

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Exposition agrégée au plomb : prise en compte des différentes voies d'exposition

Appui à la saisine
2013-SA-0092

Rapport d'appui scientifique et technique

Avril 2014

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Exposition agrégée au plomb : prise en compte des différentes voies d'exposition

Appui à la saisine
2013-SA-0092

Rapport d'appui scientifique et technique

Avril 2014

Édition scientifique

**Exposition agrégée au plomb :
Prise en compte des différentes
voies d'exposition**

Appui à la saisine 2013-SA-0092

RAPPORT
d'appui scientifique et technique

Avril 2014

Mots clés

Plomb, exposition, plombémie, poussières, sol, alimentation

Présentation des intervenants

PREAMBULE : 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.

RAPPORTEURS

Glorennec Philippe – EHESP

Lucas Jean-Paul – CSTB

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Bemrah Nawel – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Bodin Laurent – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Contribution scientifique

Bemrah Nawel – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Bodin Laurent – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Boullanger Guillaume – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Denys Sébastien – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Hulin Marion – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Keirsbulck Marion – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Perouel Guillaume – Anses, Direction de l'Evaluation des risques-

Rosin Christophe – Anses, Laboratoire d'Hydrologie de Nancy-

SOMMAIRE

Présentation des intervenants.....	3
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la demande	8
1.1 Contexte.....	8
1.2 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	8
2 Matériels et méthodes.....	9
2.1 Aliments et eaux embouteillées	9
2.1.1 Données de consommation alimentaire.....	9
2.1.2 Données de contamination.....	11
2.1.3 Eau du robinet.....	15
2.1.4 Air	16
2.1.5 Poussières intérieures et sol extérieur.....	18
2.2 Calcul des doses d'exposition au plomb.....	19
2.2.1 Objectif.....	19
2.2.2 Populations étudiées.....	20
2.2.3 Méthodologie retenue.....	20
2.2.4 Définition des variables d'entrée	27
3 Résultats.....	35
3.1 Doses d'exposition calculées pour chacun des média d'exposition air, poussières, sol, eau du robinet et alimentation.....	35
3.1.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans.....	35
3.1.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans	40
3.2 Dose d'exposition totale	44
3.2.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans.....	44
3.2.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans.....	50
3.3 Analyse de sensibilité.....	56
3.3.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans.....	56
3.3.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans.....	57
3.4 Calcul de l'imprégnation.....	58
4 Discussion et conclusion.....	64
5 Bibliographie.....	68
ANNEXES	70
Annexe 1 : Lettre de la demande.....	71

Annexe 2 : Descriptif des données de concentrations moyennes annuelles en plomb par année en excluant les stations de mesure à proximité industrielle et d'observation spécifique	72
Annexe 3 : Distribution et statistiques descriptives des distributions de probabilités des différentes variables d'entrée utilisées dans les modèles d'exposition.....	73
Annexe 4 : Modélisation de l'exposition agrégée au plomb avec les hypothèses « Lower Bound » (LB) et « Upper Bound » (UB) pour la caractérisation de l'exposition alimentaire	83
Annexe 5 : Codage et effectifs selon le découpage par âge et région d'habitat des différentes études	91
Annexe 6 : Avis divergent	95
Annexe 7 : Argumentaire Anses	104

Liste des tableaux

Tableau 1. Sources des données de contamination des différents milieux investigués selon la population d'étude.....	9
Tableau 2. Description des mesures de contamination de l'air extérieur de la base BDQA entre 2007 et 2011 en ng.m ⁻³	29
Tableau 3. Paramètres des distributions normales attribuées au volume respiratoire des différentes classes d'âges.....	31
Tableau 4. Distribution des probabilités d'occurrence et statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges.....	36
Tableau 5. Distribution des probabilités d'occurrence et statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges.....	38
Tableau 6. Distributions statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 3 à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges	40
Tableau 7. Distributions statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 3 à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges	42
Tableau 8. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges	44
Tableau 9. Contribution relative des différentes sources d'exposition à la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges.....	45
Tableau 10. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges	46
Tableau 11. Contribution relative des différentes sources d'exposition à la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges.....	48
Tableau 12. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges	50
Tableau 13. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges.....	51
Tableau 14. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges.....	53
Tableau 15. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges.....	54
Tableau 16. Coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans	57
Tableau 17. Coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et les doses d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans	57
Tableau 18. Constantes physiologiques et paramètres du modèle pour calculer l'impregnation au plomb pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans	60
Tableau 19. Distribution et statistiques descriptives des paramètres d'exposition	73
Tableau 20. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges	83
Tableau 21. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges	85

Tableau 22. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges	86
Tableau 23. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges	87
Tableau 24. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur les doses d'exposition totale pour l'ensemble des deux populations étudiées selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et respectivement trois et quatre classes d'âges	89
Tableau 25. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur les doses d'exposition totale pour l'ensemble des deux populations étudiées selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges	90
Tableau 26. Codage des régions et âges des individus de Plomb-Habitat, INCA2 et BEBE-SFAE	91
Tableau 27. Effectifs au sein des enquêtes Plomb-Habitat (PH) et BEBE-SFAE par âge et région	93
Tableau 28. Effectifs au sein des enquêtes Plomb-Habitat (PH) et INCA2 par âge et région	94

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la demande

1.1 Contexte

L'Anses a été saisie par la Direction Générale de la Santé le 7 mai 2013 d'une demande d'appui scientifique et technique relative à l'exposition au plomb, prenant en compte toutes les voies d'exposition et milieux (air, eau de distribution, denrées alimentaires, poussières et particules de sol) ainsi que les données d'imprégnation chez les enfants de 6 mois à 6 ans. La contribution de l'agence a vocation à nourrir la réflexion du Haut conseil de santé publique, qui répond par ailleurs à une saisine de la DGS du 15 octobre 2013 « Expositions au plomb - détermination de nouveaux objectifs de gestion ». Les troubles du comportement alimentaire, tels que le PICA¹, ne sont pas pris en compte dans le présent rapport, de même que l'exposition liée à l'utilisation de jouets, de bijoux fantaisies ou par ingestion de cosmétiques.

1.2 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

Étape et/ou question posée	Découpage éventuel ²	Compétences nécessaires
1 -Analyse des données de contamination	Bases de données de contamination (aliments, eau, air, poussières)	Statisticien
2 –Calcul de l'exposition		Programmation SAS/@risk
3 –Calcul de l'imprégnation		Programmation IEUBK

¹ Trouble du comportement alimentaire chez l'enfant se manifestant par l'ingestion de substances non comestibles telles que terre, papier, craie ou écailles de peinture.

² En termes de contenu, de délai ou de domaine de compétence.

2 Matériels et méthodes

Ce rapport s'appuie sur les données de contamination existantes issues des travaux suivants (cf. tableau 1) :

- Enquête Plomb-Habitat : (Lucas *et al.*, 2012) ;
- 2^{ème} Étude de l'alimentation totale (EAT2) : (Anses, 2011) ;
- Étude de l'alimentation totale infantile (EATi) : (Anses, en cours) ;
- Données du laboratoire d'hydrologie de Nancy (LHN) sur les eaux embouteillées : 2008 ;
- BDQA (base de données qualité de l'air) de l'Ineris : 2007-2011 ;
- Enquête individuelle et nationale de consommation alimentaire (INCA2) : (Afssa, 2009) ;
- Enquête « bébé 2005 » du *Syndicat Français des Aliments de l'Enfance (SFAE)* : (Fantino et Gourmet, 2008).

Tableau 1. Sources des données de contamination des différents milieux investigués selon la population d'étude

Tranche d'âge	Milieu	Source
6 mois - 3 ans	Alimentation+eaux embouteillées	EATi+EAT2+LHN
	Air	BDQA
	Eau du robinet	Plomb-Habitat
	Sol et poussières	Plomb-Habitat
3 ans - 6 ans	Alimentation+eaux embouteillées	EAT2+LHN
	Air	BDQA
	Eau du robinet	Plomb-Habitat
	Sol et poussières	Plomb-Habitat

2.1 Aliments et eaux embouteillées

2.1.1 Données de consommation alimentaire

2.1.1.1 Nourrissons et enfants en bas âge de moins de 36 mois

Les calculs réalisés se basent sur les données de consommation de l'enquête BEBE-SFAE (Fantino et Gourmet, 2008). Cette enquête a été réalisée sur le terrain du 12 janvier au 10 mars 2005 par la TNS-SOFRES pour le compte du *Syndicat Français des Aliments de l'Enfance* membre de *l'Alliance 7*. Le recueil des données de consommation a été effectué au domicile de 713 enfants (âgés de 15 jours à 36 mois et 15 jours), selon la technique du carnet alimentaire sur trois jours consécutifs, repas par repas, noté par les personnes prenant soin des

enfants (le plus souvent la mère, et/ou la nourrice, avec la participation des pères). Sept carnets alimentaires ont du être exclus de l'analyse nutritionnelle car ils se sont avérés trop incomplets pour être pris en considération.

Ont été inclus dans cette enquête, des nourrissons ou jeunes enfants non allaités au sein (ni exclusivement, ni partiellement) et ne fréquentant pas une crèche collective ou une école durant les trois jours suivant le recrutement. En effet, la quantité de lait consommée par un bébé allaité au sein étant difficile à évaluer, elle aurait nécessité un protocole spécifique et une analyse du lait maternel pour chaque nourrice, voire à chaque prise, compte tenu des variations de la teneur en plomb du lait de femme. Les enfants nourris au sein ont donc été exclus par la TNS-SOFRES.

La nomenclature de cette enquête de consommation comprend 32 catégories alimentaires principales. Ont été pris en compte dans les calculs, les céréales infantiles et les biscuits destinés aux nourrissons et enfants en bas âge.

Les consommations alimentaires et les apports ont été calculés pour **511 enfants âgés de 6 mois à 3 ans**. Un enfant a été exclu de l'analyse car le taux de couverture de sa consommation par les données de contamination était inférieur à 40%.

2.1.1.2 Enfants de 3 à 6 ans

Les données de consommation utilisées dans le présent rapport sont issues de l'enquête individuelle et nationale de consommation alimentaire (INCA2) réalisée en 2005-2007 (Anses, 2009). Pour constituer l'échantillon, une allocation proportionnelle a été utilisée pour les variables de stratification suivantes : âge, sexe, catégorie socio-professionnelle et taille du ménage. C'est-à-dire que, pour le critère du sexe par exemple, la proportion d'individus de sexe masculin dans l'échantillon est la même que celle de la population générale.

Au total, plus de 4079 personnes ont été enquêtées, réparties sur 4 vagues de décembre 2005 à avril 2007 - en intégrant les effets saisonniers -, dont 1455 enfants de 3 à 17 ans et 2624 adultes de 18 ans et plus.

Le recueil des consommations s'est appuyé sur des carnets de 7 jours, ainsi que sur un manuel de photographies pour les tailles de portions permettant de distinguer 1342 aliments différents.

Les consommations alimentaires et les apports ont été calculés uniquement pour les individus normo-évaluants³ de 3 à 6 ans, **soit 242 enfants**.

2.1.2 Données de contamination

2.1.2.1 Aliments analysés dans le cadre de l'EAT2

Les données concernant l'alimentation courante, hors eau du robinet, proviennent de la 2^{ème} étude de l'alimentation totale (EAT2) (Sirot *et al.*, 2009). Cette étude s'appuie sur les données de consommations alimentaires de l'étude INCA2. Un échantillonnage alimentaire a été réalisé au début de l'EAT2, à partir des données de l'étude INCA2 (Sirot *et al.*, 2009). Deux critères principaux ont été considérés : (i) les aliments les plus consommés et (ii) des aliments peu consommés mais susceptibles d'être fortement contaminés. En tout, 212 types d'aliments différents ont ainsi été sélectionnés, couvrant environ 90% de la consommation alimentaire des adultes et des enfants.

Parmi ces 212 types d'aliments, incluant les boissons dont l'eau de distribution publique et l'eau embouteillée, 116 ont été considérés comme ne présentant pas ou peu de variabilité interrégionale (composition ou contamination). Les 96 autres aliments ont fait l'objet de listes interrégionales afin de tenir compte d'une éventuelle variabilité de composition ou de contamination entre les régions (modes de production et/ou d'alimentation animale, pression environnementale). Au final, huit listes interrégionales d'aliments ont ainsi été établies pour ce programme.

Pour chacun des 212 types d'aliments, un plan d'échantillonnage a été réalisé afin de prendre en compte les habitudes de consommation en France (l'arôme, l'origine du produit, les caractéristiques alléguées comme « allégé » ou « bio » par exemple), les lieux d'achat (grande ou moyenne surface, commerces de détail, marchés), le mode de conservation (frais, surgelé, en boîtes de conserve) ainsi que les parts de marché des différentes marques.

Les achats ont été réalisés tout au long de l'année, de juin 2007 à janvier 2009, permettant de couvrir les variations saisonnières de l'offre alimentaire. Enfin, chaque échantillon a été acheté deux fois au cours de l'étude, afin de couvrir une potentielle variabilité saisonnière de composition ou de contamination. Au final, ce sont environ 20 000 aliments qui ont été échantillonnés. Pour chaque aliment, seule la partie comestible a été utilisée, puis les aliments ont été préparés « tels que consommés ». Les aliments ont ensuite été mixés en 1319 échantillons composites

³ Individus de la population n'incluant pas les sous-déclarants (personnes ayant pour des raisons volontaires ou involontaires sous-estimé leurs apports caloriques).

représentatifs des paniers de consommations et d'achats des consommateurs pour les huit inter-régions enquêtées, et analysés par des laboratoires accrédités dans le cadre de l'EAT2. Ainsi, un échantillon est un composite de 15 sous-échantillons du même aliment et de même masse. Les données analytiques fournies correspondent donc au résultat individuel issu de l'analyse de chaque échantillon composite par un laboratoire accrédité.

Méthode d'analyse du Plomb

Le plomb a été recherché dans l'ensemble des échantillons alimentaires selon une méthode par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) accréditée par le COFRAC. Les analyses ont été réalisées par l'unité Contaminants inorganiques et minéraux de l'environnement du laboratoire de sécurité des aliments de Maisons-Alfort de l'Anses, laboratoire national de référence pour les métaux lourds dans les denrées alimentaires d'origine animale.

Les échantillons ont été analysés après digestion assistée par micro-ondes sous pression au moyen d'une spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS).

De 0,2 à 0,6 g d'échantillons homogénéisés ont été pesés dans des matras en quartz dans lesquels ont été ajoutés 3 mL d'acide nitrique (67% v/v) et 3 mL d'eau ultra-pure (Afnor 2002b). Après une étape de prédigestion de 15 min, les échantillons ont été minéralisés selon le programme préalablement optimisé (Noël, Leblanc *et al.*, 2003). Après refroidissement à température ambiante, les solutions ont été transférées quantitativement dans des tubes en polyéthylène de 50 mL dans lesquels ont été ajoutés 100 µL d'étalons internes. La solution a alors été complétée avec de l'eau ultra-pure jusqu'au volume final avant analyse.

Les résultats ont été validés s'ils satisfaisaient aux contrôles de qualité interne mis en place. Dans le cas contraire, les échantillons ont été ré-analysés. Lorsque les concentrations étaient supérieures aux limites de quantification (LOQ), la moyenne des doubles analysés a été retenue, associée à une incertitude de mesure.

La limite de quantification (LOQ) pour le plomb a été définie à 0,005 mg.kg⁻¹.

2.1.2.2 Aliments analysés dans le cadre de l'EATi

En 2010, une Etude de l'Alimentation Totale infantile a été lancée par l'Anses afin d'évaluer l'exposition alimentaire des enfants de moins de 3 ans à différentes substances d'intérêt en termes de santé publique dont le plomb.

Afin d'obtenir des données sur la contamination des aliments consommés par cette tranche d'âge, un échantillonnage alimentaire a été réalisé à partir de l'étude de consommation « BEBE-SFAE » 2005. Des critères similaires à ceux de l'EAT2 ont été utilisés pour sélectionner les aliments à échantillonner : (i) aliments les plus consommés et (ii) aliments peu consommés mais susceptibles d'être fortement contaminés. Cependant, des seuils de sélection différents ont été considérés pour les aliments spécifiquement destinés aux enfants de moins de 3 ans (appelés dans le cadre de cette enquête « aliments infantiles ») et pour les aliments non spécifiques et consommés aussi par les enfants plus âgés et/ou les adultes (appelés « aliments courants »), pour lesquels des données étaient déjà disponibles *via* l'EAT2. Par ailleurs, pour les besoins de l'EAT et pour mieux cibler l'alimentation des différents groupes d'âge dans cette population, un découpage par tranches d'âges compatible avec les différents stades de l'alimentation des nourrissons a été effectué. Au total, 314 items alimentaires ont été ainsi identifiés, 219 items infantiles et 95 non infantiles, permettant de couvrir plus de 90% de la diète de la population considérée. A noter que pour cette sélection, l'information sur la marque achetée, pour les produits infantiles, a été conservée lorsque disponible et n'a pas fait l'objet de regroupements entre aliments similaires afin de considérer une certaine fidélité des parents, notamment vis-à-vis des préparations infantiles.

A partir de cette liste d'items, un plan d'échantillonnage a été réalisé. Chacun des échantillons était composé de 12 sous-échantillons, permettant de prendre en compte, de la même manière que pour l'EAT2, les habitudes de consommation en France, les lieux d'achat (grande ou moyenne surface, commerces de détail, marchés), le mode de conservation mais également les pratiques de préparation.

Les achats ont été réalisés tout au long de l'année, de juillet 2011 à juillet 2012, permettant de couvrir les variations saisonnières de l'offre alimentaire. Au final, ce sont environ 5 508 aliments qui ont été échantillonnés. Pour chaque aliment, seule la partie comestible a été utilisée, puis les aliments ont été préparés « tels que consommés ». Les aliments ont ensuite été mixés en 459 échantillons composites et analysés par des laboratoires accrédités dans le cadre de l'EAT2. Les données analytiques fournies correspondent donc au résultat individuel issu de l'analyse de chaque échantillon composite par un laboratoire accrédité.

Méthode d'analyse du Plomb

Le plomb a été recherché dans 293 échantillons alimentaires issus des 314 items alimentaires (ont été exclus les items identifiés comme contributeurs à des substances autres que les contaminants inorganiques et minéraux). De la même manière que pour l'EAT2, les analyses ont été réalisées selon une méthode ICP-MS par l'unité Contaminants inorganiques et minéraux de l'environnement

du laboratoire de sécurité des aliments de Maisons-Alfort de l'Anses, laboratoire national de référence pour les métaux lourds dans les denrées alimentaires d'origine animale.

La limite de quantification pour le plomb a été définie entre 0,0006 et 0,0009 mg.kg⁻¹.

Les résultats des analyses présentés ici sont en cours d'évaluation par différents collectifs d'experts de l'Anses. Les données de contamination et les méthodes analytiques utilisées pour la mesure du plomb dans les échantillons de l'EATi seront notamment expertisés dans le cadre du GT « Méthodes Analytiques dans l'Alimentation » de l'Anses.

2.1.2.3 Eaux embouteillées

L'ensemble des eaux minérales naturelles conditionnées françaises ainsi que quelques eaux conditionnées étrangères importées ont été analysées en 2008 par le LHN.

Les eaux minérales naturelles embouteillées ont été prélevées telles qu'elles sont fournies à la consommation avec l'aide des Directions départementales des affaires sanitaires et sociales qui ont coordonné avec les industriels, le prélèvement à l'usine et l'envoi des échantillons. Un certain nombre d'eaux ont été prélevées directement dans la grande distribution par le Laboratoire d'études et de recherches en hydrologie (LERH) en s'assurant de l'homogénéité des lots.

L'échantillonnage s'est déroulé au cours de l'année 2008 :

Méthode d'analyse du Plomb

Les analyses ont été réalisées au LHN par ICP-MS selon la norme NF EN ISO 17294-2 (2005) : Qualité de l'eau : Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) – Partie 2 : dosage de 62 éléments ;

La LOQ du plomb est de 1 µg.L⁻¹ et l'incertitude intra-laboratoire élargie (k=2) est de l'ordre de 20%.

Traitement des données censurées

On appelle données censurées les valeurs inférieures aux limites de détection ou de quantification. Afin de ne pas écarter ces données du calcul de l'exposition, différentes hypothèses sont considérées afin d'affecter à ces données des valeurs de concentration, hypothèses qui sont définies ci-après en suivant les recommandations de l'OMS (GEMS-Food Euro, 1995) :

Pour les échantillons analysés pour lesquels le taux de censure était inférieur à 60%, les données censurées ont été remplacées par une estimation correspondant à une hypothèse moyenne ou « middle bound » (MB). Les concentrations inférieures à la limite de détection (LOD) (substances non détectées) ont été remplacées par $\frac{1}{2}$ LOD, et les concentrations inférieures à la LOQ mais supérieures à la LOD (dites « traces ») ont été remplacées par $\frac{1}{2}$ LOQ.

Pour les échantillons analysés pour lesquels le taux de censure était d'au moins 60%, deux hypothèses de concentrations ont été faites : l'hypothèse basse, ou « lower bound » (LB), et l'hypothèse haute ou « upper bound » (UB). L'hypothèse basse correspond à un scénario pour lequel les valeurs non détectées sont estimées égales à 0 et les valeurs détectées mais non quantifiées sont estimées égales à la LOD. L'hypothèse haute correspond à un scénario pour lequel les valeurs non détectées sont estimées égales à la LOD et les valeurs détectées mais non quantifiées sont estimées égales à la LOQ. Le scénario LB est donc minimaliste, le scénario UB maximaliste.

Dans le cadre de cette saisine, les 3 hypothèses LB, MB et UB ont été calculées afin de tenir compte de tous les scénarios possibles, mais seule l'hypothèse MB est utilisée dans les résultats de l'étude, les deux autres étant présentées en Annexe 3.

2.1.3 Eau du robinet

Les données de concentration en plomb dans l'eau du robinet sont issues de l'enquête Plomb-Habitat (Lucas *et al.*, 2012). Quatre-cents-quatre-vingts-quatre résidences principales abritant au moins un enfant âgé de 6 mois à 6 ans, en France métropolitaine, ont fait l'objet de prélèvements entre octobre 2008 et août 2009.

Si le prélèvement en cuisine n'était pas possible, le prélèvement par défaut a été fait en salle de bain. Le type de prélèvement mis en œuvre est un prélèvement après stagnation contrôlée de 30 minutes. La procédure était la suivante :

- rinçage d'un flacon de 2 litres par trois fois (au robinet de l'évier) ;
- attente de 30 minutes avant d'effectuer le prélèvement, et rappel de la consigne aux occupants du logement de ne pas utiliser l'eau d'un quelconque point d'usage du logement (wc, lavabo, bain, douche ou machine à laver...) ;
- prélèvement au premier jet au robinet de l'évier en position eau froide, dans le flacon de 2 litres, avec un débit faible et en inclinant le flacon afin d'éviter le dégazage et rebouchage du flacon ;
- homogénéisation par agitation du flacon de 2 litres ;

- transvasage dans un flacon « métaux » de 250 mL contenant de l'acide nitrique (250 µL de HNO₃ (65-70%)) jusqu'au rétrécissement du goulot.

Une concentration en plomb ($\mu\text{g.L}^{-1}$) a pu être disponible *in fine* dans 472 logements parmi les 484 logements inclus dans l'enquête.

Méthode d'analyse du plomb

Le dosage du plomb dans l'eau du robinet a été réalisé par ICP/MS selon le référentiel normatif ci-dessous :

- Norme NF EN ISO 17294-2 Qualité de l'eau.
- Application de la spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif ICP-MS (avril 2005) : Dosage ICP-MS.

Ces analyses ont été réalisées sous accréditation COFRAC au LERES.

La LOQ du plomb est de $1\mu\text{g.L}^{-1}$.

2.1.4 Air

Les données de concentrations en plomb dans l'air utilisées dans le présent rapport sont issues de la base de données nationale de la qualité de l'air.

La surveillance de la qualité de l'air est mise en place en France sur l'ensemble du territoire depuis le 1^{er} janvier 2000 sous la responsabilité du ministère en charge de l'écologie (L.220-1 à L.221-6 et R.221-1 à R.221-15 du code de l'environnement).

La surveillance est réalisée dans chaque région par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) en liaison avec le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), coordinateur technique, constitué de l'Ineris, du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) et de l'École des Mines de Douai. A ce jour, le réseau national est composé d'environ 3 000 appareils répartis sur plus de 650 sites de mesure pour évaluer la qualité de l'air en zone rurale, périurbaine, urbaine et liée au trafic. Les appareils utilisés font l'objet d'une homologation et participe régulièrement à des exercices d'inter-comparaison afin de garantir la qualité et l'homogénéité des mesures sous la responsabilité du LCSQA. Des mesures peuvent être aussi réalisées à proximité de sites industriels ou dans des situations d'observation particulières vis-à-vis du polluant mesuré.

Le plomb est l'un des polluants dans l'air ambiant qui fait l'objet d'une réglementation visant à en diminuer la teneur : 70% des émissions étaient issues du transport routier en 1999 (CITEPA, 2013). A la suite de l'interdiction du plomb dans l'essence, sa contribution à la contamination de l'air extérieur a depuis fortement diminué (45% en 2011). Les autres sources de plomb dans l'air sont l'industrie manufacturière (métallurgie, industries du verre) et le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage au bois).

La mesure du plomb dans l'air ambiant repose sur l'analyse des métaux réglementés dans les particules PM_{10}^4 selon la norme EN 14902. Un référentiel français définit les exigences de qualité des données obtenues sur l'ensemble du territoire (LCSQA, 2011). Les mesures sont réalisées soit à partir de système de mesures automatiques ou ponctuelles avec une périodicité journalière ou hebdomadaire. Elles doivent couvrir au moins 8 semaines réparties sur l'année (14% de l'année).

Les données de concentration en plomb sont recueillies par les AASQA et transmises par ces dernières au LCSQA. Les descriptions techniques notamment les limites de quantification et les éventuels traitements des données non quantifiées et compatibles avec la norme EN 14902 ne sont pas fournies.

Les concentrations moyennes annuelles en plomb dans l'air ambiant au cours de la période 2000-2011, centralisées dans la base de données nationale de la qualité de l'air, montrent que :

La mesure de plomb repose en 2011 sur 93 stations de prélèvement avec presque 40% de mesures en proximité industrielle et d'observations spécifiques contre 5 stations toutes typologies confondues en 2000 ;

Les niveaux de plomb sont plus élevés parmi les stations à proximité industrielle et d'observation spécifique (moyenne à environ 50 ng.m^{-3} pour les stations de proximité industrielle sur la période 2005-2011) ;

Sur les sites spécifiques en proximité routière (moyenne à 14 ng.m^{-3} - période 2005-2011), les niveaux de plomb sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en zones urbaine et périurbaine (respectivement 9 et 10 ng.m^{-3} - période 2005-2011);

Les concentrations moyennes annuelles en plomb dans l'air ambiant au cours de la période 2000-2011 sont inférieures à la valeur limite dans l'air ambiant fixée à $0.5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$.

Dans le cadre de ce rapport, il a été décidé de prendre en compte les données de concentration en plomb au cours de la période 2007-2011, 2007 étant l'année de l'échantillonnage EAT2, étude

⁴ Définition des PM_{10} dans la Directive 2008/50/CE : particules passant dans un orifice d'entrée calibré tel que défini dans la méthode de référence pour l'échantillonnage et la mesure du PM_{10} , norme EN 12 341, avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de $10 \text{ } \mu\text{m}$

la moins récente. Les données de concentration à proximité industrielle et d'observation spécifique ont été exclues pour l'évaluation de l'exposition de la population générale en considérant que ces mesures n'étaient pas réalisées à proximité de zones d'habitation. Les données ne couvrant pas au moins 8 semaines de mesure sur l'année telles que demandées par la réglementation ou renseignant une couverture temporelle de plus d'une année n'ont pas été retenues dans les calculs. Au total, 191 données de concentrations moyennes annuelles en plomb sont utilisées variant entre 0,2 et 41 ng.m⁻³, maximum mesuré par une station urbaine de Rhône-Alpes. Il s'agit principalement de mesures réalisées en zone urbaine (70% des données). Un descriptif du nombre de mesures, de l'intervalle de concentration est présenté en Annexe 2 du présent rapport par année.

Aucune donnée française de concentration en plomb dans l'air intérieur n'a été recensée. L'Anses constate dans ses travaux d'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur pour les particules, le faible nombre d'études qui portent sur la composition chimique des aérosols domestiques (Anses, 2010). Néanmoins, les principales sources de la contamination de l'air intérieur identifiées dans la littérature internationale sont en lien avec les peintures anciennes au plomb. L'influence de l'environnement extérieur est ainsi déterminante.

Aussi, en l'absence de données spécifiques, les niveaux de concentration en plomb dans l'air intérieur ont été extrapolés à partir de ceux de l'air ambiant, issus du réseau de surveillance.

L'étude américaine NHEXAS (National Human Exposure Assessment Survey) réalisée entre 1995 et 1997 dans 5 états des Etats-Unis, a documenté la composition chimique des particules dans l'environnement résidentiel (Bonnano *et al.*, 2001). Les concentrations en plomb, arsenic, cadmium et chrome ont été mesurées sur une durée de 1 semaine sur une fraction particulaire totale de fraction 50 µm. La concentration médiane en plomb est de 6,2 ng.m⁻³ avec un maximum à 293 ng.m⁻³ (n=213, SD = 37,5, non détecté = 49%). L'article de Bonnano *et al.* (2001) a porté sur l'analyse des niveaux de concentrations mesurées avec les caractéristiques et activités des participants. Ils ont mis en évidence une relation entre la concentration en plomb dans l'air intérieur et la fumée de tabac environnementale. Les niveaux de concentration en plomb sont significativement plus élevés dans les logements avec fumeurs (p<0,001).

2.1.5 Poussières intérieures et sol extérieur

Les données utilisées sont celles recueillies dans le cadre de l'enquête Plomb-Habitat (Lucas *et al.*, 2012). Pour ce qui concerne la poussière intérieure des logements, il s'agit de la charge moyenne par logement en plomb total dans les poussières déposées au sol, exprimée en µg.m⁻². Pour le sol extérieur, il s'agit de la concentration en plomb total dans le sol de l'aire de jeu extérieure de l'enfant, exprimée en mg.kg⁻¹. Le prélèvement sur l'aire de jeu extérieure n'a été

effectué que si l'enfant jouait à l'extérieur. Le cas échéant, seul un prélèvement sur l'aire de jeu principale a été réalisé : si l'aire était sur sol dur, comme une cour bitumée, le prélèvement a fourni une mesure en plomb exprimée en $\mu\text{g.m}^{-2}$; si l'aire était sur un sol meuble, comme une pelouse, le prélèvement a fourni une mesure en plomb exprimée en mg.kg^{-1} . Dans le présent rapport, seules les mesures issues de prélèvement sur sol meuble de l'enquête Plomb-Habitat ont été considérées. De ce fait, il existe 169 individus (108 âgés de moins de 3 ans et 61 âgés de plus de 3 ans) pour lesquels la mesure de contamination du sol n'a pas été prise en compte. Cela concerne les enfants ne jouant pas sur une aire de jeu extérieure, les enfants jouant sur sol dur et les enfants jouant sur sol meuble avec concentration manquante (respectivement 92, 73 et 4 individus).

