

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

SEPTEMBRE 2019

ÉTUDES ET ENQUÊTES
IMPRÉGNATION
DE LA POPULATION FRANÇAISE
PAR LES RETARDATEURS DE FLAMME
BROMÉS

Programme national de biosurveillance,
Esteban 2014-2016

Résumé

Les retardateurs de flamme bromés (RFB) sont utilisés dans de nombreux objets de la vie courante même s'ils ont été largement réglementés depuis le début des années 2000. Leur caractère semi-volatil favorise leur émission dans l'air et leur transport sur de grandes distances. Ces polluants organiques persistants ont ainsi progressivement contaminé l'environnement et se retrouvent dans la chaîne alimentaire. Peu d'études épidémiologiques ayant permis d'estimer l'impact sanitaire d'une exposition aux RFB ont été menées. Quelques-unes existent toutefois, sur le diabète, le développement neuro-comportemental, la reproduction, l'altération de la fonction thyroïdienne et le cancer.

En France, les données concernant les RFB en population générale, font défaut. En 2011, au sein de la cohorte Elfe (Etude Longitudinale Française depuis l'Enfance), le volet périnatal du programme national de biosurveillance a permis de fournir des premiers indicateurs de l'imprégnation des femmes enceintes par les RFB. Depuis, l'étude transversale Esteban (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition) a permis de mesurer pour la première fois les niveaux d'imprégnation par les RFB de la population française continentale à partir d'un sous-échantillon de 742 adultes de 18 à 74 ans et 243 enfants de 6 à 17 ans, inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016.

Les taux de quantification des RFB mesurés étaient variables selon les congénères. La majorité était peu ou pas quantifiée. Concernant les congénères des PBDE les plus quantifiés : en France comme en Europe, ce sont par ordre d'importance : le BDE 153 en raison de sa demi-vie longue puis le BDE 47, le BDE 100 ou le BDE 99.

Concernant la recherche de déterminants, celle-ci n'a pu être effectuée que chez les adultes en raison du faible effectif de l'échantillon des enfants. Le choix a été fait de construire un modèle pour les PBDE à partir des 4 congénères les plus quantifiés. Finalement, comme retrouvé dans la littérature, le temps passé en voiture a été retrouvé comme un déterminant des niveaux d'imprégnation en PBDE. L'aération a également été retrouvé comme un déterminant influençant les concentrations en RFB que ce soit la fréquence d'aération ou la présence d'une VMC. Enfin, peu de déterminants alimentaires semblent avoir une influence sur les concentrations en RFB dans l'étude Esteban : seule la consommation de fromages a été retrouvée comme influençant les niveaux de deca-BDE 209.

Il semblerait que les concentrations en RFB dans la population française soient similaires à celles retrouvées dans les autres pays européens mais soient moins élevées que celles mesurées dans les pays nord-américains sauf pour le BDE 209.

MOTS CLÉS : RETARDATEURS DE FLAMME BROMÉS ; BIOSURVEILLANCE ; ESTEBAN ; PBDE ; HEXA-BB 153 ; HBCD ; IMPRÉGNATION ; EXPOSITION ; SUBSTANCES CHIMIQUES ; ENFANTS ; POPULATION GÉNÉRALE ; ENVIRONNEMENT ; DÉTERMINANT

Citation suggérée : Imprégnation de la population française par les retardateurs de flamme bromés. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France, septembre 2019. 61 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET 979-10-289-0578-1 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : SEPTEMBRE 2019

Abstract

Impregnation of the French population by brominated flame retardants. National Biomonitoring Program, Esteban 2014-2016

Brominated flame retardants (BFRs) are used in many everyday objects even though they have been largely regulated since the early 2000s. Their semi-volatile nature favors their emission into the air and their transport over great distances. These persistent organic pollutants have gradually contaminated the environment and are found in the food chain. Few epidemiological studies have been conducted to estimate the health impact of BFR exposure. Some, however, exist on diabetes, neurobehavioral development, reproduction, impaired thyroid function and cancer.

In France, data on BFRs in the general population are lacking. In 2011, within the Elfe cohort (French Longitudinal Study since childhood), the perinatal component of the national biomonitoring program provided the first indicators of the impregnation of pregnant women with BFRs. Since then, the Esteban cross-sectional study (Health Study on the Environment, Biomonitoring, Physical Activity and Nutrition) has made it possible for the first time to measure the levels of impregnation by the BFRs of the French mainland population from of a sample of 742 adults aged 18 to 74 and 243 children aged 6 to 17, recruited in the study between April 2014 and March 2016.

The quantification rates of the measured BFRs varied according to the congeners. The majority was little or not quantified. Concerning the congeners of the most quantified PBDEs: in France and in Europe, these are in order of importance: BDE 153 because of its long half-life and then BDE 47, BDE 100 or BDE 99.

As regards the research for determinants, this could only be done for adults because of the small size of the sample of children. The choice was made to build a model for PBDEs from the 4 most quantified congeners. Finally, as found in the literature, the time spent in a car was found as a determinant of PBDE impregnation levels. Aeration has also been found to be a determinant influencing RFB concentrations whether it is the aeration frequency or the presence of a VMC. Finally, few dietary determinants appear to have an influence on BFR concentrations in the Esteban study: only cheese consumption was found to influence deca-BDE levels.

KEY WORDS: BROMINATED FLAME RETARDANTS; BIOMONITORING; ESTEBAN; PBDE; HEXA-BB 153; HBCD; IMPREGNATION; EXPOSURE; CHEMICALS; CHILDREN; GENERAL POPULATION; ENVIRONMENT; DETERMINANTS

Auteurs

Clémence Fillol, Alexis Balicco, Marie-Laure Bidondo, Jamel Daoudi,
Jessica Gane, Amivi Oleko, Abdessattar Saoudi, Abdelkrim Zeghnoun

Santé publique France, Direction santé environnement travail

L'étude a été réalisée avec la participation des ministères des Solidarités et de la Santé et de la Transition écologique et solidaire, des centres d'examens de Santé de l'Assurance Maladie et du Cetaf.

Sommaire

Introduction	5
1. GÉNÉRALITÉS SUR LES RETARDATEURS DE FLAMMES BROMÉS	6
1.1 Utilisations et réglementations	6
1.2 Exposition de la population	7
Les expositions alimentaires.....	7
L'air intérieur et les poussières domestiques	7
Les contacts avec les produits manufacturés	8
Les expositions environnementales	8
Les expositions professionnelles	8
1.3 Devenir dans l'organisme.....	8
Absorption et distribution	9
Métabolisme	9
Élimination	9
1.4 Effets sanitaires	9
1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des RFB	10
Mesure des niveaux d'imprégnation	10
Interprétation.....	11
Seuils sanitaires.....	11
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	12
2.1 Contexte et objectifs	12
2.2 Population.....	13
2.3 Recueil des données	13
2.4 Collecte et traitement des échantillons biologiques de sérum	14
2.5 Dosage des retardateurs de flamme bromés et des lipides sériques.....	14
Dosage des RFB	14
Dosage des lipides sériques.....	16
2.6 Analyses statistiques	16
Plan de sondage et pondérations	16
Traitement des données censurées à gauche.....	16
Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation.....	17
Calcul de la somme des RFB	17
Logiciels utilisés.....	18
3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES CHEZ LES ADULTES	19
3.1 Niveaux de lipides.....	19
3.2 Niveaux de retardateurs de flamme bromés.....	19
3.3 Comparaison avec les études en France et à l'étranger.....	21
4. DÉTERMINANTS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES RFB CHEZ LES ADULTES	27
5. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES NON PONDÉRÉES CHEZ LES ENFANTS	30
5.1 Niveaux de retardateurs de flamme bromés.....	30
5.2 Comparaison avec les études en France et à l'étranger.....	31
6. DISCUSSION / CONCLUSION.....	35
Bibliographie.....	37
Annexe 1 / Liste des variables testées dans les modèles chez les adultes	41
Annexe 2 / Distribution des concentrations sériques des RFB par classe d'âge et par sexe	42

Introduction

Les retardateurs de flamme bromés (RFB) sont utilisés dans de nombreux objets de la vie courante même s'ils ont été largement réglementés depuis le début des années 2000. Leur caractère semi-volatile favorise leur émission dans l'air et leur transport sur de grandes distances. Ces polluants organiques persistants ont ainsi progressivement contaminé l'environnement de façon ubiquitaire et se retrouvent dans la chaîne alimentaire. Il existe peu d'études épidémiologiques ayant permis d'estimer l'impact sanitaire d'une exposition aux RFB. Quelques-unes existent toutefois, sur le diabète, le développement neuro-comportemental, la reproduction, l'altération de la fonction thyroïdienne et le cancer.

En France, les données concernant les RFB en population générale, font défaut. En 2011, au sein de la cohorte Elfe (Etude Longitudinale Française depuis l'Enfance), le volet périnatal du programme national de biosurveillance a permis de fournir des premiers indicateurs de l'imprégnation des femmes enceintes par les RFB. Depuis, l'étude transversale Esteban (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition) a permis de mesurer pour la première fois les niveaux d'imprégnation par les RFB de la population française continentale. Ces analyses ont été réalisées à partir d'un sous-échantillon de 742 adultes de 18 à 74 ans et 243 enfants de 6 à 17 ans, inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016.

Après un rappel des généralités sur les RFB, en termes de sources d'exposition et d'effets sur la santé (1), ce document présente la méthode mise en œuvre pour la collecte des données et leur analyse (2), puis les résultats descriptifs des niveaux d'imprégnation observés dans le cadre de l'étude Esteban (3) et l'analyse des déterminants de l'exposition uniquement chez les adultes (4).

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES RETARDATEURS DE FLAMMES BROMÉS

1.1 Utilisations et réglementations

Les RFB sont des polluants organiques persistants (POP) tels que définis par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) et la convention de Stockholm et font donc l'objet d'une attention particulière en vue de protéger la santé humaine et l'environnement.

Les RFB sont des composés organo-bromés utilisés depuis les années 1970 afin de bloquer ou ralentir l'inflammation des matières combustibles en cas d'incendie. Ils sont couramment incorporés dans une large gamme de biens de consommation, tels que les appareils électroniques (téléviseurs, ordinateurs), les textiles (vêtements, rideaux), les voitures (sièges, plastiques), les meubles (mousses, capitonnages) et les matériaux de construction (résines, câbles), à des teneurs comprises entre 5 % et 30 % en masse (1-3).

Il existe quatre principales catégories de RFB :

- les polybromodiphényl éthers (PBDE) sont des éthers aromatiques bicycliques, utilisés dans les plastiques, les textiles, les mousses en polyuréthane, les moulages et les circuits électroniques. Il existe 209 congénères dont le nom, tri-, tetra-, penta-, hexa-, hepta-, octa-, nona- et deca-BDE, dépend du nombre d'atomes de brome dont la position dans le cycle est indiquée par les chiffres situés en première partie du nom ;
- le 1,2,5,6,9,10 hexabromocyclododécane (HBCD) est principalement utilisé dans l'isolation thermique des bâtiments. Il s'agit d'un mélange constitué en majorité de trois diastéréoisomères, l'alpha-, le bêta- et le gamma-HBCD dont les propriétés physico-chimiques sont proches des dioxines ;
- les polybromobiphényles (PBB) sont des dérivés bromés du biphényle dont les propriétés physico-chimiques sont très proches de celles des polychlorobiphényles (PCB). Ils sont principalement utilisés dans les appareils ménagers, les textiles, les mousses et les plastiques ;
- le tétrabromobisphénol A (TBBPA) est un composé utilisé en tant que réactif dans les thermoplastiques (principalement dans les téléviseurs et les cartes de circuits imprimés). Il a quant à lui une structure chimique proche du bisphénol A (BPA).

En Europe, au cours des années 1970 à 1990, la production de RFB représentait plusieurs milliers de tonnes par an (entre 7 000 et 11 000 tonnes de PBDE produits par an entre 1986 et 1989) (1). Cependant, en raison de la mise en évidence de mécanismes d'action proches de polluants connus et préoccupants pour l'environnement et la santé humaine tels que les dioxines et les PCB, l'Union européenne (UE) a adopté une législation visant à réduire ou à arrêter la vente et l'utilisation de certains RFB.

Ainsi, dès 1983, la directive 76/769/CEE¹ concernant la commercialisation et l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses interdit l'utilisation de PBB dans les textiles en contact avec la peau. Les PBB ne sont plus produits depuis 2000. La directive 2003/11/CE²,

1. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:31976L0769>

2. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32003L0011>

modifiant la directive 76/769/CEE, interdit l'utilisation de deux mélanges commerciaux de PBDE, à savoir le penta-BDE et octa-BDE, à des concentrations supérieures à 0,1 % en masse. À partir de juillet 2006, conformément à la directive 2002/95/CE³, tous les nouveaux équipements électriques et électroniques ne peuvent plus contenir des PBB et des PBDE quelle que soit leur concentration. Enfin, en juillet 2008, un troisième mélange de PBDE, nommé déca-BDE, initialement exempté de limitations, a également été interdit par la Cour de justice européenne⁴.

1.2 Exposition de la population

À l'exception du TBBPA utilisé comme réactif, les RFB (PBDE, PBB et HBCD), sont des additifs qui ne sont pas liés aux polymères par des liaisons chimiques et peuvent par conséquent facilement migrer des produits dans lesquels ils sont utilisés vers l'environnement. Ce relargage a lieu tout au long du cycle de vie des matériaux traités, en particulier lorsque ceux-ci sont chauffés, au moment de leur fabrication, de leur utilisation et de leur traitement en fin de vie (incinération) (1-3). Dans l'environnement, les congénères fortement bromés (déca-BDE) peuvent se décomposer en congénères plus faiblement bromés (nona- et octa-BDE) et en polybromo-dibenzo furanes (PBDF) par dégradation physique, notamment sous l'influence des rayonnements UV (4). Le caractère semi-volatil des RFB favorise leur émission dans l'air (phase gazeuse et particulaire) et leur transport sur de grandes distances. Ces polluants ont ainsi progressivement contaminé l'environnement de façon ubiquitaire et se retrouvent dans la chaîne alimentaire.

Les expositions alimentaires

L'alimentation constitue la principale voie d'exposition de la population générale aux RFB, à l'exception du congénère 209 des PBDE (5, 6). Compte tenu de leur caractère lipophile et de leur stabilité chimique, les PBDE, PBB et HBCD se stockent dans les tissus gras des animaux et s'accumulent tout au long de la chaîne alimentaire. Les aliments les plus fortement contaminés sont ainsi les produits d'origine animale riches en lipides, en particulier le beurre, les poissons gras, les mollusques et crustacés et les charcuteries (7).

D'après la deuxième étude de l'alimentation totale française (EAT 2), chez les adultes, l'exposition alimentaire aux PBDE (sauf au BDE 209) est principalement liée à la consommation de poisson (plus de 33 % de l'exposition) (7). En incluant le congénère BDE 209, les plus forts contributeurs de l'exposition alimentaire aux PBDE sont les entremets et crèmes dessert (15 %), les poissons (17 %) et les produits ultra frais laitiers (11 %). Ce sont les mêmes contributeurs retrouvés dans l'étude de l'alimentation totale infantile chez les moins de 3 ans (8). L'exposition alimentaire aux PBB est quant à elle principalement liée à la consommation de poissons (80 %), du fait notamment de teneurs nulles retrouvées dans un nombre important de groupes d'aliments. Enfin, les principaux contributeurs de l'exposition alimentaire aux HBCD sont les charcuteries (27 %), la viande (21 %) et les poissons (14 %).

L'air intérieur et les poussières domestiques

La présence dans l'air intérieur et les poussières domestiques de RFB volatilisés à partir des produits et matériaux dans lesquels ils sont utilisés, constitue également une voie d'exposition *via* l'inhalation ou l'ingestion involontaire (5). Les concentrations en PBDE dans l'air intérieur semblent néanmoins faibles, ces substances étant rarement mesurées à des niveaux

3. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0095:FR:HTML>

4. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:116:0002:0003:FR:PDF>

quantifiables (BDE 99 et BDE 100), voire jamais quantifiés (BDE 85 et BDE 119) (9). Selon les résultats obtenus dans le cadre du projet Ecos-HABITAT⁵, conduit d'après des poussières recueillies dans l'étude Plomb Habitat en 2008-2009 en France, le principal congénère retrouvé dans l'air intérieur et les poussières serait le BDE 209, ce qui serait cohérent avec son usage majoritaire dans l'industrie (10). Les HBCD présents dans les matériaux de construction, en particulier le polystyrène expansé, se retrouvent également largement dans l'air intérieur et les poussières (2).

