembre 2016 - Date de publication : septembre 2016 - Crédits photos : iStock, Fotolia



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)