Méthode d'analyse du Plomb

La méthode d'analyse consiste en une minéralisation en 2 étapes : premièrement est ajoutée à l'échantillon de l'acide chlorhydrique 0,15 N à 37 °C pour solubiliser le plomb acido-soluble ; puis de l'eau régale (3 :1 HCl/HNO₃) est ajoutée à une partie aliquote à 95 °C pour solubiliser le plomb résiduel i.e. non acido-soluble. Le plomb dissous est alors analysé par ICP-MS (Inductively-coupled plasma mass spectrometer) selon la norme ISO 17 294-2.

La LOQ du plomb est de :

- poussière : 1 $\mu\text{g.m}^{-2}$ (Pb acido-soluble) ; 2 $\mu\text{g.m}^{-2}$ (Pb total) ;
- sol : 0,5 mg.kg^{-1} (Pb acido-soluble) ; 1,3 mg.kg^{-1} (Pb total).

2.2 Calcul des doses d'exposition au plomb

2.2.1 Objectif

En tenant compte des chapitres précédents, l'objectif retenu vise à conduire une évaluation agrégée des expositions au plomb, et donc à caractériser les doses d'exposition pour les sources d'exposition suivantes :

- le compartiment aérien (air intérieur et air extérieur) – exposition par inhalation ;
- les poussières intérieures – exposition par ingestion ;
- le sol de l'aire de jeu extérieur – exposition par ingestion ;

- les aliments et boissons embouteillées – exposition par ingestion ;
- l'eau du robinet – exposition par ingestion.

Les autres voies d'expositions possibles liées à des articles de consommation, tels que les jouets ou les bijoux fantaisie et l'utilisation de produits cosmétiques, ne sont pas incluses dans le calcul.

Le présent chapitre a pour objet la caractérisation des doses d'exposition au plomb *via* les différents médias considérés en prenant en compte la variabilité des paramètres d'exposition. La dose d'exposition en lien avec chacune de ces sources d'exposition a été modélisée, ainsi que la dose d'exposition totale agrégeant simultanément les doses d'exposition au plomb dans ces différents média.

Les paragraphes suivants présentent la démarche suivie, les modèles utilisés et les paramètres d'exposition entrant dans ces modèles pour *in fine* aboutir au calcul des doses d'exposition. Il est à noter que les doses d'exposition calculées sont des doses externes.

Enfin, une analyse de sensibilité consacrée à cette caractérisation des expositions, est également présentée.

2.2.2 Populations étudiées

Comme évoqué dans le chapitre 2.1.1, les populations pour lesquelles des données spécifiques sont disponibles pour quantifier les expositions au plomb sont les suivantes :

- les enfants âgés de 6 mois à 36 mois exclus ;
- les enfants âgés de 36 mois à 72 mois.

2.2.3 Méthodologie retenue

L'objectif du travail mené ici est d'une part de caractériser l'exposition agrégée au plomb de la population générale et, d'autre part, d'identifier la contribution des voies d'exposition investiguées à cette exposition agrégée.

Il a été décidé de modéliser les doses d'exposition selon une approche probabiliste car cette approche permet une prise en compte optimale de la variabilité des données d'entrée caractérisant chacune des sources d'exposition. En effet, contrairement à une approche déterministe, pour laquelle ne sont calculées que des estimations ponctuelles de l'exposition, l'approche probabiliste permet de prendre en compte l'ensemble des modalités possibles d'une variable d'entrée, par l'intermédiaire de sa distribution de probabilités. Des tirages aléatoires par simulations de Monte Carlo sont ensuite réalisés sur chacune des distributions d'entrée du modèle pour définir la

distribution des doses d'exposition, représentée *in fine* sous forme d'histogrammes ou de distributions cumulées.

Il convient ici de distinguer deux types de calculs dont les principes sont rappelés ci-après :

- La caractérisation de l'exposition agrégée au plomb pour la population générale ;
- La contribution relative de chaque source d'exposition à l'exposition globale.

2.2.3.1 Caractérisation de l'exposition agrégée au plomb de la population générale

Dans un premier temps, et pour chaque individu des études BEBE-SFAE et INCA2, une exposition agrégée a été calculée en sommant l'exposition alimentaire et les expositions environnementales. Cette méthode permet d'estimer une exposition individuelle qui tient compte au mieux des liens existants entre les différentes sources environnementales d'exposition. Cette agrégation a pris en compte les probabilités d'occurrence des données de contamination provenant des différentes études disponibles et en particulier les poids de sondage lorsqu'ils existaient.

Dans un second temps, et sur la base de ces estimations individuelles, une simulation a été menée afin de déterminer une distribution représentative de la population générale. Pour ce faire, 10 000 tirages au sort des expositions individuelles agrégées ont été réalisés en tenant compte du poids de sondage de chaque individu.

A partir de ces tirages, une distribution de valeurs a été obtenue à partir de laquelle ont été extraites les caractéristiques descriptives de l'exposition agrégée au plomb pour la population cible du présent rapport.

Les résultats d'exposition peuvent ainsi être décrits selon des caractéristiques populationnelles.

2.2.3.2 Calcul des contributions relatives de chaque source d'exposition

Le calcul de la dose d'exposition totale permet d'estimer la part attribuable à chacun des médias investigués afin d'identifier et de hiérarchiser les voies d'exposition qui contribuent majoritairement à cette exposition. Les contributions moyennes ont été estimées pour chaque source d'exposition, pour l'ensemble des individus de la population cible de l'étude et chez les enfants les plus exposés.

Afin de calculer les contributions relatives moyennes pour l'ensemble des individus de la population cible, la part des doses d'exposition de chaque source d'exposition rapportée à la dose d'exposition totale a été calculée pour chacun des individus des études BEBE-SFAE et INCA2. La moyenne est ensuite calculée pour chaque dose d'exposition à ces différentes sources.

La même démarche a été appliquée pour le calcul des contributions chez les enfants les plus exposés, mais en se limitant aux enfants se situant au-delà du percentile 90 de la distribution d'exposition au plomb, correspondant donc aux 10% des individus les plus exposés.

Il est toutefois important de rappeler, pour la bonne interprétation de ces calculs, que les données utilisées pour agréger les expositions n'intègrent pas le même degré de variabilité. En effet, les données de l'EATi reflètent une variabilité dans la consommation alimentaire et non une variabilité liée à la contamination des aliments puisque ces derniers sont poolés pour la mesure des concentrations. Toutefois, on considère ici que la probabilité, pour des consommateurs, d'être exposés à chaque fois au produit le plus contaminé d'un même groupe d'aliments est faible, notamment du fait de la diversité de l'offre alimentaire et de la circulation des denrées sur la marché. Cependant, cette approche exclut tout comportement alimentaire qui engendrerait une situation de surexposition potentielle (comme la consommation en forte proportion de denrées auto-produites en zone de forte contamination environnementale éventuelle par exemple).

Les données obtenues par le biais de l'enquête Plomb-Habitat reflètent quant à elles une variabilité de contamination liée, notamment, aux spécificités locales des milieux environnementaux dans lesquels les prélèvements ont été réalisés et auxquels les individus peuvent être exposés durant leur vie entière.

Ainsi, il importe de souligner que la part des contributeurs à l'exposition globale doit être avant tout perçue de manière qualitative et notamment pour les individus les plus exposés. Sur un plan quantitatif, un niveau de confiance plus élevé peut être attribué aux populations moyennement exposées (n=511 pour les enfants âgés de moins de 3 ans et n=242 pour ceux âgés de plus de 3 ans) par rapport aux populations les plus exposées (n=51 pour les enfants âgés de moins de 3 ans et n=24 pour ceux âgés de plus de 3 ans).

2.2.3.3 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité consiste à déterminer, quantifier et analyser l'influence des variables d'entrée sur les variables de sorties d'un modèle. Une telle analyse peut ainsi permettre d'identifier les paramètres qui contribuent le plus à la variabilité de la sortie du modèle et, le cas échéant, réduire les erreurs sur la sortie en affinant notamment la distribution attribuée à ces paramètres par la recherche de nouvelles données par exemple.

Parmi les différentes classes d'analyse possibles, l'analyse de sensibilité globale permet d'étudier l'effet des variations de tous les paramètres d'entrée sur la variable de sortie car ils varient tous en même temps. C'est cette dernière approche qui est utilisée dans le présent rapport et présentée ci-après.

Il s'agit de répartir l'incertitude sur la réponse d'un modèle entre les variables d'entrée. Elle consiste à déterminer quelle part de la variance de la réponse est due à la variance de chaque variable d'entrée, et cela à l'aide d'indices de sensibilité. Parmi les indices existants, le coefficient de corrélation des rangs de Spearman, est utilisé afin de mettre en évidence une éventuelle relation monotone, pas uniquement linéaire comme le met en évidence le coefficient de corrélation de Pearson. Une valeur absolue élevée de ce coefficient souligne une forte influence du paramètre d'entrée sur la sortie. Si le coefficient est positif, cela indique qu'une augmentation du paramètre d'entrée entraîne une augmentation de la sortie et inversement si le coefficient est négatif.

L'analyse de sensibilité réalisée dans le cadre d'une approche probabiliste est plus fine que celle menée dans le cadre d'une approche déterministe du fait de la prise en compte de la variabilité des paramètres d'exposition.

2.2.3.4 Correspondance entre les individus des différentes sources de données

Les différentes sources de données, l'enquête Plomb-Habitat et les études BEBE-SFAE pour les enfants âgés de 6 à 35 mois et INCA2 pour les enfants âgés de plus de 3 ans, sont des études représentatives de la population investiguée. Cependant, pour chacune de ces deux sous-populations, des données mesurées sur des individus différents à partir de plans de sondage différents, doivent être combinées.

Ces études renseignent néanmoins pour chacun des individus, leur âge ainsi que leur région. Ces deux paramètres permettent ainsi de lier les données des différentes enquêtes entre elles. Pour cela, la démarche retenue part des individus des études INCA2 et BEBE-SFAE pour lesquels des mesures ont été réalisées (poids corporel, exposition alimentaire, consommation d'eau du robinet, âge, région d'habitation et pondération assurant une représentativité à l'échelle nationale) et attribue un logement de l'enquête Plomb-Habitat de la même région et dont l'enfant a le même âge.

De ce fait, chaque individu de BEBE-SFAE et INCA2 garde les caractéristiques qui lui sont propres *via* ces deux études et se voit attribuer des valeurs de contamination des médias investigués dans l'enquête Plomb-Habitat (eau du robinet, poussières intérieures et sol de l'aire de jeu extérieur) mesurées chez des individus du même âge et de la même région. Les données de contamination des différents milieux investigués dans un même logement restent ainsi liées entre elles.

a. Enfants âgés de 6 mois à 3 ans

L'enquête Plomb-Habitat renseigne la région où se trouvent les logements dans lesquels les prélèvements ont été effectués. Elles sont au nombre de 22, correspondant aux 22 régions

administratives métropolitaines. Concernant l'âge des individus de cette sous-population, ceux-ci sont renseignés en mois, le plus jeune étant âgé de 6 mois et le plus vieux de 34 mois.

L'étude BEBE-SFAE renseigne le numéro du département d'habitat des individus. Il a alors été nécessaire de renseigner pour chacun d'entre eux, la région correspondante. Concernant l'âge de ces individus, une classe d'âges est assignée à chacun d'entre eux parmi :

- 6 mois ;
- 7 mois ;
- 8-9 mois ;
- 10-12 mois ;
- 13-18 mois ;
- 19-24 mois ;
- 25-30 mois ;
- 31-36 mois.

b. Enfants âgés de 3 ans à 6 ans

Comme vu précédemment, pour chacun des individus de l'enquête Plomb-Habitat sont renseignés sa région d'habitation, parmi les 22 régions françaises métropolitaines, et son âge en mois, de 36 à 84 mois.

L'étude INCA2 renseigne également la région d'habitation de l'individu parmi les régions métropolitaines, mais exclut la Corse. De ce fait, 21 régions différentes sont recensées. Concernant ensuite l'âge, il est fourni en année, parmi 3, 4, 5 et 6 ans.

c. Méthodes d'aggrégation proposées

Deux codages sont proposés afin d'établir une correspondance entre les individus de ces différentes enquêtes. Le premier se fonde sur un découpage très fin au niveau des individus et permet de considérer au mieux les éventuelles corrélations entre l'ensemble des compartiments environnementaux. Pour celui-ci, 21 régions et sept classes d'âges (trois pour les 6 mois-3 ans et quatre pour les 3 ans-6 ans) sont retenues. En revanche, le deuxième découpage ne prend en compte que cinq zones géographiques (nord-ouest, sud-ouest, nord-est, sud-est et Île-de-France) et ne distingue pas l'âge des individus au sein des deux principales classes d'âges (6 mois-3 ans et 3 ans-6 ans).

Il a été décidé de proposer ce second découpage du fait que le premier conduit à des effectifs trop faibles, voire nuls, pour certains couples (*âge_i de l'enfant; région_i*). En revanche, avec le

découpage en cinq zones géographiques et deux classes d'âges, les effectifs sont plus importants et permettent ainsi une meilleure prise en compte de la variabilité des contaminations de l'étude Plomb-Habitat dans l'affectation d'un logement aux individus.

Les tableaux en Annexe 5 renseignent le codage ainsi que les effectifs au sein des différentes enquêtes évoquées ci-dessus en fonction de l'âge et de la région des individus lorsque l'on retient le découpage en 21 régions d'habitation et sept classes d'âges différentes.

2.2.3.5 Modèles d'exposition

Compte tenu des différents médias considérés que sont l'air intérieur, l'air extérieur, les poussières intérieures, le sol extérieur, l'alimentation et l'eau du robinet, les voies d'exposition prises en compte sont l'inhalation et l'ingestion de poussières, de sol, d'aliments et d'eau. Les paragraphes qui suivent décrivent les différents modèles d'exposition utilisés. Les doses d'exposition externe ainsi calculées le sont par l'intermédiaire de modèles d'exposition classiquement utilisés en évaluation de risques qui font intervenir la concentration de plomb dans le milieu considéré ainsi que la quantité du milieu ingérée ou inhalée.

a. Compartiment aérien

L'exposition *via* le compartiment aérien est dépendante de la concentration de la substance et du temps passé par l'individu dans le milieu en question, de son poids corporel et de son volume respiratoire journalier. Cependant, aucune donnée n'est disponible pour la contamination de l'air intérieur. De ce fait, les données de contamination de l'air extérieur sont extrapolées à tous milieux, intérieurs et extérieurs, confondus. Il n'est alors pas nécessaire de tenir compte du temps passé dans chacun des milieux. La dose d'exposition est ainsi estimée à l'aide du modèle suivant :

$$DE_{air} = C_{air} \times \frac{Vr}{PC}$$

Avec :

- DE_{air} : Dose d'exposition externe par inhalation [$\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$]
- C_{air} : Concentration de plomb dans l'air [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
- Vr : Volume respiratoire [$\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$]
- PC : Poids corporel [kg_{pc}]

b. Poussières intérieures

L'exposition *via* l'ingestion de poussières intérieures dépend de la concentration de la substance dans les poussières, de la quantité de poussières ingérée, de la charge de poussières et du poids corporel de l'individu. La dose d'exposition est ainsi estimée à l'aide du modèle suivant :

$$DE_{pous} = \frac{C_{pous} \times Q_{pous}}{Ch_{pous} \times PC \times 1000}$$

Avec :

- DE_{pous} : Dose d'exposition externe par ingestion de poussières [µg.kg_{pc}⁻¹.j⁻¹]
- C_{pous} : Concentration de plomb dans les poussières [µg.m⁻²]
- Q_{pous} : Quantité de poussières ingérée [mg.j⁻¹]
- Ch_{pous} : Charge de poussières [g.m⁻²]
- PC : Poids corporel [kg_{pc}]

c. Sol extérieur

L'exposition *via* l'ingestion de sol de l'aire de jeu extérieur dépend de la concentration de la substance dans le sol, de la quantité de sol ingérée et du poids corporel de l'individu. La dose d'exposition est ainsi estimée à l'aide du modèle suivant :

$$DE_{sol} = \frac{C_{sol} \times Q_{sol}}{PC \times 1000}$$

Avec :

- DE_{sol} : Dose d'exposition externe par ingestion de sol [µg.kg_{pc}⁻¹.j⁻¹]
- C_{sol} : Concentration de plomb dans le sol [µg.g⁻¹]
- Q_{sol} : Quantité de sol ingérée [mg.j⁻¹]
- PC : Poids corporel [kg_{pc}]

d. Alimentation et eaux embouteillées

La contamination *via* l'ingestion d'aliments dépend de la concentration de la substance dans chacun des aliments, de la quantité ingérée de ces aliments et du poids corporel de l'individu. La dose journalière d'exposition est estimée à l'aide du modèle ci-dessous:

$$DE_{\text{alim}} = \frac{1}{PC} \times \left(\sum_{i \in \text{aliments}} C_{\text{alim};i} \times Q_{\text{alim};i} \right)$$

Avec :

- DE_{alim} : Dose d'exposition externe par ingestion d'aliments [$\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$]
- $C_{\text{alim};i}$: Concentration de substance dans l'aliment i [$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]
- $Q_{\text{alim};i}$: Quantité d'aliments i ingérée [$\text{g} \cdot \text{j}^{-1}$]
- PC : Poids corporel [kg_{pc}]
-

e. Eau du robinet

L'exposition *via* l'ingestion d'eau du robinet dépend de la concentration de la substance dans l'eau, de la quantité d'eau du robinet ingérée et du poids corporel de l'individu. La dose d'exposition est ainsi estimée à l'aide du modèle suivant :

$$DE_{\text{eau}} = \frac{C_{\text{eau}} \times Q_{\text{eau}}}{PC \times 1000}$$

Avec :

- DE_{eau} : Dose d'exposition externe par ingestion d'eau du robinet [$\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$]
- C_{eau} : Concentration de substance dans l'eau du robinet [$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$]
- Q_{eau} : Quantité d'eau du robinet ingérée [$\text{ml} \cdot \text{j}^{-1}$]
- PC : Poids corporel [kg_{pc}]

2.2.4 Définition des variables d'entrée

Dans ce paragraphe, les paramètres identifiés dans les précédents modèles, ainsi que les données disponibles sur ces paramètres permettant ainsi de leur attribuer des distributions de probabilités sont présentés.

Les représentations graphiques sous forme d'histogramme, des distributions de probabilités spécifiées pour chacun des paramètres ainsi que des statistiques descriptives sont présentées en Annexe 3.

Notons ici que toutes les distributions de probabilités utilisées dans les calculs d'exposition sont construites à partir d'une simulation de Monte-Carlo effectuée à l'aide du logiciel @Risk 5.0.

2.2.4.1 Poids corporel

Les études retenues pour documenter le poids corporel sont l'étude BEBE-SFAE pour les enfants âgés de moins de 3 ans et l'étude INCA2 pour ceux âgés de plus de 3 ans. L'étude INCA2, qui visait tout d'abord à recueillir les consommations alimentaires individuelles de la population vivant en France, a également réuni les données anthropométriques (poids et taille) des participants. Le poids (en tenue légère) de chaque participant a été mesuré au domicile de l'individu à l'aide de balances. Lorsque celui-ci ne souhaitait pas être pesé, il a déclaré son poids. Concernant les individus de l'enquête BEBE-SFAE, le poids corporel attribué à chacun d'entre eux correspond soit à des mesures effectuées à domicile par les parents, soit à des valeurs datant de la dernière visite médicale relevées dans le carnet de santé.

2.2.4.2 Compartiment aérien

a. Concentration en plomb dans l'air

Pour documenter la contamination de l'air extérieur, les données utilisées sont celles de la base BDQA (base de données qualité de l'air) de l'Ineris. Il s'agit de valeurs moyennes annuelles collectées par des AASQA (Association agréée de surveillance de la qualité de l'air) dans différentes régions du territoire français depuis 2000 jusqu'en 2011. Afin d'homogénéiser les périodes de collecte de données, il a été décidé de ne garder que les mesures effectuées depuis 2007. En effet, l'échantillonnage d'EAT 2 commencé cette année là est le moins récent de toutes les études retenues. Cependant, parmi les mesures, certaines ont été effectuées dans des zones industrielles où l'on peut supposer qu'il n'y a pas de logements d'habitation et d'autres ont été réalisées sur des sites d'observations spécifiques. Ces mesures n'ont ainsi pas été prises en compte. De même, les mesures dont la couverture temporelle sur l'année n'excède pas 14%, soit un nombre de mesures trop faible afin de calculer la valeur moyenne annuelle, ainsi que les mesures dont la couverture annuelle dépassent 100% sont exclues de l'échantillon final d'étude.

Ensuite, toutes les données collectées sur la période 2007-2011 sont concaténées en un seul et même échantillon retenu pour documenter ce paramètre, excepté les mesures effectuées dans des régions non investiguées par INCA2 et BEBE-SFAE, à savoir la Réunion, la Martinique, la Guadeloupe et la Nouvelle-Calédonie. Cette concaténation est rendue plausible par le fait que les mesures sont homogènes en termes d'intervalle de variation, comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Description des mesures de contamination de l'air extérieur de la base BDQA entre 2007 et 2011 en ng.m⁻³

Année	Nombre de mesures	Minimum	Moyenne	Maximum
2007	28	1,4	10,6	24,9
2008	31	1,5	8,3	41,4
2009	36	1,9	5,9	21,5
2010	34	1,9	6,4	15
2011	47	1,5	8,1	32,2
2007-2011	176	1,4	7,8	41,4

En ce qui concerne la contamination de l'air intérieur en plomb, comme vu au chapitre 2.3, aucune donnée française n'est disponible pour documenter ce médium. De ce fait, l'échantillon de 176 mesures ainsi obtenu est extrapolé à tous milieux, intérieurs et extérieurs, confondus.

Il est ensuite possible de retrouver la région où les mesures ont été effectuées à partir du nom de l'AASQA. De ce fait, une valeur de contamination de l'air correspondant à une mesure effectuée dans la même région que celle où l'individu réside est attribuée à chacun des individus d'INCA2 et de BEBE-SFAE. Pour cela, un tirage aléatoire uniforme de 160 simulations est effectué parmi toutes les mesures d'une même région. Le choix de 160 simulations se justifie à l'aide des tableaux en Annexe 5 qui montrent qu'aucune sous-population n'a d'effectif supérieur à ce nombre. Il existe cependant deux régions pour lesquelles on ne dispose d'aucune donnée (l'Alsace et l'Auvergne) et la moyenne nationale sur la période 2007-2011 de 7,8 ng.m⁻³ est alors affectée comme donnée de contamination du milieu aérien.

b. Volume respiratoire

Les données retenues pour ce paramètre sont celles recommandées par l'U.S. EPA dans l'Exposure Factors Handbook (2011). Ces recommandations s'appuient sur quatre études : Arcus-Arth & Blaisdell (2007), Brochu *et al.* (2006), Stifelman (2007) et U.S. EPA (2009). Pour différentes classes d'âges, sont proposés la moyenne et le percentile 95 d'une distribution normale.

Cependant, lorsque la distribution retenue est simulée, il est possible que des valeurs extrêmement élevées soient tirées. Il est alors nécessaire de spécifier une troncature aux minimum et maximum observés qui bornera l'intervalle dans lequel seront tirées les valeurs et ainsi éviter d'obtenir des valeurs aberrantes, largement supérieures (respectivement inférieures) à ce maximum (respectivement minimum) mesuré. La troncature minimum est fixée à 0 et la troncature maximum correspond à la valeur maximale mesurée et rapportée par l'U.S. EPA (2009).

Le tableau ci-dessous renseigne pour chaque classe d'âge de l'Exposure Factors Handbook et celles correspondantes à la population étudiée dans ces travaux, les paramètres de ces distributions.

Tableau 3. Paramètres des distributions normales attribuées au volume respiratoire des différentes classes d'âges

Classe d'âge EFH	Classe d'âge BEBE-SFAE et INCA2	Volume respiratoire – m ³ .j ⁻¹		
		Moyenne de la loi normale	P95 de la loi normale	Troncature de la loi normale
6 mois – 1 an	1	5,4	8	[0 ; 26,25]
1 an – 2 ans	2	8	12,8	[0 ; 24,77]
2 ans – 3 ans	3	8,9	13,7	[0 ; 28,17]
3 ans – 6 ans	4 / 5 / 6 / 7	10,1	13,8	[0 ; 19,74]

EFH : Exposure Factors Handbook

Les effectifs correspondant aux quatre sous-populations ayant une distribution différente sont respectivement de 252, 132, 127 et 242. Un échantillon de ce même nombre est alors simulé pour chacune de ces sous-populations, et un volume respiratoire correspondant à une valeur simulée à partir de la distribution spécifiée pour les individus appartenant à la même classe d'âge est attribué à chaque individu de BEBE-SFAE et INCA2.

2.2.4.3 Poussières intérieures et sol extérieur

a. Concentration en plomb dans les poussières intérieures et dans le sol extérieur

Comme vu précédemment, la difficulté consiste en l'attribution de données de contamination (poussières, sol et eau du robinet) mesurées sur des individus, *via* l'enquête Plomb-Habitat, à des individus d'une autre enquête (les études INCA2 et BEBE-SFAE). Pour résoudre ce problème, il a été décidé de coupler les informations par l'intermédiaire de l'âge et de la région d'habitat des individus, qui sont des variables présentes dans les trois études et pouvant expliquer la variabilité interindividuelle d'exposition.

Dans un premier temps, les poids de sondage de l'étude Plomb-Habitat, correspondant au nombre d'enfants dans la population française que représente chacun des individus, sont convertis en probabilités d'occurrence sur l'ensemble de la population de l'étude.

Ensuite, pour chaque logement de Plomb-Habitat investigué, un couple (*âge, de l'enfant; région_i*) peut être constitué avec sa probabilité d'occurrence propre. Cette probabilité est basée sur l'échantillon total de l'étude et doit alors être rapportée au seul sous-échantillon constitué des logements du couple (*âge, de l'enfant; région_i*). Par exemple, les deux logements de Plomb-Habitat qui forment le couple (*âge de l'enfant : 4 ; région : 5*) avec des probabilités d'occurrence respectives inférieures à 0,2% sur l'ensemble de l'échantillon ont ensuite des probabilités d'occurrence respectivement de 39% et 61% pour le seul sous-échantillon formé par ce couple

Enfin, l'ultime étape consiste à attribuer à chaque individu d'INCA2 et de BEBE-SFAE un logement de Plomb-Habitat dont l'enfant qui l'habite a le même âge et provient de la même région et donc des valeurs de contamination du sol et des poussières qui lui sont associées. Cette attribution se fait *via* une simulation de Monte Carlo, fonction des poids de sondage. Cependant, 51 individus de l'étude INCA2 et 89 de l'étude BEBE-SFAE ne sont pas représentés dans l'enquête Plomb-Habitat. Dans ces cas là, il a été décidé d'attribuer des contaminations mesurées dans des logements de la même région, mais pour un individu de l'âge inférieur (par exemple, le couple (âge : 5 ; région : 17) n'est pas représenté dans Plomb-Habitat, les données de contamination des individus du couple (âge : 4 ; région : 17) sont alors affectées aux individus d'INCA2 correspondant à cette sous-population) ou dans le cas des individus de la classe d'âge 1, par un individu de l'âge supérieur.

Cette démarche a été mise en place en fonction des deux découpages « région x classe d'âges proposés » et détaillés précédemment au paragraphe 2.2.3.4.

b. Quantités de poussières et de sol ingérées

Dans le cadre de ces travaux, l'Anses a choisi une distribution de probabilité pour documenter ce paramètre en excluant les PICA. La distribution retenue est celle proposée par Dor *et al.* (2012). En effet, une distribution théorique a été ajustée aux données issues des travaux de Stanek *et al.* (2001), étude considérée par les auteurs comme étant la plus robuste en l'état actuel des connaissances. Cette distribution concerne les quantités de terre et de poussières ingérées par les enfants âgés de moins de 6 ans en $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$. Les auteurs de cette étude ont effectué cet ajustement avec l'outil @Risk et ils ont obtenu une distribution log-normale dont l'espérance de la distribution est 49,8, l'écart type de la distribution 29,4 et avec un paramètre de seuil de (-18,3). Dans le cadre de ces travaux, le même logiciel est utilisé et ces valeurs sont donc renseignées de cette façon afin de paramétrer la distribution log-normale utilisée. Cependant, pour retrouver les paramètres de la distribution log-normale en tant que distribution issue du logarithme d'une distribution normale dont les valeurs moyenne et écart type renseignées sont égales à la moyenne et à l'écart type de la distribution normale correspondante, il est nécessaire d'effectuer une transformation. Il s'agit alors d'une moyenne de 3,759 et d'un écart type de 0,547.

Comme vu précédemment pour le volume respiratoire, il est nécessaire de spécifier une troncature à cette distribution qui limite donc les valeurs simulées à l'intervalle [0 ; 200], comme proposé par les auteurs.

Cependant, les données correspondent à l'ingestion de sol extérieur et poussières intérieurs mélangés. L'U.S. EPA recommande alors dans son Exposure Factors Handbook (2011) une part

attribuable à chacun de ces médias. Cette recommandation s'appuie sur U.S. EPA (1994) et propose une proportion de 45% attribuable au sol et 55% à la poussière.

Un échantillon de 754 valeurs est alors simulé, soit le nombre d'individus cumulé des échantillons INCA2 et BEBE-SFAE, et en multipliant ces valeurs par 0,55, et 0,45, les quantités quotidiennes de poussières et de sol ingérées sont obtenues.

c. Charge de poussières

L'étude retenue pour ce paramètre est Giovannangelo *et al.* (2007). Les auteurs renseignent des distributions de probabilités pour la charge de poussières en mg par m² de sol mesuré dans des maisons de trois pays : l'Allemagne, les Pays-Bas et la Suède. La distribution retenue est une distribution log-normale comme proposée par les auteurs de cette publication. Pour chacun des trois pays investigués, la moyenne géométrique ainsi que l'écart type sont renseignés. De ce fait, pour les paramètres de la distribution spécifiée pour la charge de poussières, le choix a été fait d'utiliser la moyenne géométrique pondérée des trois études ainsi que l'écart type global. Il est ensuite nécessaire de spécifier une troncature à cette distribution. La borne minimale est alors fixée à 0 et la borne maximale à 2 g.m⁻², valeur jamais atteinte dans les mesures. La distribution affectée à ce paramètre est une log-normale (0,252 ; 4,059) tronquée sur l'intervalle [0 ; 2].