Les concentrations en RFB mesurées dans l'air intérieur sont généralement plus élevées que celles retrouvées dans l'air extérieur, ce qui suppose une source d'émission à l'intérieur du logement (11). Il reste cependant difficile d'associer les concentrations en RFB mesurées dans l'air intérieur et les poussières avec les caractéristiques du logement ou la présence de produits susceptibles de contenir ces substances ; certaines sources d'émission des RFB et des poussières de l'air intérieur étant parfois concomitantes (textiles par exemple) (11, 12).

Les concentrations en RFB mesurées dans l'air intérieur et les poussières des espaces confinés, tels que les voitures ou les cabines d'avion, sont généralement plus élevées que celles mesurées dans les logements (13, 14). Cette différence pourrait s'expliquer par la présence dans ces espaces de nombreux équipements contenant des RFB (plastiques et textiles) qui sont de potentiels émetteurs de poussières.

Les contacts avec les produits manufacturés

Peu étudié, le contact direct avec les produits manufacturés (jouets, ordinateurs, vêtements, etc.) dans lesquels les RFB sont utilisés, peut constituer une source d'exposition *via* l'absorption cutanée et l'ingestion involontaire de particules contaminées. Cette voie d'exposition concerne essentiellement le BDE 209, présent notamment dans les ordinateurs, et les HBCD largement utilisés dans les textiles. L'utilisation des HBCD dans les textiles a cependant diminué de 80 % depuis 2008 (2).

Les expositions environnementales

S'adsorbant facilement aux particules du sol, les RFB peuvent être retrouvés à des concentrations élevées à proximité d'usine de production ou après épandage de boues de station d'épuration (3). La présence de RFB dans les sols peut être une source de contamination des végétaux cultivés, en particulier les légumes racines. L'importance de cette voie d'exposition n'a cependant pas été évaluée.

Les expositions professionnelles

Des expositions professionnelles peuvent également avoir lieu, notamment dans les usines de démantèlement d'équipements informatiques, de recyclage ou d'incinération (15).

1.3 Devenir dans l'organisme

L'absorption, la distribution et le métabolisme des RFB ont été peu étudiés et seules des données animales, principalement chez les rats, sont actuellement disponibles.

5. http://www.oqai.fr/userdata/documents/490_Bulletin_OQAI9_COSV.pdf

Absorption et distribution

Le taux d'absorption des RFB dépend de la voie d'exposition, de la famille de RFB et du degré de bromation des congénères. Le comportement du BDE 209 se distingue ainsi largement des autres congénères de PBDE.

Lors d'une exposition alimentaire, l'absorption des RFB ingérés est quasiment complète (comprise entre 70 % et 95 %) (1-3, 6). Elle est cependant plus faible pour le BDE 209 puisque le taux d'absorption digestive estimé chez le rat est compris entre 10 et 26 % (16). Une fois absorbés, les RFB se distribuent dans l'ensemble de l'organisme, en particulier dans le foie, les glandes surrénales, les muscles, le sang et s'accumulent ensuite dans les tissus adipeux (1-3, 6). Le BDE 209 se distribue quant à lui majoritairement dans les glandes surrénales et le foie, mais semble se stocker faiblement dans les tissus adipeux, malgré son caractère lipophile (16).

Aucune étude expérimentale n'a permis d'estimer chez l'homme ou l'animal le taux d'absorption des RFB par voie respiratoire ou cutanée.

Métabolisme

Les RFB sont métabolisés au niveau du foie par des réactions de débromation et d'hydroxylation, catalysées par des mono-oxygénases à cytochrome P450 (1-3, 6).

La cinétique et le taux de métabolisation est variable selon les molécules. Les congénères les moins bromés sont généralement plus rapidement et mieux métabolisés, à l'exception du BDE 153 (1).

Élimination

Les études conduites chez le rat ont montré qu'après administration orale, les principales voies d'élimination des RFB absorbés et métabolisés par l'organisme sont fécale, biliaire et dans une moindre mesure urinaire (6). La cinétique d'élimination du BDE 209 dans les fèces est plus rapide que celle des autres congénères de PBDE (16).

Les demi-vies d'élimination des RFB varient fortement entre les substances, selon leur degré de bromation, mais également selon l'âge et l'adiposité des individus, la demi-vie augmentant avec la charge lipidique (17). Chez l'homme, la demi-vie d'élimination est comprise entre 1 et 7 ans pour les PBDE, à l'exception du BDE 209 dont la demi-vie d'élimination a été estimée à 7 jours. Cette différence pourrait s'expliquer par une débromation plus rapide du BDE 209 et confirme la différence de comportement de ce congénère dans l'organisme et sa faible bioaccumulation (6). La demi-vie d'élimination des PBB est estimée entre 13 et 29 ans et celles des HBCD est estimée à 64 jours (17).

Aucune étude n'a permis de déterminer la cinétique d'élimination des RFB suite à une exposition par inhalation ou par contact cutané (18).

1.4 Effets sanitaires

Il existe peu d'études épidémiologiques ayant permis d'estimer l'impact sanitaire d'une exposition aux RFB. Quelques-unes existent toutefois, notamment sur le diabète, le développement neuro-comportemental, la reproduction, l'altération de la fonction thyroïdienne

et le cancer. La majorité des données disponibles sont issues d'études réalisées chez l'animal, essentiellement chez le rat ou la souris.

La détermination des effets sanitaires des RFB est rendue difficile en raison de la co-exposition à d'autres POP, tels que les PCB, ayant des mécanismes d'action similaires et des sources d'exposition, notamment alimentaires, communes. Il est donc difficile d'estimer la contribution spécifique des RFB dans les effets sanitaires observés chez l'homme (6).

Les effets sanitaires liés à une exposition aux RFB, mis en évidence dans les études animales concernent (1-3, 6) :

- des effets sur la reproduction : altération des taux d'hormones (diminution des taux d'œstradiol et de testostérone), modification des paramètres morphologiques (augmentation du poids de l'utérus, des ovaires et des vésicules séminales) et spermatiques (diminution des concentrations et de la mobilité) ;
- des effets sur le système endocrinien : diminution de la thyroxine (T4), augmentation de la TSH ;
- des effets neurologiques (troubles de la mémoire, hyperactivité) et psychomoteurs ;
- des effets cancérogènes (tumeur du foie).

Sur la base du potentiel cancérogène chez l'animal, le déca-BDE (BDE 209) a été classé en tant que « substance à possibilité cancérogène pour l'homme » (classe C), par l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA). Le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a cependant classé ce composé en catégorie 3 « ne peut être classé comme cancérogène pour l'homme », en raison de preuves de cancérogénicité limitées chez l'animal.

Les études animales ont montré qu'une exposition chronique aux RFB à de faibles doses est susceptible d'entraîner des effets délétères sur plusieurs organes et tissus régulés par les hormones, ce qui laisse supposer l'existence d'effets sanitaires similaires chez l'homme.

1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des RFB

Mesure des niveaux d'imprégnation

L'évaluation de l'imprégnation par les RFB repose classiquement sur des mesures réalisées dans la fraction grasseuse des tissus biologiques : sérum, lait maternel, plus rarement graisse abdominale ou sous-cutanée. Les premiers dosages biologiques ont été réalisés dans le tissu adipeux. Il s'agit cependant d'un prélèvement très invasif qui a été rarement utilisé dans les études en population générale. Le lait maternel a été souvent utilisé, mais il ne peut concerner qu'une fraction particulière de la population. En population générale, la quantification des RFB dans l'organisme humain est préférentiellement réalisée dans le sérum bien qu'il soit pauvre en lipides circulants.

D'un point de vue analytique, le dosage biologique des RFB apparaît difficile, à la fois pour des raisons techniques relatives à la préparation des échantillons et à la mesure, mais également pour des raisons de contamination externe par ces polluants ubiquitaires, y compris dans les espaces de travail des laboratoires. Cette difficulté analytique concerne en particulier le dosage du BDE 209, ce qui explique qu'il soit très peu analysé dans les études de biosurveillance.

La plupart des études ayant mesuré les PBDE ont dosé sept congénères tri- à hepta-BDE, dits PBDE indicateurs. Il s'agit des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183. Parmi les autres RFB, le congénère hexa-BB 153 et les diastéréoisomères α , β et γ du HBCD sont généralement recherchés dans les études de biosurveillance.

Interprétation

Le dosage biologique des RFB traduit la charge corporelle d'un individu, c'est-à-dire la dose interne accumulée au cours des mois ou années antérieures au prélèvement. A l'inverse, compte tenu des demi-vies d'élimination plus courtes pour le BDE 209 et les HBCD, leurs dosages reflètent l'exposition des jours précédant la réalisation du prélèvement.

Seuils sanitaires

Il n'existe pas à l'heure actuelle de seuil sanitaire pour les niveaux d'imprégnation par les RFB.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Contexte et objectifs

L'action 43 du PNSE2 prévoit la mise en place d'un programme pluriannuel de biosurveillance de la population française. Ce programme, préparé entre mai 2009 et mars 2010 par un comité de pilotage mis en place et animé par Santé publique France⁶, repose dans l'immédiat sur la mise en œuvre de deux études :

- **un volet périnatal** mis en œuvre au sein de la cohorte Elfe dont tous les résultats ont été publiés en décembre 2017 ;
- une étude nationale transversale nommée **Esteban** (Etude de SanTé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition) qui concerne la population générale française âgée de 6 à 74 ans.

Les objectifs du volet environnemental de l'étude Esteban concernant les RFB étaient les suivants :

- décrire les niveaux d'imprégnation par les RFB de la population française continentale, mesurés à partir de prélèvements sanguins recueillis et établir des valeurs de référence pour la population des adultes (ces valeurs ne sont pas présentées ici et seront présentées ultérieurement pour l'ensemble des biomarqueurs caractérisés dans Esteban) ;
- comparer les niveaux d'imprégnation par les RFB avec les résultats d'études antérieures menées en France et à l'étranger ;
- analyser les déterminants des niveaux d'imprégnation de la population adulte.

Les congénères mesurés dans le cadre d'Esteban correspondaient aux PBDE habituellement recherchés dans les études de biosurveillance et d'autres moins mesurés, à l'hexa-BB 153 et aux trois isomères α , β et γ de l'HBCD (cf. Tableau 1).

6. Réunissant la Direction générale de la Santé, la Direction générale de la prévention des risques, la Direction générale du Travail, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail aujourd'hui regroupées au sein de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

I TABLEAU 1 I

Liste des RFB dosés dans l'étude Esteban

PBDE	PBB	HBCD
Di-BDE 15		
Tri-BDE 17	Hexa-BB 153	
Tri-BDE 25		
Tri-BDE 28		α -HBCD
Tri-BDE 33		β -HBCD
Tetra-BDE 47		γ -HBCD
Tetra-BDE 66		
Penta-BDE 85		
Penta-BDE 99		
Penta-BDE 100		
Hexa-BDE 153		
Hexa-BDE 154		
Hepta-BDE 183		
Deca-BDE 209		

2.2 Population

Les inclusions des participants se sont déroulées entre avril 2014 et mars 2016, au cours de quatre vagues successives, de durées égales, afin d'équilibrer les inclusions en fonction de la saisonnalité des expositions environnementales et de l'alimentation. La population cible de l'étude Esteban était constituée de l'ensemble des personnes résidant en France continentale âgées de 6 à 74 ans et vivant dans un ménage ordinaire sur la période d'étude.

Pour être éligibles, les individus devaient résider au moins quatre jours par semaine dans leur résidence habituelle, maîtriser suffisamment la langue française, ne pas déménager en dehors des zones géographiques couvertes au cours de la période d'étude et ne pas souffrir d'une pathologie rendant impossible la réalisation de l'étude (alimentation artificielle entérale ou parentérale, contre-indication à un prélèvement sanguin).

Le dosage des RFB dans le sérum a été réalisé sur un sous-échantillon aléatoire de 742 adultes et 243 enfants chez lesquels la quantité de matrice sérique était suffisante pour le dosage des RFB.

2.3 Recueil des données

Les données relatives aux trois grandes thématiques étudiées dans Esteban ont principalement été recueillies par questionnaires (renseignés en face à face avec un enquêteur se rendant au domicile des participants et par auto-questionnaires papiers ou *via* internet selon le choix des participants).

Des informations plus détaillées sur l'ensemble des données recueillies et sur les aspects opérationnels de la réalisation de l'étude Esteban sont disponibles dans un article spécifique décrivant le protocole de l'étude (19).

Des données démographiques, socio-économiques, sur l'alimentation, l'activité physique, la sédentarité, l'environnement résidentiel et professionnel, la santé générale et la consommation

de soins ont été recueillies à travers la passation de différents questionnaires. D'autre part, l'ensemble des mesures et des prélèvements biologiques (sang, urines, mèche de cheveux) a été effectué dans le cadre d'un examen de santé. Pour se faire, Santé publique France s'est appuyé sur le réseau des centres d'examen de Santé de l'Assurance Maladie (CES). Pour les enfants, et les adultes qui en avaient exprimé le choix, l'examen de santé était effectué à domicile, avec la venue d'un infirmier diplômé d'état (IDE). Les traitements immédiats des prélèvements biologiques ont été réalisés dans les laboratoires d'analyses rattachés aux CES.

2.4 Collecte et traitement des échantillons biologiques de sérum

Lors de l'examen de santé, le sérum pour la réalisation du dosage des RFB était recueilli sur tube sec sans gel séparateur mais avec un activateur de coagulation. Le délai entre les prélèvements et le traitement des tubes (dosages et aliquotage) ne devait pas dépasser 4 heures si la centrifugation des tubes de sang n'avait pas été effectuée dans les 2 heures après le prélèvement. Lorsque l'examen de santé était réalisé à domicile, les infirmiers conservaient les tubes de prélèvements dans des glacières contenant des blocs réfrigérants (sans contact direct avec les tubes), permettant leur transport jusqu'aux laboratoires. Les tubes secs ont été laissés à coaguler pendant 30 minutes et conservés à l'abri de la lumière (en vue des dosages nutritionnels ultérieurs). Un relevé de température a été effectué à l'arrivée des prélèvements aux laboratoires pour prendre en compte la température lors du transport des prélèvements. L'intégralité des tubes de prélèvements ont été conservés au laboratoire à une température comprise entre +4°C et +10°C dans l'attente des traitements nécessaires (dosages biologiques immédiats, centrifugation et aliquotage des matrices en plus petits volumes et cryoconservation). La centrifugation a été réalisée à 2500 g pendant 15 minutes environ.

L'ensemble des échantillons en provenance des laboratoires ont été transportés par camion réfrigéré au centre de ressources biologiques de l'hôpital Bretonneau au CHU de Tours afin d'y être conservé dans des congélateurs à -80°C. Le transport des échantillons des laboratoires vers la biothèque était organisé de façon régulière tout au long de l'enquête.

2.5 Dosage des retardateurs de flamme bromés et des lipides sériques

Dosage des RFB

Le laboratoire du LABERCA/ONIRIS disposait d'un volume de 7 mL de sérum pour réaliser les analyses de RFB sériques. Les échantillons de sérum étaient conditionnés préférentiellement en tubes de 5 et 3 mL. Le dosage des PBDE et PBB a été effectué par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse haute résolution (GC-HR-MS). Le dosage des HBCD a été réalisé par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC/MSMS). L'analyse a été réalisée après extraction SPE (cartouches C18) et purification sur gel de silice.

Les ¹³C des congénères 28, 47, 99, 153, 154, 183 et 209 des PBDE, de l'hexa-BB 153 et des α, β, γ-HBCD ont été utilisés comme standard interne. Les étalonnages ont été réalisés sur 5 points de concentrations.

Un blanc d'analyse et un échantillon de contrôle étaient analysés à chaque série de 10 échantillons. Les matériaux de référence utilisés provenaient du fournisseur LGC Standard.

La limite de détection (LOD) et la limite de quantification (LOQ) ont été déterminées par le laboratoire avec une probabilité donnée. Les LOD et LOQ atteintes étaient spécifiques à chaque congénère. Les limites de détection et de quantification pour chacun des congénères recherchés sont présentées dans le Tableau 2.

Une LOQmax définie comme la valeur maximale quantifiable par la méthode en conditions standard a été déterminée à 500 µg L⁻¹ pour chaque BDE à l'exception du BDE 209 qui avait une LOQ max de 2500 ng L⁻¹. La LOQmax des HCBd était de 1000 ng L⁻¹.

I TABLEAU 2 I

Limites de détection et de quantification atteintes pour les dosages des RFB (en ng L⁻¹)

	Di-BDE 15	Tri-BDE 17	Tri-BDE 25	Tri-BDE 28	Tri-BDE 33	Tetra-BDE 47	Tetra-BDE 66	Penta-BDE 85
LOD (ng L ⁻¹)	0,07	0,1	0,1	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1
LOQ (ng L ⁻¹)	0,21	0,3	0,3	0,21	0,3	0,3	0,3	0,3

	Penta-BDE 99	Penta-BDE 100	Hexa-BDE 153	Hexa-BDE 154	Hepta-BDE 183	Deca-BDE 209	PBB 153	α-HBCD	β-HBCD	γ-HBCD
LOD (ng L ⁻¹)	0,07	0,07	0,2	0,2	0,6	1,5	0,2	1	1	1
LOQ (ng L ⁻¹)	0,21	0,21	0,6	0,6	1,8	4,5	0,6	3	3	3

La courbe de calibration a été réalisée grâce à 5 points de concentration et vérifiée tous les 100 échantillons. De même, l'étalonnage proche de la LOQ a été vérifié tous les 20 échantillons. Un « blanc méthode » a été analysé tous les 10 échantillons pour garantir la non-contamination du circuit analytique. Des contrôles de qualité internes (CQI) ont été dosés au cours des séries analytiques sur plusieurs niveaux de concentration pour établir des cartes de contrôle et satisfaire aux critères de Westgard. Les calculs de fidélité intermédiaire et d'incertitude (k=2) ont été réalisés sur plusieurs niveaux de concentrations (proche LOQ, moyen et élevé). La fidélité intermédiaire était d'environ 20 % pour l'ensemble des composés et l'incertitude élargie d'environ 50 % aux concentrations faibles.

Cinq échantillons dits « témoins » constitués à partir d'eau ultrapure conditionnée en ampoule en verre ont été envoyés au laboratoire pour être dosés dans les mêmes conditions que les échantillons de l'étude. Aucun des échantillons témoins ne présentait de concentration en RFB à un niveau quantifiable montrant ainsi l'absence d'une éventuelle contamination par l'environnement de préparation des échantillons ou liée au matériel de collecte et de cryoconservation. Afin d'apprécier la fidélité intermédiaire des analyses, des répliqués ont été introduits à l'aveugle dans les séries analytiques, i.e. que deux cryotubes appartenant au même sujet ont fait l'objet d'un dosage, avec des identifiants différents. Six couples de répliqués ont été analysés, avec des résultats concordants pour l'ensemble des congénères.

Ainsi, sur un total initial prévu de 750 dosages chez les adultes et 250 chez les enfants, seuls 742 échantillons d'adultes et 243 échantillons d'enfants ont été analysés car un tube a été cassé et un tube n'a pas pu être analysé en raison d'interférences.

Dosage des lipides sériques

Le dosage des lipides sériques était réalisé sur une fraction de l'échantillon de sérum transmis au laboratoire (environ 0,5 mL). L'analyse concernait les quatre paramètres lipidiques permettant le calcul des lipides totaux (TL) : cholestérol total (TC), cholestérol non-estérifié (FC), triglycérides (TG) et phospholipides (PL). Le dosage des lipides était réalisé par méthode enzymatique, conformément au protocole présenté dans la publication de Akins *et al.* (20). Le dosage était effectué indépendamment de la préparation de l'échantillon pour le dosage des RFB.

Les lipides totaux ont été calculés selon l'équation :

$$TL = 1,677*(TC-FC) + FC + TG + PL \text{ (20).}$$

2.6 Analyses statistiques

La distribution des niveaux d'imprégnation est décrite sous forme de percentiles (10, 25, 50, 75, 90, 95) et d'une moyenne géométrique (MG), avec les intervalles de confiance à 95 % pour la moyenne géométrique et le percentile 95 (P95). Les résultats sont présentés pour la population totale, par sexe et par tranche d'âge. Les résultats pour l'échantillon des enfants sont non pondérés en raison notamment du faible effectif.

Plan de sondage et pondérations

Le plan de sondage de l'étude Esteban est modélisé par un plan de sondage stratifié à trois degrés. Au premier degré, un échantillon stratifié d'unités primaires (communes ou regroupements de communes) a été tiré au sort. Au deuxième degré, dans chaque unité primaire, des ménages ont été tirés au sort par échantillonnage téléphonique. La stratification a été réalisée en fonction de deux variables : la région (8 zones géographiques) et le degré d'urbanisation (5 strates : rural ; < 20 000 habitants ; 20 000—100 000 habitants ; > 100 000 habitants, Paris). Le plan d'échantillonnage est décrit de façon détaillée dans l'article du protocole de l'étude (19).

Le dosage des RFB a été réalisé sur un sous-échantillon aléatoire de sujets parmi les individus qui avaient accepté de participer au volet biologique de l'étude et disposaient d'une quantité d'urine suffisante en biothèque pour permettre l'analyse.

Le processus de calcul des pondérations a été effectué en trois étapes. La première étape a consisté à établir des pondérations initiales dues au plan de sondage. En second lieu, les poids ont été ajustés par rapport à la non-réponse totale. Cette étape a été réalisée en utilisant la méthode des scores, méthode basée sur le principe des groupes de réponse homogènes et faisant appel à des informations disponibles à la fois pour les répondants et les non-répondants. Enfin, un calage a été effectué en utilisant les marges issues du recensement permettant à la population d'étude d'être comparable avec la population source selon certains critères (âge, sexe, niveau de diplôme...).

Traitement des données censurées à gauche

Pour chaque congénère mesuré, la LOD et la LOQ étaient constantes pour l'ensemble des échantillons analysés. Certaines concentrations pouvaient être à des niveaux non détectés (inférieurs à la LOD), ou détectés mais non quantifiés (compris entre la LOD et la LOQ).

Pour traiter ce type de données, la méthode d'imputation multiple par équations chaînées (Multiple Imputation by Chained Equations, MICE), sous STATA (ICE) a été utilisée.

Cette méthode a l'avantage de prendre en compte l'incertitude liée au processus d'estimation des données censurées. Elle consiste à générer M bases de données complètes (ici M=10), en utilisant un modèle d'imputation. Chaque base de données complète est analysée séparément par des méthodes standards et fournit M estimateurs du paramètre d'intérêt (moyenne géométrique, percentiles, etc.), qui sont ensuite combinés pour tenir compte de l'incertitude résultant de la méthode d'imputation multiple (21). L'estimateur combiné du paramètre d'intérêt est obtenu par la moyenne des M estimateurs. La variance combinée de cet estimateur est calculée en prenant en compte les variances inter- et intra-imputation.

Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation

Aucune recherche de déterminants n'a été faite pour l'échantillon des enfants en raison du faible effectif (n= 243).

Chez les adultes, les déterminants de l'imprégnation par les RFB ont été identifiés par une analyse de régression multi-variables. Un modèle linéaire généralisé (Generalized linear Model) a été utilisé. Les concentrations en RFB ont été log-transformées afin de favoriser la normalité des résidus du modèle. Certains facteurs de risque et d'ajustement ont été sélectionnés a priori au vu de la littérature. Par ailleurs d'autres facteurs de confusion et d'exposition ont été sélectionnés lors de la modélisation en se basant sur des critères statistiques tels que le critère d'information d'Akaike (AIC). La forme de la relation des facteurs de risque et d'ajustement de type continu a été ajustée en utilisant des fonctions splines cubique naturelle.

La construction du modèle (choix du nombre de degré de liberté des fonctions splines) et la validation du modèle (vérification de la normalité et de l'homoscédacité des résidus) ont été effectuées sur un seul jeu de données imputées. Toutes les analyses réalisées ont pris en compte le plan d'échantillonnage de l'étude.

L'estimation des paramètres du modèle final ont été réalisés sur 10 jeux de données imputées. Les résultats sont présentés sous forme de pourcentage de variation des concentrations en RFB :

- associé à une augmentation interquartile des facteurs de risque quantitatifs ;
- par rapport à une référence pour les facteurs d'exposition qualitatifs.

Trois modèles ont été construits pour les RFB quantifiés à plus de 60% : un pour la somme des 4 PBDE les plus quantifiés (47, 99, 100, 153), un pour le Deca-BDE 209 en raison de son comportement particulier (demi-vie courte) et un pour l'hexa-BB 153.

Les variables testées pour les adultes pour chaque RFB sont listées en annexe 1.

Calcul de la somme des RFB

Les statistiques descriptives des principaux indices de l'imprégnation totale par les PBDE ont été calculées à partir de :

- la somme des sept congénères indicateurs tri-hepta-BDE (Σ_7 PBDE) exprimée en ng/g de lipides. Ces sept congénères indicateurs sont ceux habituellement dosés et quantifiés dans les études de biosurveillance (BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183) ;

- la somme des huit congénères tri-deca BDE (Σ_8 PBDE) exprimée en ng/g de lipides. Il s'agit de la somme des sept congénères indicateurs (BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183) et du BDE 209, congénère fortement bromé.

Afin de prendre en compte les valeurs censurées dans le calcul de cette somme, la méthode suivante a été appliquée :

- pour les congénères pour lesquels la méthode d'imputation multiple a été utilisée pour imputer les valeurs censurées, la valeur censurée a été remplacée par une valeur imputée dans chacune des M bases générées ;

- pour les congénères présentant un taux de censure élevé, pour lesquels la méthode d'imputation n'a pas pu être utilisée, la valeur censurée a été remplacée par $(LOD + LOQ) / \sqrt{2}$ pour les valeurs comprises entre la LOD et la LOQ et par $LOD / \sqrt{2}$ pour les valeurs inférieures à la LOD.

Logiciels utilisés

Les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 14 de STATA (22) et la version R 3.5.2 (23) qui, via le package (SURVEY), permet l'analyse des données issues d'un plan de sondage complexe.

3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES CHEZ LES ADULTES

3.1 Niveaux de lipides

La concentration moyenne en lipides totaux mesurée chez les adultes ayant fait l'objet d'un dosage de RFB était égale à 5,93 g/L. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 3.

I TABLEAU 3 I

Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres lipidiques des adultes

Paramètre	Effectif	Moyenne (g L ⁻¹)	Minimum (g L ⁻¹)	Maximum (g L ⁻¹)
Lipides totaux chez les adultes	742	5,93	2,56	10,48

3.2 Niveaux de retardateurs de flamme bromés

Les taux de quantification des RFB étaient variables selon les congénères (% > LOQ compris entre 0 % et 100 %). Les distributions (moyenne géométrique et son intervalle de confiance, les percentiles et la valeur maximale) des niveaux d'imprégnation des différents congénères de RFB mesurés dans le sérum sont présentées dans le tableau 4. Les distributions des différents congénères par classe d'âge et par sexe sont présentées en annexe 2.

I TABLEAU 4 I

Distributions des concentrations sériques en RFB (ng/g de lipides) des adultes âgés de 18 à 74 ans, ajustées sur les lipides, France continentale (2014-2016)

	n	%>LOQ	MG	IC95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC95% P95
Di-BDE 15	742	14,8	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	0,08	[0,05 ; 0,10]
Tri-BDE 17	742	0,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25	742	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28	742	19,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,09	[0,07 ; 0,13]
Tri-BDE 33	742	0,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 47	742	98,8	0,24	[0,22 ; 0,26]	0,10	0,14	0,22	0,37	0,69	1,06	[0,84 ; 1,37]
Tetra-BDE 66	742	0,5	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 85	742	0,9	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 99	742	64,3	0,05	[0,05 ; 0,06]	0,02	<LOQ	<LOQ	0,08	0,15	0,22	[0,19 ; 0,24]
Penta-BDE 100	742	82,9	0,07	[0,07 ; 0,08]	<LOQ	0,04	0,07	0,12	0,18	0,26	[0,21 ; 0,33]
Hexa-BDE 153	742	100	0,78	[0,74 ; 0,82]	0,41	0,55	0,75	1,04	1,45	2,05	[1,67 ; 2,47]
Hexa-BDE 154	742	0,9	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183	742	7,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,41	[0,37 ; 0,47]
Deca-BDE 209	742	77,9	1,20	[1,12 ; 1,28]	<LOQ	0,79	1,14	1,66	2,64	3,96	[3,06 ; 4,98]
Hexa-BB 153	742	90,0	0,21	[0,19 ; 0,23]	0,07	<LOQ	0,23	0,32	0,51	0,73	[0,60 ; 0,92]
α-HBCD	742	34,4	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,67	1,24	2,31	[1,46 ; 3,19]
β-HBCD	742	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
γ-HBCD	742	0,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Σ 7 PBDE*	742	-	1,47	[1,39 ; 1,56]	0,78	1,01	1,37	1,94	2,85	3,89	[3,38 ; 4,15]
Σ 8 PBDE**	742	-	2,90	[2,76 ; 3,05]	1,65	2,08	2,67	3,68	5,44	7,27	[5,96 ; 9,25]
Σ BDE 47, 99, 100, 153	742	-	1,22	[1,15 ; 1,29]	0,62	0,84	1,14	1,64	2,43	3,33	[2,94 ; 3,66]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209

La moyenne géométrique de la concentration sérique totale en **PBDE indicateurs** (Σ₇PBDE) observée chez les adultes était égale à **1,47 ng/g de lipides**. Le 95^e percentile était égal à 3,89 ng/g de lipides. La concentration moyenne en **BDE 209** dans le sérum était égale à **1,20 ng/g de lipides** et contribuait à plus de 40 % du niveau d'imprégnation total par les PBDE (Σ₈PBDE = 2,90 ng/g de lipides). Les autres principaux contributeurs de l'imprégnation par les PBDE étaient les congénères BDE 153, BDE 47 et BDE 100 qui par rapport à la moyenne de la somme contribuait respectivement à plus de 26, 8 et 2 %. La concentration sérique moyenne en hexa-BB 153 était égale à 0,21 ng/g de lipides et le 95^e percentile à 0,73 ng/g de lipides. La concentration sérique moyenne en HBCD n'a pas pu être calculée, du fait de taux de censure élevé. Le diastéréoisomère α-HBCD était néanmoins le plus quantifié.

3.3 Comparaison avec les études en France et à l'étranger

Les résultats présentés ici dans les tableaux 5 et 6 sont difficilement comparables car il existe peu d'études ayant analysé les retardateurs de flamme bromés avec un effectif important durant la même période que l'étude Esteban à l'étranger ou sur une période antérieure en France.

Par exemple, pour les Etats-Unis, l'étude Nhanes (24) a réalisé 2 points de mesure : le premier, ancien, date de 2003-2004 et le deuxième a été réalisé à partir d'échantillons poolés. Pour le Canada, les résultats des RFB ont été obtenus lors du 1^{er} cycle d'ECMS en 2007-2009 et sont assez anciens (25).

Toutefois, malgré les différences méthodologiques et d'année de réalisation des analyses, il semblerait que les niveaux retrouvés pour les PBDE dans l'étude Esteban soient inférieurs à ceux des études nord-américaines (24, 25) mais similaires aux niveaux retrouvés dans les études européennes (26-28) et dans le volet périnatal du programme national de biosurveillance (29) sauf pour le BDE 209.

Concernant ce congénère en particulier, le BDE 209, il existe peu d'études l'ayant mesuré. La concentration analysée dans Esteban est similaire à l'étude grecque (26) mais supérieure à celle mesurée dans Nhanes (24).

Les comparaisons concernant les PBDE 15, 17, 25, 28 et 33 ne sont pas présentées dans les tableaux car ces congénères sont très peu quantifiés dans les différentes études analysées (24-28).

Ces résultats sont discutés de façon plus détaillée dans la dernière partie.