2.2.4.4 Alimentation et eaux embouteillées

Les données utilisées pour estimer l'exposition alimentaire des 6 mois à 3 ans sont les données de consommation « BEBE-2005 » de la SFAE croisées avec les données de contamination de l'EATi ainsi que les données de l'EAT2 pour les aliments courants non ciblés dans l'EATi et les données du LHN pour les eaux embouteillées non analysées dans le cadre de l'EATi.

Pour les 3 ans – 6 ans les données de consommation utilisées sont les données de l'enquête INCA croisées avec les données de contamination de l'EAT2 et les données du LHN sur les eaux embouteillées.

2.2.4.4.1 Eau du robinet

a. Concentration en plomb dans l'eau du robinet

Les données utilisées pour documenter ce paramètre sont celles issues de l'enquête Plomb-Habitat. Il s'agit de données de concentration en plomb dans l'eau du robinet du logement, exprimées en $\mu\text{g.L}^{-1}$. Le même procédé que celui utilisé pour les contaminations de sol et des poussières intérieures a ensuite été appliqué afin d'attribuer à chaque individu de INCA2 et de BEBE-SFAE une valeur pour ce paramètre.

b. Quantité d'eau du robinet ingérée

Les données issues des études INCA2 et BEBE-SFAE sont utilisées pour documenter la quantité moyenne d'eau du robinet ingérée quotidiennement. Il s'agit des données de consommation en « eau du robinet chauffée » et en « eau du robinet non chauffée ». L'« eau du robinet chauffée » correspond à la part d'eau du robinet chauffée retrouvée dans les aliments suite à leur préparation (boissons chaudes, potages, soupes et bouillons, pâtes alimentaires, blé, riz, légumes secs), et l'« eau du robinet non chauffée » à l'eau du robinet consommée en tant que boisson sans chauffage. Ces valeurs correspondent aux quantités moyennes ingérées par jour, exprimées en mL.j^{-1} .

3 Résultats

3.1 Doses d'exposition calculées pour chacun des média d'exposition air, poussières, sol, eau du robinet et alimentation

Afin de modéliser les doses d'exposition externe de chacun des média investigués, une simulation de Monte Carlo de 10 000 itérations est effectuée. La probabilité d'occurrence de chacun des individus utilisée est calculée à partir de la pondération affectée à chaque individu afin d'assurer leur représentativité au niveau national (métropole hors Corse). Il est alors possible de calculer un pourcentage d'occurrence pour chacun de ces individus à partir de leur poids de sondage ($\text{pourcentage}_i = \text{poids de sondage}_i \times 100 / \text{somme des poids de sondage}$).

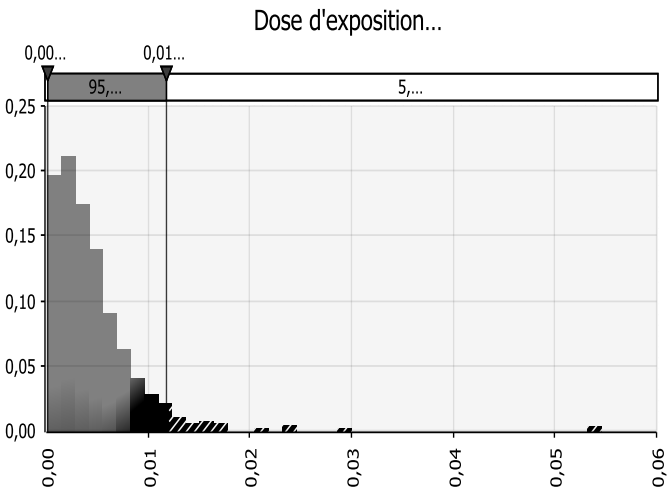
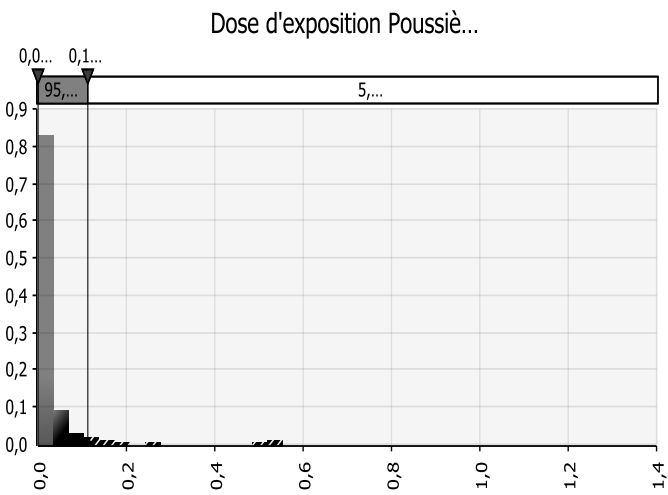
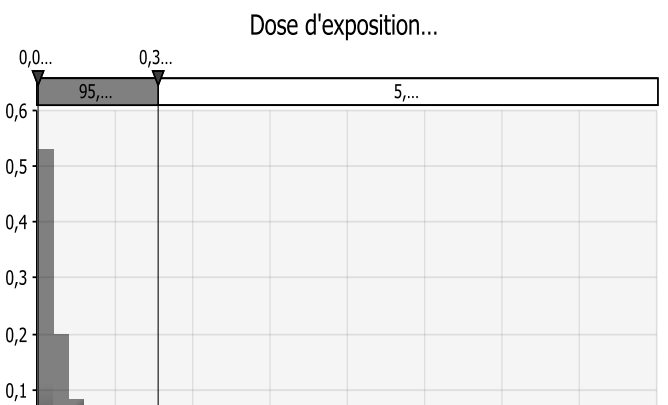
Les différentes doses présentées dans ce chapitre ont été modélisées selon les deux approches mentionnées au paragraphe 2.2.3.4.

3.1.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans

Le tableau suivant présente les résultats sous forme d'histogrammes des distributions de probabilités et des statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans, des différents médias investigués : air, poussières intérieures, sol, eau du robinet et alimentation et eaux embouteillées sous l'hypothèse « middle bound ».

3.1.1.1 Découpage en 21 régions et trois classes d'âges

Tableau 4. Distribution des probabilités d'occurrence et statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges

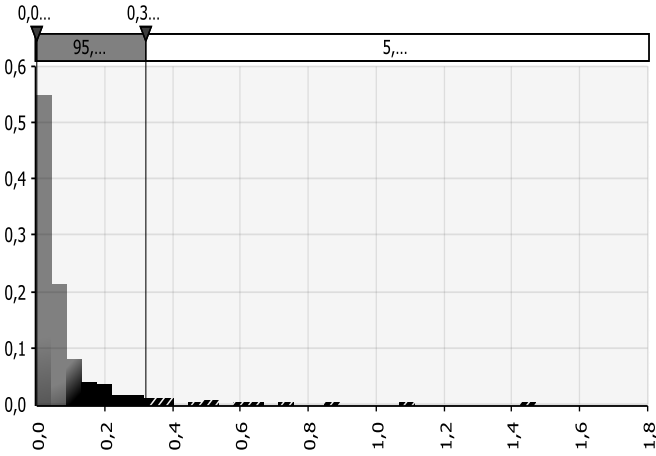
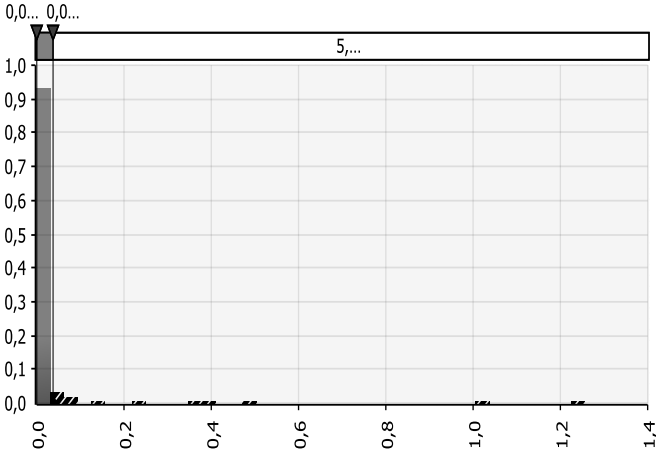
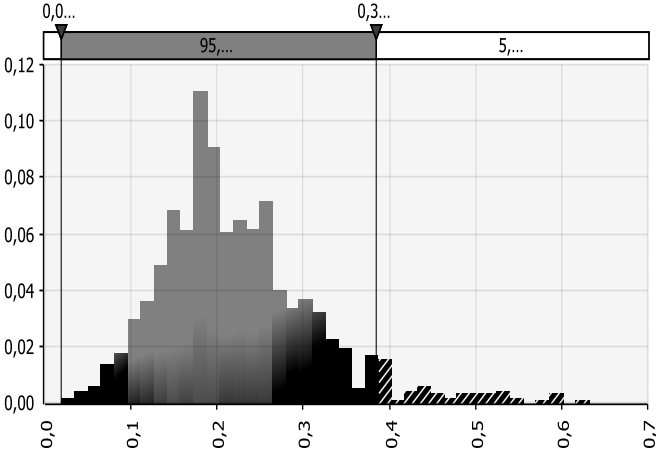
Dose d'exposition externe	Distribution des probabilités d'occurrence des doses d'exposition externe	Statistiques descriptives	
Air $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	1,54 E-4
		P25	1,82 E-3
		P50	3,39 E-3
		P75	5,97 E-3
		P90	9,22 E-3
		P95	1,18 E-2
		P99	1,76 E-2
		Maximum	5,45 E-2
		Moyenne	4,62 E-3
Poussières intérieures $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	5,37E-5
		P25	3,18 E-3
		P50	8,86 E-3
		P75	2,25 E-2
		P90	5,74 E-2
		P95	0,11
		P99	0,52
		Maximum	1,38
		Moyenne	2,95 E-2
Sol de l'aire de jeu extérieur $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	2,73E-4
		P25	1,43E-2
		P50	3,59E-2
		P75	8,37E-2
		P90	0,20
		P95	0,31
		P99	0,72
		Maximum	1,56

		Moyenne	8,24E-2
Eau du robinet $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$		Minimum	0
		P25	0
		P50	0
		P75	6,19E-3
		P90	4,21E-2
		P95	0,26
		P99	1,19
		Maximum	2,21
		Moyenne	4,51E-2
Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$		P25	0,16
		P50	0,21
		P75	0,27
		P90	0,34
		P95	0,38
		P99	0,52
		Maximum	0,63
		Moyenne	0,22

3.1.1.2 Découpage en cinq régions et une classe d'âges

Tableau 5. Distribution des probabilités d'occurrence et statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

Dose d'exposition externe	Distribution des probabilités d'occurrence des doses d'exposition externe	Statistiques descriptives	
Air $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$		Minimum	1,45E-4
		P25	1,82E-3
		P50	3,39E-3
		P75	5,97E-3
		P90	9,22E-3
		P95	1,16E-2
		P99	1,76E-2
		Maximum	5,45E-2
		Moyenne	4,62E-3
Poussières intérieures $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{J}^{-1}$		Minimum	3,53E-5
		P25	5,16E-03
		P50	1,34E-2
		P75	3,05E-2
		P90	7,73E-2
		P95	0,14
		P99	0,27
		Maximum	0,92
		Moyenne	3,30E-2

<p>Sol de l'aire de jeu extérieur $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,62E-4</td></tr> <tr><td>P25</td><td>1,48E-2</td></tr> <tr><td>P50</td><td>3,76E-2</td></tr> <tr><td>P75</td><td>8,28E-2</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,21</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>P99</td><td>0,88</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1,78</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>8,62E-2</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,62E-4	P25	1,48E-2	P50	3,76E-2	P75	8,28E-2	P90	0,21	P95	0,32	P99	0,88	Maximum	1,78	Moyenne	8,62E-2
Minimum	1,62E-4																			
P25	1,48E-2																			
P50	3,76E-2																			
P75	8,28E-2																			
P90	0,21																			
P95	0,32																			
P99	0,88																			
Maximum	1,78																			
Moyenne	8,62E-2																			
<p>Eau du robinet $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Eau du robi...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0</td></tr> <tr><td>P75</td><td>4,13E-3</td></tr> <tr><td>P90</td><td>1,98E-2</td></tr> <tr><td>P95</td><td>3,85E-2</td></tr> <tr><td>P99</td><td>0,48</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1,26</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>1,88E-2</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0	P25	0	P50	0	P75	4,13E-3	P90	1,98E-2	P95	3,85E-2	P99	0,48	Maximum	1,26	Moyenne	1,88E-2
Minimum	0																			
P25	0																			
P50	0																			
P75	4,13E-3																			
P90	1,98E-2																			
P95	3,85E-2																			
P99	0,48																			
Maximum	1,26																			
Moyenne	1,88E-2																			
<p>Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Alimentation...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,97E-2</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,21</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,27</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,38</td></tr> <tr><td>P99</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,22</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,97E-2	P25	0,16	P50	0,21	P75	0,27	P90	0,34	P95	0,38	P99	0,52	Maximum	0,63	Moyenne	0,22
Minimum	1,97E-2																			
P25	0,16																			
P50	0,21																			
P75	0,27																			
P90	0,34																			
P95	0,38																			
P99	0,52																			
Maximum	0,63																			
Moyenne	0,22																			

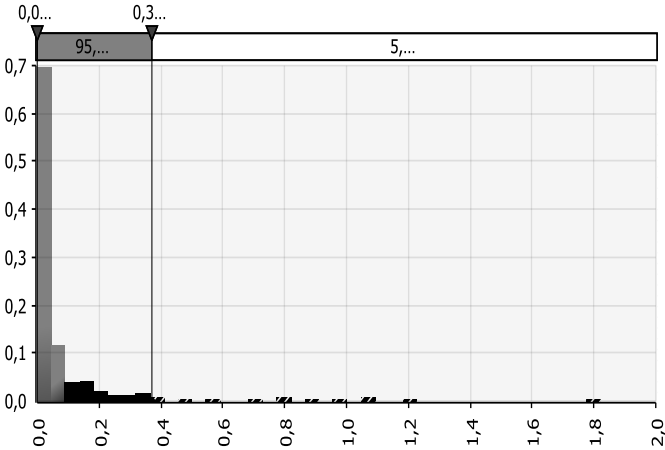
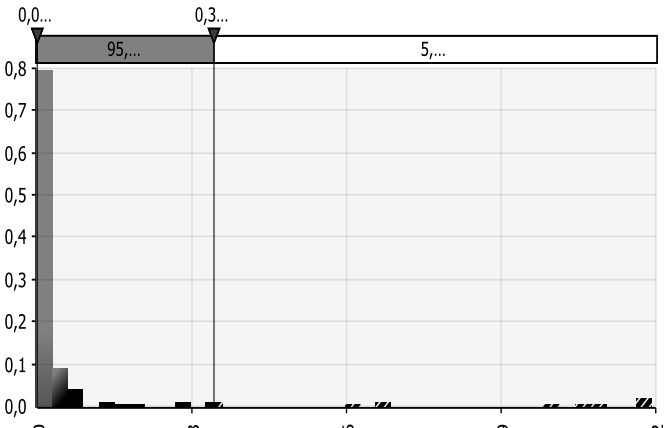
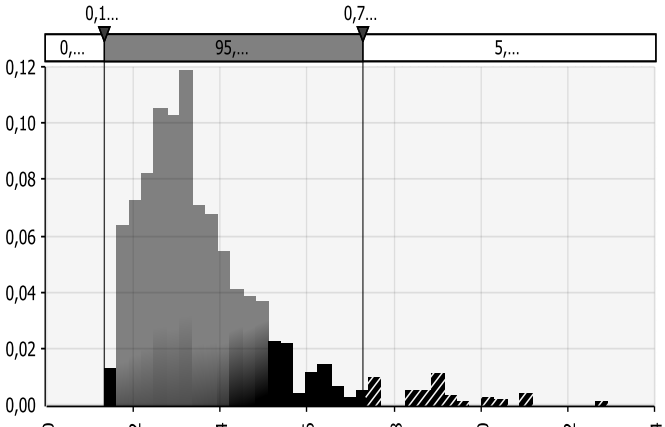
3.1.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans

Le tableau suivant présente les résultats sous forme d'histogrammes des distributions de probabilités et des statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les enfants âgés de plus de 3 ans, des différents média investigués : air, poussières intérieures, sol, eau du robinet et alimentation et eaux embouteillées sous l'hypothèse « middle bound ».

3.1.2.1 Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges

Tableau 6. Distributions statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 3 à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges

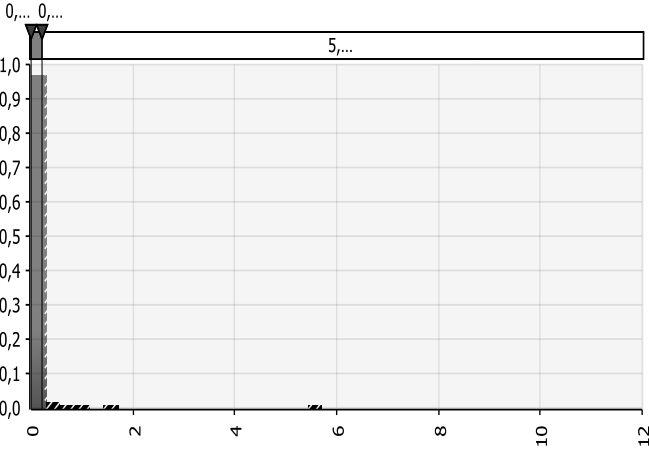
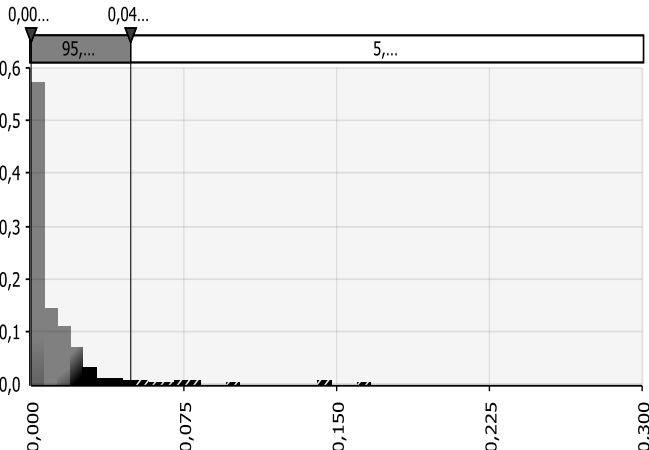
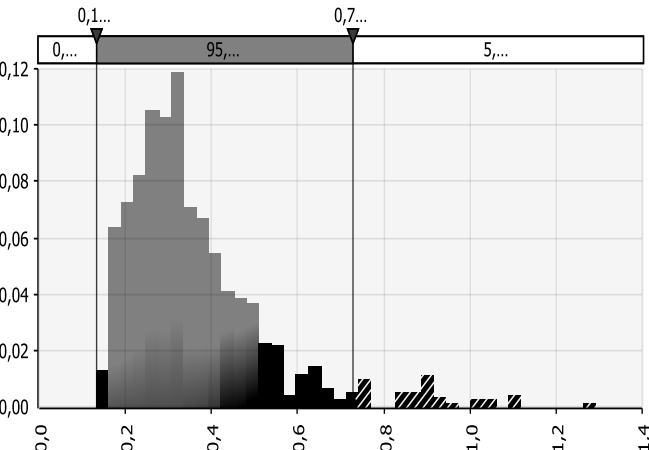
Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
Air $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	3,95E-4
		P25	1,70E-3
		P50	3,40E-3
		P75	5,18E-3
		P90	7,81E-3
		P95	1E-2
		P99	2,43E-2
		Maximum	3,57E-2
		Moyenne	4,18E-3
Poussières intérieures $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	7,68E-5
		P25	2,73E-3
		P50	6,08E-3
		P75	1,37E-2
		P90	3,28E-2
		P95	5,06E-2
		P99	0,12
		Maximum	1,31
		Moyenne	1,79E-2

<p>Sol de l'aire de jeu extérieur $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition...</p> 	<p>Minimum 1,98E-4</p> <p>P25 9,40E-3</p> <p>P50 2,22E-2</p> <p>P75 6,94E-2</p> <p>P90 0,19</p> <p>P95 0,37</p> <p>P99 1,07</p> <p>Maximum 1,82</p> <p>Moyenne 9,04E-2</p>	
<p>Eau du robinet $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Eau du robi...</p> 	<p>Minimum 0</p> <p>P25 0</p> <p>P50 5,72E-3</p> <p>P75 1,88E-2</p> <p>P90 7,07E-2</p> <p>P95 0,34</p> <p>P99 1,19</p> <p>Maximum 1,19</p> <p>Moyenne 6,28E-2</p>	
<p>Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Alimentaire_Middle bou...</p> 	<p>Minimum 0,13</p> <p>P25 0,26</p> <p>P50 0,32</p> <p>P75 0,42</p> <p>P90 0,55</p> <p>P95 0,73</p> <p>P99 0,97</p> <p>Maximum 1,29</p> <p>Moyenne 0,36</p>	

3.1.2.2 Découpage en cinq régions et une classe d'âges

Tableau 7. Distributions statistiques descriptives des doses d'exposition externe pour les différents médias d'exposition investigués pour les enfants âgés de 3 à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
Air $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	3,95E-4
		P25	1,70E-3
		P50	3,40E-3
		P75	5,18E-3
		P90	7,81E-3
		P95	1E-2
		P99	2,43E-2
		Maximum	3,57E-2
		Moyenne	4,18E-3
Poussières intérieures $\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$		Minimum	2,63E-5
		P25	1,64E-3
		P50	5,25E-3
		P75	1,35E-2
		P90	3,79E-2
		P95	6,58E-2
		P99	0,78
		Maximum	0,99
		Moyenne	2,63E-2

<p>Sol de l'aire de jeu extérieur</p> <p>$\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition...</p> 	<p>Minimum 7,72E-5</p> <p>P25 6,63E-3</p> <p>P50 1,71E-2</p> <p>P75 5,55E-2</p> <p>P90 0,14</p> <p>P95 0,20</p> <p>P99 0,97</p> <p>Maximum 11,42</p> <p>Moyenne 8,79E-2</p>	
<p>Eau du robinet</p> <p>$\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Eau du robinet...</p> 	<p>Minimum 0</p> <p>P25 0</p> <p>P50 4,37E-3</p> <p>P75 1,48E-2</p> <p>P90 2,63E-2</p> <p>P95 4,86E-2</p> <p>P99 0,15</p> <p>Maximum 0,26</p> <p>Moyenne 1,17E-2</p>	
<p>Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound »</p> <p>$\mu\text{g}\cdot\text{kg}_{\text{pc}}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Alimentaire...</p> 	<p>Minimum 0,13</p> <p>P25 0,26</p> <p>P50 0,32</p> <p>P75 0,42</p> <p>P90 0,55</p> <p>P95 0,73</p> <p>P99 0,97</p> <p>Maximum 1,29</p> <p>Moyenne 0,36</p>	

3.2 Dose d'exposition totale

3.2.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans

Le tableau suivant présente les résultats sous forme d'histogramme et des statistiques descriptives de la dose externe totale, correspondant à l'exposition agrégée liée aux différents média investigués, sous l'hypothèse « middle bound » pour l'exposition alimentaire pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans.

3.2.1.1 Découpage en 21 régions et trois classes d'âges

Tableau 8. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges

Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
Totale Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$		Minimum	5,54E-2
		P25	0,23
		P50	0,31
		P75	0,42
		P90	0,70
		P95	0,84
		P99	1,64
		Maximum	2,49
		Moyenne	0,38

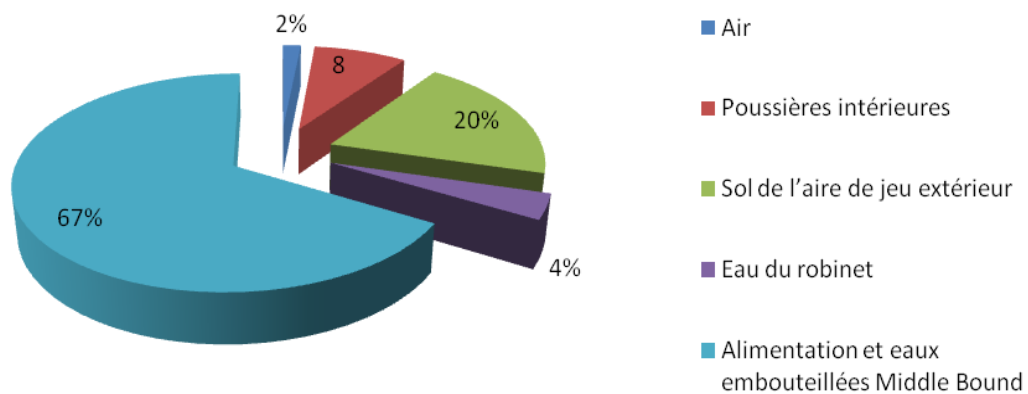
Le tableau ci-dessus montre que la dose d'exposition totale, calculée selon les hypothèses de modélisation choisies varie de $5,5.10^{-2} \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à $2,5 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ avec une moyenne de $0,4 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$.

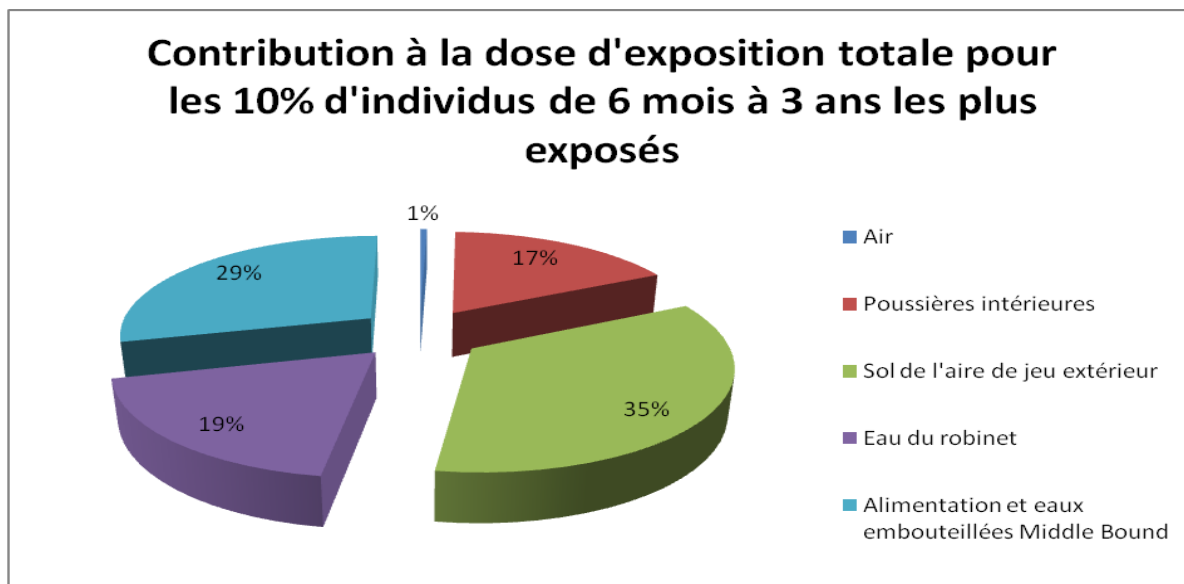
Le tableau et les graphes ci-dessous renseignent les contributions relatives des différents médias investigués à l'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans. Il s'agit des contributions moyennes de chaque source pour l'ensemble des individus mais également pour les 10% ayant les doses d'exposition totale les plus élevées, soit 51 individus.

Tableau 9. Contribution relative des différentes sources d'exposition à la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges

	Ensemble des individus (N= 511)	10% d'individus avec les doses d'exposition totale les plus élevées (N=51)
Alimentation et eaux embouteillées	67%	29%
Sol de l'aire de jeu extérieur	20%	35%
Poussières intérieures	8%	17%
Eau du robinet	4%	19%
Air	2%	1%

Contribution à la dose d'exposition totale pour l'ensemble des individus de 6 mois à 3 ans





Sur l'ensemble de la population âgée de 6 mois à 3 ans, la voie alimentaire apparaît nettement prépondérante avec une contribution moyenne de 67% de l'exposition totale. Viennent ensuite le sol, avec une part moyenne estimée à 20%, les poussières intérieures (8%), l'eau du robinet (4%) et le milieu aérien (2%).

Cependant, pour les 51 individus les plus exposés, correspondant donc à 10% de la population cible, la hiérarchie entre ces différentes sources est différente. En effet, le sol est la voie la plus contributrice avec une part moyenne de 35% ; viennent ensuite la voie alimentaire avec 29%, l'eau du robinet avec une part moyenne estimée de 19%, les poussières intérieures (17%) et l'air (1%).