I TABLEAU 5 I

Comparaison des concentrations sériques moyennes en PBDE (en ng/g de lipides) observées chez les adultes en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année	Population	N	Matrice de dosage	MG (ng/g lip.)	P50 (ng/g lip.)	P95 (ng/g lip.)	LOD LOQ (ng/L)	%>LOD ou LOQ
BDE 47									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	0,24	0,22	1,06	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	98,8>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	0,24	0,21	1,23	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	99>LOQ
Canada, ECMS (cycle 1) (25)	2007-2009	20-79 ans	1666	Plasma	10,04	9,71	66,60	LOD = 30	74>LOD
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1401	Sérum	19,5	19,2	163	LOD = 4,2	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [8,0 ; 45,8]	-	-	LOD = 1,0	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	8,7>LOD
Allemagne, INES (30)	2005	14-60 ans	50	Sérum	-	1,81	5,25		
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	0,82	P75 = 1,9	LOD = 0,2	68,2>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,16	-	LOQ = 0,4	43>LOD
BDE 66									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	NC	<LOQ	<LOQ	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	0,5>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOD	<LOD	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	1>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1393	Sérum	NC	<LOD	1,30	LOD = 1,0	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	NC	-	-	LOD = 0,73	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	0>LOD
BDE 85									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	NC	<LOQ	<LOQ	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	0,9>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOD	<LOD	LOD = 0,3 LOQ = 0,9	1>LOQ

Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1390	Sérum	NC	<LOD	4,10	LOD = 2,4	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 1,21]	-	-	LOD = 0,26	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	0>LOD
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	<0,13	P75<0,13	LOD = 0,2	2,6 >LOD
BDE 99									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	0,05	<LOQ	0,22	LOD = 0,07 LOQ = 0,21	64,3>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOQ	0,32	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	48>LOQ
Canada, ECMS (cycle 1) (25)	2007-2009	20-79 ans	1663	Plasma	<LOD	<LOD	12,63	LOD = 20	26>LOD
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1383	Sérum	NC	<LOD	41,6	LOD = 5	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [1,37 ; 12,6]	-	-	LOD = 0,44	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	6>LOD
Allemagne, INES (30)	2005	14-60 ans	50	Sérum	-	0,75	-	-	-
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	<0,16	P75 = 0,93	LOD = 0,2	
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,09	-	LOQ = 0,3	26>LOD
BDE 100									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	0,07	0,07	0,26	LOD = 0,07 LOQ = 0,21	82,9>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	0,08	0,07	0,33	LOD = 0,2 LOQ = 0,5	72>LOQ
Canada, ECMS (cycle 1) (25)	2007-2009	20-79 ans	1662	Plasma	NC	<LOD	15,09	LOD = 20	25>LOD
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1418	Sérum	3,77	3,60	36,6	LOD = 1,4	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [1,54 ; 9,59]	-	-	LOD = 0,26	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	0,7>LOD
Allemagne, INES (30)	2005	14-60 ans	50	Sérum	-	0,58	-	-	-
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	0,76	P75 = 1,1	LOD = 0,2	92,2>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,11	-	LOQ = 0,2	49>LOD

BDE 153									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	0,78	0,75	2,05	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	100
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	0,49	0,46	1,13	LOD = 0,4 LOQ = 1,1	99>LOQ
Canada, ECMS (cycle 1) (25)	2007-2009	20-79 ans	1657	Plasma	NC	<LOD	35,18	LOD = 20	41>LOD
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1418	Sérum	5,41	4,80	73,3	LOD = 2,2	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [4,02 ; 20,0]	-	-	LOD = 0,26	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	7,33>LOD
Allemagne, INES (30)	2005	14-60 ans	50	Sérum	-	2,37	-	-	-
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	1,7	P75 = 2,4	LOD = 0,2	98,7>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,51	-	LOQ = 0,4	74>LOD
BDE 154									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	NC	<LOQ	<LOQ	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	0,9>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOD	<LOQ	LOD = 0,3 LOQ = 1	1>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1400	Sérum	NC	<LOD	4,20	LOD = 0,8	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 1,12]	-	-	LOD = 0,26	
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	0>LOD
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	0,60	P75 = 0,84	LOD = 0,2	85,7>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,02	-	LOQ = 0,2	13>LOD
BDE 183									
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	NC	<LOQ	0,41	LOD = 0,6 LOQ = 1,8	7,3>LOQ
France, volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOQ	<LOQ	LOD = 0,9 LOQ = 2,6	2>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	1389	Sérum	NC	<LOD	<LOD	LOD = 1,7	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 0,434]	-	-	LOD = 0,26	

République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	NC	LOQ = 5	2,7>LOD
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	0,30	P75 = 0,62	LOD = 0,2	54,5>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	0,03	-	LOQ = 0,3	11>LOD
Deca-BDE 209									
France - Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	1,20	1,14	3,96	LOD = 1,5 LOQ = 4,5	77,9>LOQ
France - Volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	1,46	1,44	3,41	LOD = 2,7 LOQ = 8,2	90>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	NC	-	-	LOD = 1,3	
Angleterre (27)	2003	22-80 ans	154	Sérum	-	< 15	P75<15	LOD = 36	0,1>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	-	1,18	-	LOQ = 9,0	13>LOD
Σ₇PBDE									
France - Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	1,47	1,37	3,89	-	-
France -Volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	1,15	1,04	2,78	-	-
France (31)	2003-2005	Adultes (Besançon)	48	Sérum	-	3,46*			
Σ₈PBDE									
France - Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	2,90	2,67	7,27	-	-
France -Volet périnatal	2011	18-44 ans	277	Sérum	2,78	2,63	5,66	-	-

NC = Non calculé

* Somme des cinq congénères BDE 47, 99, 100, 153 et 154

Concernant la concentration en hexa-BB 153, celle-ci est difficile à comparer avec l'étude canadienne en raison de la limite de détection élevée dans l'étude ECMS (25) pour ce composé. Toutefois, elle semblerait plus basse que celle analysée dans l'étude Nhanes (24). Enfin, concernant les niveaux retrouvés en HBCD, les niveaux sont difficilement comparables entre les études à cause des différences entre les limites de quantification des études ou d'échantillonnage (analyse de pools). Néanmoins, il semblerait que contrairement à l'Australie où l'isomère prépondérant est le gamma, en France, ce soit l'alpha (32).

I TABLEAU 6 I

Comparaison des concentrations sériques moyennes en Hexa-BB 153 et en HBCD (en ng/g de lipides) observées chez les adultes en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année	Population (région)	N	Matrice de dosage	Moyenne (ng/g lip)	P95	LOD LOQ (ng/L)	%>LOD ou LOQ
Hexa-BB 153								
France - Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	0,21	0,73	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	90>LOQ
France - Volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	<LOQ	LOD = 1,75 LOQ = 5,25	1,4>LOQ
Canada - ECMS cycle 1 (25)	2007-2009	20-79 ans	1655	Plasma	NC	<LOD	LOD = 20	0,8>LOD
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	> 20 ans	2032	Sérum	2,29	27,2	LOD = 0,8	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	> 20 ans	251 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 3,59]	-	LOD = 0,18	
ΣHBCD								
France, Esteban	2014-2016	18-74 ans	742	Sérum	NC	NC -2,31 (α)	LOD = 1 LOQ = 3	0-34,4(α) >LOQ
France - volet périnatal (29)	2011	18-44 ans	277	Sérum	NC	NC -1,49 (α)	LOD = 1-2 LOQ = 3-6	0,4- 12,6>LOQ
République Tchèque (28)	2015	18-65 ans	300	Sérum	NC	NC	LOQ = 36	0-0,33>LOD
Australie (32)	2014-2015	16->60	16 pools£	Sérum	Etendue = <0,1 – 7,9	-		0(β)-20(α)-80%(γ)>LOD
Grèce (26)	2007	20-65 ans	61	Sérum	MA = 3,39	-	LOQ = 1	70>LOD

£pools de 100

4. DÉTERMINANTS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES RFB CHEZ LES ADULTES

Après ajustement, l'imprégnation par l'indicateur des PBDE (somme des 4 PBDE les plus quantifiés) augmentait avec le nombre d'heures passées par semaine dans la voiture : en moyenne de plus de 18 % pour 2 à 4 heures jusqu'à plus de 26 % pour 4 heures et plus par rapport à moins de 2 heures passées dans la voiture. Elle augmentait également de plus de 21 % lorsque la fréquence d'aération du logement au printemps et en été était plus faible.

La consommation de viandes et de volailles provenant du jardin (22,5 % en moyenne) et la consommation de fromages (13,4 % en moyenne) augmentaient l'imprégnation au BDE 209. La présence d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) uniquement dans la cuisine ou la salle de bains augmentait également l'imprégnation de 15,6 % en moyenne.

Enfin, aérer moins fréquemment son logement augmentait l'imprégnation par le PBB 153 en moyenne d'environ 22 %.

Les résultats sont détaillés dans les tableaux ci-dessous pour l'ensemble des déterminants des 3 modèles construits.

I TABLEAU 7 I

Déterminants associés aux concentrations sériques en RFB ajustées sur la concentration en lipides (variables qualitatives)

Variable qualitative	Effectif de l'échantillon (% dans la population)	% Augmentation [IC 95 %]		
		Σ BDE 47, 99, 100, 153	Deca BDE 209	PBB 153
Sexe*				
Homme	317 (49,1)	30,3 [17,5 ; 44,5]	8,4 [-6,4 ; 25,6]	48,8 [32,5 ; 67,2]
Femme	425 (50,9)		Référence	
Nombre d'enfants dans le foyer*				
Pas d'enfant	483 (64,7)		Référence	
Au moins un enfant	259 (35,3)	-11,9 [-21,8 ; -0,7]	5,4 [-10,1 ; 23,6]	5,6 [-9,0 ; 22,6]
Statut tabagique*				
Non-fumeur non exposé au tabagisme passif	335 (39,0)		Référence	
Non-fumeur exposé au tabagisme passif	54 (10,4)	12,2 [-8,6 ; 37,6]	-	9,3 [-15,8 ; 41,7]
Ex fumeur	203 (24,6)	-4,4 [-14,5 ; 16,8]	-	2,3 [-9,4 ; 15,4]
Fumeur	150 (26,0)	13,4 [-0,4 ; 29,0]	-	21,0 [5,7 ; 38,6]
Diplôme*				
Aucun, CEP, BEP, BEPC, CAP, Brevet élémentaire, Brevet de compagnon, Baccalauréat (Général, Technologique)	216 (48,7)		Référence	
1 ^{er} cycle	183 (15,1)	3,0 [-10,3 ; 18,3]	-1,8 [-18,9 ; 18,9]	19,2 [2,8 ; 38,2]
2 ^{ème} cycle	196 (16,6)	-0,1 [-15,6 ; 18,1]	-8,2 [-24,2 ; 11,2]	9,5 [-7,8 ; 30,1]
		27,3 [7,9 ; 50,3]	-14,9 [-28,8 ; 1,7]	13,6 [-3,8 ; 34,1]
Nombre d'heures passées dans la voiture par semaine				
Moins de 2H	174 (24,9)		Référence	
2 à 4H	223 (30,6)	18,4 [4,8 ; 33,7]	-	-
4 à 6H	136 (18,8)	26,2 [9,2 ; 45,7]	-	-
>= 6H	181 (25,7)	27,1 [9,7 ; 47,2]	-	-
Contact avec de l'enduit pendant les activités de loisirs ou de bricolage				
Non	654 (88,2)		Référence	
Oui	86 (11,8)	15,3 [-3,9 ; 38,4]	-	-
Fréquence d'aération du logement au printemps et en été				
Tous les jours + de 2 fois	603 (82,7)		Référence	
Tous les jours 1 à 2 fois	101 (13,4)	14,3 [-4,6 ; 37,0]	-	21,9 [1,9 ; 45,8]
Plusieurs fois par semaine à moins d'1 fois par semaine	36 (4,9)	21,8 [2,5 ; 44,8]	-	-1,2 [-16,5 ; 16,9]
Présence d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) dans le logement				
Pas de VMC ou pas en état de fonctionnement	141 (18,3)	-	-0,77 [-16,9 ; 18,5]	-
VMC dans presque toutes les pièces et en état de fonctionnement	190 (25,6)	-	Référence	-
VMC seulement dans la cuisine et/ou la salle de bain et en état de fonctionnement	395 (56,1)	-	15,6 [0,5 ; 33,1]	-
Consommation de viandes et de volailles provenant de son jardin				
Non	569 (84,2)	-	Référence	-
Oui	59 (15,8)	-	22,5 [-0,01 ; 50,2]	-

* variable d'ajustement

I TABLEAU 8 I

Déterminants associés aux concentrations sériques en RFB ajustées sur la concentration en lipides (variables quantitatives)

Variable quantitative	P50 [P25 – P75]	Variation entre le P25 et le P75 % [IC 95 %]		
		Σ BDE 47, 99, 100, 153	Deca BDE 209	PBB 153
Âge* (années)	47,0 [35,0 ; 59,0]	13,2 [-6,8 ; 37,5]	-13,0 [-25,8 ; 2,0]	163,7 [118,3 ; 218,6]
Indice de masse corporel* (kg/m ²)	24,7 [22,2 ; 27,8]	-3,5 [-11,9 ; 5,8]	-9,9 [-19,4 ; 0,7]	-20,3 [-26,8 ; -13,2]
Consommation de poisson (g/jour)	26,0 [21,2 ; 35,0]	4,0 [-3,9 ; 12,6]	4,1 [-6,4 ; 15,7]	6,4 [-1,7 ; 15,2]
Consommation de desserts lactés (entremets...) (g/jour)	8,8 [12,1 ; 27,2]	-	-0,4 [-9,4 ; 9,5]	-
Consommation de lait (mL/jour)	5,0 [22,8 ; 103,4]	-	-8,5 [-19,3 ; 3,85]	-
Consommation de yaourt (fromages blancs...) et crème fraîche (g/jour)	27,1 [60,5 ; 109,7]	-	9,2 [-4,1 ; 24,34]	-
Consommation de fromages (g/jour)	24,4 [37,7 ; 52,6]	-	13,4 [0,1 ; 28,5]	-

* variable d'ajustement

5. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES NON PONDÉRÉES CHEZ LES ENFANTS

5.1 Niveaux de retardateurs de flamme bromés

Les taux de quantification des RFB variaient selon les congénères entre 0 % et 99,6 %. Les distributions des niveaux d'imprégnation des différents congénères de RFB mesurés dans le sérum sont présentées dans le tableau 9 pour l'ensemble de la population. Les distributions par classe d'âge et par sexe sont présentées en annexe 2.

TABLEAU 9 I

Distributions des concentrations sériques des RFB (ng/g de lipides) des enfants âgés de 6 à 17 ans, ajustées sur les lipides, France continentale (2014-2016)

	n	%>LOQ	MG	IC95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC95% P95
Di-BDE 15	243	3,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 17	243	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25	243	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28	243	19,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,10	[0,07 ; 0,12]
Tri-BDE 33	243	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 47	243	99,6	0,34	[0,31 ; 0,38]	0,12	0,18	0,28	0,59	0,98	1,63	[1,12 ; 2,69]
Tetra-BDE 66	243	0,4	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 85	243	1,7	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 99	243	78,2	0,08	[0,07 ; 0,09]	0,03	0,05	0,07	0,13	0,22	0,34	[0,25 ; 0,59]
Penta-BDE 100	243	81,1	0,08	[0,08 ; 0,09]	0,03	0,05	0,08	0,13	0,27	0,35	[0,28 ; 0,47]
Hexa-BDE 153	243	96,7	0,39	[0,35 ; 0,43]	0,17	0,24	0,36	0,57	1,03	1,53	[1,07 ; 2,79]
Hexa-BDE 154	243	0,8	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183	243	1,2	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Deca-BDE 209	243	81,5	1,47	[1,38 ; 1,57]	0,77	1,10	1,48	1,99	2,53	3,58	[2,81 ; 4,06]
Hexa-BB 153	243	2,9	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
α-HBCD	243	13,2	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,76	1,36	[0,81 ; 2,41]
β-HBCD	243	0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
γ-HBCD	243	0,8	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Σ 7 PBDE*	243	-	1,02	[0,93 ; 1,12]	0,45	0,60	0,90	1,52	2,55	3,54	[2,69 ; 5,72]
Σ 8 PBDE**	243	-	2,71	[2,55 ; 2,89]	1,64	2,00	2,53	3,56	4,86	6,07	[5,14 ; 8,45]
Σ BDE 47, 99, 100, 153	243	-	0,99	[0,90 ; 1,08]	0,44	0,58	0,89	1,47	2,51	3,43	[2,57 ; 5,60]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209

La moyenne géométrique de la concentration sérique totale en **PBDE indicateurs** (Σ₇PBDE) observée chez les enfants était égale à **1,02 ng/g de lipides**. Le 95^e percentile était égal à 3,54 ng/g de lipides. La concentration moyenne en **BDE 209** dans le sérum était égale à **1,47 ng/g de lipides** et contribuait à plus de 54 % du niveau d'imprégnation total par les PBDE (Σ₈PBDE = 2,71 ng/g de lipides). Les autres principaux contributeurs de l'imprégnation par les PBDE étaient les congénères BDE 153, BDE 47 et BDE 100 qui par rapport à la moyenne de la somme contribuait respectivement à plus de 14, 12 et 12 %. La concentration sérique

moyenne en hexa-BB 153 et HBCD n'a pas pu être calculée du fait de taux de censure élevé. Le diastéréoisomère α -HBCD était néanmoins le plus quantifié.