3.2.1.2 Découpage en cinq régions et une classe d'âges

Tableau 10. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
		Minimum	
Totale Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	3,91E-2
		P25	0,24
		P50	0,31
		P75	0,41
		P90	0,55
		P95	0,69
	P99	1,54	

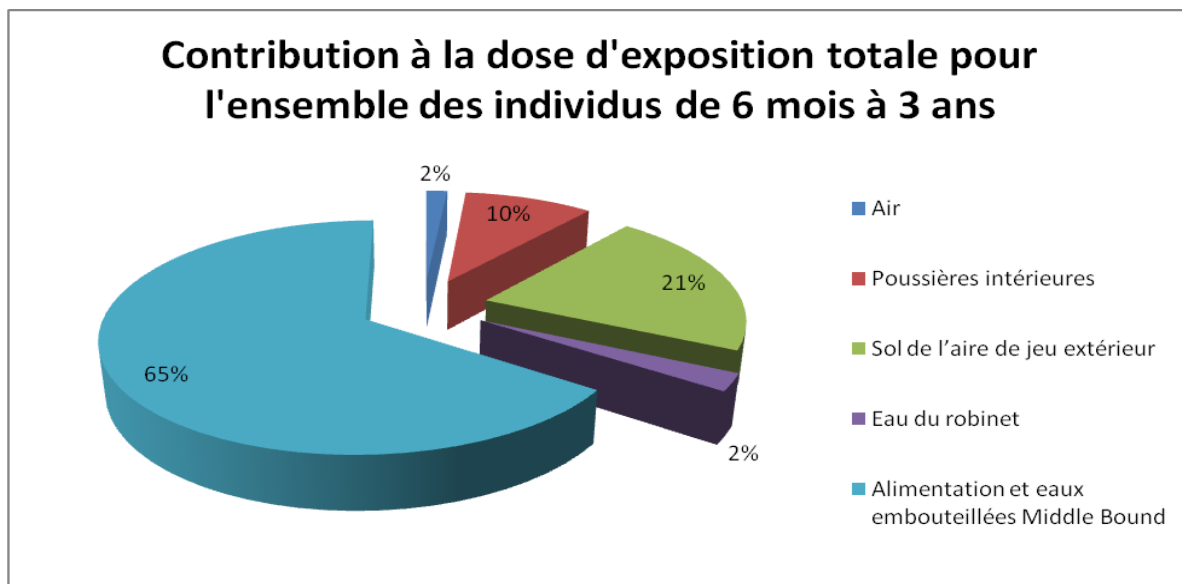
		Maximum	2,10
		Moyenne	0,36

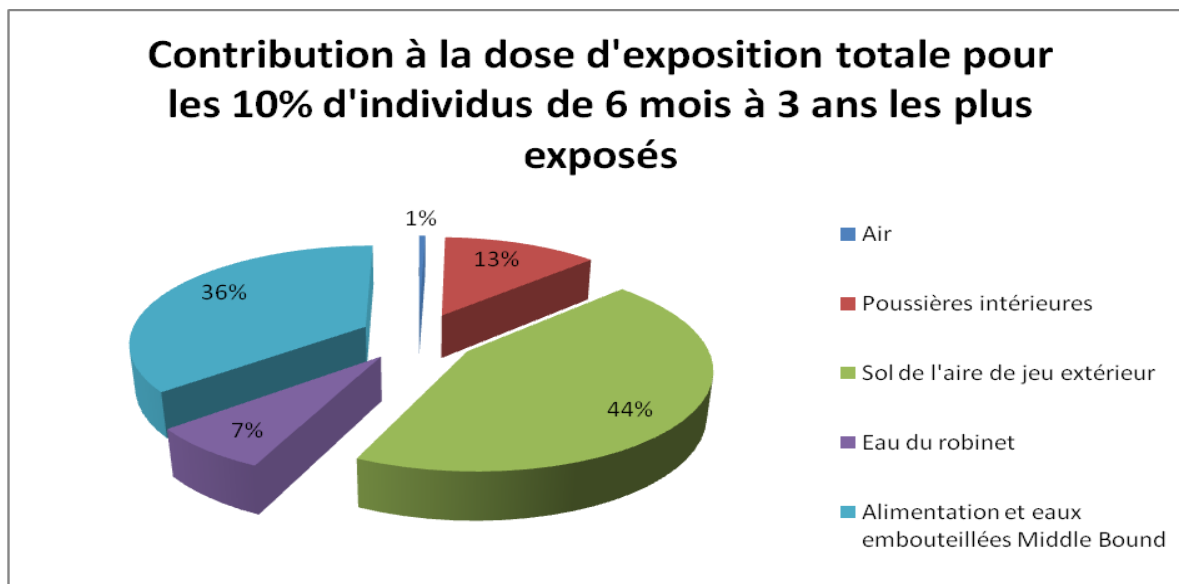
Le tableau ci-dessus montre que la dose d'exposition totale calculée selon les hypothèses de modélisation choisies varie de $3,91 \cdot 10^{-2} \mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ à $2,1 \mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ avec une moyenne de $0,4 \mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus précédemment selon le découpage plus fin en termes de zones géographiques et de classes d'âges.

Le tableau et les graphes ci-dessous renseignent les contributions relatives des différents médias investigués à l'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans. Il s'agit des contributions moyennes de chaque source pour l'ensemble des individus mais également pour les 10% ayant les doses d'exposition totale les plus élevées, soit 51 individus.

Tableau 11. Contribution relative des différentes sources d'exposition à la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges

	Ensemble des individus (N= 511)	10% d'individus avec les doses d'exposition totale les plus élevées (N=51)
Alimentation et eaux embouteillées	65%	36%
Sol de l'aire de jeu extérieur	21 %	44%
Poussières intérieures	10%	13%
Eau du robinet	2%	7%
Air	2%	1%





Sur l'ensemble de la population âgée de 6 mois à 3 ans, la voie alimentaire apparaît nettement prépondérante avec une contribution moyenne de 65% de l'exposition totale. Viennent ensuite le sol, avec une part moyenne estimée à 21%, les poussières intérieures (10%), l'eau du robinet (2%) et le milieu aérien (2%). Ces résultats sont similaires à ceux retrouvés lorsque la dose d'exposition totale est modélisée selon la méthode basée sur un découpage plus précis en termes de zones géographiques et classes d'âges. En effet, l'ordre des sources d'exposition ainsi que les parts estimées de leurs contributions respectives sont identiques.

Pour les 51 individus les plus exposés, correspondant donc à 10% de la population cible, le sol est la voie la plus contributrice avec une part moyenne de 44%, viennent ensuite la voie alimentaire avec 36%, les poussières intérieures avec une part moyenne estimée de 13%, l'eau du robinet (7%) et l'air (1%). Ces résultats montrent que la place de l'eau du robinet dans cette hiérarchie est différente pour cette population la plus exposée en comparaison aux résultats obtenus lorsque les contributions moyennes sur l'ensemble de la population sont calculées avec le découpage en 21 régions et trois classes d'âges présenté au paragraphe 3.2.1.1.

3.2.1.3 Comparaison des deux méthodes d'agrégation

Sur l'ensemble de la population, les deux méthodes d'agrégation retenues montrent des résultats similaires pour l'estimation des contributions moyennes et l'ordre d'importance de chacune des sources d'exposition. En effet, dans les deux cas, la voie alimentaire est la voie la plus contributrice.

En ce qui concerne les 10% d'individus les plus exposés, la voie d'ingestion de sol est prépondérante dans les deux cas, suivie de la voie alimentaire. Pour ces individus, des différences

de hiérarchie existent néanmoins pour les voies ingestion de poussières et ingestion d'eau du robinet. Selon la première méthode d'agrégation, l'eau du robinet est la troisième source d'exposition la plus contributrice à l'exposition globale, alors qu'elle est la quatrième pour la seconde méthode, derrière la voie d'exposition par ingestion de poussières intérieures.

3.2.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans

Le tableau suivant présente les résultats sous forme d'histogramme et des statistiques descriptives de la dose externe totale, correspondant à l'exposition agrégée liée aux différents média investigués, sous l'hypothèse « middle bound » pour l'exposition alimentaire pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans.

3.2.2.1 Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges

Tableau 12. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges

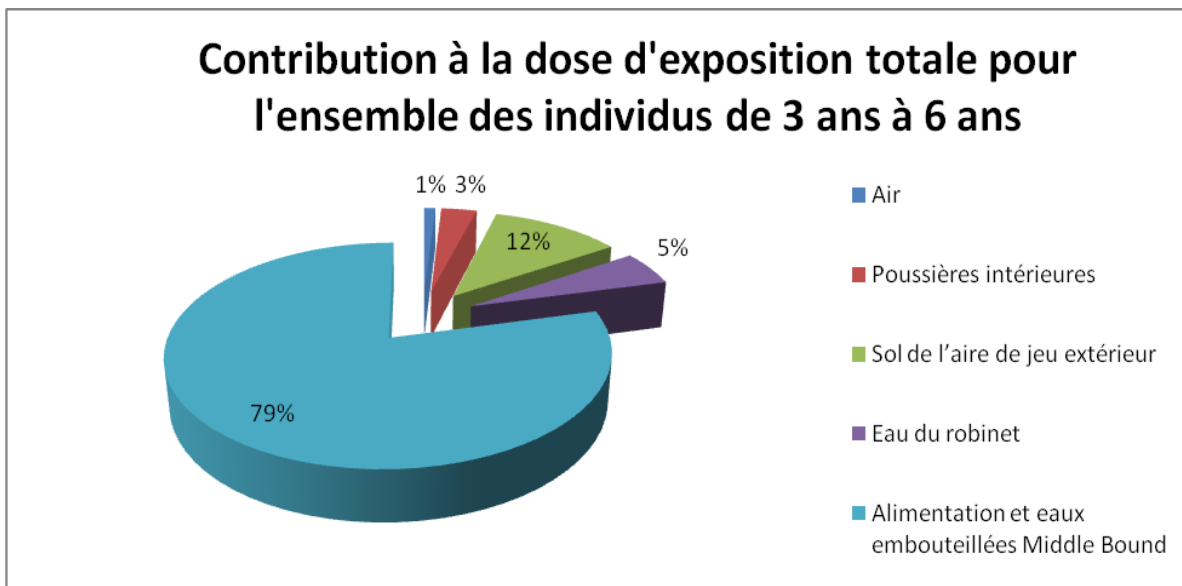
Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
Totale Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$		Minimum	0,17
		P25	0,33
		P50	0,43
		P75	0,61
		P90	0,91
		P95	1,25
		P99	2,06
		Maximum	2,66
		Moyenne	0,54

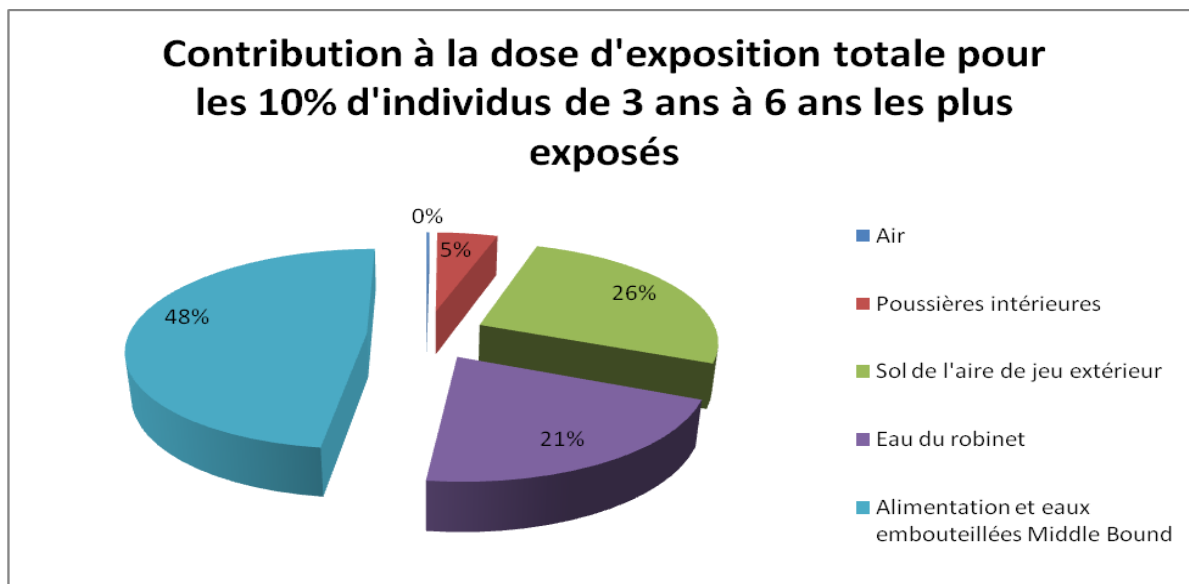
Le tableau ci-dessus montre que la dose d'exposition totale calculée selon les hypothèses de modélisation retenues varie de $0,2 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à $2,7 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ avec une moyenne de $0,5 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$.

Le tableau et les graphes ci-dessous renseignent les contributions relatives des média air, poussières intérieures, sol de l'aire de jeu extérieur, eau du robinet et alimentation et eaux embouteillées sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans. Il s'agit là aussi des contributions moyennes de chaque source pour l'ensemble des individus mais également pour les 10% ayant les doses d'exposition totale les plus élevées, soit 24 individus.

Tableau 13. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges

	Ensemble des individus (N= 242)	10% d'individus avec les doses d'exposition totale les plus élevées (N=24)
Alimentation et eaux embouteillées	79%	48%
Sol de l'aire de jeu extérieur	12%	26%
Eau du robinet	5%	21%
Poussières intérieures	3%	5%
Air	1%	0%





Comme pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans, la voie alimentaire est prépondérante avec une contribution relative moyenne encore plus élevée, puisqu'elle est de 79%. Viennent ensuite le sol, avec une part estimée à 12%, l'eau du robinet avec une part estimée de 5%, les poussières intérieures, avec une part estimée de 3% et enfin le milieu aérien avec une part de 1%. En plus du fait que la contribution de la voie alimentaire est encore plus significative pour cette population, on peut noter que l'ordre d'importance des autres voies n'est pas le même, puisque l'eau du robinet est plus influente que l'ingestion de poussières chez les 3 ans - 6 ans alors que c'est l'inverse chez les 6 mois - 3 ans.

Concernant les 24 individus les plus exposés, soit 10% de cette population, la hiérarchie reste la même, mais les parts moyennes estimées sont différentes. La voie alimentaire reste la source la plus contributrice avec une part moyenne de 48%, viennent ensuite le sol avec une part de 26%, l'eau du robinet avec une part de 21%, les poussières intérieures avec une part de 5% et enfin l'air avec une part inférieure à 1%.

3.2.2.2 Découpage en cinq régions et une classe d'âges

Tableau 14. Distribution et statistiques descriptives de la dose d'exposition externe totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

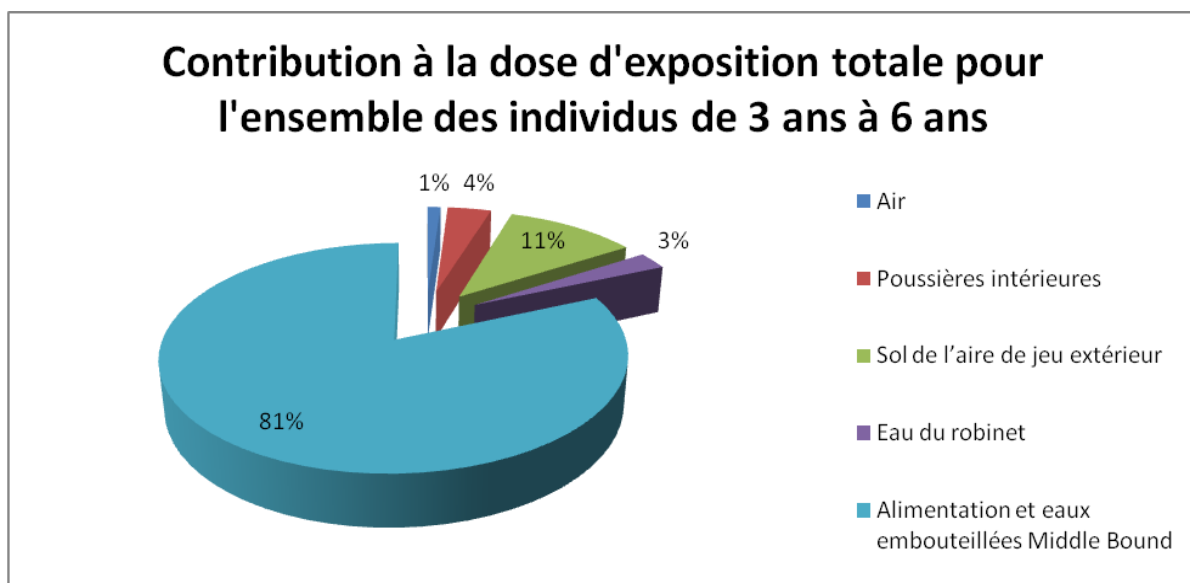
Dose d'exposition externe	Histogramme	Statistiques descriptives	
Totale Alimentation et eaux embouteillées « Middle Bound » $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$		Minimum	0,16
		P25	0,31
		P50	0,41
		P75	0,53
		P90	0,71
		P95	0,92
		P99	1,47
		Maximum	12,77
		Moyenne	0,49

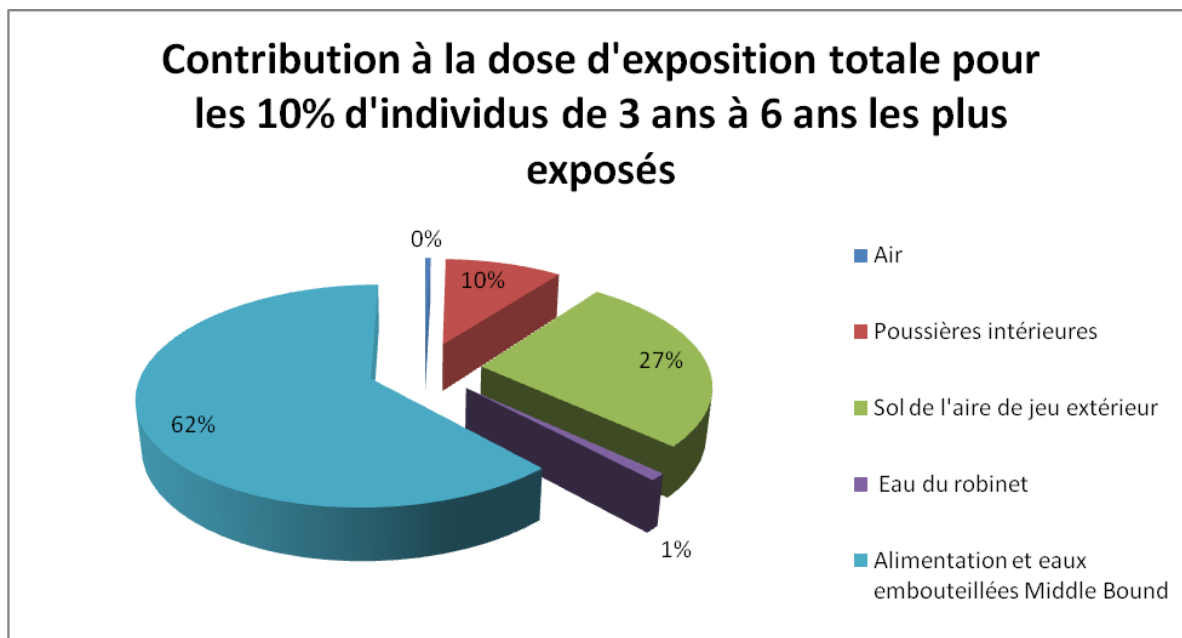
Le tableau ci-dessus montre que la dose d'exposition totale calculée selon les hypothèses de modélisation retenues varie de $0,2 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ à $12,8 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ avec une moyenne de $0,5 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Ces résultats sont assez similaires à ceux obtenus précédemment selon le découpage plus fin en termes de zones géographiques et de classes d'âges puisque la moyenne est identique. Les percentiles élevés, et notamment le maximum, sont cependant différents et plus élevés avec cette méthode.

Le tableau et les graphes ci-dessous renseignent les contributions relatives des médias air, poussières intérieures, sol de l'aire de jeu extérieur, eau du robinet et alimentation et eaux embouteillées sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans. Il s'agit là aussi des contributions moyennes de chaque source pour l'ensemble des individus mais également pour les 10% ayant les doses d'exposition totale les plus élevées, soit 24 individus.

Tableau 15. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

	Ensemble des individus (N= 242)	10% d'individus avec les doses d'exposition totale les plus élevées (N=24)
Alimentation et eaux embouteillées	81%	62%
Sol de l'aire de jeu extérieur	11%	27%
Eau du robinet	3%	1%
Poussières intérieures	4%	10%
Air	1%	0%





Sur l'ensemble de la population âgée de 3 à 6 ans, la voie alimentaire apparaît nettement prépondérante avec une contribution moyenne de 81% de l'exposition totale. Viennent ensuite le sol, avec une part moyenne estimée à 11%, les poussières intérieures (4%), l'eau du robinet (3%) et le milieu aérien (1%). Ces résultats sont similaires à ceux retrouvés lorsque la dose d'exposition totale est modélisée selon la méthode basée sur un découpage plus précis en termes de zones géographiques et classes d'âges. En effet, l'ordre des sources d'exposition ainsi que les parts estimées de leurs contributions respectives sont identiques.

Concernant les 24 individus les plus exposés, soit 10% de cette population, la hiérarchie reste la même, mais les parts moyennes estimées sont différentes. La voie alimentaire reste la source la plus contributrice avec une part moyenne de 62%, viennent ensuite le sol avec une part de 27%, les poussières intérieures avec une part de 10%, l'eau du robinet avec une part de 1% et enfin l'air avec une part inférieure à 1%.

3.2.2.3 Comparaison des deux méthodes d'agrégation

Que ce soit sur l'ensemble de la population ou sur les 10% d'individus les plus exposés, les deux méthodes d'agrégation retenues montrent des résultats similaires pour les deux sources d'exposition les plus contributrices, puisque l'alimentation et le sol sont respectivement la principale et la seconde source la plus contributrice. De même, l'air est dans les deux cas la source la moins importante. La seule différence entre ces méthodes est une inversion de l'ordre d'importance des voies d'exposition par ingestion d'eau du robinet et de poussières intérieures.

3.3 Analyse de sensibilité

Un calcul de coefficient de corrélation des rangs de Spearman est réalisé entre chacun des paramètres d'entrée et les différentes doses d'exposition totale calculées selon les trois hypothèses retenues pour l'exposition alimentaire. Seuls les paramètres entrant dans les calculs des doses d'exposition *via* le milieu aérien, l'eau du robinet, le sol et les poussières sont pris en compte. En effet, l'exposition alimentaire est considérée dans son ensemble, c'est-à-dire comme la combinaison de tous les paramètres relatifs à la consommation et la contamination en plomb de chacun des aliments. De plus, comme vu précédemment, la voie alimentaire contribue en moyenne entre 65% et 67% de l'exposition totale pour l'ensemble des enfants âgés de moins de 3 ans et entre 79% et 81% pour l'ensemble des enfants âgés de plus de 3 ans. De ce fait, il apparaît intéressant de connaître l'influence des autres paramètres sur le résultat final.

3.3.1 Enfants âgés de 6 mois à 3 ans

Le tableau ci-dessous renseigne la valeur des coefficients de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et la dose d'exposition totale calculée selon l'hypothèse « middle bound » pour l'exposition alimentaire pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans. Les résultats sont renseignés selon les deux approches retenues quant au découpage proposé pour les régions d'habitat et les classes d'âges des individus.

Tableau 16. Coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et la dose d'exposition totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans

	Dose d'exposition totale	
	Découpage en 21 régions et trois classes d'âges	Découpage en 5 régions et une classe d'âges
Concentration dans le sol	0,386	0,371
Quantité de sol ingérée	0,352	0,421
Quantité de poussières ingérée	0,352	0,421
Concentration dans les poussières	0,348	0,207
Quantité d'eau du robinet ingérée	0,141	0,079
Concentration dans l'eau du robinet	0,134	0,267
Poids corporel	0,130	0,008
Volume respiratoire	0,085	0,049
Charge de poussières	0,053	-0,007
Concentration dans l'air	-0,044	-0,041

Les paramètres les plus sensibles sont ceux relatifs à l'exposition *via* le sol et les poussières. Ces résultats concordent avec le fait que ce sont les deux sources d'exposition prépondérantes, après la voie alimentaire et qu'elles sont encore plus contributrices chez les enfants les plus exposés. Seule la contamination de l'eau du robinet modifie la hiérarchie parmi ces variables lorsque la méthode basée sur un découpage en cinq régions et une classe d'âges est retenue. En effet, le coefficient de corrélation associé à ce paramètre est beaucoup plus élevé dans cette situation et est supérieur à celui associé à la contamination des poussières.

3.3.2 Enfants âgés de 3 ans à 6 ans

Le tableau ci-dessous renseigne la valeur des coefficients de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et la dose d'exposition totale calculée selon l'hypothèse « middle bound » pour l'exposition alimentaire pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans. Les résultats sont renseignés selon les deux approches retenues quant au découpage proposé pour les régions d'habitat et les classes d'âges des individus.

Tableau 17. Coefficient de corrélation des rangs de Spearman entre chacun des paramètres d'entrée et les doses d'exposition totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans

	Dose d'exposition totale	
	Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges	Découpage en 5 régions et une classe d'âges
Quantité de sol ingérée	0,261	0,239
Quantité de poussières ingérée	0,261	0,239
Concentration dans le sol	0,252	0,229
Concentration dans les poussières	0,193	0,101
Poids corporel	-0,167	-0,291
Concentration dans l'eau du robinet	0,159	0,075
Volume respiratoire	-0,125	-0,113
Quantité d'eau du robinet ingérée	0,121	0,068
Charge de poussières	-0,098	-0,053
Concentration dans l'air	-0,052	0,045

Pour cette population âgée de 3 à 6 ans, les paramètres relatifs à l'exposition *via* le sol sont parmi les paramètres les plus sensibles et comme vu précédemment, il s'agit également de la source d'exposition la plus contributrice, après la voie alimentaire. Il en est de même pour la quantité de poussières ingérée étant donné que la distribution utilisée pour ce paramètre est la même que celle utilisée pour caractériser l'ingestion de sol. Ensuite, le poids corporel, qui n'est que le cinquième paramètre le plus sensible lorsque le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges est pris en compte, apparaît comme le paramètre le plus sensible selon la seconde méthode. A l'opposé, les paramètres relatifs à l'exposition *via* l'eau du robinet ainsi que la contamination des poussières sont des paramètres moins sensibles dans la seconde situation.

3.4 Calcul de l'imprégnation

Description du modèle :

Il existe de nombreux modèles pour décrire la cinétique du plomb chez l'Homme, et ainsi calculer la plombémie. Pour l'EFSA (EFSA, 2010), trois principaux modèles toxicocinétiques peuvent être utilisés pour l'évaluation du risque pour le plomb lié à l'apport *via* différentes voies d'expositions :

- le modèle PBPK élaboré par O' Flaherty (utilisable chez les enfants et les adultes) (O' Flaherty, 1998),
- le modèle de Carlisle et Wade (Carlisle *et al.*, 1992). Ce modèle empirique permet de prendre en compte l'apport alimentaire (nourriture et boisson), le contact avec le sol et l'ingestion de poussières.
- le modèle « integrated Exposure Uptake biokinetic (IEUBK) ⁵ » développé par l'U.S. EPA pour les enfants (U.S. EPA, 1994).

Le modèle (IEUBK) permet d'estimer à partir d'une série d'équations, la concentration de plomb sanguin pour une population d'enfants de moins de 7 ans, en fonction de l'exposition au plomb par l'air, les aliments, l'eau ou les sol et poussières (U.S. EPA 1994).

Les principales constantes (physiologiques, biodisponibilités⁶) et paramètres du modèle qui ont été utilisés sont renseignés dans le tableau 18 :

Dans le modèle IEUBK, la biodisponibilité est égale à 50% de la bioaccessibilité.

⁵ <http://www.epa.gov/superfund/lead/products.htm#ieubk>. Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children, Windows[®] version (IEUBKwin v1.1 build 11) (February, 2010) 32-bit version

⁶ Biodisponibilité : la biodisponibilité orale est définie comme la fraction de la dose administrée oralement et atteignant la circulation systémique (ineris, 2005).

Bioaccessibilité : La fraction bioaccessible d'un contaminant représente la fraction de ce contaminant extraite depuis le sol par les solutions digestives.

Tableau 18. Constantes physiologiques et paramètres du modèle pour calculer l'imprégnation au plomb pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans

Classe d'âge	Volume respiratoire $m^3 \cdot j^{-1}$	Poids kg	Pourcentage d'absorption du plomb ⁷		
			Alimentaire et eau	Sol et poussières	air
6 mois – 1 an	5	8	50	30	32
1 an – 2 ans	8	11			
2 ans – 3 ans	9	14			
3 ans – 4 ans	10	15			
4 ans – 5 ans	10	17			
5 ans – 6 ans	10	19			
6 ans – 7 ans	10	22			

Pour prédire les concentrations en plomb dans le sang des enfants exposés au plomb, on suppose une biodisponibilité de 50% du plomb ingéré *via* l'eau potable et les aliments et de 30% du plomb ingéré *via* le sol et les poussières (U.S. EPA, 1994).

La répartition estimée pour l'ingestion de poussières de maison et de particules de sol est de 45% pour l'ingestion de particules de sol et de 55% pour l'ingestion de poussières (U.S. EPA, 1994).

Détermination de la plombémie pour les enfants suite aux différentes expositions

Les quantités de sol et de poussières ingérées par jour ainsi que les quantités de plomb ingérées *via* l'alimentation, le sol et les poussières ont été moyennées par tranche d'âge (moyennes géométriques) (cf. tableau 19) selon l'hypothèse « middle bound ».

Les concentrations d'expositions, dans l'air, l'eau du robinet, le sol et les poussières ont été moyennées sur 7 ans.

Les tableaux 19 renseignent les doses/concentrations d'exposition moyennes géométriques pour l'eau⁸, le sol, les poussières, l'air et l'alimentation⁹ utilisées pour calculer la plombémie pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans.

⁷ Ce terme correspond à la biodisponibilité absolue (La biodisponibilité absolue est la fraction de composés ingérés, inhalés ou appliqués à la surface de la peau, qui est absorbée et atteint la circulation systémique). Dans IEUBK, la biodisponibilité absolue est égale à 50% de la bioaccessibilité.

⁸ Les concentrations <LOQ ont été remplacées par LOQ/2 soit 0.5 µg/L

⁹ calculées avec l'hypothèse « middle bound » pour l'exposition alimentaire

Pour les besoins du calcul de l'imprégnation, les résultats sont présentés par tranche d'âge de 1 an contrairement aux résultats présentés dans les chapitres 3.1 et 3.2 (6 mois-3 ans et 3-6 ans).

Tableau 19. Doses et concentrations d'exposition moyennes géométriques utilisées pour calculer l'imprégnation au plomb pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans

Classe d'âge	Concentration de plomb dans l'air $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Quantité de plomb ingérée via l'alimentation $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$	Consommation d'eau du robinet $\text{L}\cdot\text{j}^{-1}$	Concentration de plomb dans l'eau du robinet $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Quantité de sol et poussières ingérée $\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$	Concentration de plomb dans le sol $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Concentration de plomb dans les poussières $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
6 mois – 1 an	0,007	1,3	0,02	1,1	0,033	37	10
1 an – 2 ans		2,5	0,06		0,032		
2 ans – 3 ans		2,8	0,15		0,03		
3 ans – 4 ans		5,5	0,16		0,036		
4 ans – 5 ans		5,7	0,14		0,036		
5 ans – 6 ans		7,4	0,18		0,034		
6 ans – 7 ans		6,6	0,23		0,037		

A partir de cette évaluation de l'exposition agrégée au plomb (moyenne géométrique des expositions), le modèle IEUBK (version 1.1) a permis de déterminer que la plombémie d'un enfant de 7 ans serait de **9,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$** , en supposant que la plombémie de la mère soit de $18,2 \mu\text{g.L}^{-1}$. Cette plombémie est en dessous de celle retrouvée dans l'étude réalisée entre 2008-2009 regroupant 3831 enfants issus de 143 hôpitaux (France métropolitaine), dans laquelle la plombémie était de $14,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ (IC 95% [14,5 - 15,4]) chez les enfants de 1 à 6 ans (Etchevers, 2013).