5.2 Comparaison avec les études en France et à l'étranger

Comme pour l'échantillon des adultes, les résultats présentés ici pour les enfants sont difficilement comparables car il existe peu d'études ayant analysé les retardateurs de flamme bromés avec un effectif important durant la même période que l'étude Esteban à l'étranger ou sur une période antérieure en France.

Toutefois, malgré les différences méthodologiques et d'année de réalisation des analyses, il semblerait que les niveaux retrouvés pour les PBDE dans l'étude Esteban soient inférieurs à ceux des Etats-Unis (24) sauf pour le BDE 209.

Comme pour les adultes, les PBDE 15, 17, 25, 28 et 33 sont très peu quantifiés dans les différentes études (24, 33, 34) et ne sont pas présentés dans le tableau 10.

Ces résultats sont discutés de façon plus détaillée dans la dernière partie.

I TABLEAU 10 I

Comparaison des concentrations sériques moyennes en PBDE, Hexa-BB 153 et en HBCD (en ng/g de lipides) observées chez les enfants en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année	Population	N	Matrice de dosage	MG (ng/g lip.)	P95 (ng/g lip.)	LOD LOQ (ng/L)	%>LOD ou LOQ
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	0,34	1,63	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	99,6>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	615	Sérum	28,2	174	LOD = 4,2	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [17,9 ; 42,5]	-	LOD = 1,0	
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{aa}	Sérum	2,1	-	LOD = 0,1	100>LOD
Danemark, Deocophes (33)	2011	6-11 ans	116	Sérum	MA = 3,85		LOD = 0,2 à 2,5	
BDE 66								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	0,4>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	606	Sérum	NC	1,30	LOD = 1,0	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	NC	-	LOD = 0,73	
BDE 85								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC	LOD = 0,1 LOQ = 0,3	1,7>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	610	Sérum	NC	4,00	LOD = 2,4	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [0,415 ; 0,960]	-	LOD = 0,26	
BDE 99								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	0,08	0,34	LOD = 0,07 LOQ = 0,21	78,2>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	602	Sérum	6,88	45,2	LOD = 5	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [3,82 ; 8,98]	-	LOD = 0,44	

Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{aaa}	Sérum	0,66		LOD = 0,1	
Danemark, Democophes (33)	2011	6-11 ans	116	Sérum	MA = 2,29		LOD = 0,2 à 2,5	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	622	Sérum	5,17	34,3	LOD = 1,4	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [3,71 ; 9,67]	-	LOD = 0,26	
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{aaa}	Sérum	0,11		LOD = 0,1	30>LOD
Danemark, Democophes (33)	2011	6-11 ans	116	Sérum	MA = 0,85	1,53	LOD = 0,2 à 2,5	
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	0,39	1,53	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	96,7>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	621	Sérum	8,05	52,9	LOD = 2,2	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [6,77 ; 16,5]	-	LOD = 0,26	
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{aaa}	Sérum	0,36		LOD = 0,12 LOQ = 0,6	75>LOD
Danemark, Democophes (33)	2011	6-11 ans	116	Sérum	MA = 1,39		LOD = 0,2 à 2,5	
BDE 154								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	0,8>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	614	Sérum	NC	4,00	LOD = 0,8	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 0,760]	-	LOD = 0,26	
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{aaa}	Sérum	0,08		LOD = 0,12	7,5>LOD
BDE 183								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC	LOD = 0,6 LOQ = 1,8	1,2>LOQ

Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	604	Sérum	NC	NC	LOD = 1,7	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	Etendue MA = [NC ; 0,321]	-	LOD = 0,26	
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{⌘⌘}	Sérum	0,10		LOD = 1,5 LOQ = 4,5	28>LOD
Deca-BDE 209								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	1,47	3,58	LOD = 1,5 LOQ = 4,5	81,5>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	NC	-	LOD = 1,3	
Σ₇PBDE								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	1,02	3,54	-	-
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{⌘⌘}	Sérum	4,5			
Σ₈PBDE								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	2,71	6,07		
PBB 153								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC	LOD = 0,2 LOQ = 0,6	2,8>LOQ
Etats-Unis, Nhanes (24)	2003-2004	12-19 ans	616	Sérum	NC	4,10	LOD = 0,8	
Etats-Unis, Nhanes (24)	2013-2014	12-19 ans	66 pools	Sérum	MA = [NC ; 3,59]	-	LOD = 0,18	
HBCD								
France, Esteban	2014-2016	6-17 ans	243	Sérum	NC	NC-1,36 en fonction des isomères	LOD = 1 LOQ = 3	Entre 0 et 13>LOQ
Australie (34)	2014-2015	0-4 ans	40 pools ^{⌘⌘}	Sérum	<0,1-0,30	-	LOD = 0,1	Entre 0 et 85>LOQ
Australie (32)	2014-2015	5-15 ans	4 pools [£]	Sérum	Etendue : <0,1-8	-	-	0 (α, β)-100 (γ)>LOD

^{⌘⌘} pools de 20 ; [£] pools de 100

6. DISCUSSION / CONCLUSION

Esteban est la première étude française qui décrit les concentrations en RFB chez les adultes et enfants vivant en France continentale. Les taux de quantification des RFB mesurés étaient variables selon les congénères. La majorité était peu ou pas quantifiée. Concernant les congénères des PBDE les plus quantifiés : en France comme en Europe (26, 27, 30), ce sont par ordre d'importance : le BDE 153 en raison de sa demi-vie longue puis le BDE 47, le BDE 100 ou le BDE 99. Dans les pays nord-américains, le PBDE le plus contributeur à la somme des PBDE est le BDE 47 (24, 25, 35, 36).

Concernant la recherche de déterminants, celle-ci n'a pu être effectuée que chez les adultes en raison du faible effectif de l'échantillon des enfants. Le choix a été fait de construire un modèle pour les PBDE à partir des 4 congénères les plus quantifiés. Finalement, comme retrouvé dans la littérature (13, 14), le temps passé en voiture a été retrouvé comme un déterminant des niveaux d'imprégnation par les PBDE, en lien, vraisemblablement, avec la composition des matériaux et nombreux équipements d'une voiture. L'aération a également été retrouvée comme un déterminant influençant les concentrations en RFB que ce soit la fréquence d'aération ou la présence d'une VMC, ce qui est cohérent avec le fait que l'air intérieur est souvent contaminé par les RFB dus à leur présence dans de nombreux objets ou produits dans lesquels ils sont utilisés. Enfin, comme dans l'étude allemande (30) où aucun déterminant alimentaire n'avait été retrouvé, peu de déterminants alimentaires semblent avoir une influence sur les concentrations en RFB dans l'étude Esteban : seule la consommation de fromages a été retrouvée comme influençant les niveaux de déca-BDE 209 mais la consommation d'entremets ou crèmes dessert n'a pas été retrouvée. Ni la consommation de poisson ou produits de la mer ou viandes et charcuteries n'influence les concentrations en PBDE ou PBB 153 alors même que l'alimentation semble être la principale voie d'exposition en population générale aux RFB (1-3, 5, 37-40). Les associations mises en évidence dans l'étude Esteban doivent toutefois être interprétées avec précaution car les études transversales ne permettent pas à elles-seules de déterminer la causalité entre les sources d'exposition potentielles étudiées et les niveaux d'imprégnation mesurés.

La comparaison des résultats des RFB mesurés dans l'étude Esteban s'est révélée difficile en raison du nombre faible d'études disponibles ayant analysé les RFB dans des effectifs conséquents sur une période de temps récente. Certaines études ont été écartées de l'analyse bibliographique car la taille des échantillons analysés étaient trop faibles et la méthode analytique utilisée pas assez détaillée comme l'étude en Roumanie qui analyse les RFB sur des pools d'échantillons sans expliquer comment ceux-ci sont constitués (41). De même, certaines études en Chine (42) sont réalisées sur de petits échantillons. Toutefois, les niveaux retrouvés en Asie semblent semblables à ceux mesurés en Europe et plus faibles que les niveaux nord-américains (5).

Certaines études n'ont également pas été présentées ici car les données recueillies étaient trop anciennes sur des populations spécifiques avec de petits effectifs comme les études norvégiennes (43, 44) ou une étude japonaise (45).

En effet, d'après plusieurs études (44-48), les niveaux de PBDE augmentent avec les années d'étude au contraire du PBB 153 dont les concentrations diminuent. Une explication serait liée à la demi-vie longue et l'utilisation des PBDE qui a augmenté dans les années 2000 jusqu'à ce qu'ils soient réglementés contrairement au PBB 153, qui a une demi-vie beaucoup plus courte et dont la fabrication a été interdite beaucoup plus tôt que les PBDE. La réglementation diffère selon les pays étudiés même si dans tous les pays, suite aux PBB ont été réglementés les penta- et octa-BDE avant le déca-BDE.

En Europe : les PBB ne sont plus produits depuis 2000. Tous les nouveaux équipements électriques et électroniques ne peuvent plus contenir des PBB et des PBDE (penta-BDE et octa-BDE) quelle que soit leur concentration depuis 2006 et enfin, en 2008, un troisième mélange de PBDE, nommé déca-BDE, initialement exempté de limitations, a également été interdit.

Aux Etats-Unis : le déca-BDE est interdit depuis 2013 pour tous les produits et pour l'importation. Les mélanges de penta et octa-BDE ont été réglementés à la fin des années 2004. Les PBB ne sont plus fabriqués depuis les années 70 mais demeurent présents du fait de leur persistance.

Au Canada : les PBDE ne sont pas fabriqués mais sont importés sous forme de préparations chimiques. La loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) a interdit la fabrication des tétra-, penta-, hexa-, hepta-, octa-, nona- et déca-BDE ainsi que l'utilisation, la vente et l'importation de matières premières qui contiennent tétra-, penta- et hexa-BDE. D'autres mesures sont prévues pour les autres produits.

En Australie : les penta- et octa-BDE n'ont jamais été produits mais la législation en vigueur ne s'applique pas aux PBDE incorporés dans les produits d'autres pays et importés en Australie.

Enfin, certaines études se sont intéressées à la population des femmes enceintes ou ayant accouché ainsi que leurs enfants, le dosage des RFB est alors souvent réalisé dans la matrice « lait maternel » (49-52) ou à d'autres populations particulièrement exposées (36) comme les pêcheurs (53) ou les utilisateurs d'ordinateurs (26).

En conclusion, il semblerait que les concentrations en RFB dans la population française soient similaires à celles retrouvées dans les autres pays européens mais soient moins élevées que celles mesurées dans les pays nord-américains sauf pour le BDE 209. Toutefois, ces comparaisons doivent être interprétées avec prudence en raison des différences méthodologiques entre les études analysées et leur temporalité.

Bibliographie

1. European Food Safety Authority, Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on polybrominated diphenyl ether (PBDE) in food. *EFSA Journal* 2011;9(5):2156-[274 pp.].
2. European Food Safety Authority, Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on hexabromocyclododecanes (HBCDD) in food. *EFSA Journal* 2011;9(7):2296-[118 pp.].
3. European Food Safety Authority, Panel on Contaminants in the Food Chain. Scientific opinion on polybrominated biphenyls (PBB) in food. *EFSA Journal* 2010;8(10):1789-[151 pp.].
6. Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). *Reproduction et environnement - Exerptise collective. Chapitre VII : Retardateurs de flamme polybromés.* 2011. 531 p.
7. Anses. *Avis de l'Anses - Rapport d'expertise : Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) - Tome 1 Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes.* Maisons-Alfort: 2011.
8. Anses. *Avis de l'Anses - Rapport d'expertise : Étude de l'alimentation totale infantile (EAT i) - Tome 2. PArtie 3. Contaminants organiques.* Maisons-Alfort: 2016.
9. Raffy G MF, Chauvin D, Glorennec P, Blanchard O, Bonvallot N, et al. *Mesure de la contamination de l'air et des poussières au sol dans les écoles par les composés organiques semi-volatils -Phase pilote de la campagne nationale dans les écoles.* 2011:49p.
10. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie; Ministère de l'Economie, du Redressement productif et du Numérique; Ministère des Affaires sociales et de la Santé; Ministère de l'Emploi et du Dialogue social; Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. *Rapport au Parlement relatif aux perturbateurs endocriniens.* 2014. 111 p. [consulté le 12/01/2015].
11. Bjorklund JA, Thuresson K, Palm CA, Sellstrom U, Emenius G, de Wit CA. *Indoor air is a significant source of tri-decabrominated diphenyl ethers to outdoor air via ventilation systems.* *Environ Sci Technol.* 2012;46(11):5876-84.
12. Muenhor D, Harrad S. *Within-room and within-building temporal and spatial variations in concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in indoor dust.* *Environment international.* 2012;47:23-7.
13. Stuart H, Ibarra C, Abdallah MA, Boon R, Neels H, Covaci A. *Concentrations of brominated flame retardants in dust from United Kingdom cars, homes, and offices: causes of variability and implications for human exposure.* *Environment international.* 2008;34(8):1170-5.
14. Allen JG, Stapleton HM, Vallarino J, McNeely E, McClean MD, Harrad SJ, et al. *Exposure to flame retardant chemicals on commercial airplanes.* *Environ Health.* 2013;12:17.
15. Guo J, Lin K, Deng J, Fu X, Xu Z. *Polybrominated diphenyl ethers in indoor air during waste TV recycling process.* *J Hazard Mater.* 2015;283:439-46.
16. Morck A, Hakk H, Orn U, Klasson WE. *Decabromodiphenyl ether in the rat: absorption, distribution, metabolism, and excretion.* *Drug Metab Dispos.* 2003;31(7):900-7.
17. J.Geyer H, Schramm K-W, Darnerud PO, Aune a, Feicht rA, W.Fried r, et al. *Terminal elimination half-lives of the brominated flame retardants TBBPA, HBCD, and lower brominated PBDEs in humans.* *Organohalogen compounds.* 2004;66:3820-5.

18. Agency USEP. Toxicological review of decabromodiphenyl ether (BDE-209). Washington DC: 2008 6/2008. Report No.
19. Balicco A OA, Szego E, Boschat L, Deschamps V, Saoudi A, Zeghnoun A, Fillol C. Protocole Esteban : une Étude transversale de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (2014—2016). *Toxicologie Analytique et Clinique*. 2017;29:517-37.
20. Akins JR, Waldrep K, Bernert JT, Jr. The estimation of total serum lipids by a completely enzymatic 'summation' method. *Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry*. 1989;184(3):219-26.
21. Little RJA, Rubin DB. *Statistical Analysis with Missing Data*. Wiley Series in Probability and Statistics. Second Edition. New York 2002 2002.
22. StataCorp. *Stata Statistical Software : Release 14*. College Station, TX: StataCorp LP. 2015.
23. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna Australia : 2017. Disponible: <https://www.R-project.org/>.
24. prevention. USDoHaHSCfda. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables, January 2019, Volume Two. 2019.
25. Canada S. *Rapport sur la biosurveillance humaine des substances chimiques de l'environnement au Canada. Résultats de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé Cycle 1 (2007 à 2009)*. 2010.
26. Kalantzi OI, Geens T, Covaci A, Siskos PA. Distribution of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and other persistent organic pollutants in human serum from Greece. *Environment international*. 2011;37(2):349-53.
27. Thomas GO, Wilkinson M, Hodson S, Jones KC. Organohalogen chemicals in human blood from the United Kingdom. *Environ Pollut*. 2006;141(1):30-41.
28. Sochorova L, Hanzlikova L, Cerna M, Drgacova A, Fialova A, Svarcova A, et al. Perfluorinated alkylated substances and brominated flame retardants in serum of the Czech adult population. *International journal of hygiene and environmental health*. 2017;220(2 Pt A):235-43.
29. Dereumeaux C, Saoudi A, Pecheux M, Berat B, de Crouy-Chanel P, Zaros C, et al. Biomarkers of exposure to environmental contaminants in French pregnant women from the Elfe cohort in 2011. *Environment international*. 2016;97:56-67.
30. Fromme H, Korner W, Shahin N, Wanner A, Albrecht M, Boehmer S, et al. Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany. *Environment international*. 2009;35(8):1125-35.
31. Brasseur C, Pirard C, Scholl G, De PE, Viel JF, Shen L, et al. Levels of dechloranes and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in human serum from France. *Environment international*. 2014;65:33-40.
32. Drage DS, Mueller JF, Hobson P, Harden FA, Toms LL. Demographic and temporal trends of hexabromocyclododecanes (HBCDD) in an Australian population. *Environ Res*. 2017;152:192-8.
33. Knudsen LE, Hansen PW, Mizrak S, Hansen HK, Morck TA, Nielsen F, et al. Biomonitoring of Danish school children and mothers including biomarkers of PBDE and glyphosate. *Rev Environ Health*. 2017;32(3):279-90.
34. Drage DS, Harden FA, Jeffery T, Mueller JF, Hobson P, Toms LL. Human biomonitoring in Australian children: Brominated flame retardants decrease from 2006 to 2015. *Environment international*. 2019;122:363-8.

35. Fromme H, Becher G, Hilger B, Volkel W. Brominated flame retardants - Exposure and risk assessment for the general population. *International journal of hygiene and environmental health*. 2016;219(1):1-23.
36. Sjodin A, Patterson DG, Jr., Bergman A. A review on human exposure to brominated flame retardants--particularly polybrominated diphenyl ethers. *Environment international*. 2003;29(6):829-39.
37. Riviere G, Sirot V, Tard A, Jean J, Marchand P, Veyrand B, et al. Food risk assessment for perfluoroalkyl acids and brominated flame retardants in the French population: results from the second French total diet study. *The Science of the total environment*. 2014;491-492:176-83.
38. Johnson-Restrepo B, Kannan K. An assessment of sources and pathways of human exposure to polybrominated diphenyl ethers in the United States. *Chemosphere*. 2009;76(4):542-8.
39. Domingo JL. Polybrominated diphenyl ethers in food and human dietary exposure: a review of the recent scientific literature. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*. 2012;50(2):238-49.
40. Cruz R, Cunha SC, Casal S. Brominated flame retardants and seafood safety: a review. *Environment international*. 2015;77:116-31.
41. Dirtu AC, Cernat R, Dragan D, Mocanu R, Van Grieken R, Neels H, et al. Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender. *Environment international*. 2006;32(6):797-803.
42. Zhu L, Ma B, Hites RA. Brominated flame retardants in serum from the general population in northern China. *Environ Sci Technol*. 2009;43(18):6963-8.
43. Thomsen C, Lundanes E, Becher G. Brominated flame retardants in plasma samples from three different occupational groups in Norway. *Journal of environmental monitoring : JEM*. 2001;3(4):366-70.
44. Thomsen C, Lundanes E, Becher G. Brominated flame retardants in archived serum samples from Norway: a study on temporal trends and the role of age. *Environ Sci Technol*. 2002;36(7):1414-8.
45. Koizumi A, Yoshinaga T, Harada K, Inoue K, Morikawa A, Muroi J, et al. Assessment of human exposure to polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Japan using archived samples from the early 1980s and mid-1990s. *Environ Res*. 2005;99(1):31-9.
46. Sjodin A, Jones RS, Focant JF, Lapeza C, Wang RY, McGahee EE, 3rd, et al. Retrospective time-trend study of polybrominated diphenyl ether and polybrominated and polychlorinated biphenyl levels in human serum from the United States. *Environmental health perspectives*. 2004;112(6):654-8.
47. Sjodin A, Jones RS, Caudill SP, Wong LY, Turner WE, Calafat AM. Polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, and persistent pesticides in serum from the national health and nutrition examination survey: 2003-2008. *Environ Sci Technol*. 2014;48(1):753-60.
48. Schecter A, Papke O, Tung KC, Joseph J, Harris TR, Dahlgren J. Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the U.S. population: current levels, temporal trends, and comparison with dioxins, dibenzofurans, and polychlorinated biphenyls. *J Occup Environ Med*. 2005;47(3):199-211.
49. Antignac JP, Cariou R, Zalko D, Berrebi A, Cravedi JP, Maume D, et al. Exposure assessment of French women and their newborn to brominated flame retardants: determination of tri- to deca- polybromodiphenylethers (PBDE) in maternal

- adipose tissue, serum, breast milk and cord serum. *Environ Pollut.* 2009;157(1):164-73.
50. Dunn RL, Huwe JK, Carey GB. Biomonitoring polybrominated diphenyl ethers in human milk as a function of environment, dietary intake, and demographics in New Hampshire. *Chemosphere.* 2010;80(10):1175-82.
51. Sudaryanto A, Kajiwara N, Tsydenova OV, Isobe T, Yu H, Takahashi S, et al. Levels and congener specific profiles of PBDEs in human breast milk from China: implication on exposure sources and pathways. *Chemosphere.* 2008;73(10):1661-8.
52. Thomsen C, Stigum H, Froshaug M, Broadwell SL, Becher G, Eggesbo M. Determinants of brominated flame retardants in breast milk from a large scale Norwegian study. *Environment international.* 2010;36(1):68-74.
53. Fitzgerald EF, Fletcher BA, Belanger E, Tao L, Kannan K, Hwang SA. Fish consumption and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the serum of older residents of upper Hudson River communities. *Arch Environ Occup Health.* 2010;65(4):183-90.

Annexe 1 / Liste des variables testées dans les modèles chez les adultes

Variables
Facteurs d'ajustements
Indice de masse corporelle (enfants/adultes)
Age (enfants/adultes)
Sexe (enfants/adultes)
Ressenti sur l'état financier du foyer (enfants)
Vie en couple du référent (enfant)
Nombre d'enfants dans le foyer (adultes)
Statut tabagique (adultes)
Diplôme (adultes)
Créatinine (enfants/adultes)
Déterminants
Consommation de viande
Consommation de charcuterie
Consommation d'œufs
Consommation de poissons (y compris en conserve) et produits de la mer
Consommation de mollusques et coquillages
Consommation de crustacés
Consommation de lait
Consommation de fromages
Consommation de yaourts (fromages blancs, petits suisses, nature, aux fruits, aromatisés, à boire) et de crème fraîche
Consommation des desserts lactés (entremets ...)
Consommation de glaces
Consommation d'huile, de beurre, de margarine
Consommation de produits issus de l'agriculture biologique (œufs, viande, volaille et lait)
Autoconsommation (œufs, viande, volaille et lait)
Consommation d'alcool
Consommation d'eau embouteillée (bouteilles en plastique)
Revêtement du séjour et de la chambre
Habitudes de nettoyage des sols (humide ou sec)
Fréquence d'aération du logement au printemps-été
Présence d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC)
Activités de loisir ou de bricolage exposant aux RFB (réparation automobiles, assemblage ou réparation de composants électroniques...)
Fréquence de contact avec des matériaux contenant des polybromés (enduit...)
Travaux de rénovation
Temps passé devant un écran
Temps passé en voiture
Résidence à côté d'une déchetterie ou d'un incinérateur
Domaines d'activités actuel ou passé exposants (fabrication semi-conducteurs ; fabrication de produits plastiques, production ou utilisation de fils, baguettes et électrodes de soudure, revêtements et traitement thermique des métaux)

Annexe 2 / Distribution des concentrations sériques en RFB par classe d'âge et par sexe

I TABLEAU A1 I

Distributions des concentrations sériques en RFB (ng/L) des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016) par classe d'âge et par sexe

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Di-BDE 15										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,25	0,45	[0,33 ; 0,56]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,20	0,34	[0,15 ; 0,64]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,16	0,27	[0,15 ; 0,50]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,22	0,33	[0,25 ; 0,50]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,46	0,71	[0,44 ; 0,93]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,25	0,44	[0,29 ; 0,61]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,25	0,45	[0,29 ; 0,58]
Tri-BDE 17										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31	0,55	[0,41 ; 0,80]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,37	0,65	[0,26 ; 1,20]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,23	0,34	[0,25 ; 0,49]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31	0,51	[0,31 ; 0,80]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,42	0,67	[0,47 ; 0,92]

Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,34	0,57	[0,40 ; 0,90]	
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,29	0,53	[0,31 ; 0,81]	
Tri-BDE 33											
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Tétra-BDE 47											
Total	742	1,37	[1,27 ; 1,49]	0,57	0,76	1,23	2,14	3,94	5,89	[4,78 ; 7,07]	
Age (ans)											
18-29	45	1,54	[1,20 ; 1,98]	0,57	0,81	1,51	2,32	4,16	5,53	[3,25 ; 8,17]	
30-44	187	1,24	[1,07 ; 1,45]	0,48	0,69	1,14	2,05	3,78	5,14	[4,06 ; 7,05]	
45-59	284	1,29	[1,15 ; 1,46]	0,58	0,73	1,15	2,03	3,09	5,18	[3,36 ; 7,26]	
60-74	226	1,55	[1,36 ; 1,77]	0,67	0,90	1,41	2,22	4,34	6,96	[4,76 ; 9,98]	
Sexe											
Homme	317	1,46	[1,29 ; 1,64]	0,57	0,79	1,32	2,34	4,38	6,52	[5,03 ; 8,13]	
Femme	425	1,29	[1,17 ; 1,43]	0,57	0,74	1,18	2,00	3,29	4,92	[3,97 ; 6,73]	
Tétra-BDE 66											
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Penta-BDE 85											
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Penta-BDE 99											
Total	742	0,30	[0,28 ; 0,32]	<LOQ	<LOQ	0,28	0,48	0,85	1,26	[1,08 ; 1,40]	

Age (ans)										
18-29	45	0,34	[0,27 ; 0,43]	<LOQ	<LOQ	0,33	0,55	0,86	1,12	[0,70 ; 1,48]
30-44	187	0,28	[0,25 ; 0,33]	<LOQ	<LOQ	0,27	0,46	0,75	1,08	[0,74 ; 1,47]
45-59	284	0,27	[0,24 ; 0,32]	<LOQ	<LOQ	0,24	0,42	0,80	1,23	[0,93 ; 1,60]
60-74	226	0,32	[0,28 ; 0,38]	<LOQ	<LOQ	0,30	0,49	0,96	1,31	[1,02 ; 1,78]
Sexe										
Homme	317	0,32	[0,28 ; 0,37]	<LOQ	<LOQ	0,30	0,53	0,98	1,35	[1,08 ; 1,63]
Femme	425	0,28	[0,25 ; 0,31]	<LOQ	<LOQ	0,26	0,43	0,71	1,13	[0,81 ; 1,36]
Penta-BDE 100										
Total	742	0,40	[0,37 ; 0,44]	<LOQ	0,25	0,38	0,67	1,05	1,54	[1,27 ; 1,75]
Age (ans)										
18-29	45	0,42	[0,33 ; 0,53]	<LOQ	0,25	0,40	0,66	0,94	1,30	[0,76 ; 1,98]
30-44	187	0,37	[0,32 ; 0,43]	<LOQ	0,21	0,36	0,68	0,99	1,35	[1,01 ; 1,83]
45-59	284	0,39	[0,34 ; 0,44]	<LOQ	0,24	0,36	0,62	1,00	1,48	[1,04 ; 1,75]
60-74	226	0,46	[0,41 ; 0,53]	<LOQ	0,30	0,42	0,69	1,24	1,65	[1,35 ; 2,18]
Sexe										
Homme	317	0,42	[0,38 ; 0,47]	<LOQ	0,26	0,41	0,70	1,13	1,53	[1,24 ; 2,03]
Femme	425	0,38	[0,34 ; 0,43]	<LOQ	0,23	0,36	0,64	0,98	1,50	[1,06 ; 1,75]
Hexa-BDE 153										
Total	742	4,47	[4,26 ; 4,70]	2,30	3,10	4,39	6,02	8,56	11,51	[10,28 ; 16,27]
Age (ans)										
18-29	45	3,65	[3,02 ; 4,39]	1,43	2,13	3,36	6,02	8,35	9,82	[7,37 ; 13,48]
30-44	187	4,33	[4,00 ; 4,64]	2,42	3,09	4,17	5,69	7,38	10,19	[7,50 ; 15,39]
45-59	284	4,91	[4,47 ; 5,40]	2,43	3,56	4,56	6,25	10,27	15,30	[10,73 ; 26,08]
60-74	226	4,72	[4,43 ; 5,04]	2,74	3,35	4,67	6,28	7,90	9,69	[8,28 ; 12,50]
Sexe										
Homme	317	5,49	[5,13 ; 5,85]	3,09	3,88	5,38	6,85	9,89	14,93	[10,86 ; 17,12]
Femme	425	3,67	[3,42 ; 3,94]	1,82	2,62	3,68	4,83	6,82	9,35	[7,24 ; 10,93]
Hexa-BDE 154										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,45	[1,92 ; 2,99]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,84	[<LOQ ; 2,94]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,02	[<LOQ ; 2,78]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,85	[1,97 ; 3,57]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,39	[<LOQ ; 2,85]

Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,81	2,71	[1,81 ; 3,53]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,05	<LOQ ; 2,51]
Déca-BDE 209										
Total	742	6,86	[6,43 ; 7,34]	<LOQ	4,77	6,55	9,38	14,32	22,49	[17,15 ; 28,92]
Age (ans)										
18-29	45	7,45	[5,81 ; 9,56]	<LOQ	<LOQ	6,87	10,45	18,63	32,70	[13,89 ; 56,17]
30-44	187	6,71	[5,90 ; 7,64]	<LOQ	4,81	6,03	8,89	14,00	20,70	[13,92 ; 44,95]
45-59	284	7,09	[6,42 ; 7,83]	<LOQ	4,99	6,87	9,85	15,49	22,47	[16,45 ; 28,78]
60-74	226	6,40	[5,75 ; 7,13]	<LOQ	<LOQ	6,44	8,78	12,24	16,55	[12,64 ; 25,62]
Sexe										
Homme	317	7,18	[6,46 ; 7,98]	<LOQ	4,97	6,91	9,78	15,66	23,05	[17,00 ; 29,84]
Femme	425	6,57	[6,01 ; 7,18]	<LOQ	4,53	6,23	9,03	13,29	21,57	[14,11 ; 31,25]
Hexa-BB 153										
Total	742	1,21	[1,10 ; 1,32]	<LOQ	0,75	1,31	1,94	3,09	4,28	[3,66 ; 5,01]
Age (ans)										
18-29	45	0,39	[0,32 ; 0,48]	<LOQ	0,25	0,40	0,53	0,76	1,26	[0,62 ; 2,20]
30-44	187	0,98	[0,89 ; 1,08]	<LOQ	0,72	0,99	1,33	1,89	2,49	[2,02 ; 2,72]
45-59	284	1,68	[1,50 ; 1,89]	0,91	1,22	1,64	2,25	3,54	4,30	[3,54 ; 5,38]
60-74	226	2,19	[1,96 ; 2,45]	1,22	1,45	1,91	2,85	4,67	6,82	[4,79 ; 12,45]
Sexe										
Homme	317	1,48	[1,28 ; 1,71]	<LOQ	0,93	1,47	2,38	3,86	5,34	[4,24 ; 6,58]
Femme	425	1,00	[0,88 ; 1,12]	<LOQ	0,59	1,20	1,68	2,28	3,10	[2,60 ; 3,70]
α-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,82	7,39	14,26	[9,58 ; 18,38]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,36	7,94	[3,19 ; 21,69]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,68	6,01	[4,85 ; 7,61]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,85	12,62	20,23	[12,52 ; 41,44]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,99	9,20	21,81	[9,37 ; 78,59]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,11	8,01	15,72	[9,13 ; 27,07]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	6,87	12,95	[7,40 ; 20,97]
β-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
γ-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Σ 7 PBDE*										
Total	742	8,41	[7,94 ; 8,90]	4,30	5,82	8,00	11,51	16,20	22,39	[19,46 ; 27,00]
Age (ans)										
18-29	45	7,44	[6,11 ; 9,05]	3,26	4,31	7,41	11,14	15,56	18,74	[13,48 ; 25,62]
30-44	187	8,05	[7,35 ; 8,82]	4,36	5,62	7,80	10,69	14,85	20,13	[15,08 ; 25,90]
45-59	284	8,89	[8,03 ; 9,85]	4,66	6,05	8,03	11,76	17,29	26,27	[18,63 ; 33,73]
60-74	226	8,95	[8,21 ; 9,75]	5,10	6,17	8,58	11,82	16,32	22,12	[18,19 ; 23,91]
Sexe										
Homme	317	9,63	[8,96 ; 10,36]	5,17	6,61	9,18	12,70	18,38	25,46	[19,94 ; 31,28]
Femme	425	7,37	[6,78 ; 8,01]	3,76	5,10	7,04	9,72	13,95	19,14	[14,25 ; 23,01]
Σ 8 PBDE**										
Total	742	16,62	[15,84 ; 17,44]	9,51	12,14	15,53	20,80	31,30	41,34	[35,07 ; 50,85]
Age (ans)										
18-29	45	16,74	[13,94 ; 20,09]	7,85	11,33	15,79	20,59	34,85	46,63	[30,34 ; 65,17]
30-44	187	16,06	[14,75 ; 17,48]	9,61	11,86	14,68	20,64	29,79	37,64	[30,24 ; 61,25]
45-59	284	17,16	[15,68 ; 18,76]	9,37	12,11	16,31	21,82	32,13	44,81	[33,95 ; 59,51]
60-74	226	16,58	[15,43 ; 17,80]	10,37	12,75	15,48	20,21	29,27	35,12	[31,40 ; 39,43]
Sexe										
Homme	317	18,21	[17,00 ; 19,50]	10,38	13,26	16,53	23,71	33,16	43,69	[35,52 ; 56,53]
Femme	425	15,22	[14,23 ; 16,29]	8,24	11,22	14,56	19,02	28,50	38,81	[31,14 ; 56,10]
Σ BDE 47, 99, 100, 153										
Total	742	6,96	[6,58 ; 7,37]	3,44	4,82	6,64	9,64	13,59	19,38	[16,88 ; 23,20]
Age (ans)										
18-29	45	6,21	[5,07 ; 7,60]	2,59	3,49	6,32	9,57	12,82	15,92	[11,49 ; 23,24]
30-44	187	6,66	[6,05 ; 7,34]	3,48	4,53	6,31	9,07	12,68	17,58	[12,90 ; 23,75]
45-59	284	7,30	[6,61 ; 8,07]	3,58	5,12	6,69	9,74	14,97	22,04	[16,18 ; 28,01]
60-74	226	7,47	[6,85 ; 8,15]	4,15	5,16	7,20	10,08	13,64	18,49	[14,54 ; 20,47]
Sexe										
Homme	317	8,14	[7,58 ; 8,75]	4,25	5,69	7,78	10,66	15,91	22,13	[17,70 ; 27,74]
Femme	425	5,99	[5,51 ; 6,51]	3,01	4,08	5,72	7,99	11,94	15,72	[12,38 ; 19,49]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209