4 Discussion et conclusion

L'Anses a été saisie le 7 mai 2013 par la Direction générale de la santé d'une demande d'appui scientifique et technique visant notamment à estimer la part relative des différentes voies d'exposition et milieux (eau de distribution, denrées alimentaires, poussières, particules de sol et air) en prenant en compte les données d'imprégnation chez les enfants de 6 mois à 6 ans. Les troubles du comportement alimentaire, tels que le PICA, n'ont pas été pris en compte dans le présent rapport, de même que l'exposition liée à l'utilisation de jouets, de bijoux fantaisies ou de cosmétiques.

Deux méthodes d'agrégation ont été retenues et comparées pour estimer les expositions au plomb (cf. chapitres 2.2.3.4 et 3.2.1.3). Il est à noter que la majorité des résultats obtenus *in fine* selon ces deux méthodes sont similaires. En effet, que cela soit pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans ou ceux âgés de plus de 3 ans, la distribution de la dose d'exposition, et notamment la moyenne, sont identiques quelle que soit la méthode utilisée. Concernant la contribution relative de chacune des sources d'exposition investiguées sur la dose d'exposition globale, il est à noter que, dans tous les cas, la voie d'exposition par inhalation d'air reste négligeable, quelle que soit la méthode d'agrégation choisie. De plus, les voies d'exposition *via* l'alimentation et l'ingestion de poussière extérieure, sont les deux voies les plus contributrices de l'exposition, quelle que soit la méthode retenue.

Néanmoins, l'application des deux méthodes conduit à quelques différences, et notamment pour ce qui concerne les individus les plus exposés de la classe d'âge 6 mois-3 ans, ainsi que pour la population âgée de plus de 3 ans (dans son ensemble et pour les individus les plus exposés) : les contributions relatives de l'exposition par ingestion d'eau du robinet et poussières ingérée s'inversent selon la méthode choisie.

Ces différences permettent d'identifier une incertitude liée à la méthode d'agrégation choisie. La méthode d'agrégation la plus fine conduit vraisemblablement à une sur-représentation des individus fortement exposés à l'eau du robinet et conduit à une contribution relative plus élevée pour la voie d'exposition correspondante.

Tenant compte des hypothèses de modélisation retenues (cf. supra) dans la présente évaluation de l'exposition agrégée au plomb, les doses d'exposition externe calculées apparaissent supérieures pour les enfants âgés de plus de 3 ans par rapport à la tranche d'âge 6 mois-3 ans. La différence des doses d'exposition entre les deux groupes est cependant très faible : la moyenne de la dose d'exposition est de $0,4 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans, et de 0,5

$\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour ceux âgés de plus de 3 ans. Les plus hauts percentiles de ces doses d'exposition sont également plus élevés chez les enfants de plus de 3 ans, avec notamment un maximum de $2,7 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ contre un maximum entre $2,1 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et $2,5 \mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$ selon la méthode d'agrégation retenue pour l'autre classe d'âges. Du fait des limites analytiques beaucoup plus basses dans l'EAT infantile par rapport à EAT2, les apports en plomb par voie alimentaire sont par conséquent plus faibles dans la sous-population des enfants âgés de 6 mois à 3 ans.

Concernant les contributions moyennes relatives de chacune des sources d'exposition sur la dose d'exposition totale et la hiérarchie qui peut être faite entre elles, lorsque l'ensemble des individus est considéré quelle que soit la méthode d'agrégation, la voie alimentaire ressort nettement comme étant la voie d'exposition prépondérante pour les deux sous-populations étudiées. Elle contribue en effet en moyenne entre 65% et 67% de l'exposition totale dans le cas des enfants âgés de moins de 3 ans selon la méthode d'agrégation retenue et entre 79% et 81% pour le groupe d'âge 3-6 ans. L'exposition à l'ingestion de sol est la seconde voie d'exposition contributrice avec une part relative moyenne estimée entre 20% et 21% dans un cas et entre 11% et 12% dans l'autre cas. Ces deux voies contribuent en moyenne, à elles seules, à une part comprise entre 86% et 92% de l'exposition agrégée totale selon la population étudiée et la méthode d'agrégation retenue. En revanche, le compartiment aérien ressort toujours comme étant la source d'exposition la moins importante, avec une contribution estimée maximum de 2% quelle que soit la population cible. La différence porte sur la part contributive à l'exposition totale de chacun des deux médias investigués, à savoir l'eau du robinet et les poussières intérieures. En effet, pour les enfants âgés de moins de 3 ans, les poussières intérieures ont une part estimée plus importante que celle de l'eau du robinet, respectivement de 8% et 10% selon la méthode utilisée contre 4% et 2% pour l'eau du robinet. Il en est de même pour les enfants âgés de plus de 3 ans, lorsque la méthode d'agrégation retenue est basée sur le découpage en cinq régions et une seule classe d'âges. Cependant, cet ordre s'inverse lorsque l'autre méthode est retenue avec une part estimée due à l'eau du robinet de 5% et celle due aux poussières intérieures de 3%.

En ce qui concerne les 10% d'individus les plus exposés, il existe une différence importante entre les deux sous-populations étudiées. En effet, pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans, le sol apparaît comme étant la source d'exposition la plus contributive à l'exposition totale, avec une part estimée comprise entre 35% et 44% selon la méthode d'agrégation retenue. Vient ensuite la voie alimentaire avec une part estimée entre 29 % et 39%. Cependant, cette hiérarchie est différente pour les enfants âgés de plus de 3 ans. En effet, l'alimentation devient la source d'exposition la plus contributive, avec une part entre 48% et 62%, au détriment du sol de l'aire de jeu extérieur qui est la seconde source d'exposition la plus importante avec une part comprise entre 26% et 27%

selon la méthode d'agrégation retenue. En revanche, l'ordre reste le même pour les trois autres sources d'exposition quelle que soit la population étudiée, excepté pour l'eau du robinet.

Concernant la méthode mise en œuvre dans le calcul de la part contributrice des différentes sources et niveaux d'exposition, plusieurs points d'amélioration pourraient être apportés à nos hypothèses de modélisation pour lui conférer une plus grande robustesse. Ces limites concernent les points suivants :

D'après les résultats de l'analyse de sensibilité, les paramètres relatifs à l'exposition *via* le sol et les poussières sont les plus sensibles et cela, quelles que soient la population étudiée et la méthode d'agrégation retenue. Cependant, la quantité ingérée de chacun de ces médias est peu documentée. En effet, la distribution retenue dans ces travaux s'appuie sur des données anciennes et non françaises, publiées aux USA, dont on peut s'interroger sur la pertinence de les appliquer à la situation en France, sinon par défaut. Elle documente l'ingestion de sol et de poussières confondus, à laquelle une fraction attribuable, issue d'une autre étude, pour chacun des deux médias a ensuite été affectée. De plus, elle est identique pour les deux sous-populations investiguées. Des études proposent d'autres valeurs pour ce paramètre et notamment l'U.S. EPA dans son Exposure Factors Handbook (2011). Il conviendrait de ce fait d'obtenir des données de quantités de sol et de poussières ingérées représentatives des expositions des enfants entre 0 et 6 ans en France.

Il en est de même pour le paramètre « charge de poussières », bien que ce paramètre fasse partie des paramètres les moins sensibles. En effet, la distribution retenue pour documenter ce paramètre s'appuie sur des hypothèses de modélisation à partir de données peu documentées et issues de plusieurs études menées dans divers pays (hors France).

Une autre limite concerne le fait d'extrapoler les données de contamination de l'air extérieur à tous les environnements, intérieurs et extérieurs confondus. Malgré le fait que ce paramètre soit l'un des moins sensibles, il serait utile et nécessaire d'avoir des mesures de la contamination de l'air intérieur.

Le niveau de plomb dans le sang ($9,7 \mu\text{g.L}^{-1}$) estimé avec le modèle tenant compte des moyennes géométriques des expositions reste comparable à celui retrouvé dans l'enquête d'imprégnation réalisée par l'InVS entre 2008 et 2009. Ces résultats sont comparables à ceux retrouvés dans la littérature, à savoir une différence entre plombémie calculée via IEUBK et plombémie mesurée pouvant aller jusqu'à $7\mu\text{g/L}$ (Hogan *et al* 1998).

Il faut préciser que dans l'enquête d'imprégnation réalisée par l'InVS entre 2008 et 2009, n'avait pas pour objectif de valider le modèle ou les hypothèses formulées dans ce travail. En effet, et contrairement à la démarche suivie pour le calcul des expositions (combinaison des données Plomb-Habitat et Inca2), les plombémies mesurées chez l'enfant dans l'enquête InVS n'ont pas été combinées aux deux autres enquêtes, ne permettant pas de valider le modèle et/ou les hypothèses formulées.

La différence de plombémie observée ($9,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ estimée versus $14,9 \mu\text{g.L}^{-1}$ mesurée) peut être due aux incertitudes liées à l'estimation des expositions et aux estimations du modèle (pour rappel, la biodisponibilité du plomb après ingestion de particules de sol et de poussières est estimée à 30% et celle du plomb ingérée *via* l'alimentation est estimée à 50%).

Pour rappel, l'Anses a établi dans un avis publié en janvier 2013 une valeur de plombémie critique de $15 \mu\text{g.L}^{-1}$ associée à une augmentation de la prévalence de la maladie rénale chronique. Cette plombémie établie avec comme effet critique les effets rénaux chez l'adulte qui protège la population entière, y compris les enfants, contre l'ensemble des effets néfastes du plomb identifiés à ce jour (système nerveux central, système cardio-vasculaire,...).

Le présent rapport élaboré par l'agence, dans le cadre d'un appui scientifique et technique, a été soumis pour relecture à deux experts désignés rapporteurs par l'agence le 19 juillet 2013. Leurs observations ont donné lieu à des échanges avec l'agence entre septembre 2013 et janvier 2014. Les deux experts, désignés rapporteurs, ont formulé un avis divergent sur le rapport (Annexe 6). *In fine*, les observations des rapporteurs ont permis d'enrichir le texte du rapport et surligné la nécessité d'approfondir les travaux méthodologiques en matière d'évaluation des expositions agrégées. Un argumentaire de l'Anses en réponse aux questions soulevées par les rapporteurs est présenté en annexe 7. Dans ce contexte, l'agence a décidé de poursuivre d'ores et déjà ce travail d'approfondissement scientifique de méthodologie des expositions agrégées.

Maisons-Alfort le

Le Directeur Général

Marc Mortureux

5 Bibliographie

Afsset (2010). Valeurs guides de qualité d'air intérieur pour les particules. Avis et Rapport d'expertise collective. Comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » - groupe de travail « VGAI ». 97 p.

Afssa (2009). Étude individuelle nationale des consommations alimentaires. Coordinateur Lionel Lafay.

Anses (2011). Etude de l'alimentation totale Française (EAT2). Coordination : Jean-Charles Leblanc, Véronique Sirot.

Arcus-Arth A., Blaisdell R.J. (2007). Statistical distributions of daily breathing rates for narrow age groups of infants and children. *Risk Anal* 27(1):97-110.

Bonnano I.J., Freeman N.C.G., Greenberg M. and Liroy P.J. (2001). Multivariate analysis on levels of selected metals, particulate matter, VOC, and household characteristics and activities from the Midwestern States NHEXAS. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 16 (9): 859-874.

Brochu P., Ducre-Robitaille J., Brodeur J. (2006). Physiological daily inhalation rates for free-living individuals aged 1 month to 96 years, using data from doubly labeled water measurements: a proposal for air quality criteria, standard calculations and health risk assessment. *Human Ecol Risk Assess* 12:675-701.

CITEPA- Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (2013). 332 p.

Dor F., Denys S. et les membres du GT (2012). Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p.

Etchevers A, Bretin P, Lecoffre C, Bidondo ML, Le Strat Y, Glorennec P, Le Tertre A. Blood lead levels and risk factors in young children in France, 2008-2009. *Int J Hyg Environ Health*. 2013 Oct 30.

Fantino M. and E. Gourmet. (2008). Apports nutritionnels en France en 2005 chez les enfants non allaités âgés de moins de 36 mois. *Arch Pediatr* 15(4): 446-455.

Fréry N, Saoudi A, Garnier R, Zeghnoun A, Falq G. Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 151 p.

Giovannangelo M., Nordling E., Gehring U., Oldenwening M., Bellander T., Heinrich J., Hoek G., Brujnekreef B. (2007). Variation of biocontaminant levels within and between homes – the AIRALLERG study. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007;17:134-40.

Hogan K, Marcus A, Smith R, White P. Integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children: empirical comparisons with epidemiologic data. *Environ Health Perspect*. 1998 Dec;106 Suppl 6:1557-67

Ineris, 2005. Mesure de la bioaccessibilité du plomb pour l'homme à l'aide de deux tests (IVG et RIVM) couplée à l'étude de la spéciation. <http://www.ineris.fr/centredoc/bioaccess.pdf>

LCSQA – Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (2011). Guide Technique et Méthodologique de l'Analyse de l'As, Cd, Ni et Pb dans l'Air Ambiant et dans les Dépôts Atmosphériques. Laurent ALLEMAN avec la collaboration technique de Bruno MALET. Convention : 2200460208 Novembre 2011. 38 p.

Lucas J.-P., Le Bot B., Glorennec P., Etchevers A., Bretin P., Douay F., Sébille V., Bellanger L., & Mandin C. (2012). Lead contamination in french children's homes and environment. *Environmental Research*, 116(0), 58-65.

Sirot V, Volatier JL, Calamassi-Tran G, Dubuisson C, Menard C, Dufour A, et al. 2009. Core food of the French food supply: second Total Diet Study. *Food Addit Contam Part A* 26(5): 623-639.

Stanek E.J., Calabrese E.J., Zorn N. (2001). Biasing factors for simple soil ingestion estimates in mass balance studies of soil ingestion. *Hum and Ecol Risk Assess* 2001; 7(2):329-55.

Stifelman M. (2007). Using doubly-labeled water measurements of human energy expenditure to estimate inhalation rates. *Sci Total Environ* 373:585-590.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency) (1994). Guidance manual for the IEUBK model for lead in children. Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC; EPA 540/R-93/081.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency) (2009). Metabolically- derived human ventilation rates: A revised approach based upon oxygen consumption rates. Office of Research and Development, Washington, DC; EPA/600/R-06/129F.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de la demande



MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE LA SANTÉ

Courrier arrivé à la
Direction Générale

le 15 MAI 2013

Le -7 MAI 2013

Direction générale de la Santé

Sous-direction : Prévention des risques liés
à l'environnement et à l'alimentation
Bureau : Environnement intérieur,
milieux de travail et accidents de la vie courante

DGS/EA2 N° 64

Personne chargée du dossier :
Anne PILLEBOUT
Tél. 01 40 56 46 52
anne.pillebout@sante.gouv.fr

COURRIER ARRIVE
A 13 SEP 1231
17 MAI 2013

DIRECTION GENERALE

Le Directeur général de la santé

à

Monsieur le Directeur général de l'Anses
27-31 avenue du Général Leclerc
94701 Maison-Alfort

Objet : Rapport de l'Anses « expositions au plomb : effets sur la santé associées à des plombémies inférieures à 100 µg/L » - travaux complémentaires

PJ : Saisine du HCSP du 15 octobre 2012 « Expositions au plomb – détermination de nouveaux objectifs de gestion »

Par courrier du 9 avril 2013, vous répondez aux remarques que je vous avez fait parvenir dans le cadre du « questionnaire d'évaluation de la satisfaction du commanditaire de la saisine » s'agissant du rapport cité en objet.

Vous proposez ainsi d'engager des travaux complémentaires visant à permettre de présenter, d'ici la fin de l'année, les contributions environnementales à l'exposition au plomb pour différentes voies d'exposition. Vous envisagez de prendre en compte les données déjà disponibles concernant l'eau de distribution publique et les denrées alimentaires et d'estimer plus précisément l'exposition au plomb via l'ingestion des poussières et de particules de sol.

Je vous indique que je suis très favorable à ces travaux que vous pourrez utilement enrichir des données qui sont ou seront disponibles dans le cadre de l'enquête environnementales « plomb-habitat » pilotée par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

L'ensemble de ces travaux a vocation à nourrir la réflexion du Haut conseil de santé publique, qui travaille actuellement en réponse à ma saisine du 15 octobre dernier « Expositions au plomb – détermination de nouveaux objectifs de gestion ». Je vous précise que le HCSP souhaite revoir son calendrier de travail, prévoyant initialement une réponse avant fin septembre 2013, afin d'intégrer certaines données qui seront fournies par l'InVS ainsi que celles que vous proposez d'étudier.

Aussi, il serait opportun que vos données puissent être disponibles dans des délais permettant au HCSP de rendre ses conclusions pour la fin de l'année 2013.

Le Directeur général de la Santé,

Dr Jean-Yves GRALL

COPIE :

- Haut conseil de santé publique
- Centre scientifique et technique du bâtiment

14, avenue Duquesne – 75350 Paris 07 SP – Tél. 01 40 56 60 00

Annexe 2 : Descriptif des données de concentrations moyennes annuelles en plomb par année en excluant les stations de mesure à proximité industrielle et d'observation spécifique

- 2000 : 2 données, 1 NA - valeurs moyennes annuelles à 5,9 et 20 ng.m⁻³.
- 2001 : 2 données, 3 NA - valeurs moyennes annuelles à 8,5 et 10 ng.m⁻³.
- 2002 : 7 données, 1 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 3,3 et 16 ng.m⁻³.
 - 1 valeur est supérieure à 10 ng.m⁻³ et a été mesurée par LigAir
- 2003 : 12 données, 2 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 3 et 29 ng.m⁻³ (max : AIR LORRAINE Thionville-Centre ZAG U).
 - 5 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIR LORRAINE, ATMO CA, LigAir
- 2004 : 11 données, 2 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 6,5 et 19 ng.m⁻³.
 - 7 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIR LORRAINE, AIR LR, AIRPARIF, Air Pays de la Loire, ATMO CA, ATMO FC, LigAir
- 2005 : 17 données, 2 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 2,9 et 19 ng.m⁻³.
 - 8 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIR LORRAINE, AIR LR, Air Normand, ATMO CA, Atmo PACA, ATMO_PICARDIE, LigAir
- 2006 : 20 données, 8 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 0,01 et 27 ng.m⁻³.
 - 10 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIR LORRAINE, Air Normand, ATMO CA, ATMO FC, Atmo PACA, ATMO_PICARDIE, ATMOSF_air BOURGOGNE, ORAMIP
- 2007 : 31 données, 7 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 1,4 et 25 ng.m⁻³.
 - 14 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIR LORRAINE, Air Normand, ATMO CA, atmo Nord-Pas-de-Calais, Atmo PACA, ATMO_PICARDIE, COPARLY, AMPASEL, ASCOPARG, ATMOSF_air BOURGOGNE, ORAMIP
- 2008 : 32 données, 5 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 2,2 et 41 ng.m⁻³ (max : AirAPS Ugine Ecole ZUR U).
 - 3 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AirAPS, ATMO CA, atmo Nord-Pas-de-Calais, ASCOPARG, ATMOSF_air BOURGOGNE
- 2009 : 37 données, 10 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 1,9 et 22 ng.m⁻³.
 - 3 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par ATMO CA, atmo Nord-Pas-de-Calais
- 2010 : 36 données, 10 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 1,9 et 15 ng.m⁻³.
 - 5 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AirAPS, Air COM, Air Normand, atmo Nord-Pas-de-Calais
- 2011 : 55 données, 1 NA - valeurs moyennes annuelles comprises entre 0,4 et 32 ng.m⁻³ (max : AIRAQ Boucau ZUR NA et Air Lorraine Neuves-Maisons ZAG U).
 - 10 valeurs sont supérieures à 10 ng.m⁻³ et ont été mesurées par AIRAQ, Air Lorraine (5 d'entre elles), AIRPARIF, Air Rhône-Alpes, atmo Nord-Pas-de-Calais, Atmo PACA, ATMOPC

Annexe 3 : Distribution et statistiques descriptives des distributions de probabilités des différentes variables d'entrée utilisées dans les modèles d'exposition

Dans ce chapitre, sont présentés sous formes d'histogrammes ainsi qu'un tableau de statistiques descriptives, les différents paramètres d'exposition entrant dans le calcul des différentes doses d'exposition au plomb.

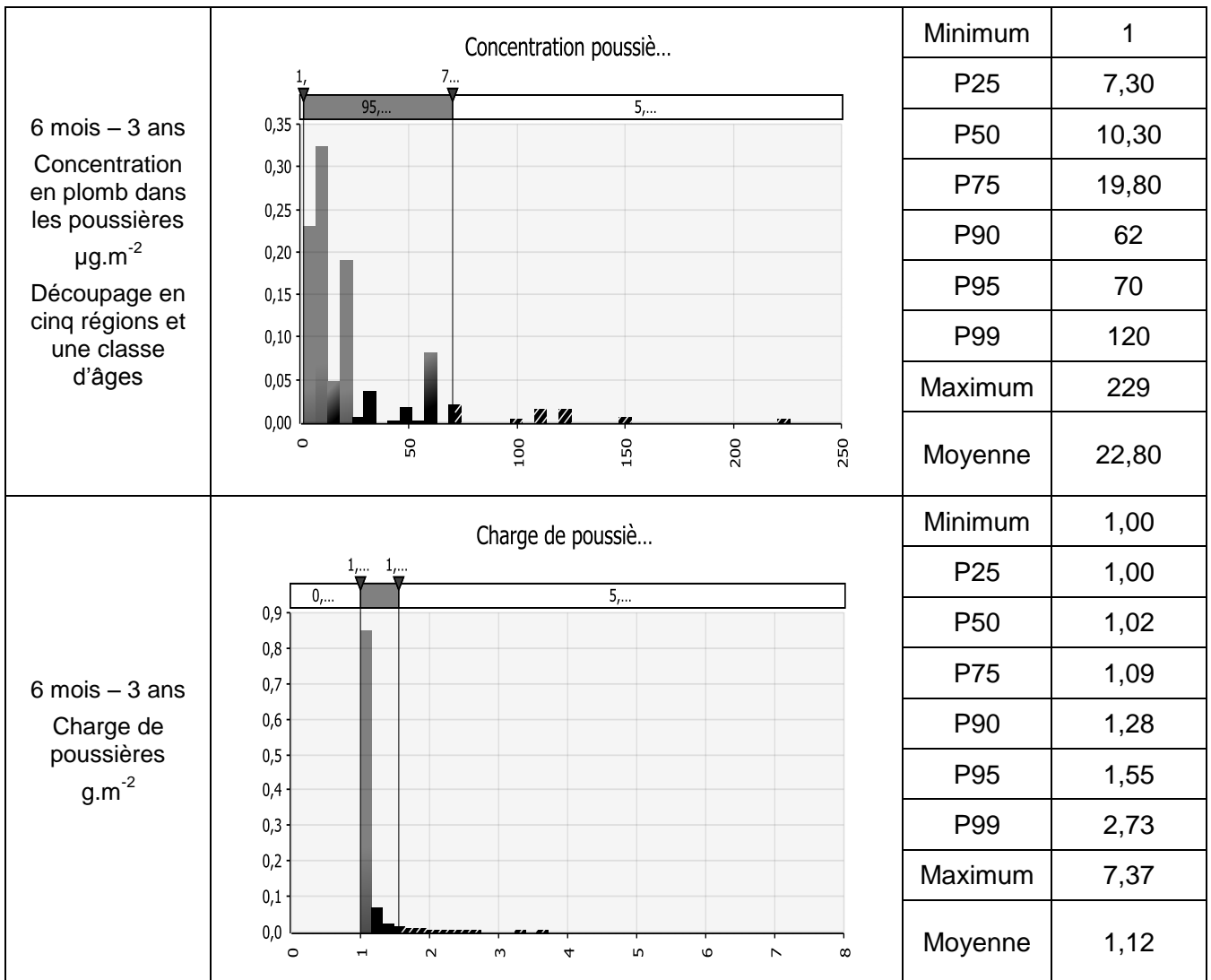
Tableau 19. Distribution et statistiques descriptives des paramètres d'exposition

Paramètre	Histogramme	Statistiques descriptives	
6 mois – 3 ans Poids corporel kg _{pc}		Minimum P25 P50 P75 P90 P95 P99 Maximum Moyenne	3,36 9,88 11,40 13,00 15,00 16,00 18,50 20,00 11,57
6 mois – 3 ans Consommation d'eau du robinet mL.j ⁻¹		Minimum P25 P50 P75 P90 P95 P99 Maximum Moyenne	0 0 0 96,67 302,72 460,00 783,33 1650,00 87,62

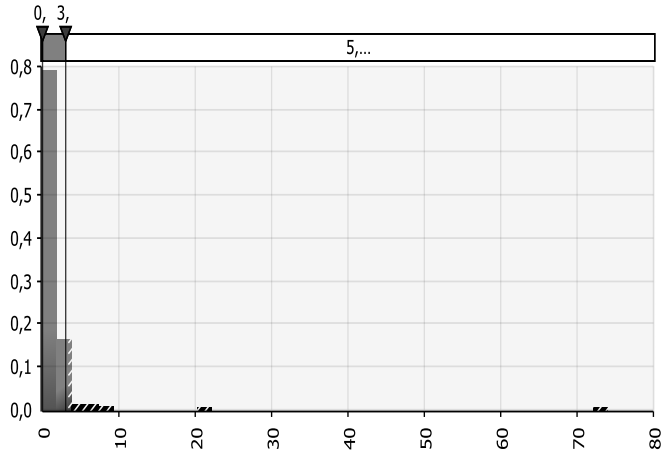
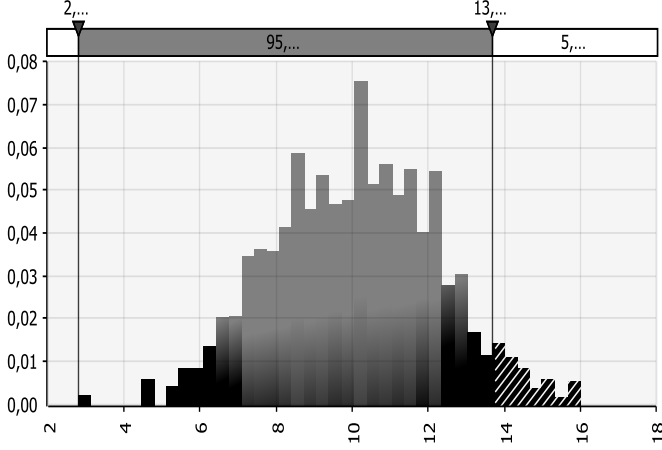
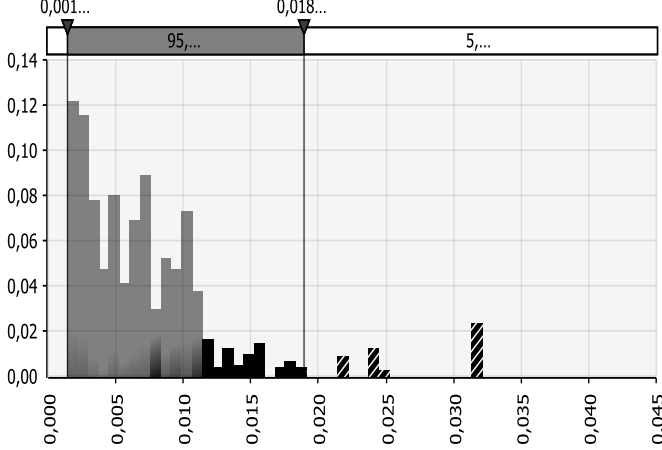
<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans l'eau du robinet $\mu\text{g.L}^{-1}$ Découpage en 21 régions et trois classes d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration eau du robi...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,46</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,98</td></tr> <tr><td>P75</td><td>2,00</td></tr> <tr><td>P90</td><td>12,00</td></tr> <tr><td>P95</td><td>34,00</td></tr> <tr><td>P99</td><td>34,00</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>34,00</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>4,06</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0	P25	0,46	P50	0,98	P75	2,00	P90	12,00	P95	34,00	P99	34,00	Maximum	34,00	Moyenne	4,06
Minimum	0																			
P25	0,46																			
P50	0,98																			
P75	2,00																			
P90	12,00																			
P95	34,00																			
P99	34,00																			
Maximum	34,00																			
Moyenne	4,06																			
<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans l'eau du robinet $\mu\text{g.L}^{-1}$ Découpage en cinq régions et une classe d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration eau du robi...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>P75</td><td>1</td></tr> <tr><td>P90</td><td>4</td></tr> <tr><td>P95</td><td>21</td></tr> <tr><td>P99</td><td>34</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>34</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>2,77</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0	P25	0,32	P50	0,55	P75	1	P90	4	P95	21	P99	34	Maximum	34	Moyenne	2,77
Minimum	0																			
P25	0,32																			
P50	0,55																			
P75	1																			
P90	4																			
P95	21																			
P99	34																			
Maximum	34																			
Moyenne	2,77																			
<p>6 mois – 3 ans Volume respiratoire $\text{m}^3.\text{j}^{-1}$</p>	<p style="text-align: center;">Volume respirato...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,73</td></tr> <tr><td>P25</td><td>5,57</td></tr> <tr><td>P50</td><td>7,55</td></tr> <tr><td>P75</td><td>9,78</td></tr> <tr><td>P90</td><td>11,80</td></tr> <tr><td>P95</td><td>12,92</td></tr> <tr><td>P99</td><td>14,91</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>16,28</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>7,76</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,73	P25	5,57	P50	7,55	P75	9,78	P90	11,80	P95	12,92	P99	14,91	Maximum	16,28	Moyenne	7,76
Minimum	0,73																			
P25	5,57																			
P50	7,55																			
P75	9,78																			
P90	11,80																			
P95	12,92																			
P99	14,91																			
Maximum	16,28																			
Moyenne	7,76																			

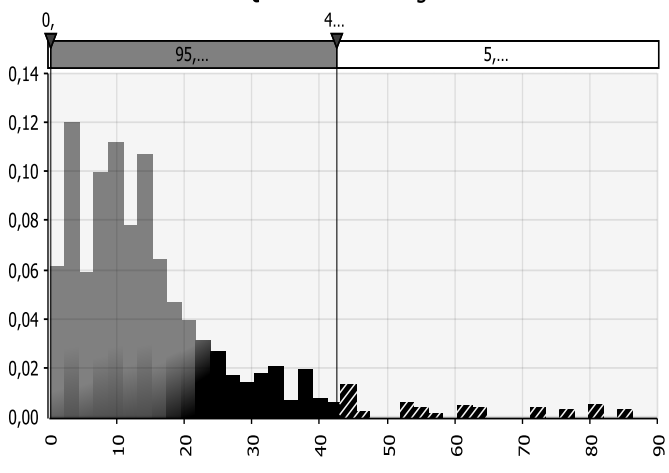
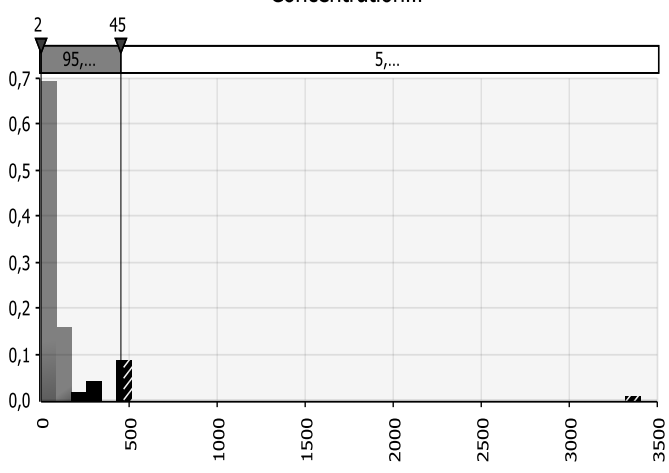

<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans l'air $\mu\text{g.m}^{-3}$</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,43E-3</td></tr> <tr><td>P25</td><td>2,81E-3</td></tr> <tr><td>P50</td><td>5,76E-3</td></tr> <tr><td>P75</td><td>9,19E-3</td></tr> <tr><td>P90</td><td>1,12E-2</td></tr> <tr><td>P95</td><td>1,34E-2</td></tr> <tr><td>P99</td><td>3,15E-2</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>4,14E-2</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>6,75E-3</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,43E-3	P25	2,81E-3	P50	5,76E-3	P75	9,19E-3	P90	1,12E-2	P95	1,34E-2	P99	3,15E-2	Maximum	4,14E-2	Moyenne	6,75E-3
Minimum	1,43E-3																			
P25	2,81E-3																			
P50	5,76E-3																			
P75	9,19E-3																			
P90	1,12E-2																			
P95	1,34E-2																			
P99	3,15E-2																			
Maximum	4,14E-2																			
Moyenne	6,75E-3																			
<p>6 mois – 3 ans Quantité de sol ingérée mg.j^{-1}</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>P25</td><td>6,35</td></tr> <tr><td>P50</td><td>11,55</td></tr> <tr><td>P75</td><td>19,40</td></tr> <tr><td>P90</td><td>28,76</td></tr> <tr><td>P95</td><td>34,78</td></tr> <tr><td>P99</td><td>50,86</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>90,00</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>14,28</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,11	P25	6,35	P50	11,55	P75	19,40	P90	28,76	P95	34,78	P99	50,86	Maximum	90,00	Moyenne	14,28
Minimum	0,11																			
P25	6,35																			
P50	11,55																			
P75	19,40																			
P90	28,76																			
P95	34,78																			
P99	50,86																			
Maximum	90,00																			
Moyenne	14,28																			
<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans le sol mg.kg^{-1} Découpage en 21 régions et trois classes d'âges</p>		<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>4,20</td></tr> <tr><td>P25</td><td>17,50</td></tr> <tr><td>P50</td><td>32,90</td></tr> <tr><td>P75</td><td>65,00</td></tr> <tr><td>P90</td><td>275,90</td></tr> <tr><td>P95</td><td>275,90</td></tr> <tr><td>P99</td><td>359,20</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>381,80</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>72,37</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	4,20	P25	17,50	P50	32,90	P75	65,00	P90	275,90	P95	275,90	P99	359,20	Maximum	381,80	Moyenne	72,37
Minimum	4,20																			
P25	17,50																			
P50	32,90																			
P75	65,00																			
P90	275,90																			
P95	275,90																			
P99	359,20																			
Maximum	381,80																			
Moyenne	72,37																			

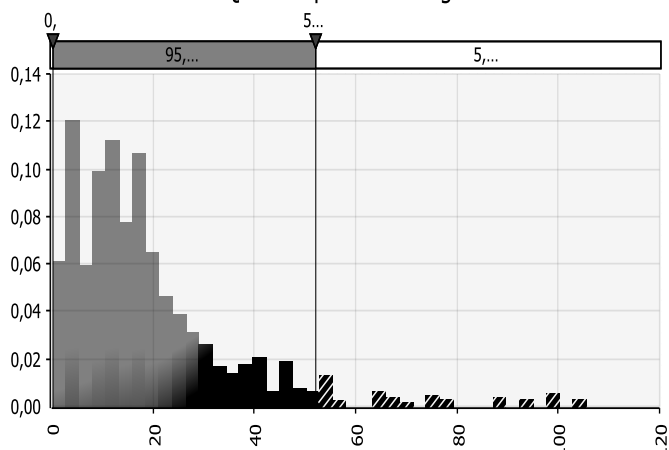
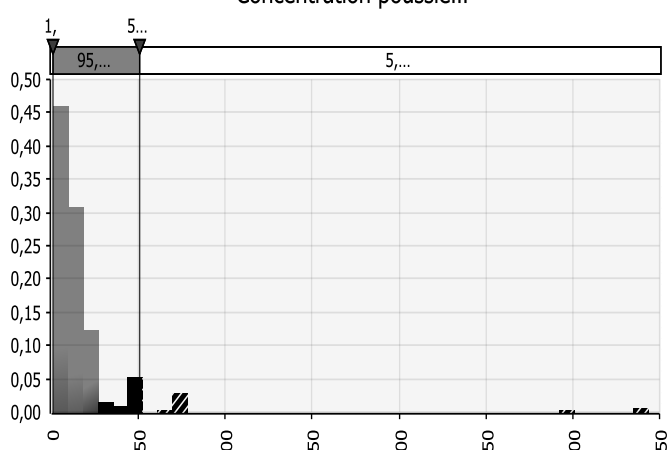
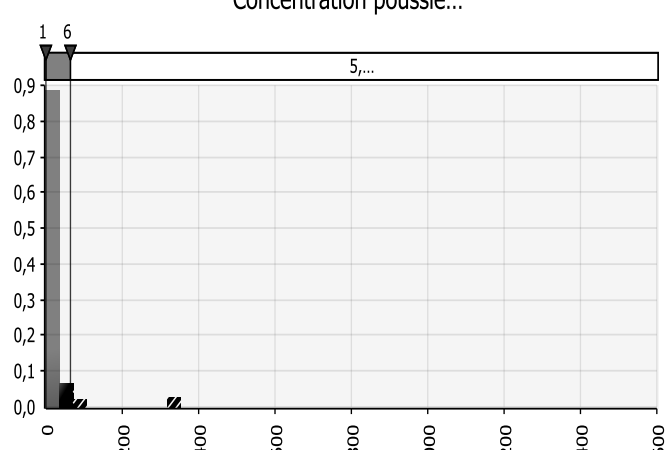
<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans le sol mg.kg⁻¹ Découpage en cinq régions et une classe d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>P25</td><td>16,30</td></tr> <tr><td>P50</td><td>39,70</td></tr> <tr><td>P75</td><td>74,60</td></tr> <tr><td>P90</td><td>180,40</td></tr> <tr><td>P95</td><td>270,80</td></tr> <tr><td>P99</td><td>381,80</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>381,80</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>67</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,65	P25	16,30	P50	39,70	P75	74,60	P90	180,40	P95	270,80	P99	381,80	Maximum	381,80	Moyenne	67
Minimum	0,65																			
P25	16,30																			
P50	39,70																			
P75	74,60																			
P90	180,40																			
P95	270,80																			
P99	381,80																			
Maximum	381,80																			
Moyenne	67																			
<p>6 mois – 3 ans Quantité de poussières ingérée mg.j⁻¹</p>	<p style="text-align: center;">Quantité de poussières ingé...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>P25</td><td>7,76</td></tr> <tr><td>P50</td><td>14,11</td></tr> <tr><td>P75</td><td>23,71</td></tr> <tr><td>P90</td><td>35,15</td></tr> <tr><td>P95</td><td>42,51</td></tr> <tr><td>P99</td><td>62,17</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>109,99</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>17,46</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,14	P25	7,76	P50	14,11	P75	23,71	P90	35,15	P95	42,51	P99	62,17	Maximum	109,99	Moyenne	17,46
Minimum	0,14																			
P25	7,76																			
P50	14,11																			
P75	23,71																			
P90	35,15																			
P95	42,51																			
P99	62,17																			
Maximum	109,99																			
Moyenne	17,46																			
<p>6 mois – 3 ans Concentration en plomb dans les poussières µg.m⁻² Découpage en 21 régions et trois classes d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration poussiè...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>P25</td><td>4,00</td></tr> <tr><td>P50</td><td>9,70</td></tr> <tr><td>P75</td><td>16,00</td></tr> <tr><td>P90</td><td>34,80</td></tr> <tr><td>P95</td><td>73,30</td></tr> <tr><td>P99</td><td>254,30</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>314,50</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>20,65</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,00	P25	4,00	P50	9,70	P75	16,00	P90	34,80	P95	73,30	P99	254,30	Maximum	314,50	Moyenne	20,65
Minimum	1,00																			
P25	4,00																			
P50	9,70																			
P75	16,00																			
P90	34,80																			
P95	73,30																			
P99	254,30																			
Maximum	314,50																			
Moyenne	20,65																			

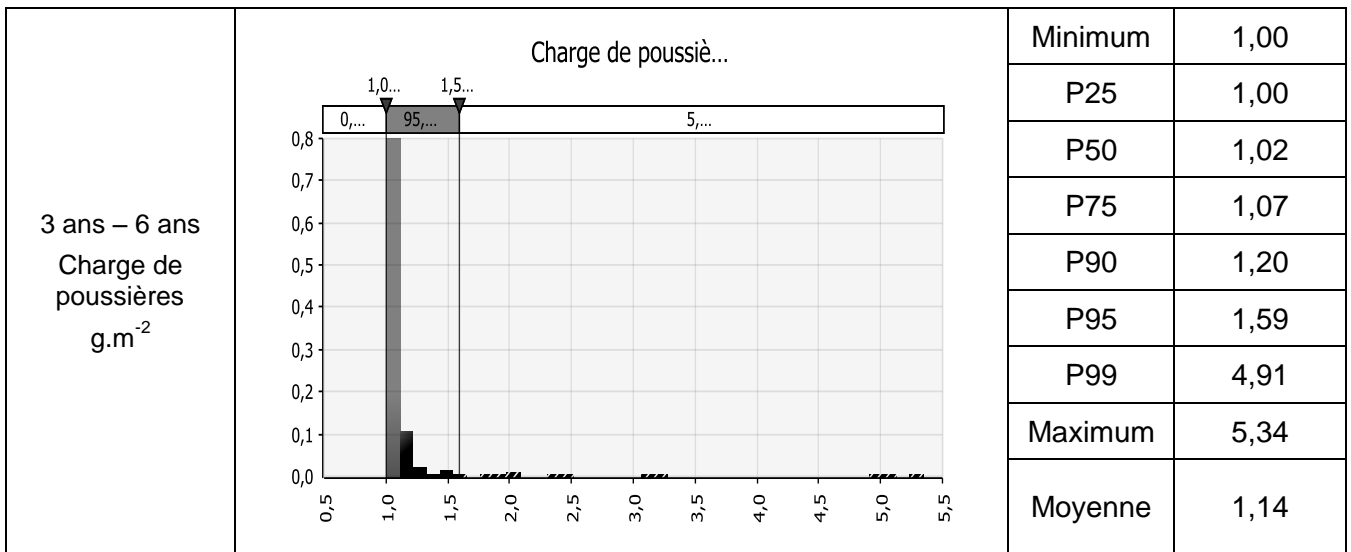


<p>3 ans – 6 ans Poids corporel kg_{pc}</p>	<p>Poids corpo...</p>	Minimum	10,00
		P25	16,00
		P50	18,00
		P75	21,00
		P90	24,00
		P95	26,00
		P99	32,00
		Maximum	40,00
		Moyenne	18,82
<p>3 ans – 6 ans Consommation d'eau du robinet mL.j⁻¹</p>	<p>Consommation...</p>	Minimum	0
		P25	0
		P50	127,14
		P75	325,71
		P90	471,43
		P95	571,43
		P99	1195,71
		Maximum	1368,57
		Moyenne	193,96
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans l'eau du robinet µg.L⁻¹ Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges</p>	<p>Concentration eau du robi...</p>	Minimum	0
		P25	0,60
		P50	0,90
		P75	3,00
		P90	28,00
		P95	74,00
		P99	74,00
		Maximum	74,00
		Moyenne	8,06

<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans l'eau du robinet $\mu\text{g.L}^{-1}$ Découpage en cinq régions et une classe d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration eau du robi...</p> 	<p>Minimum 0</p> <p>P25 0,37</p> <p>P50 0,89</p> <p>P75 1</p> <p>P90 3</p> <p>P95 3</p> <p>P99 21</p> <p>Maximum 74</p> <p>Moyenne 1,70</p>
<p>3 ans – 6 ans Volume respiratoire $\text{m}^3.\text{j}^{-1}$</p>	<p style="text-align: center;">Volume respirato...</p> 	<p>Minimum 2,80</p> <p>P25 8,53</p> <p>P50 10,12</p> <p>P75 11,54</p> <p>P90 12,79</p> <p>P95 13,70</p> <p>P99 15,07</p> <p>Maximum 16,00</p> <p>Moyenne 10,07</p>
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans l'air $\mu\text{g.m}^{-3}$</p>	<p style="text-align: center;">Concentration...</p> 	<p>Minimum 1,43E-3</p> <p>P25 2,99E-3</p> <p>P50 6,41E-3</p> <p>P75 9,69E-3</p> <p>P90 1,34E-2</p> <p>P95 1,89E-2</p> <p>P99 3,15E-2</p> <p>Maximum 3,22E-2</p> <p>Moyenne 7,35E-3</p>

<p>3 ans – 6 ans Quantité de sol ingérée mg.j⁻¹</p>	<p style="text-align: center;">Quantité de sol ingé...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,12</td></tr> <tr><td>P25</td><td>6,94</td></tr> <tr><td>P50</td><td>12,21</td></tr> <tr><td>P75</td><td>20,07</td></tr> <tr><td>P90</td><td>32,46</td></tr> <tr><td>P95</td><td>42,65</td></tr> <tr><td>P99</td><td>76,11</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>86,34</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>15,66</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,12	P25	6,94	P50	12,21	P75	20,07	P90	32,46	P95	42,65	P99	76,11	Maximum	86,34	Moyenne	15,66
Minimum	0,12																			
P25	6,94																			
P50	12,21																			
P75	20,07																			
P90	32,46																			
P95	42,65																			
P99	76,11																			
Maximum	86,34																			
Moyenne	15,66																			
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans le sol mg.kg⁻¹ Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,70</td></tr> <tr><td>P25</td><td>17,40</td></tr> <tr><td>P50</td><td>41,70</td></tr> <tr><td>P75</td><td>90,10</td></tr> <tr><td>P90</td><td>311,00</td></tr> <tr><td>P95</td><td>453,20</td></tr> <tr><td>P99</td><td>501,80</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>3408,00</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>122,21</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,70	P25	17,40	P50	41,70	P75	90,10	P90	311,00	P95	453,20	P99	501,80	Maximum	3408,00	Moyenne	122,21
Minimum	1,70																			
P25	17,40																			
P50	41,70																			
P75	90,10																			
P90	311,00																			
P95	453,20																			
P99	501,80																			
Maximum	3408,00																			
Moyenne	122,21																			
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans le sol mg.kg⁻¹ Découpage en cinq régions et une classe d'âges</p>	<p style="text-align: center;">Concentration...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,65</td></tr> <tr><td>P25</td><td>15,40</td></tr> <tr><td>P50</td><td>23</td></tr> <tr><td>P75</td><td>69,60</td></tr> <tr><td>P90</td><td>130,20</td></tr> <tr><td>P95</td><td>267,50</td></tr> <tr><td>P99</td><td>3408</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>3408</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>97</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,65	P25	15,40	P50	23	P75	69,60	P90	130,20	P95	267,50	P99	3408	Maximum	3408	Moyenne	97
Minimum	0,65																			
P25	15,40																			
P50	23																			
P75	69,60																			
P90	130,20																			
P95	267,50																			
P99	3408																			
Maximum	3408																			
Moyenne	97																			

<p>3 ans – 6 ans Quantité de poussières ingérée mg.j⁻¹</p>	<p>Quantité poussières ingé...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>P25</td><td>8,48</td></tr> <tr><td>P50</td><td>14,92</td></tr> <tr><td>P75</td><td>24,53</td></tr> <tr><td>P90</td><td>39,67</td></tr> <tr><td>P95</td><td>52,12</td></tr> <tr><td>P99</td><td>93,02</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>105,53</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>19,14</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,15	P25	8,48	P50	14,92	P75	24,53	P90	39,67	P95	52,12	P99	93,02	Maximum	105,53	Moyenne	19,14
Minimum	0,15																			
P25	8,48																			
P50	14,92																			
P75	24,53																			
P90	39,67																			
P95	52,12																			
P99	93,02																			
Maximum	105,53																			
Moyenne	19,14																			
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans les poussières µg.m⁻² Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges</p>	<p>Concentration poussiè...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>P25</td><td>5,50</td></tr> <tr><td>P50</td><td>10,30</td></tr> <tr><td>P75</td><td>17,70</td></tr> <tr><td>P90</td><td>31,80</td></tr> <tr><td>P95</td><td>51,00</td></tr> <tr><td>P99</td><td>72,00</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>343,60</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>17,30</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1,00	P25	5,50	P50	10,30	P75	17,70	P90	31,80	P95	51,00	P99	72,00	Maximum	343,60	Moyenne	17,30
Minimum	1,00																			
P25	5,50																			
P50	10,30																			
P75	17,70																			
P90	31,80																			
P95	51,00																			
P99	72,00																			
Maximum	343,60																			
Moyenne	17,30																			
<p>3 ans – 6 ans Concentration en plomb dans les poussières µg.m⁻² Découpage en cinq régions et une classe d'âges</p>	<p>Concentration poussiè...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>1</td></tr> <tr><td>P25</td><td>2,50</td></tr> <tr><td>P50</td><td>8,70</td></tr> <tr><td>P75</td><td>17,40</td></tr> <tr><td>P90</td><td>50,30</td></tr> <tr><td>P95</td><td>65,30</td></tr> <tr><td>P99</td><td>343,60</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1411,80</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>24,90</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	1	P25	2,50	P50	8,70	P75	17,40	P90	50,30	P95	65,30	P99	343,60	Maximum	1411,80	Moyenne	24,90
Minimum	1																			
P25	2,50																			
P50	8,70																			
P75	17,40																			
P90	50,30																			
P95	65,30																			
P99	343,60																			
Maximum	1411,80																			
Moyenne	24,90																			



Annexe 4 : Modélisation de l'exposition agrégée au plomb avec les hypothèses « Lower Bound » (LB) et « Upper Bound » (UB) pour la caractérisation de l'exposition alimentaire

Dans ce chapitre, sont décrits les résultats obtenus pour la dose d'exposition de l'alimentation et les eaux embouteillées, la dose d'exposition totale ainsi que la contribution relative de chaque source d'exposition selon les deux hypothèses LB et UB et les deux méthodes utilisées quand aux découpages proposés pour les régions d'habitat et les classes d'âges des individus.

Tableau 20. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et trois classes d'âges

Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	0
		P25	0,16
		P50	0,20
		P75	0,26
		P90	0,33
		P95	0,38
		P99	0,51
		Maximum	0,63
Moyenne	0,22		
Alimentation et eaux embouteillées UB $\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	3,95E-2
		P25	0,17
		P50	0,22
		P75	0,28
		P90	0,35
		P95	0,40
		P99	0,52
		Maximum	0,63
Moyenne	0,23		

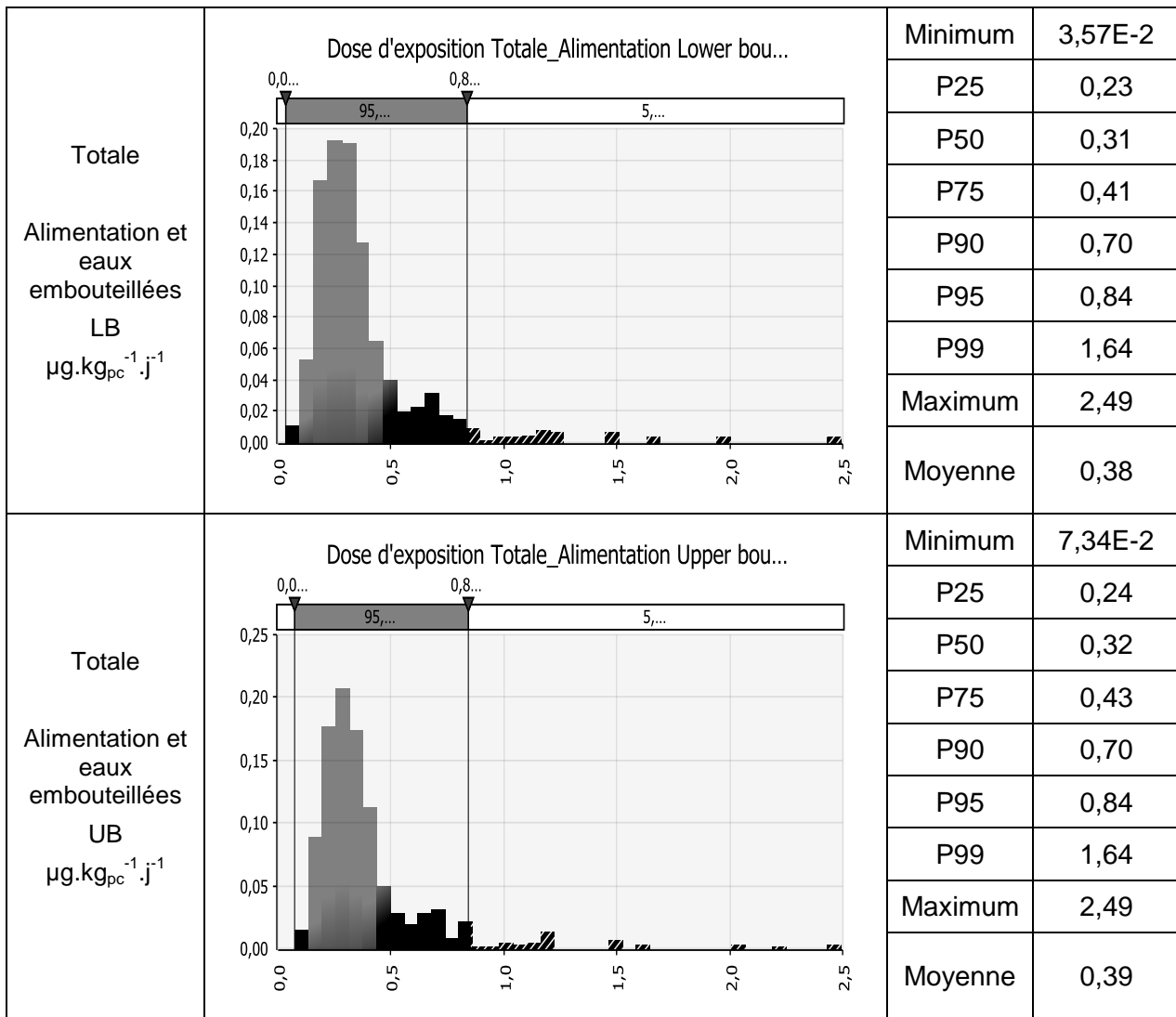


Tableau 21. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 6 mois à 3 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	0
		P25	0,16
		P50	0,20
		P75	0,26
		P90	0,33
		P95	0,38
		P99	0,51
		Maximum	0,63
		Moyenne	0,22
Alimentation et eaux embouteillées UB $\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	3,95E-2
		P25	0,17
		P50	0,22
		P75	0,28
		P90	0,35
		P95	0,40
		P99	0,52
		Maximum	0,63
		Moyenne	0,23
Totale Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g} \cdot \text{kg}_{\text{pc}}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$		Minimum	1,77E-2
		P25	0,23
		P50	0,31
		P75	0,41
		P90	0,55
		P95	0,68
		P99	1,54
		Maximum	2,08
		Moyenne	0,36

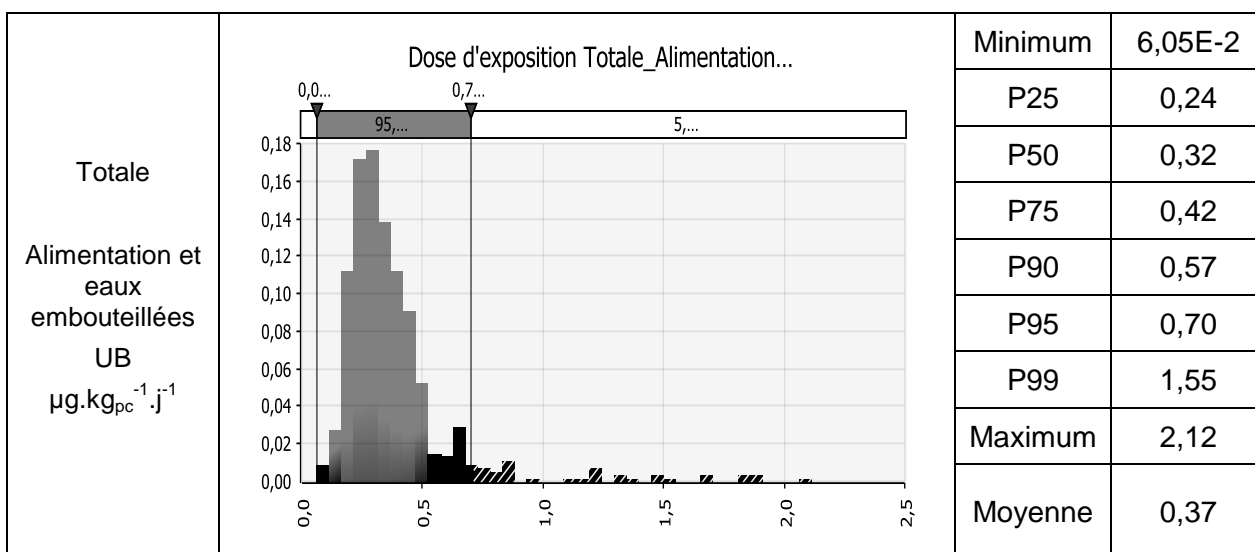
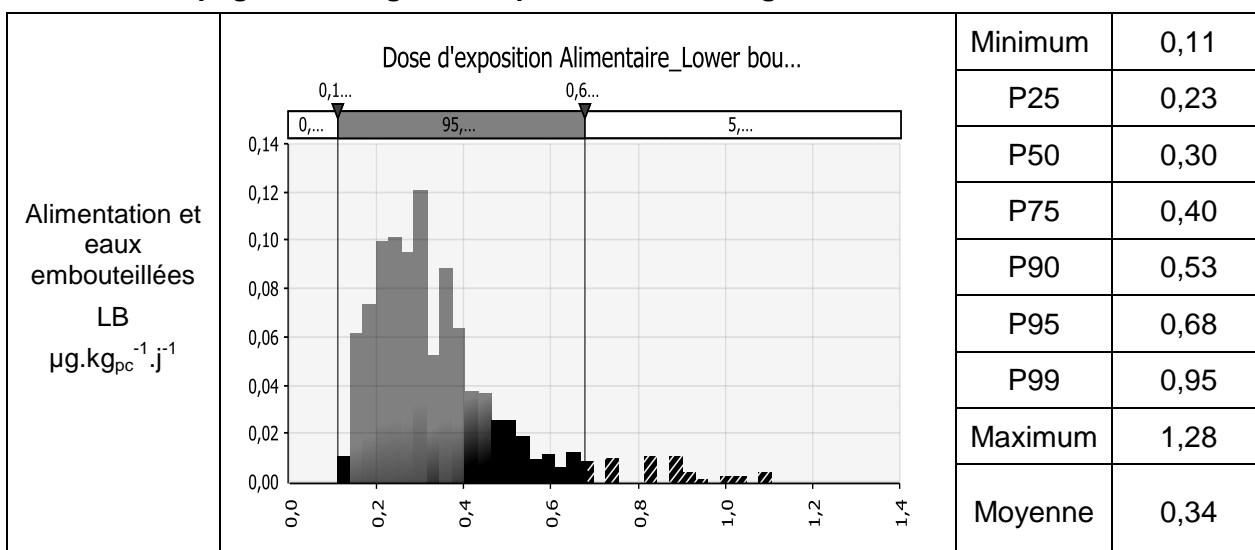
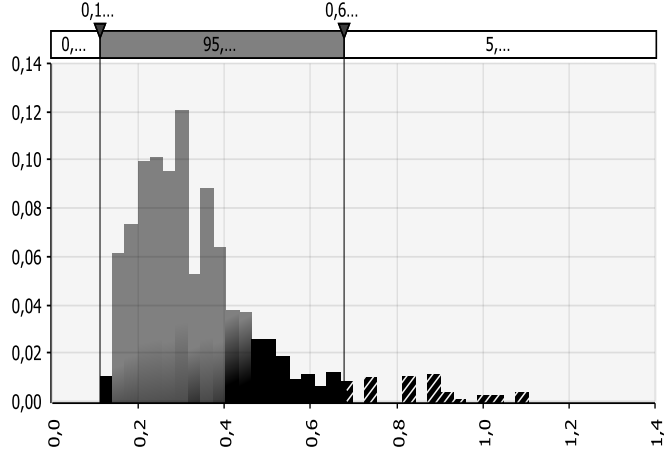
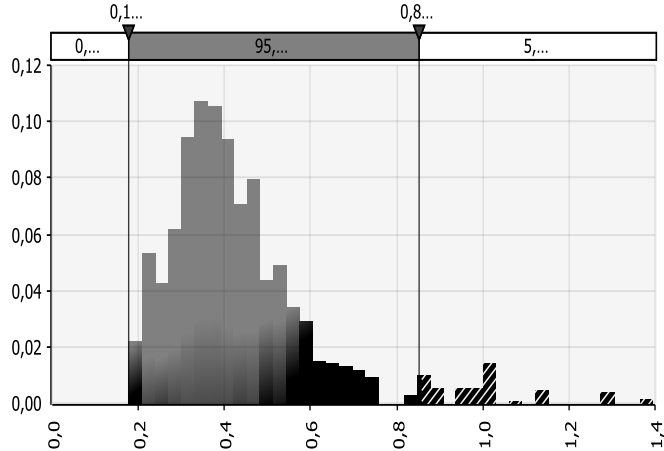
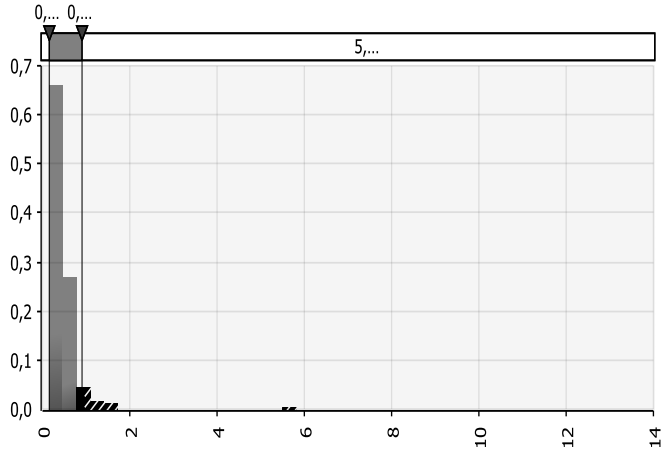