I TABLEAU A2 I

Distributions des concentrations sériques en RFB (ng/g de lipides) des adultes âgés de 18 à 74 ans, ajustées sur les lipides, France continentale (2014-2016) par classe d'âge et par sexe

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Di-BDE 15										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	0,08	[0,05 ; 0,10]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	0,07	[0,03 ; 0,14]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	0,05	[0,03 ; 0,08]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,03	0,05	[0,04 ; 0,08]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,08	0,11	[0,08 ; 0,15]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	0,08	[0,05 ; 0,14]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,04	0,08	[0,05 ; 0,10]
Tri-BDE 17										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,09	[0,07 ; 0,13]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	0,12	[0,05 ; 0,22]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,06	[0,05 ; 0,08]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,08	[0,06 ; 0,13]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	0,12	[0,08 ; 0,17]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,09	[0,07 ; 0,16]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,09	[0,06 ; 0,15]

Tri-BDE 33											
Total	742	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	NC						
30-44	187	NC	NC	<LOQ	NC						
45-59	284	NC	NC	<LOQ	NC						
60-74	226	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	NC						
Femme	425	NC	NC	<LOQ	NC						
Tétra-BDE 47											
Total	742	0,24	[0,22 ; 0,26]	0,10	0,14	0,22	0,37	0,69	1,06	[0,84 ; 1,37]	
Age (ans)											
18-29	45	0,31	[0,24 ; 0,39]	0,12	0,18	0,30	0,44	0,74	1,01	[0,58 ; 1,57]	
30-44	187	0,22	[0,19 ; 0,26]	0,09	0,13	0,20	0,37	0,73	0,99	[0,76 ; 1,29]	
45-59	284	0,21	[0,19 ; 0,24]	0,10	0,12	0,20	0,31	0,51	0,84	[0,56 ; 1,23]	
60-74	226	0,26	[0,23 ; 0,30]	0,11	0,15	0,24	0,37	0,72	1,22	[0,78 ; 1,58]	
Sexe											
Homme	317	0,26	[0,23 ; 0,29]	0,10	0,14	0,23	0,42	0,80	1,20	[0,91 ; 1,55]	
Femme	425	0,22	[0,20 ; 0,25]	0,10	0,13	0,22	0,33	0,56	0,85	[0,69 ; 1,10]	
Tétra-BDE 66											
Total	742	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	NC						
30-44	187	NC	NC	<LOQ	NC						
45-59	284	NC	NC	<LOQ	NC						
60-74	226	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	NC						
Femme	425	NC	NC	<LOQ	NC						
Penta-BDE 85											
Total	742	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	NC						
30-44	187	NC	NC	<LOQ	NC						
45-59	284	NC	NC	<LOQ	NC						
60-74	226	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Homme	317	NC	NC	<LOQ	NC						
Femme	425	NC	NC	<LOQ	NC						
Penta-BDE 99											
Total	742	0,05	[0,05 ; 0,06]	0,02	<LOQ	<LOQ	0,08	0,15	0,22	[0,19 ; 0,24]	
Age (ans)											
18-29	45	0,07	[0,05 ; 0,08]	0,03	<LOQ	<LOQ	0,10	0,16	0,20	[0,12 ; 0,27]	
30-44	187	0,05	[0,04 ; 0,06]	0,02	<LOQ	<LOQ	0,08	0,14	0,21	[0,14 ; 0,32]	

45-59	284	0,05	[0,04 ; 0,05]	0,02	<LOQ	<LOQ	0,06	0,13	0,20	0,05
60-74	226	0,05	[0,05 ; 0,06]	0,02	<LOQ	<LOQ	0,08	0,15	0,23	0,05
Sexe										
Homme	317	0,32	[0,28 ; 0,37]	<LOQ	<LOQ	0,30	0,53	0,98	1,35	[1,08 ; 1,63]
Femme	425	0,28	[0,25 ; 0,31]	<LOQ	<LOQ	0,26	0,43	0,71	1,13	[0,81 ; 1,36]
Penta-BDE 100										
Total	742	0,07	[0,07 ; 0,08]	<LOQ	0,04	0,07	0,12	0,18	0,26	[0,21 ; 0,33]
Age (ans)										
18-29	45	0,08	[0,07 ; 0,10]	<LOQ	0,05	0,08	0,12	0,17	0,24	[0,14 ; 0,38]
30-44	187	0,07	[0,06 ; 0,08]	<LOQ	0,04	0,06	0,12	0,18	0,26	[0,19 ; 0,33]
45-59	284	0,06	[0,06 ; 0,07]	<LOQ	0,04	0,06	0,10	0,16	0,21	[0,17 ; 0,24]
60-74	226	0,08	[0,07 ; 0,09]	<LOQ	0,05	0,07	0,12	0,20	0,29	[0,21 ; 0,33]
Sexe										
Homme	317	0,07	[0,07 ; 0,08]	<LOQ	0,04	0,07	0,12	0,19	0,29	[0,21 ; 0,33]
Femme	425	0,07	[0,06 ; 0,07]	<LOQ	0,04	0,06	0,11	0,16	0,23	[0,19 ; 0,29]
Hexa-BDE 153										
Total	742	0,78	[0,74 ; 0,82]	0,41	0,55	0,75	1,04	1,45	2,05	[1,67 ; 2,47]
Age (ans)										
18-29	45	0,72	[0,61 ; 0,87]	0,34	0,42	0,63	1,11	1,68	2,03	[1,42 ; 2,67]
30-44	187	0,78	[0,72 ; 0,84]	0,43	0,55	0,75	1,06	1,31	1,84	[1,35 ; 2,37]
45-59	284	0,81	[0,74 ; 0,89]	0,39	0,59	0,76	1,04	1,57	2,39	[1,68 ; 4,64]
60-74	226	0,79	[0,74 ; 0,84]	0,47	0,58	0,76	1,00	1,28	1,60	[1,36 ; 2,13]
Sexe										
Homme	317	0,96	[0,90 ; 1,03]	0,55	0,68	0,95	1,21	1,83	2,47	[1,88 ; 3,06]
Femme	425	0,64	[0,60 ; 0,69]	0,35	0,45	0,61	0,83	1,11	1,41	[1,16 ; 1,99]
Hexa-BDE 154										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,41	[0,37 ; 0,47]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,37	[<LOQ ; 0,65]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,40	[<LOQ ; 0,47]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,45	[0,37 ; 0,70]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,39	[<LOQ ; 0,42]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,35	0,43	[0,36 ; 0,64]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,39	[<LOQ ; 0,46]

Déca-BDE 209										
Total	742	1,20	[1,12 ; 1,28]	<LOQ	0,79	1,14	1,66	2,64	3,96	[3,06 ; 4,98]
Age (ans)										
18-29	45	1,47	[1,14 ; 1,91]	<LOQ	<LOQ	1,32	2,15	3,79	6,26	[3,14 ; 11,04]
30-44	187	1,21	[1,06 ; 1,38]	<LOQ	0,80	1,11	1,67	2,58	3,72	[2,60 ; 7,15]
45-59	284	1,17	[1,06 ; 1,28]	<LOQ	0,79	1,13	1,57	2,50	3,82	[2,51 ; 4,91]
60-74	226	1,07	[0,96 ; 1,19]	<LOQ	<LOQ	1,09	1,48	2,00	2,69	[2,03 ; 3,97]
Sexe										
Homme	317	1,26	[1,13 ; 1,41]	<LOQ	0,81	1,20	1,80	2,86	4,23	[3,04 ; 5,92]
Femme	425	1,14	[1,04 ; 1,25]	<LOQ	0,79	1,09	1,54	2,42	3,69	[2,59 ; 4,76]
Hexa-BB 153										
Total	742	0,21	[0,19 ; 0,23]	0,07	<LOQ	0,23	0,32	0,51	0,73	[0,60 ; 0,92]
Age (ans)										
18-29	45	0,08	[0,06 ; 0,10]	0,03	<LOQ	0,08	0,11	0,15	0,25	[0,12 ; 0,45]
30-44	187	0,18	[0,16 ; 0,19]	0,09	<LOQ	0,18	0,24	0,34	0,43	[0,36 ; 0,52]
45-59	284	0,28	[0,25 ; 0,31]	0,15	0,21	0,27	0,35	0,57	0,76	[0,58 ; 1,02]
60-74	226	0,37	[0,33 ; 0,41]	0,20	0,25	0,31	0,46	0,81	1,18	[0,86 ; 2,15]
Sexe										
Homme	317	0,26	[0,23 ; 0,30]	0,10	<LOQ	0,26	0,39	0,65	0,97	[0,72 ; 1,14]
Femme	425	0,17	[0,16 ; 0,19]	0,06	<LOQ	0,20	0,28	0,35	0,50	[0,39 ; 0,56]
α-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,67	1,24	2,31	[1,46 ; 3,19]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,36	7,94	[3,19 ; 21,69]
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,68	6,01	[4,85 ; 7,61]
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,85	12,62	20,23	[12,52 ; 41,44]
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	4,99	9,20	21,81	[9,37 ; 78,59]
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,72	1,35	2,51	[1,43 ; 4,12]
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,06	2,08	[1,27 ; 3,50]
β-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
γ-HBCD										
Total	742	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	187	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

45-59	284	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	226	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	317	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	425	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Σ 7 PBDE*										
Total	742	1,47	[1,39 ; 1,56]	0,78	1,01	1,37	1,94	2,85	3,89	[3,38 ; 4,15]
Age (ans)										
18-29	45	1,47	[1,23 ; 1,76]	0,73	0,91	1,42	2,07	3,01	3,76	[2,46 ; 4,97]
30-44	187	1,45	[1,32 ; 1,60]	0,76	1,00	1,36	1,93	2,89	3,65	[2,87 ; 4,04]
45-59	284	1,46	[1,32 ; 1,62]	0,77	1,03	1,35	1,85	2,75	4,12	[2,85 ; 5,50]
60-74	226	1,49	[1,38 ; 1,62]	0,87	1,07	1,38	1,92	2,78	3,67	[3,19 ; 3,98]
Sexe										
Homme	317	1,69	[1,57 ; 1,82]	0,93	1,17	1,58	2,23	3,38	4,32	[3,54 ; 5,49]
Femme	425	1,28	[1,19 ; 1,38]	0,70	0,90	1,22	1,68	2,28	3,15	[2,45 ; 3,94]
Σ 8 PBDE**										
Total	742	2,90	[2,76 ; 3,05]	1,65	2,08	2,67	3,68	5,44	7,27	[5,96 ; 9,25]
Age (ans)										
18-29	45	3,31	[2,76 ; 3,98]	1,63	2,15	3,17	3,98	6,85	8,96	[5,85 ; 12,83]
30-44	187	2,90	[2,64 ; 3,17]	1,64	2,12	2,64	3,85	5,30	6,65	[5,29 ; 10,66]
45-59	284	2,82	[2,59 ; 3,08]	1,60	2,00	2,63	3,57	5,16	7,30	[5,35 ; 10,69]
60-74	226	2,77	[2,58 ; 2,96]	1,72	2,09	2,50	3,39	4,75	6,11	[5,15 ; 7,03]
Sexe										
Homme	317	3,20	[2,97 ; 3,45]	1,84	2,26	2,96	4,23	6,05	8,04	[6,53 ; 10,59]
Femme	425	2,65	[2,48 ; 2,82]	1,54	1,90	2,47	3,37	4,69	6,22	[5,44 ; 8,84]
Σ BDE 47, 99, 100, 153										
Total	742	1,22	[1,15 ; 1,29]	0,62	0,84	1,14	1,64	2,43	3,33	[2,94 ; 3,66]
Age (ans)										
18-29	45	1,23	[1,02 ; 1,48]	0,56	0,75	1,23	1,75	2,53	3,15	[2,12 ; 4,45]
30-44	187	1,20	[1,08 ; 1,33]	0,61	0,82	1,11	1,63	2,47	3,17	[2,39 ; 3,60]
45-59	284	1,20	[1,09 ; 1,32]	0,61	0,88	1,14	1,55	2,34	3,46	[2,45 ; 4,98]
60-74	226	1,25	[1,15 ; 1,35]	0,74	0,89	1,13	1,61	2,30	3,14	[2,46 ; 3,40]
Sexe										
Homme	317	1,43	[1,33 ; 1,54]	0,79	0,98	1,33	1,87	2,89	3,74	[3,07 ; 4,88]
Femme	425	1,04	[0,96 ; 1,12]	0,54	0,75	0,98	1,40	1,91	2,58	[2,09 ; 3,29]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3 ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209

I TABLEAU A3 I

Distributions des concentrations sériques en RFB (ng/L) des enfants âgés de 6 à 17 ans, France continentale (2014-2016) par classe d'âge et par sexe

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Di-BDE 15										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 17										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31	0,46	[0,34 ; 0,73]
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,26	0,42	[0,23 ; 0,92]
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,29	0,34	[0,28 ; 0,49]
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,43	0,77	[0,33 ; 1,24]
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31	0,46	[0,30 ; 0,95]
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,31	0,40	[0,30 ; 0,70]
Tri-BDE 33										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tétra-BDE 47											
Total	243	1,58	[1,41 ; 1,77]	0,60	0,83	1,35	2,58	4,69	7,63	[5,26 ; 12,40]	
Age (ans)											
6-10	93	1,54	[1,29 ; 1,85]	0,54	0,81	1,32	2,80	4,00	7,04	[3,83 ; 16,91]	
11-14	93	1,51	[1,29 ; 1,77]	0,57	0,87	1,35	2,50	4,27	5,78	[3,78 ; 8,03]	
15-17	57	1,76	[1,34 ; 2,29]	0,60	0,81	1,40	2,85	7,56	12,37	[5,08 ; 40,17]	
Sexe											
Garçon	124	1,65	[1,40 ; 1,93]	0,57	0,86	1,52	2,85	4,75	7,30	[4,52 ; 17,44]	
Fille	119	1,51	[1,30 ; 1,76]	0,60	0,81	1,32	2,48	4,47	7,65	[4,04 ; 12,40]	
Tétra-BDE 66											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 85											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Penta-BDE 99											
Total	243	0,37	[0,34 ; 0,42]	0,14	0,22	0,33	0,57	1,10	1,62	[1,17 ; 3,10]	
Age (ans)											
6-10	93	0,39	[0,34 ; 0,45]	0,16	0,23	0,38	0,63	0,91	1,05	[0,88 ; 2,46]	
11-14	93	0,34	[0,29 ; 0,40]	0,12	0,21	0,30	0,53	1,07	1,59	[0,92 ; 2,66]	
15-17	57	0,41	[0,31 ; 0,55]	0,12	0,21	0,29	0,57	1,40	3,88	[1,27 ; 11,58]	
Sexe											
Garçon	124	0,38	[0,33 ; 0,44]	0,15	0,22	0,32	0,57	1,10	1,54	[1,03 ; 3,06]	
Fille	119	0,37	[0,32 ; 0,43]	0,13	0,21	0,33	0,57	1,09	1,68	[1,05 ; 3,50]	
Penta-BDE 100											
Total	243	0,39	[0,35 ; 0,43]	0,13	0,24	0,34	0,62	1,19	1,74	[1,31 ; 2,11]	
Age (ans)											
6-10	93	0,38	[0,32 ; 0,45]	0,12	0,24	0,34	0,67	0,90	1,23	[0,84 ; 2,48]	
11-14	93	0,37	[0,32 ; 0,43]	0,13	0,24	0,34	0,53	1,20	1,74	[0,99 ; 2,00]	