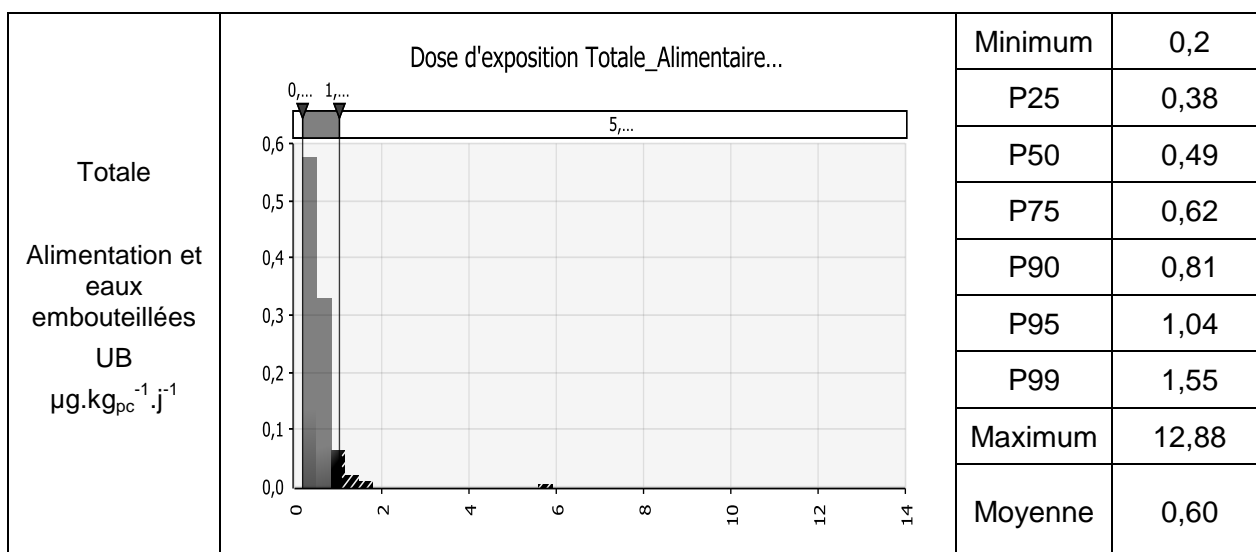
Tableau 22. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et quatre classes d'âges



<p>Alimentation et eaux embouteillées UB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Alimentaire_Upper bou...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,66</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>P99</td><td>1,06</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1,40</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,44</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,18	P25	0,32	P50	0,39	P75	0,49	P90	0,66	P95	0,85	P99	1,06	Maximum	1,40	Moyenne	0,44
Minimum	0,18																			
P25	0,32																			
P50	0,39																			
P75	0,49																			
P90	0,66																			
P95	0,85																			
P99	1,06																			
Maximum	1,40																			
Moyenne	0,44																			
<p>Totale Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Totale_Alimentaire Lower bou...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,15</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,41</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,60</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>P95</td><td>1,24</td></tr> <tr><td>P99</td><td>2,05</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>2,63</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,52</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,15	P25	0,30	P50	0,41	P75	0,60	P90	0,89	P95	1,24	P99	2,05	Maximum	2,63	Moyenne	0,52
Minimum	0,15																			
P25	0,30																			
P50	0,41																			
P75	0,60																			
P90	0,89																			
P95	1,24																			
P99	2,05																			
Maximum	2,63																			
Moyenne	0,52																			
<p>Totale Alimentation et eaux embouteillées UB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p>Dose d'exposition Totale_Alimentaire Upper bou...</p>	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,70</td></tr> <tr><td>P90</td><td>1,01</td></tr> <tr><td>P95</td><td>1,35</td></tr> <tr><td>P99</td><td>2,12</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>2,73</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,61</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,20	P25	0,40	P50	0,50	P75	0,70	P90	1,01	P95	1,35	P99	2,12	Maximum	2,73	Moyenne	0,61
Minimum	0,20																			
P25	0,40																			
P50	0,50																			
P75	0,70																			
P90	1,01																			
P95	1,35																			
P99	2,12																			
Maximum	2,73																			
Moyenne	0,61																			

Tableau 23. Distribution et statistiques descriptives des doses d'exposition externe alimentaire et totale pour les enfants âgés de 3 ans à 6 ans selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

<p>Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p style="text-align: center;">Dose d'exposition Alimentaire...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,23</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,30</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,53</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,68</td></tr> <tr><td>P99</td><td>0,95</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1,28</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,34</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,11	P25	0,23	P50	0,30	P75	0,40	P90	0,53	P95	0,68	P99	0,95	Maximum	1,28	Moyenne	0,34
Minimum	0,11																			
P25	0,23																			
P50	0,30																			
P75	0,40																			
P90	0,53																			
P95	0,68																			
P99	0,95																			
Maximum	1,28																			
Moyenne	0,34																			
<p>Alimentation et eaux embouteillées UB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p style="text-align: center;">Dose d'exposition Alimentaire...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,32</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,49</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,66</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>P99</td><td>1,06</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>1,40</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,44</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,18	P25	0,32	P50	0,39	P75	0,49	P90	0,66	P95	0,85	P99	1,06	Maximum	1,40	Moyenne	0,44
Minimum	0,18																			
P25	0,32																			
P50	0,39																			
P75	0,49																			
P90	0,66																			
P95	0,85																			
P99	1,06																			
Maximum	1,40																			
Moyenne	0,44																			
<p>Totale Alimentation et eaux embouteillées LB $\mu\text{g.kg}_{\text{pc}}^{-1}.\text{j}^{-1}$</p>	<p style="text-align: center;">Dose d'exposition Totale_Alimentaire...</p> 	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Minimum</td><td>0,14</td></tr> <tr><td>P25</td><td>0,29</td></tr> <tr><td>P50</td><td>0,39</td></tr> <tr><td>P75</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>P90</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>P95</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>P99</td><td>1,45</td></tr> <tr><td>Maximum</td><td>12,77</td></tr> <tr><td>Moyenne</td><td>0,47</td></tr> </tbody> </table>	Minimum	0,14	P25	0,29	P50	0,39	P75	0,51	P90	0,69	P95	0,89	P99	1,45	Maximum	12,77	Moyenne	0,47
Minimum	0,14																			
P25	0,29																			
P50	0,39																			
P75	0,51																			
P90	0,69																			
P95	0,89																			
P99	1,45																			
Maximum	12,77																			
Moyenne	0,47																			



Le tableau ci-dessous présente ensuite les contributions relatives de chaque source d'exposition sur la dose d'exposition totale pour l'ensemble des deux populations et selon les deux hypothèses LB et UB.

Tableau 24. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur les doses d'exposition totale pour l'ensemble des deux populations étudiées selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en 21 régions et respectivement trois et quatre classes d'âges

	Enfants âgés de 6 mois à 3 ans		Enfants âgés de 3 ans à 6 ans	
	Alimentation et eaux embouteillées LB	Alimentation et eaux embouteillées UB	Alimentation et eaux embouteillées LB	Alimentation et eaux embouteillées UB
Alimentation et eaux embouteillées	66%	68%	78%	83%
Sol de l'aire de jeu extérieur	20%	19%	12%	10%
Poussières intérieures	9%	8%	3%	3%
Eau du robinet	4%	4%	6%	4%
Air	2%	2%	1%	1%

Tableau 25. Contribution relative des différentes sources d'exposition sur les doses d'exposition totale pour l'ensemble des deux populations étudiées selon les hypothèses LB et UB selon le découpage en cinq régions et une classe d'âges

	Enfants âgés de 6 mois à 3 ans		Enfants âgés de 3 ans à 6 ans	
	Alimentation et eaux embouteillées LB	Alimentation et eaux embouteillées UB	Alimentation et eaux embouteillées LB	Alimentation et eaux embouteillées UB
Alimentation et eaux embouteillées	64%	67%	81%	84%
Sol de l'aire de jeu extérieur	22%	20%	12%	10%
Poussières intérieures	10%	9%	4%	3%
Eau du robinet	2%	2%	3%	2%
Air	2%	1%	1%	1%

Annexe 5 : Codage et effectifs selon le découpage par âge et région d'habitat des différentes études

Les tableaux ci-dessous présentent le codage proposé pour lier les individus des différentes enquêtes afin de faire correspondre leur région d'habitat et leur âge ainsi que les effectifs respectifs de chacun des couples (*âge_i*, *de l'enfant*, *région_i*).

Tableau 26. Codage des régions et âges des individus de Plomb-Habitat, INCA2 et BEBE-SFAE

REGION D'HABITAT			
Code	Plomb-Habitat	INCA2	BEBE-SFAE (département)
1	ALSACE	Alsace	67
2	AQUITAINE	Aquitaine	40 / 47
3	AUVERGNE	Auvergne	-
4	BASSE-NORMANDIE	Basse-normandie	14
5	BOURGOGNE	Bourgogne	21 / 71
6	BRETAGNE	Bretagne	29
7	CENTRE	Centre	18 / 41
8	CHAMPAGNE-ARDENNE	Champagne	-
9	FRANCHE-COMTE	Franche comté	90
10	HAUTE-NORMANDIE	Haute-normandie	-
11	ILE-DE-FRANCE	Région parisienne	77 / 78 / 92 / 95
12	LANGUEDOC-ROUSSILLON	Languedoc	30 / 34
13	LIMOUSIN	Limousin	-
14	LORRAINE	Lorraine	54
15	MIDI-PYRENEES	Midi-pyrénées	31
16	NORD-PAS-DE-CALAIS	Nord	59 / 62
17	PAYS DE LA LOIRE	Pays de loire	49
18	PICARDIE	Picardie	60
19	POITOU-CHARENTES	Poitou charente	79 / 86
20	PROVENCE-ALPES-CODE D'	Provence côte d'azur	13 / 84
21	RHONE-ALPES	Rhône-alpes	7 / 42 / 69

AGE			
Code	Plomb-Habitat	INCA2	BEBE-SFAE
1	6 mois – 12 mois	NC	6 mois / 7 mois 8 – 9 mois / 10 – 12 mois
2	13 mois – 24 mois	NC	13 – 18 mois 19 – 24 mois
3	25 mois – 35 mois	NC	25 – 30 mois 31 – 36 mois
4	36 mois – 48 mois	3 ans	NC
5	49 mois – 60 mois	4 ans	NC
6	61 mois – 72 mois	5 ans	NC
7	73 mois – 84 mois	6 ans	NC

NC : Non concerné

Tableau 27. Effectifs au sein des enquêtes Plomb-Habitat (PH) et BEBE-SFAE par âge et région

Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif BEBE-SFAE	Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif BEBE-SFAE	Code région	Région	Effectif PH	Effectif BEBE-SFAE
1	1	0	9	2	1	5	4	3	1	0	4
	2	0	8		2	9	10		2	2	1
	3	1	0		3	4	0		3	1	0
	4	2	7		4	2	4		4	2	3
	5	1	18		5	6	7		5	4	8
	6	3	11		6	4	4		6	1	4
	7	3	17		7	6	7		7	0	2
	8	1	0		8	8	0		8	3	0
	9	0	7		9	1	4		9	3	2
	10	3	0		10	4	0		10	3	0
	11	9	55		11	19	29		11	3	29
	12	2	13		12	3	7		12	2	10
	13	1	0		13	2	0		13	3	0
	14	2	5		14	8	1		14	1	3
	15	0	8		15	7	4		15	0	4
	16	7	15		16	10	10		16	4	11
	17	0	12		17	11	2		17	1	4
	18	0	8		18	2	2		18	1	2
	19	1	16		19	9	7		19	0	11
	20	3	20		20	7	8		20	3	6
	21	3	24		21	11	22		21	0	17

Tableau 28. Effectifs au sein des enquêtes Plomb-Habitat (PH) et INCA2 par âge et région

Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif INCA2	Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif INCA2	Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif INCA2	Code âge	Code région	Effectif PH	Effectif INCA2
4	1	5	3	5	1	1	1	6	1	3	1	7	1	0	0
	2	5	1		2	5	4		2	0	4		2	0	3
	3	1	1		3	2	0		3	1	0		3	0	1
	4	4	0		4	3	1		4	3	1		4	1	3
	5	2	1		5	3	3		5	1	0		5	1	3
	6	7	1		6	4	4		6	5	2		6	0	5
	7	10	0		7	2	2		7	0	1		7	0	5
	8	6	1		8	2	3		8	2	3		8	1	0
	9	7	3		9	1	2		9	2	1		9	0	5
	10	4	6		10	2	3		10	1	1		10	0	4
	11	25	0		11	4	13		11	8	8		11	1	17
	12	3	0		12	1	1		12	0	4		12	2	5
	13	3	2		13	1	0		13	0	1		13	0	0
	14	9	1		14	3	4		14	2	5		14	0	4
	15	7	0		15	2	1		15	1	1		15	1	4
	16	22	2		16	2	3		16	2	10		16	0	5
	17	7	2		17	0	3		17	2	6		17	0	4
	18	8	1		18	4	4		18	0	2		18	1	2
	19	5	5		19	1	2		19	1	5		19	1	3
	20	13	2		20	4	4		20	2	4		20	1	4
	21	6	0		21	5	5		21	2	6		21	1	4

Annexe 6 : Avis divergent

Rapport à la direction de l'évaluation des risques sanitaires de l'Anses sur le document : « Exposition agrégée au plomb : Prise en compte des différentes voies d'exposition - Appui à la saisine 2013-SA-0092 »

Ce document est estimation des expositions au plomb par différents milieux. Cette actualisation est bienvenue compte tenu des nouvelles données générées par les études EAT et EATi pour l'alimentation, et Plomb-Habitat pour l'eau, les sols et poussières. Le document (version 21 transmise par mèl du 16 janvier) appelle de ma part des remarques sur les paramètres utilisés, l'interprétation des résultats et la conclusion.

Le **choix paramétrique pour la quantité de sol et poussières ingérées me paraît discutable**. Le choix fait dans le document est de reprendre les préconisations d'un rapport InVS-Ineris (Dor F. *et al.*, 2012), qui recalcule une distribution ajustée à partir de celles proposées par Stanek (Stanek *et al.*, 2001). L'avantage est l'adéquation et la praticité du format pour une simulation de Monte Carlo. J'y vois par contre pour ma part les inconvénients suivants :

- Cette estimation est différente de celle recommandée par l'US EPA dans son « exposure factors handbook » (US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2011), traditionnellement utilisée au niveau international compte tenu de son niveau élevé de consensus et de peer-review. A noter que lors de l'expertise sur le BPA l'Anses avait également retenue la valeur de l'US EPA. Certes la recommandation de l'US EPA est une valeur ponctuelle mais lui associer une variance issue d'une autre étude me paraît plus robuste que de choisir une distribution dont l'estimation centrale n'est pas consensuelle au niveau international.
- Le rapport InVS-Ineris mentionne que ses auteurs jugent la distribution de Stanek la plus robuste mais indique également « les modalités de cette extrapolation [temporelle] n'ont pas pu être analysées de manière approfondie par le groupe de travail ». Sur ce point j'ai interrogé l'EPA sur les motivations qui les ont conduits à ne pas retenir l'étude de Stanek dans le exposure factors handbook. L'EPA, par e-mail du 25 septembre 2013, a indiqué « The study you are referring to from Stanek et al. is a simulation of soil ingestion rates based on many assumptions. One of the assumptions is that the variance on a subject day is the same for all subjects and days. They also assumed a normal distribution. Given all the other uncertainties inherent in the soil ingestion

methodology, we felt that the data are not robust enough for deriving long term (chronic) estimates of soil ingestion". A noter que depuis le « exposure factors handbook » de 2011, Stanek a de nouveau proposé en 2012 une évaluation plus basse (Stanek, III *et al.*, 2012), en signalant un conflit d'intérêt dans cette publication ...

- Si l'EPA (US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2011) fournit des estimations distinctes sur les quantités de sol et de poussières ingérées, il m'apparaît y avoir une ambiguïté sur la prise en compte des poussières d'origine (source) intérieure dans la proposition de Stanek 2001. Or une partie du plomb des poussières déposées peut avoir une source intérieure (peinture par exemple).
- Ce paramètre est de toute évidence difficile à estimer et est source d'incertitude, quel que soit le choix effectué. Cette incertitude me paraît insuffisamment évaluée (cf. supra), et prise en compte dans l'interprétation des résultats pour nuancer la conclusion compte tenu de son influence majeure sur les résultats ; elle peut en effet changer l'ordre des contributeurs pour les plus exposés.

Comme indiqué en discussion du rapport **la méthode d'agrégation des données** peut mener à des biais de représentation de certains individus. Il pourrait ainsi s'agir d'un artefact de calcul qui **influencerait les estimations**, en particulier de certains percentiles élevés. L'examen de l'annexe 3 indique d'ailleurs que le percentile 90 des distributions des concentrations dans l'eau, le sol et les poussières sont très différents d'un découpage à l'autre. Il faudrait confronter les distributions de concentrations environnementales générées lors de l'agrégation des données avec celles observées dans Plomb-Habitat. La simple mention dans le rapport de cette limite, sans chercher à corriger cet effet méthode, ne me paraît pas suffisante compte tenu de son impact sur les contributions des différents vecteurs d'exposition pour les enfants les plus exposés.

En termes d'interprétation, les conséquences numériques de choix alternatifs raisonnables (ingestion de sol et poussière, notamment) ne sont pas fournies. De plus les résultats ne sont pas interprétés au vu des observations récentes françaises (Oulhote *et al.*, 2011, Oulhote *et al.*, 2013a) ou étrangères (Dixon *et al.*, 2009, Levallois *et al.*, 2013) sur l'apport à la plombémie de différentes sources, notamment l'ingestion de poussières chez le jeune enfant. Ainsi une augmentation de la concentration en poussière de son centile 25 à son centile 95 a été associée en France à une augmentation de 65% de la plombémie des enfants habitant ces logements (Oulhote *et al.*, 2013b). Cette sous-estimation possible de la contribution des poussières, au vu de la littérature, n'est pas discutée ni mise en rapport avec la plombémie modélisée

(10µg/L), inférieure de 50% à celle mesurée (15µg/L). A cet égard la publication de Hogan (Hogan *et al.*, 1998) citée dans le rapport mentionne certes que les différences peuvent aller jusque 7µg/L mais cet écart maximal avait été observé pour des plombémies plus élevées (moyennes géométriques de 52 à 68 µg/L selon les sites en 1991) dont il représentait donc une dizaine de pourcents.

Plus ponctuellement, la valeur de de concentration en plomb dans les poussières (10µg/g) indiquée page 59 (tableau 19) est étonnante au vu des résultats de plomb habitat (9µg/m²): il doit y avoir une erreur d'unité ou de valeur.

Au final, les conclusions ne me paraissent pas robustes aux choix effectués et aux incertitudes. Si les estimations alimentaires n'appellent pas de remarque de ma part et me paraissent riches d'enseignement, la conclusion principale sur leur part prépondérante dans l'exposition totale (dans quasiment toutes les situations) ne me paraît pas suffisamment robuste ni aux choix effectués, ni aux incertitudes, ni à la confrontation avec la littérature scientifique.

En conséquence si ce rapport devait rester en l'état, je ne pourrais en assumer les choix ni les conclusions ; je vous serais donc reconnaissant de faire état de cette divergence. Je mesure cependant les efforts fournis pour prendre en compte les autres remarques formulées sur les versions antérieures, ainsi que les évolutions correspondantes, favorables, du document.

Fait à Rennes le 22 janvier 2014,

Philippe Glorennec, Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, UMR INSERM 1085.

References

- Dixon, S. L., Gaitens, J. M., Jacobs, D. E., Strauss, W., Nagaraja, J., Pivetz, T., Wilson, J. W., & Ashley, P. J. (2009). Exposure of U.S. children to residential dust lead, 1999-2004: II. The contribution of lead-contaminated dust to children's blood lead levels. *Environ Health Perspect.* 117, 468-474, doi:10.1289/ehp.11918 [doi].
- Dor F., Denys S., & membres du groupe de travail InVS-Ineris (2012). Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions., Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire.
- Hogan, K., Marcus, A., Smith, R., & White, P. (1998). Integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children: empirical comparisons with epidemiologic data. *Environ. Health Perspect.* 106 Suppl 6, 1557-1567.
- Levallois, P., St-Laurent, J., Gauvin, D., Courteau, M., Prevost, M., Campagna, C., Lemieux, F., Nour, S., D'Amour, M., & Rasmussen, P. E. (2013). The impact of drinking water, indoor dust and paint on blood lead levels of children aged 1-5 years in Montreal (Quebec, Canada). *J Expo. Sci. Environ Epidemiol.*, doi:jes2012129 [pii];10.1038/jes.2012.129 [doi].
- Oulhote, Y., Le Bot, B., Poupon, J., Lucas, J. P., Mandin, C., Etchevers, A., Zmirou-Navier, D., & Glorennec, P. (2011). Identification of sources of lead exposure in French children by lead isotope analysis: a cross-sectional study. *Environ Health* 10, 75, doi:1476-069X-10-75 [pii];10.1186/1476-069X-10-75 [doi].
- Oulhote, Y., Le Tertre, A., Etchevers, A., Le Bot, B., Lucas, J. P., Mandin, C., Le Strat, Y., Lanphear, B., & Glorennec, P. (2013a). Implications of different residential lead standards on children's blood lead levels in France: Predictions based on a national cross-sectional survey. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 743-750, doi:S1438-4639(13)00034-5 [pii];10.1016/j.ijheh.2013.02.007 [doi].
- Oulhote, Y., Le Tertre, A., Etchevers, A., Le Bot, B., Lucas, J. P., Mandin, C., Le Strat, Y., Lanphear, B., & Glorennec, P. (2013b). Implications of different residential lead standards on children's blood lead levels in France: predictions based on a national cross-sectional survey. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216, 743-750.
- Stanek, E. J., III, Calabrese, E. J., & Xu B. (2012). Meta-Analysis of Mass-Balance Studies of Soil Ingestion in Children. *Risk Anal.* 32, 433-447.
- Stanek, E. J., Calabrese, E. J., & Zorn M. (2001). Soil Ingestion Distributions for Monte Carlo Risk Assessment in Children. *Human and Ecological Risk Assessment* 7, 357-368.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency) (2011). Exposure factors handbook, Washington (US): EPA.

Rapport à la direction de l'évaluation des risques sanitaires de l'Anses sur le document : « Exposition agrégée au plomb : Prise en compte des différentes voies d'exposition - Appui à la saisine 2013-SA-0092 »

Suite à la lecture du rapport Anses « Exposition agrégée au plomb : Prise en compte des différentes voies d'exposition Appui à la saisine 2013-SA-0092 » (version reçue le 16 janvier 2014), j'indique les points suivants.

À propos des distributions des charges et concentrations en plomb dans les différents compartiments environnementaux.

La méthode de simulation Monte Carlo utilisée dans le rapport Anses induit des distributions des charges ou concentrations en plomb qui ne sont pas en adéquation avec les distributions estimées au niveau national par l'enquête Plomb-Habitat (P-H) en ce qui concerne le critère dit d'agrégation « Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges ». Ce constat est fait malgré l'utilisation dans la simulation Monte Carlo, des données (charges et concentrations en plomb et poids de sondage) de Plomb-Habitat. Le second critère utilisé et appelé « Découpage en cinq régions et une classe d'âges » fournit des distributions plus proches de celles de P-H.

Comme le Tableau 1 ci-après le montre (en police rouge), ce sont principalement les percentiles parmi les percentiles d'ordre les plus élevés (P90 et P95 surtout, et parfois de plus le P99 ou le P75) qui sont surestimés dans le rapport Anses pour le critère « Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges ». Ce constat est fait pour le sol extérieur de l'aire de jeu de l'enfant ainsi que pour l'eau du robinet. En revanche pour les poussières intérieures déposées au sol, les percentiles d'ordre 90 à 99 du rapport Anses sont inférieurs à ceux de P-H pour le groupe des enfants les plus âgés.

Pour le critère « Découpage en cinq régions et une classe d'âges » les distributions sont plus proches dans le sens où il y a moins d'écarts avec les percentiles de P-H. Cependant il est à noter que les formes des distributions ne sont pas en adéquation avec celle de P-H et les différences ne vont pas dans le même sens selon le média environnemental considéré.

À la lecture du rapport il semble que la difficulté méthodologique soit dans la gestion à la fois des poids de sondage des données P-H utilisées pour la simulation (poids des entités statistiques de P-H) et des poids de sondage des données Anses (poids des entités statistiques d'INCA2 et de BEBE-SFAE). Il est indiqué (p. 32) : « Enfin, l'ultime étape consiste à attribuer à chaque individu d'INCA2 et de BEBE-SFAE un logement de Plomb-Habitat dont l'enfant qui l'habite a le même âge et provient de la même région et donc des valeurs de contamination du sol et des poussières qui lui sont associées. Cette attribution se fait via une simulation de Monte Carlo fonction des poids de sondage. » Cette attribution fonction des poids de sondage est probablement la cause des différences en distribution.

Ainsi, sur l'aspect seul de l'« utilisation des concentrations en plomb dans les média environnementaux résidentiels » il semble qu'il faille privilégier les résultats obtenus à partir du critère « Découpage en cinq régions et une classe d'âges ». Comme discuté dans le rapport, le critère choisi a un impact sur l'ordre des contributeurs pour les 10% des individus les plus exposés. Dès lors, pour un futur lecteur du rapport, comment devra-t-il choisir entre les résultats ? D'autres découpages non présentés auraient-ils pu aboutir à d'autres résultats. Des décisions différentes peuvent

donc être prises et il ne semble pas possible à partir des éléments du rapport d'évaluer laquelle est la meilleure.

À propos des concentrations et charges d'exposition utilisées pour calculer l'imprégnation au plomb pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans

Le tableau 19 page 57 renseigne des valeurs des paramètres entrées dans le modèle IEUBK. Il semble que la valeur de « 10 » pour la poussière soit erronée car cette valeur de « 10 » s'apparente à une moyenne géométrique exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et non en $\mu\text{g}/\text{g}$ comme indiqué dans le tableau. Il ne s'agit peut-être pas d'une erreur, mais étant donné que la distribution des charges en plomb dans la poussière n'est pas fournie dans le rapport pour toutes classes d'âge confondues, je n'ai pu faire la vérification.

Le n° du tableau dans la phrase (p 57) « Les principales constantes (physiologiques, biodisponibilités) et paramètres du modèle qui ont été utilisés sont renseignés dans le tableau 12 » est erroné et doit être mis à jour.

À propos de la quantité de sol et de poussière ingérée

Le rapport considère la recommandation issue du rapport InVS-Ineris « Dor F., Denys S. et les membres du GT (2012). *Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p.* » lui-même basé sur l'article « Stanek EJ 3rd., Calabrese EJ, Zorn M. *Soil ingestion distributions for monte carlo risk assessment in children. Hum and Ecol Risk Assess 2001;7(2):357-68.* ». La distribution considérée des quantités de sol et de poussière ingérés a été « une distribution log-normale avec comme moyenne 49,8, comme écart type 29,4 et comme paramètre de seuil (-18,3). » (p 32). Cette phrase reprend à quelques mots près le texte du rapport InVS-Ineris. Il conviendrait ici de ne pas reprendre cette phrase dans ce sens car elle considère des valeurs de paramètres (49,8 et 29,4) exprimées d'une manière non conventionnelle. Les auteurs du rapport InVS-Ineris ont noté les valeurs fournies par le logiciel utilisé (@Risk) qui utilise deux fonctions pour une loi log-normale dont la fonction « non conventionnelle » a fourni les valeurs 49,8 et 29,4. Dès lors, un lecteur qui n'utiliserait pas le logiciel @Risk ne serait pas en mesure de comprendre aisément les paramètres utilisés et ainsi de simuler les valeurs d'une telle distribution.

Il conviendrait donc décrire « une distribution log-normale avec comme paramètre $\mu = 3,758508676$ et $\sigma = 0,546820461$ et comme paramètre de seuil (-18,3). » pour parler dans le langage « conventionnel ». Le rapport Anses mentionne une autre distribution log-normale en termes conventionnels page 33 et il convient donc d'homogénéiser les notations.

Le rapport Anses reprend l'information de la troisième partie du rapport InVS-Ineris, à savoir (page 32 du rapport Anses) que « Cette distribution concerne les quantités de terre et de poussières ingérées par les enfants âgés de moins de 6 ans en $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$. » ou encore (page 63) « Elle documente l'ingestion de sol et de poussières confondus, à laquelle une fraction attribuable, issue d'une autre étude, pour chacun des deux média a ensuite été affectée ». Il faudrait rappeler la justification éventuellement donnée dans le rapport InVS-Ineris expliquant en quoi les données de Stanek et al. peuvent être utilisées pour l'ingestion de sol et de poussière confondus. Sans justification il n'y aurait alors aucune raison d'avoir considéré pour la poussière, les recommandations du rapport InVS-Ineris lui-même basé sur les données de Stanek et al.

Sans juger du fait que l'utilisation des paramètres du rapport InVS-Ineris soit meilleur ou non que les recommandations de l'Exposure Factors Handbook 2011 de l'US EPA (cité en discussion dans le

rapport Anses), en ce qui concerne les quantités ingérées en sol et poussière, la démarche décrite dans le rapport Anses apparaît curieuse. En effet, les recommandations de l'US EPA en ce qui concerne les paramètres de quantités ingérées ne sont pas utilisées (au profit de celles du rapport InVS-Ineris) mais elles le sont en ce qui concerne la séparation 45% / 55%, relative aux proportions ingérées de sol et de poussière respectivement, quand les deux médias sont mélangés.

En outre, il aurait été utile de comparer les résultats obtenus dans le modèle d'imprégnation à partir des recommandations Ineris-InVS avec ceux obtenus à partir des recommandations de l'US EPA. En faisant l'hypothèse que tous les autres paramètres entrés dans le modèle IEUBK seraient corrects, cette comparaison aurait permis d'observer laquelle des hypothèses sur le paramètre de sol et poussière ingéré semble être la meilleure, entre recommandations InVS-Ineris et US EPA (en comparant avec la moyenne géométrique obtenue dans Saturn-Inf).