15-17	57	0,43	[0,34 ; 0,55]	0,16	0,24	0,33	0,66	1,64	1,89	[1,37 ; 5,42]
Sexe										
Garçon	124	0,38	[0,33 ; 0,44]	0,12	0,23	0,33	0,60	1,25	1,73	[1,19 ; 2,16]
Fille	119	0,40	[0,35 ; 0,46]	0,14	0,24	0,35	0,62	1,05	1,71	[1,01 ; 2,46]
Hexa-BDE 153										
Total	243	1,80	[1,64 ; 1,98]	0,82	1,11	1,66	2,45	4,86	7,22	[5,37 ; 14,05]
Age (ans)										
6-10	93	1,50	[1,30 ; 1,74]	0,70	1,00	1,37	2,06	3,20	4,98	[3,09 ; 10,84]
11-14	93	1,94	[1,67 ; 2,26]	0,85	1,26	1,76	2,56	4,95	7,27	[4,37 ; 17,84]
15-17	57	2,15	[1,77 ; 2,61]	0,95	1,23	1,92	3,27	5,64	8,25	[5,01 ; 15,04]
Sexe										
Garçon	124	1,94	[1,74 ; 2,18]	0,96	1,24	1,83	2,50	4,30	5,74	[3,73 ; 15,48]
Fille	119	1,67	[1,43 ; 1,94]	0,68	1,00	1,43	2,37	4,93	7,90	[4,85 ; 14,10]
Hexa-BDE 154										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,81	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Déca-BDE 209										
Total	243	6,80	[6,38 ; 7,25]	3,51	5,14	6,64	9,72	11,85	15,38	[12,09 ; 18,91]
Age (ans)										
6-10	93	7,33	[6,70 ; 8,02]	3,98	5,65	7,56	9,79	11,66	13,60	[11,23 ; 24,48]
11-14	93	6,57	[5,91 ; 7,31]	3,10	4,78	6,21	9,73	12,27	16,24	[11,95 ; 18,74]
15-17	57	6,37	[5,49 ; 7,39]	3,09	4,68	6,30	8,19	10,91	13,75	[10,21 ; 38,94]
Sexe										
Garçon	124	7,47	[6,85 ; 8,14]	4,23	5,50	7,09	10,08	12,25	17,36	[12,06 ; 27,14]
Fille	119	6,17	[5,63 ; 6,76]	3,00	4,33	6,29	8,82	10,89	12,49	[10,71 ; 17,64]
Hexa-BB 153										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
α-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,55	6,22	[3,74 ; 10,59]	
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	5,70	11,18	[4,32 ; 20,41]	
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,57	4,50	[3,15 ; 8,47]	
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,00	3,39	[2,00 ; 3,67]	
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	3,92	6,25	[3,73 ; 10,48]	
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	2,10	4,88	[2,00 ; 15,94]	
β-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
γ-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Σ 7 PBDE*											
Total	243	4,70	[4,29 ; 5,15]	2,10	2,89	4,24	6,76	11,56	18,62	[12,56 ; 27,19]	
Age (ans)											
6-10	93	4,30	[3,73 ; 4,96]	1,89	2,79	3,65	6,75	9,33	11,68	[8,37 ; 24,47]	
11-14	93	4,74	[4,15 ; 5,41]	2,35	3,06	4,54	6,15	11,98	16,97	[10,12 ; 26,13]	
15-17	57	5,37	[4,31 ; 6,69]	2,25	2,79	4,80	7,80	14,58	33,08	[11,96 ; 62,44]	
Sexe											
Garçon	124	4,93	[4,36 ; 5,57]	2,35	2,99	4,73	6,75	10,07	21,24	[9,70 ; 28,36]	
Fille	119	4,47	[3,91 ; 5,12]	1,74	2,79	3,58	6,71	12,13	15,20	[11,81 ; 31,27]	
Σ 8 PBDE**											
Total	243	12,53	[11,78 ; 13,33]	7,08	9,05	12,10	15,83	23,86	32,17	[25,92 ; 38,12]	
Age (ans)											
6-10	93	12,56	[11,48 ; 13,75]	7,55	9,11	12,32	15,81	19,81	26,56	[18,66 ; 33,13]	
11-14	93	12,22	[11,16 ; 13,38]	7,45	9,17	11,58	15,15	22,53	30,09	[20,11 ; 34,15]	
15-17	57	13,01	[11,06 ; 15,30]	6,44	7,99	11,95	16,40	29,64	43,08	[22,59 ; 72,00]	

Sexe										
Garçon	124	13,47	[12,39 ; 14,65]	8,18	9,80	12,86	16,50	25,91	33,26	[25,26 ; 47,06]
Fille	119	11,62	[10,62 ; 12,71]	6,13	8,26	11,19	14,98	21,06	28,29	[20,56 ; 39,96]
Σ BDE 47, 99, 100, 153										
Total	243	4,56	[4,16 ; 5,00]	2,06	2,76	4,15	6,62	11,28	18,45	[12,38 ; 26,59]
Age (ans)										
6-10	93	4,18	[3,63 ; 4,83]	1,85	2,70	3,54	6,57	9,13	11,41	[8,22 ; 23,54]
11-14	93	4,59	[4,02 ; 5,25]	2,26	2,92	4,41	5,98	11,78	16,70	[10,08 ; 25,76]
15-17	57	5,21	[4,18 ; 6,50]	2,17	2,68	4,66	7,66	13,76	32,47	[11,83 ; 61,52]
Sexe										
Garçon	124	4,79	[4,24 ; 5,42]	2,23	2,85	4,59	6,61	10,00	20,44	[9,53 ; 28,01]
Fille	119	4,34	[3,79 ; 4,97]	1,70	2,65	3,50	6,54	11,85	15,05	[11,49 ; 30,80]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3 ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209

I TABLEAU A4 I

Distributions des concentrations sériques en RFB (ng/g de lipides) des enfants âgés de 6 à 17 ans, ajustées sur les lipides, France continentale (2014-2016) par classe d'âge et par sexe

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Di-BDE 15										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 17										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 25										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Tri-BDE 28										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,10	[0,07 ; 0,12]
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,05	0,09	[0,05 ; 0,18]
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,07	[0,06 ; 0,10]
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,10	0,17	[0,06 ; 0,28]
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,10	[0,06 ; 0,17]
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,06	0,10	[0,06 ; 0,15]
Tri-BDE 33										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
Tétra-BDE 47											
Total	243	0,34	[0,31 ; 0,38]	0,12	0,18	0,28	0,59	0,98	1,63	[1,12 ; 2,69]	
Age (ans)											
6-10	93	0,33	[0,27 ; 0,40]	0,12	0,17	0,29	0,58	0,92	1,58	[0,86 ; 2,94]	
11-14	93	0,33	[0,28 ; 0,38]	0,13	0,18	0,27	0,56	0,89	1,26	[0,84 ; 1,36]	
15-17	57	0,39	[0,30 ; 0,51]	0,15	0,18	0,28	0,64	1,96	2,75	[0,97 ; 8,98]	
Sexe											
Garçon	124	0,36	[0,31 ; 0,42]	0,13	0,18	0,31	0,62	1,05	1,39	[1,02 ; 3,12]	
Fille	119	0,33	[0,28 ; 0,38]	0,12	0,17	0,25	0,58	0,90	1,88	[0,87 ; 2,67]	
Tétra-BDE 66											
Total	243	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	NC						
11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
Penta-BDE 85											
Total	243	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	NC						
11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
Penta-BDE 99											
Total	243	0,08	[0,07 ; 0,09]	0,03	0,05	0,07	0,13	0,22	0,34	[0,25 ; 0,59]	
Age (ans)											
6-10	93	0,08	[0,07 ; 0,10]	0,04	0,05	0,07	0,14	0,18	0,22	[0,18 ; 0,41]	
11-14	93	0,07	[0,06 ; 0,09]	0,03	0,04	0,07	0,11	0,22	0,31	[0,21 ; 0,53]	
15-17	57	0,09	[0,07 ; 0,10]	0,03	0,04	0,07	0,13	0,32	0,85	[0,27 ; 2,93]	
Sexe											
Garçon	124	0,08	[0,07 ; 0,09]	0,03	0,05	0,07	0,13	0,22	0,32	[0,21 ; 0,63]	
Fille	119	0,08	[0,07 ; 0,12]	0,03	0,05	0,07	0,13	0,22	0,35	[0,21 ; 0,75]	
Penta-BDE 100											
Total	243	0,08	[0,08 ; 0,09]	0,03	0,05	0,08	0,13	0,27	0,35	[0,28 ; 0,47]	
Age (ans)											

6-10	93	0,08	[0,07 ; 0,10]	0,03	0,05	0,08	0,14	0,20	0,27	[0,19 ; 0,44]
11-14	93	0,08	[0,07 ; 0,09]	0,03	0,05	0,08	0,12	0,27	0,31	[0,22 ; 0,40]
15-17	57	0,10	[0,08 ; 0,12]	0,04	0,05	0,07	0,15	0,35	0,50	[0,29 ; 1,21]
Sexe										
Garçon	124	0,08	[0,07 ; 0,10]	0,03	0,05	0,08	0,14	0,28	0,33	[0,27 ; 0,48]
Fille	119	0,09	[0,07 ; 0,10]	0,03	0,05	0,08	0,13	0,22	0,35	[0,22 ; 0,51]
Hexa-BDE 153										
Total	243	0,39	[0,35 ; 0,43]	0,17	0,24	0,36	0,57	1,03	1,53	[1,07 ; 2,79]
Age (ans)										
6-10	93	0,32	[0,27 ; 0,37]	0,15	0,19	0,29	0,43	0,71	1,02	[0,64 ; 2,47]
11-14	93	0,42	[0,36 ; 0,49]	0,16	0,27	0,40	0,62	1,12	1,51	[0,81 ; 3,59]
15-17	57	0,48	[0,40 ; 0,58]	0,22	0,30	0,39	0,70	1,31	1,72	[1,03 ; 3,59]
Sexe										
Garçon	124	0,42	[0,38 ; 0,47]	0,20	0,27	0,39	0,58	0,99	1,32	[0,92 ; 3,13]
Fille	119	0,36	[0,31 ; 0,42]	0,14	0,20	0,31	0,53	1,08	1,72	[1,06 ; 2,81]
Hexa-BDE 154										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Hepta-BDE 183										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,81	<LOQ	NC
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Déca-BDE 209										
Total	243	1,47	[1,38 ; 1,57]	0,77	1,10	1,48	1,99	2,53	3,58	[2,81 ; 4,06]
Age (ans)										
6-10	93	1,56	[1,43 ; 1,71]	0,93	1,15	1,56	2,02	2,69	3,52	[2,48 ; 4,40]
11-14	93	1,42	[1,28 ; 1,57]	0,73	0,98	1,45	1,97	2,45	3,26	[2,38 ; 3,72]
15-17	57	1,42	[1,22 ; 1,66]	0,59	1,02	1,40	1,82	2,49	3,34	[2,33 ; 9,04]
Sexe										
Garçon	124	1,62	[1,49 ; 1,77]	0,93	1,18	1,57	2,19	3,07	3,73	[2,92 ; 4,81]
Fille	119	1,33	[1,22 ; 1,45]	0,68	0,99	1,39	1,79	2,37	2,59	[2,32 ; 3,57]
Hexa-BB 153										
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										

6-10	93	NC	NC	<LOQ	NC						
11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
α-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,76	1,36	[0,81 ; 2,41]	
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	1,25	2,41	[0,93 ; 3,72]	
11-14	93	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,78	1,01	[0,73 ; 2,82]	
15-17	57	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,60	0,69	[0,57 ; 0,84]	
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,87	1,48	[0,83 ; 3,35]	
Fille	119	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,61	1,33	[0,59 ; 3,09]	
β-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	NC						
11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
γ-HBCD											
Total	243	NC	NC	<LOQ	NC						
Age (ans)											
6-10	93	NC	NC	<LOQ	NC						
11-14	93	NC	NC	<LOQ	NC						
15-17	57	NC	NC	<LOQ	NC						
Sexe											
Garçon	124	NC	NC	<LOQ	NC						
Fille	119	NC	NC	<LOQ	NC						
Σ 7 PBDE*											
Total	243	1,02	[0,93 ; 1,12]	0,45	0,60	0,90	1,52	2,55	3,54	[2,69 ; 5,72]	
Age (ans)											
6-10	93	0,92	[0,79 ; 1,06]	0,43	0,54	0,82	1,40	2,19	2,73	[1,97 ; 4,43]	
11-14	93	1,02	[0,90 ; 1,16]	0,50	0,65	0,94	1,42	2,46	3,37	[2,12 ; 5,28]	
15-17	57	1,20	[0,96 ; 1,49]	0,51	0,61	0,90	1,67	3,47	6,57	[2,69 ; 15,28]	
Sexe											
Garçon	124	1,07	[0,95 ; 1,21]	0,51	0,65	0,95	1,56	2,35	3,98	[2,27 ; 6,17]	
Fille	119	0,96	[0,84 ; 1,11]	0,44	0,55	0,84	1,46	2,70	3,45	[2,68 ; 6,20]	
Σ 8 PBDE**											
Total	243	2,71	[2,55 ; 2,89]	1,64	2,00	2,53	3,56	4,86	6,07	[5,14 ; 8,45]	
Age (ans)											
6-10	93	2,68	[2,43 ; 2,94]	1,66	2,02	2,48	3,51	4,36	5,23	[4,32 ; 6,52]	

11-14	93	2,63	[2,42 ; 2,87]	1,71	2,08	2,48	3,22	4,56	5,46	[4,34 ; 6,94]
15-17	57	2,90	[2,45 ; 3,43]	1,43	1,91	2,58	4,05	6,77	9,62	[5,15 ; 17,15]
Sexe										
Garçon	124	2,93	[2,69 ; 3,19]	1,77	2,07	2,83	3,75	4,97	6,54	[4,77 ; 10,81]
Fille	119	2,50	[2,28 ; 2,74]	1,47	1,83	2,25	3,22	4,78	5,69	[4,50 ; 7,84]
Σ BDE 47, 99, 100, 153										
Total	243	0,99	[0,90 ; 1,08]	0,44	0,58	0,89	1,47	2,51	3,43	[2,57 ; 5,60]
Age (ans)										
6-10	93	0,89	[0,77 ; 1,03]	0,41	0,52	0,79	1,37	2,15	2,66	[1,94 ; 4,25]
11-14	93	0,99	[0,87 ; 1,13]	0,48	0,62	0,90	1,41	2,36	3,32	[2,11 ; 5,19]
15-17	57	1,16	[0,93 ; 1,45]	0,50	0,59	0,88	1,63	3,42	6,45	[2,55 ; 15,06]
Sexe										
Garçon	124	1,04	[0,92 ; 1,18]	0,48	0,62	0,91	1,49	2,28	3,93	[2,21 ; 6,09]
Fille	119	0,93	[0,81 ; 1,07]	0,42	0,53	0,82	1,41	2,66	3,41	[2,60 ; 6,08]

NC = non calculé

Nota : Pour BDE 15,28,99,100 : LOD = 0,07 ng/L, LOQ = 0,21 ng/L ; Pour BDE 17,25,33,47,66,85 : LOD = 0,1 ng/L, LOQ = 0,3ng/L ; Pour BDE 153,154 et PBB 153 : LOD = 0,2 ng/L, LOQ = 0,6 ng/L ; Pour BDE 183 : LOD = 0,6 ng/L, LOQ = 1,8 ng/L ; Pour Deca-BDE 209 : LOD = 1,5 ng/L, LOQ = 4,5 ng/L ; Pour αβγ HBCD : LOD = 1 ng/L, LOQ = 3 ng/L

*Σ 7 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183

** Σ 8 PBDE : somme des BDE 28, 47, 99, 100, 153, 154 et 183 + Deca-BDE 209