De plus l'écart entre la plombémie prédite (moyenne géométrique) égale à 9,7 µg/L et celle estimée par l'enquête de prévalence Saturn-Inf égale à 14,9 µg/L semble substantiel dans la mesure où cet écart, égal à 5,2 µg/L, correspond à 35% de la moyenne géométrique de Saturn-Inf ($5,2 \times 100 / 14,9$). Il est indiqué dans le rapport Anses (p 64) que cet écart est comparable aux résultats de la littérature internationale, à savoir un écart pouvant aller jusqu'à 7 µg/L entre observation et prédiction (*Hogan K, Marcus A, Smith R, White P. Integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children: empirical comparisons with epidemiologic data. Environ Health Perspect. 1998 Dec;106 Suppl 6:1557-67*). Les résultats ne sont pas à mon sens comparables dans la mesure où ces 7 µg/L ont été observés pour des niveaux de plombémies bien plus élevés (moyenne géométrique allant de 52 à 68 µg/L dans l'étude de Hogan et al.), correspondant donc à environ 12% de la moyenne géométrique ($7 \times 100 / 60$).

Avis

À partir de ces éléments il me semble que les résultats souffrent d'un manque de fiabilité dans la mesure où ils peuvent induire des décisions différentes (selon agrégation région/âge pour les 10% les plus exposés) ou auraient été possiblement différents avec d'autres choix méthodologiques (méthode de simulation/poids de sondage) ou paramétriques (quantité de sol ingéré). Ces résultats possiblement différents ne sont pas affichés dans le rapport (e.g. résultats issus d'un modèle d'imprégnation avec hypothèse US EPA). Ainsi j'émet donc une divergence.

Il est à noter néanmoins que l'Anses s'est efforcée de répondre d'une manière la plus détaillée possible à différentes remarques passées que j'ai émises, a en particulier réalisé des calculs supplémentaires chronophages afin de répondre à certaines d'entre elles, et a donc permis de lever certains points qui, sans réponse, auraient pu alimenter cet avis divergent.

Fait à Marne-la-Vallée, le 22 janvier 2014.

Jean-Paul Lucas, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Direction Santé Confort, Division Expologie.

Tableau 1. Comparaison des distributions obtenues à partir des simulations Monte Carlo du rapport Anses et les distributions estimées au niveau national dans l'enquête Plomb-Habitat.

	Média environnemental	Classe âge	Agrégation Anses	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Max	Moy	Constat
Anses	Poussière int - µg/m ² - Pb total	3 ans - 6 ans	21 rég. 3 classes d'âge	1,00	5,50	10,30	17,70	31,80	51,00	72,00	343,60	17,30	P-H > Anses
Anses	Poussière int - µg/m ² - Pb total	3 ans - 6 ans	5 rég. 1 classe d'âge	1	2,5	8,7	17,4	50,3	65,3	343,6	1411,8	24,9	P-H < Anses
P-H	Poussière int - µg/m ² - Pb total	≥ 36 mois	-	1	3,5	8,3	17,1	39,2	63,4	183	1411,8	19,8	
Anses	Poussière int - µg/m ² - Pb total	6 mois - 3 ans	21 rég. 3 classes d'âge	1,00	4,00	9,70	16,00	34,80	73,30	254,30	314,50	20,65	P-H ≈ Anses
Anses	Poussière int - µg/m ² - Pb total	6 mois - 3 ans	5 rég. 1 classe d'âge	1	7,3	10,3	19,8	62	70	120	229	22,8	P-H ≈ Anses
P-H	Poussière int - µg/m ² - Pb total	< 36 mois	-	1	4	9,8	17,5	34,3	65,6	127,8	694,8	18	
P-H	Poussière int - µg/m ² - Pb total	Tous		1	3,6	9	17,3	38,8	64,2	181,1	1411,8	19,2	-
Anses	Sol - mg/kg - Pb total	3 ans - 6 ans	21 rég. 3 classes d'âge	1,70	17,40	41,70	90,10	311,00	453,20	501,80	3408,00	122,21	P-H << Anses
Anses	Sol - mg/kg - Pb total	3 ans - 6 ans	5 rég. 1 classe d'âge	0,65	15,4	23	69,6	130,2	267,5	3408	3408	97	P-H < Anses
P-H	Sol - mg/kg - Pb total	≥ 36 mois	-	1,7	17,4	24,9	60,3	117,3	254,4	461,4	3408	75,7	
Anses	Sol - mg/kg - Pb total	6 mois - 3 ans	21 rég. 3 classes d'âge	4,20	17,50	32,90	65,00	275,90	275,90	359,20	381,80	72,37	P-H ≈ Anses
Anses	Sol - mg/kg - Pb total	6 mois - 3 ans	5 rég. 1 classe d'âge	0,65	16,3	39,7	74,6	180,4	270,8	381,8	381,8	67	P-H ≈ Anses
P-H	Sol - mg/kg - Pb total	< 36 mois	-	2,4	16,5	38	70	138,6	274,5	588,1	830,9	74,6	
P-H	Sol - mg/kg - Pb total	Tous		1,7	17,4	28,2	64,8	131,2	257,1	478,4	3408	75,5	-
Anses	Eau - µg/L - Pb total	3 ans - 6 ans	21 rég. 3 classes d'âge	0	0,60	0,90	3,00	28,00	74,00	74,00	74,00	8,06	P-H << Anses
Anses	Eau - µg/L - Pb total	3 ans - 6 ans	5 rég. 1 classe d'âge	0	0,37	0,89	1	3	3	21	74	1,7	P-H ≈ Anses
P-H	Eau - µg/L - Pb total	≥ 36 mois	-	0	0,4	1	2	3	5	19,5	74	1,8	
Anses	Eau - µg/L - Pb total	6 mois - 3 ans	21 rég. 3 classes d'âge	0	0,46	0,98	2,00	12,00	34,00	34,00	34,00	4,06	P-H << Anses
Anses	Eau - µg/L - Pb total	6 mois - 3 ans	5 rég. 1 classe d'âge	0	0,32	0,55	1	4	21	34	34	2,77	P-H ≈ Anses
P-H	Eau - µg/L - Pb total	< 36 mois	-	0	0,3	0,6	2	4	13,2	30,4	47	2,3	
P-H	Eau - µg/L - Pb total	Tous		0	0,4	0,9	2	3	6,4	27	74	1,9	-

Légende. Int : intérieur; Pb : plomb; Pxx : percentile d'ordre xx; P-H : Plomb-Habitat.

En police rouge les estimations où Anses > P-H; en bleu où Anses < P-H.

Annexe 7 : Argumentaire Anses

Commentaires du 1^{er} rapporteur et réponses Anses

Point 1 :

« Le choix paramétrique pour la quantité de sol et poussières ingérées me paraît discutable. Le choix fait dans le document est de reprendre les préconisations d'un rapport InVS-Ineris (Dor F. et al., 2012), qui recalcule une distribution ajustée à partir de celles proposées par Stanek (Stanek et al., 2001). L'avantage est l'adéquation et la praticité du format pour une simulation de Monte Carlo. J'y vois par contre pour ma part les inconvénients suivants :

- Cette estimation est différente de celle recommandée par l'US EPA dans son « exposure factors handbook » (US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2011), traditionnellement utilisée au niveau international compte tenu de son niveau élevé de consensus et de peer-review. A noter que lors de l'expertise sur le BPA l'Anses avait également retenue la valeur de l'US EPA. Certes la recommandation de l'US EPA est une valeur ponctuelle mais lui associer une variance issue d'une autre étude me paraît plus robuste que de choisir une distribution dont l'estimation centrale n'est pas consensuelle au niveau international.

- Le rapport InVS-Ineris mentionne que ses auteurs jugent la distribution de Stanek la plus robuste mais indique également « les modalités de cette extrapolation [temporelle] n'ont pas pu être analysées de manière approfondie par le groupe de travail ». Sur ce point j'ai interrogé l'EPA sur les motivations qui les ont conduits à ne pas retenir l'étude de Stanek dans le exposure factors handbook. L'EPA, par e-mail du 25 septembre 2013, a indiqué « The study you are referring to from Stanek et al. is a simulation of soil ingestion rates based on many assumptions. One of the assumptions is that the variance on a subject day is the same for all subjects and days. They also assumed a normal distribution. Given all the other uncertainties inherent in the soil ingestion methodology, we felt that the data are not robust enough for deriving long term (chronic) estimates of soil ingestion ». A noter que depuis le « exposure factors handbook » de 2011, Stanek a de nouveau proposé en 2012 une évaluation plus basse (Stanek, III et al., 2012), en signalant un conflit d'intérêt dans cette publication

- Si l'EPA (US EPA (United States Environmental Protection Agency), 2011) fournit des estimations distinctes sur les quantités de sol et de poussières ingérées, il m'apparaît y avoir une ambiguïté sur la prise en compte des poussières d'origine (source) intérieure dans la proposition de Stanek 2001. Or une partie du plomb des poussières déposées peut avoir une source intérieure (peinture par exemple).

- Ce paramètre est de toute évidence difficile à estimer et est source d'incertitude, quel que soit le choix effectué. Cette incertitude me paraît insuffisamment évaluée (cf. supra), et prise en compte dans l'interprétation des résultats pour nuancer la conclusion compte tenu de son influence majeure sur les résultats ; elle peut en effet changer l'ordre des contributeurs pour les plus exposés ».

Réponse Anses

L'Anses a considéré que la recommandation Dor et al. (2012) permettait, dans l'état des connaissances actuelles, d'affecter au mieux une distribution de valeurs au paramètre quantité de terre ingérée, ce que ne permet pas l'Exposure Factors Handbook (EFH) de l'US EPA. En effet, la recommandation de l'US EPA ne porte que sur des valeurs centrales et limites issues d'études de natures différentes (mesure et modélisation) sans qu'une distribution de ces valeurs ne soit recommandée.

Les distributions utilisées par le rapporteur pour son propre calcul reposent sur une publication (Ozkaynak et al., 2011) et ont les caractéristiques suivantes :

- Quantité de sol ingérée ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : Normale ($\mu = 50$; $p95 = 200$) avec une troncature maximum à 1 ;
- Quantité de poussière ingérée ($\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$) : Log-Normale ($\mu = 60$; $p95 = 100$) avec une troncature maximum à 1.

Les valeurs caractéristiques des distributions décrites ci-dessus sont tirées des recommandations de l'EFH et issues d'études différentes. Ainsi, chacune de ces valeurs sont elles-mêmes caractéristiques de distributions inhérentes à chacune des études et ne peuvent être regroupées sur une distribution unique sans justification. A noter, par exemple, que la valeur moyenne provient de Hogan *et al.* (1998), que le percentile « élevé » (dont la valeur n'est pas renseignée) est basé lui aussi sur deux études encore différentes (Ozkaynak *et al.*, 2010 et Stanek & Calabrese, 1995). De plus, la valeur pour le percentile « élevé » recommandée pour l'ingestion de sol est de $200 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$ pour les 3-6 ans. Or la valeur recommandée pour l'ingestion de « sol+poussières » pour la même population est aussi de $200 \text{ mg}\cdot\text{j}^{-1}$.

A noter qu'en dépit de ces divergences, le rapporteur reconnaît que ce paramètre est un des plus sensibles de l'évaluation menée, ce que l'Anses a également mis en avant par l'intermédiaire d'une analyse de sensibilité et mentionné dans sa conclusion. Aussi, et quel que soit le raisonnement qui est mené, l'incertitude inhérente à cette voie d'exposition est forte, du fait de la sensibilité de ce paramètre pour lequel il est à noter d'une part le faible nombre d'études sources et, d'autre part, l'absence d'études spécifiques de la population française infantile.

Point 2 :

« Comme indiqué en discussion du rapport la méthode d'agrégation des données peut mener à des biais de représentation de certains individus. Il pourrait ainsi s'agir d'un artefact de calcul qui influencerait les estimations, en particulier de certains percentiles élevés. L'examen de l'annexe 3 indique d'ailleurs que le percentile 90 des distributions des concentrations dans l'eau, le sol et les poussières sont très différents d'un découpage à l'autre. Il faudrait confronter les distributions de concentrations environnementales générées lors de l'agrégation des données avec celles observées dans Plomb-Habitat. La simple mention dans le rapport de cette limite, sans chercher à corriger cet effet méthode, ne me paraît pas suffisante compte tenu de son impact sur les contributions des différents vecteurs d'exposition pour les enfants les plus exposés. »

Réponse Anses

Pour ce qui est de la méthode d'agrégation, pour un élément ubiquiste tel que le plomb, l'Anses a souhaité mettre en place une méthode qui permette d'intégrer au niveau individuel, l'ensemble des corrélations potentielles entre chaque milieu d'exposition.

La méthode ainsi élaborée a permis de combiner l'enquête Plomb-habitat et les enquêtes INCA2 ou BEBE-SFAE : à chacun des individus des études INCA2 et BEBE-SFAE, pour lesquelles des mesures ont été réalisées (poids corporel, exposition alimentaire, consommation d'eau du robinet, âge, région d'habitation et pondération assurant une représentativité à l'échelle nationale) a été affecté un logement de l'enquête Plomb-Habitat issu de la même région et dans lequel vivait un enfant du même âge. Les données de contamination des différents milieux investigués dans un même logement restent ainsi liées et chaque individu de BEBE-SFAE et INCA2 garde les caractéristiques qui lui sont propres. Ces relations n'ont pas été conservées dans la méthode choisie par le rapporteur pour ses propres estimations.

Pour effectuer ces correspondances, deux méthodes ont alors été testées. Dans la première, un découpage très fin au niveau des individus en 21 régions et sept classes d'âges a été proposé permettant ainsi de considérer au mieux les éventuelles corrélations entre l'ensemble des compartiments environnementaux. Cependant, ce découpage conduit en des effectifs trop faibles, voire nuls, pour certains couples (âge_i de l'enfant; région_j), tendant en une surreprésentation ou

sous-représentation de certaines valeurs de contamination des médias investigués et ainsi une distribution différente par rapport aux données initialement mesurées dans les logements.

Pour cela, un deuxième découpage ne prenant en compte que cinq zones géographiques (nord-ouest, sud-ouest, nord-est, sud-est et Île-de-France) et ne distinguant pas l'âge des individus de chacune des deux sous-populations d'étude a été proposé fournissant ainsi des effectifs plus importants et permettant ainsi une meilleure prise en compte de la variabilité des contaminations de l'étude Plomb-Habitat dans l'affectation d'un logement aux individus. Les distributions de contamination en ressortant sont plus proches de celles initialement mesurées dans l'enquête Plomb Habitat.

Les résultats obtenus selon les deux méthodes d'agrégation proposées par l'Anses, basées sur deux découpages différents en termes de région d'habitat et de classe d'âges sont renseignés et discutés dans le rapport. Les écarts entre les résultats obtenus selon les deux méthodes permettent de renseigner quant à l'incertitude inhérente au choix de la méthode d'agrégation qui est fait, point discuté dans le rapport.

Point 3

« En termes d'interprétation, les conséquences numériques de choix alternatifs raisonnables (ingestion de sol et poussière, notamment) ne sont pas fournies. De plus les résultats ne sont pas interprétés au vu des observations récentes françaises (Oulhote et al., 2011, Oulhote et al., 2013a) ou étrangères (Dixon et al., 2009, Levallois et al., 2013) sur l'apport à la plombémie de différentes sources, notamment l'ingestion de poussières chez le jeune enfant. Ainsi une augmentation de la concentration en poussière de son centile 25 à son centile 95 a été associée en France à une augmentation de 65% de la plombémie des enfants habitant ces logements (Oulhote et al., 2013b). Cette sous-estimation possible de la contribution des poussières, au vu de la littérature, n'est pas discutée ni mise en rapport avec la plombémie modélisée (10µg/L), inférieure de 50% à celle mesurée (15µg/L). A cet égard la publication de Hogan (Hogan et al., 1998) citée dans le rapport mentionne certes que les différences peuvent aller jusque 7µg/L mais cet écart maximal avait été observé pour des plombémies plus élevées (moyennes géométriques de 52 à 68 µg/L selon les sites en 1991) dont il représentait donc une dizaine de pourcents. »

Réponse Anses

En ce qui concerne les alternatives quant aux choix possibles pour documenter les quantités de sol et poussières ingérées, l'Anses ne trouve pas pertinent de faire les calculs avec ces autres alternatives, considérant que les choix faits sont des hypothèses de modélisation, argumentées et discutées dans le rapport. De plus, une analyse de sensibilité a été mise en place, mettant en avant le fait que ces paramètres sont parmi les plus sensibles. Tous ces résultats sont également renseignés et discutés, évoquant notamment le fait qu'il s'agit de paramètres peu documentés et que des études proposent d'autres valeurs, notamment l'U.S. EPA dans son Exposure Factors Handbook (2011).

Les conséquences numériques des choix alternatifs (ingestion de poussières et de sol), la plombémie estimée au moyen du modèle IEUBK ainsi que son interprétation sont discutées dans la réponse au point divergent numéro 11 du second rapporteur.

Point 4

«Plus ponctuellement, la valeur de de concentration en plomb dans les poussières (10µg/g) indiquée page 59 (tableau 19) est étonnante au vu des résultats de plomb habitat (9µg/m²): il doit y avoir une erreur d'unité ou de valeur.»

Réponse Anses

Le calcul a été vérifié ainsi que les unités. La valeur est correcte.

Point 5

«Au final, les conclusions ne me paraissent pas robustes aux choix effectués et aux incertitudes. Si les estimations alimentaires n'appellent pas de remarque de ma part et me paraissent riches d'enseignement, la conclusion principale sur leur part prépondérante dans l'exposition totale (dans quasiment toutes les situations) ne me paraît pas suffisamment robuste ni aux choix effectués, ni aux incertitudes, ni à la confrontation avec la littérature scientifique.»

Réponse Anses

Dans sa conclusion, l'Anses identifie les incertitudes qui entachent les résultats fournis dans ce rapport, notamment la méthode d'agrégation choisie. Ensuite, différentes hypothèses, pouvant elles aussi apporter de l'incertitude aux résultats, sont évoquées: le choix de la distribution pour les paramètres relatifs à l'ingestion de sol et de poussières, l'absence de données sur la contamination de l'air intérieur et sur la charge des poussières. Enfin, ces incertitudes liées à l'estimation des expositions sont identifiées comme sources potentielles de la différence de plombémie observée.

Commentaires du second rapporteur et réponses Anses

Point 6:

«À propos des distributions des charges et concentrations en plomb dans les différents compartiments environnementaux. La méthode de simulation Monte Carlo utilisée dans le rapport Anses induit des distributions des charges ou concentrations en plomb qui ne sont pas en adéquation avec les distributions estimées au niveau national par l'enquête Plomb-Habitat (P-H) en ce qui concerne le critère dit d'agrégation « Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges ». Ce constat est fait malgré l'utilisation dans la simulation Monte Carlo, des données (charges et concentrations en plomb et poids de sondage) de Plomb-Habitat. Le second critère utilisé et appelé « Découpage en cinq régions et une classe d'âges » fournit des distributions plus proches de celles de P-H. Comme le Tableau 1 ci-après le montre (en police rouge), ce sont principalement les percentiles parmi les percentiles d'ordre les plus élevés (P90 et P95 surtout, et parfois de plus le P99 ou le P75) qui sont surestimés dans le rapport Anses pour le critère « Découpage en 21 régions et quatre classes d'âges ». Ce constat est fait pour le sol extérieur de l'aire de jeu de l'enfant ainsi que pour l'eau du robinet. En revanche pour les poussières intérieures déposées au sol, les percentiles d'ordre 90 à 99 du rapport Anses sont inférieurs à ceux de P-H pour le groupe des enfants les plus âgés. Pour le critère « Découpage en cinq régions et une classe d'âges » les distributions sont plus proches dans le sens où il y a moins d'écart avec les percentiles de P-H. Cependant il est à noter que les formes des distributions ne sont pas en adéquation avec celle de P-H et les différences ne vont pas dans le même sens selon le média environnemental considéré. À la lecture du rapport il semble que la difficulté méthodologique soit dans la gestion à la fois des poids de sondage des données P-H utilisées pour la simulation (poids des entités statistiques de P-H) et des poids de sondage des données Anses (poids des entités statistiques d'INCA2 et de BEBE-SFAE). Il est indiqué (p. 32) : « Enfin, l'ultime étape consiste à attribuer à chaque individu

d'INCA2 et de BEBE-SFAE un logement de Plomb-Habitat dont l'enfant qui l'habite a le même âge et provient de la même région et donc des valeurs de contamination du sol et des poussières qui lui sont associées. Cette attribution se fait via une simulation de Monte Carlo fonction des poids de sondage. » Cette attribution fonction des poids de sondage est probablement la cause des différences en distribution. Ainsi, sur l'aspect seul de l' « utilisation des concentrations en plomb dans les média environnementaux résidentiels » il semble qu'il faille privilégier les résultats obtenus à partir du critère « Découpage en cinq régions et une classe d'âges ». Comme discuté dans le rapport, le critère choisi a un impact sur l'ordre des contributeurs pour les 10% des individus les plus exposés. Dès lors, pour un futur lecteur du rapport, comment devra-t-il choisir entre les résultats ? D'autres découpages non présentés auraient-ils pu aboutir à d'autres résultats. Des décisions différentes peuvent donc être prises et il ne semble pas possible à partir des éléments du rapport d'évaluer laquelle est la meilleure.»

Réponse anses

Cf réponse point 2 de l'Anses

Point 7

«À propos des concentrations et charges d'exposition utilisées pour calculer l'imprégnation au plomb pour les enfants âgés de 6 mois à 7 ans Le tableau 19 page 57 renseigne des valeurs des paramètres entrées dans le modèle IEUBK. Il semble que la valeur de « 10 » pour la poussière soit erronée car cette valeur de « 10 » s'apparente à une moyenne géométrique exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et non en $\mu\text{g}/\text{g}$ comme indiqué dans le tableau. Il ne s'agit peut-être pas d'une erreur, mais étant donné que la distribution des charges en plomb dans la poussière n'est pas fournie dans le rapport pour toutes classes d'âge confondues, je n'ai pu faire la vérification. Le n° du tableau dans la phrase (p 57) « Les principales constantes (physiologiques, biodisponibilités) et paramètres du modèle qui ont été utilisés sont renseignés dans le tableau 12 » est erroné et doit être mis à jour»

Réponse Anses

Cf. point 4 réponses Anses

La distribution des charges en plomb dans la poussière est fournie dans le rapport en annexe.

Point 8:

«À propos de la quantité de sol et de poussière ingérée Le rapport considère la recommandation issue du rapport InVS-Ineris « Dor F., Denys S. et les membres du GT (2012). Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, septembre 2012, 83 p. » lui-même basé sur l'article « Stanek EJ 3rd., Calabrese EJ, Zorn M. Soil ingestion distributions for monte carlo risk assessment in children. Hum and Ecol Risk Assess 2001;7(2):357-68. ». La distribution considérée des quantités de sol et de poussière ingérés a été « une distribution log-normale avec comme moyenne 49,8, comme écart type 29,4 et comme paramètre de seuil (-18,3). » (p 32). Cette phrase reprend à quelques mots près le texte du rapport InVS-Ineris. Il conviendrait ici de ne pas reprendre cette phrase dans ce sens car elle considère des valeurs de paramètres (49,8 et 29,4) exprimées d'une manière non conventionnelle. Les auteurs du rapport InVS-Ineris ont noté les valeurs fournies par le logiciel utilisé (@Risk) qui utilise deux fonctions pour une loi log-normale dont la fonction « non conventionnelle » a fourni les valeurs 49,8 et 29,4. Dès lors, un lecteur qui n'utiliserait pas le logiciel @Risk ne serait pas en mesure de comprendre aisément les

paramètres utilisés et ainsi de simuler les valeurs d'une telle distribution. Il conviendrait donc décrire « une distribution log-normale avec comme paramètre $\mu = 3,758508676$ et $\sigma = 0,546820461$ et comme paramètre de seuil (-18,3). » pour parler dans le langage « conventionnel ». Le rapport Anses mentionne une autre distribution log-normale en termes conventionnels page 33 et il convient donc d'homogénéiser les notations.»

Réponses Anses

Il a été ajouté dans le rapport, la phrase suivante :

«Cependant, pour retrouver les paramètres de la distribution log-normale en tant que distribution issue du logarithme d'une distribution normale dont les valeurs moyenne et écart type renseignées sont égales à la moyenne et à l'écart type de la distribution normale correspondante, il est nécessaire d'effectuer une transformation. Il s'agit alors d'une moyenne de 3,759 et d'un écart type de 0,547.»

Point 9

«Le rapport Anses reprend l'information de la troisième partie du rapport InVS-Ineris, à savoir (page 32 du rapport Anses) que « Cette distribution concerne les quantités de terre et de poussières ingérées par les enfants âgés de moins de 6 ans en mg.j-1. » ou encore (page 63) « Elle documente l'ingestion de sol et de poussières confondus, à laquelle une fraction attribuable, issue d'une autre étude, pour chacun des deux média a ensuite été affectée ». Il faudrait rappeler la justification éventuellement donnée dans le rapport InVS-Ineris expliquant en quoi les données de Stanek et al. peuvent être utilisées pour l'ingestion de sol et de poussière confondus. Sans justification il n'y aurait alors aucune raison d'avoir considéré pour la poussière, les recommandations du rapport InVS-Ineris lui-même basé sur les données de Stanek et al.»

Réponse Anses

Cf point 1 réponse anses

Point 10

«En effet, les recommandations de l'US EPA en ce qui concerne les paramètres de quantités ingérées ne sont pas utilisées (au profit de celles du rapport InVS-Ineris) mais elles le sont en ce qui concerne la séparation 45% / 55%, relative aux proportions ingérées de sol et de poussière respectivement, quand les deux médias sont mélangés.»

Réponse Anses

A ce jour aucune étude ni rapport n'a remis en question ce ratio 45%/55%, contrairement à la quantité de poussières ingérées.

Point 11:

«En outre, il aurait été utile de comparer les résultats obtenus dans le modèle d'imprégnation à partir des recommandations Ineris-InVS avec ceux obtenus à partir des recommandations de l'US EPA. En faisant l'hypothèse que tous les autres paramètres entrés dans le modèle IEUBK seraient

corrects, cette comparaison aurait permis d'observer laquelle des hypothèses sur le paramètre de sol et poussière ingéré semble être la meilleure, entre recommandations InVS-Ineris et US EPA (en comparant avec la moyenne géométrique obtenue dans Saturn-Inf). De plus l'écart entre la plombémie prédite (moyenne géométrique) égale à 9,7 µg/L et celle estimée par l'enquête de prévalence Saturn-Inf égale à 14,9 µg/L semble substantiel dans la mesure où cet écart, égal à 5,2 µg/L, correspond à 35% de la moyenne géométrique de Saturn-Inf ($5,2 \times 100 / 14,9$). Il est indiqué dans le rapport Anses (p 64) que cet écart est comparable aux résultats de la littérature internationale, à savoir un écart pouvant aller jusqu'à 7 µg/L entre observation et prédiction (Hogan K, Marcus A, Smith R, White P. Integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children: empirical comparisons with epidemiologic data. Environ Health Perspect. 1998 Dec;106 Suppl 6:1557-67). Les résultats ne sont pas à mon sens comparables dans la mesure où ces 7 µg/L ont été observés pour des niveaux de plombémies bien plus élevés (moyenne géométrique allant de 52 à 68 µg/L dans l'étude de Hogan et al.), correspondant donc à environ 12% de la moyenne géométrique ($7 \times 100 / 60$). »

Réponse Anses:

La comparaison entre la valeur de plombémie prédite par IEUBK (quelque soit l'hypothèse utilisée) et celle retrouvée dans Saturn-inf ne permet pas de valider le modèle et/ou les hypothèses formulées. Le modèle IEUBK ne permet pas de valider une des deux hypothèses (recommandations INERIS-INVS ou US EPA) sur le paramètre sol et poussières ingérés, et ceci pour les raisons suivantes:

a- Le modèle IEUBK considère une distribution log-normale des concentrations de plomb sanguin, et fournit une distribution de plombémie centrée sur la moyenne géométrique du plomb dans le sang. Le modèle calcule également une probabilité que la plombémie des enfants dépassent un niveau sélectionné (valeur par défaut de 100 µg/L) en utilisant un écart-type géométrique (GSD) de 1.6. Cette valeur de 1.6 est une mesure de la variabilité relative de la plombémie qui reflète les erreurs de mesures d'exposition environnementales, des différences biologiques et comportementales de l'enfant ainsi que l'erreur de mesure analytique.

Il est possible de calculer un intervalle de prédiction du modèle, basé sur la formule suivante:

Limites prédiction à 95% = moyenne géométrique de plombémie estimée \times $GSD^{+/-1.96}$ (Ecart type géométrique)¹⁰

La valeur de GSD utilisé par défaut dans IEUBK étant égale à 1.6, on obtient pour une plombémie prédite de 9.7, un intervalle de prédiction compris entre **3.4 et 24.4 µg/L**.

La plombémie mesurée dans Saturn inf (14.9 µg/L) est comprise dans cet intervalle de prédiction.

L'utilisation des valeurs de US EPA sur le paramètre sol et poussières ingérés, auraient certes conduit à une plombémie estimée plus élevée, mais avec un intervalle de prédiction du même ordre de grandeur, il est donc impossible au moyen d'IEUBK de valider une des deux hypothèses.

b) Comme précisé dans le rapport, « les plombémies mesurées chez l'enfant dans l'enquête InVS n'ont pas été combinées aux deux autres enquêtes, ne permettant pas de valider le modèle et/ou les hypothèses formulées ».

¹⁰ Teresa S. Bowers & Rosemary L. Mattuck (2001) Further Comparisons of Empirical and Epidemiological Data with Predictions of the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 7:6, 1699-1713.

c) Par ailleurs, le tableau ci-dessous est issu des tableaux 2 et 3 de la publication originale de Marcus et Elias (1998)¹¹, et permet la comparaison entre plombémie observée et mesurée au moyen de IEUBK pour 275 valeurs. Il permet de calculer le pourcentage de prédiction correcte toutes valeurs de plombémie confondues à l'aide du modèle IEUBK qui est de 72% (184+14/275).

		Plombémie observée (µg/L)		
		<100	>100	Total
Plombémie prédite par le modèle IEUBK (µg/L)	<100	184	38	222
	>100	39	14	53
	Total	223	52	275

Enfin, la différence entre la plombémie calculée par IEUBK et la celle de Satun-inf pourrait également être expliquée par d'autres sources d'exposition non prises en compte dans le calcul de l'exposition agrégée (peintures, vaisselle, poteries artisanales, jouets).

¹¹ Marcus AH, Elias RW. Some useful statistical methods for model validation. Environ Health Perspect. 1998 Dec;106 Suppl 6:1541-50.



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
27-31 avenue du général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr