

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par des composés de la famille des Perfluorés (tome 2)

Note d'accompagnement
Rapport d'étude

Mars 2015

Édition scientifique



Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par des composés de la famille des Perfluorés (tome 2)

Note d'accompagnement
Rapport d'étude

Mars 2015

Édition scientifique

Maisons-Alfort, le 24 mars 2015

Note

relative à l'état des connaissances sur les usages, les sources d'exposition et la toxicité de plusieurs perfluorés et phtalates

Présentation de la question posée et organisation de l'expertise

L'Agence a été saisie en juin 2009 par la Direction générale de la santé (DGS) (saisine 2009-SA-0331) afin d'évaluer les risques sanitaires (ERS) liés à l'exposition à des substances reprotoxiques de catégorie 3¹ (R3) (selon la directive 67/548/CE) et/ou perturbatrices endocriniennes (PE) présentes dans des produits de consommation mis sur le marché en France. Cette demande d'expertise visait la population générale, incluant les populations vulnérables, et les personnes en milieu de travail manipulant des produits de consommation dits «grand public» du fait de leur activité professionnelle, hors fabrication, transformation, distribution et élimination. Parmi l'ensemble des substances soumises à l'expertise figurait une liste de 10 substances de la famille des phtalates et 2 substances de la famille des perfluorés.

Ces substances sont les suivantes :

- Perfluorés : perfluorooctane sulfonate (PFOS) (CAS n° 1763-23-1, 29081-56-9, 2795-39-3), acide de perfluorooctane (PFOA) (CAS n° 335-67-1).
- Phtalates : butylbenzylphtalate (BBP) (CAS n° 85-68-7), di-(2-ethylhexyl)phtalate (DEHP) (CAS n° 117-81-7), diisodecyl phtalate (DIDP) (CAS n° 26761-40-0), di-n-butylphtalate (DBP) (CAS n° 84-74-2), diisononyl phtalate = 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisononyl ester (DINP) (CAS n° 28553-12-0), di isopentylphtalate (DIIP) (CAS n° 131-18-0), mono-n-butylphtalate (CAS n° 131-70-4), dipropylphtalate (CAS n° 131-16-8), diisobutylphtalate (DIBP) (CAS n° 84-69-5), di-n-hexylphtalate (CAS n° 84-75-3).

D'autres perfluorés et phtalates ne figurant pas dans cette liste peuvent cependant être présents dans des articles ou produits de consommation ou dans différents compartiments de l'environnement.

¹ Les substances classées reprotoxiques de catégorie 3 selon la directive 67/548/CEE sont désormais classées toxiques pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges dit CLP (Classification, Labelling, Packaging). Dans ce document, la classification est indiquée selon le règlement CLP.

L'Anses a donc considéré, en accord avec ses instances d'expertise (Groupe de travail (GT) sur les perturbateurs endocriniens, Comité d'experts spécialisé (CES) «Evaluation des risques des substances chimiques» et «Caractérisation des dangers des substances et valeurs toxicologiques de référence»), qu'il convenait de recenser les données disponibles sur une liste élargie de composés chimiques de ces deux familles (cf.infra) pour en documenter les usages, les réglementations en vigueur, les expositions et les dangers. L'agence a également considéré que les sources d'exposition potentielle à ces substances devaient inclure l'alimentation, l'eau, l'air, et les poussières.

La présente note présente succinctement les principaux chapitres des deux rapports issus de l'expertise collective, l'un sur plusieurs perfluorés, l'autre sur plusieurs phtalates réunissant les données disponibles ou en cours d'acquisition concernant leurs usages, les niveaux de contamination de différents produits ou compartiments de l'environnement et les dangers potentiels liés à ces substances.

Ce travail se donnait pour but *in fine* de caractériser les principaux effets toxiques en lien avec une exposition à ces composés et de déterminer les sources principales d'exposition humaine. Il a permis d'identifier les substances pour lesquelles une évaluation des risques sanitaires se justifie du fait de leurs usages étendus et/ou de leur persistance dans l'organisme humain ou dans l'environnement et du fait de leur toxicité potentielle, notamment vis-à-vis du développement et des fonctions de la reproduction.

Résultat de l'expertise

1. Composés perfluorés

PFOS et PFOA

Depuis mai 2009, le PFOS et le PFOA font partie de la liste des substances couvertes par la convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POP). Leur production, mise sur le marché et leur utilisation soit en tant que telles, soit dans des préparations, soit sous forme de constituants d'articles sont interdites sauf dérogation (règlement 850/2004 concernant les polluants organiques persistants et modifiant la directive 79/117/CEE).

Le PFOS a été identifié comme substance dangereuse prioritaire dans l'annexe X de la directive du parlement européen et du conseil du 12 août 2013². Aujourd'hui, la présence de PFOS dans l'environnement résulte davantage des activités et usages antérieurs que de foyers de production actuels. En effet, le principal fabricant de cette molécule (Société 3M) a arrêté sa synthèse en 2002. Il n'existerait plus aujourd'hui de production de PFOS ni en Europe ni en Amérique du nord. Cependant, une dérogation d'usage existe en Europe pour certaines applications (Directive 2006/122/ECOF du 12 décembre 2006). Par contre, la production de PFOS subsiste dans d'autres pays dont la Chine.

Le PFOA bénéficie depuis le 2 octobre 2013 d'une classification harmonisée R1B. Le PFOA est principalement utilisé pour produire son sel d'ammonium (APFO), utilisé comme tensio-actif dans la fabrication des deux principaux fluoropolymères: le polytétrafluoroéthylène (PTFE) et polyvinylidène fluorure (PVDF).

Par ailleurs le PFOA peut être un sous-produit fortuit de fabrication de ces fluoropolymères et les substances de type fluorotélomère peuvent se dégrader en acides carboxyliques perfluorés ou en acides sulfoniques perfluorés. Les fluorotélomères peuvent se dégrader en PFOA.

² Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

Autres perfluorés considérés dans la présente expertise (cf. tableau ci-dessous) :

Famille	Abréviation	Numéro CAS	Nom de la molécule
Carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA)	PFBA	375-22-4	Acide perfluorobutanoïque
	PFPA	2706-90-3	Acide perfluoropentanoïque
	PFHxA	307-24-4	Acide perfluorohexanoïque
	PFHpA	375-85-9	Acide perfluoroheptanoïque
	PFOA	335-67-1	Acide perfluorooctanoïque
	NH ₄ -PFOA	3825-26-1	Sel d'ammonium de l'acide perfluorooctanoïque
	PFNA	375-95-1	Acide perfluorononanoïque
	PFDA	335-76-2	Acide perfluorodécanoïque
	PFUnA	2058-94-8	Acide perfluoroundécanoïque
	PFDoA	307-55-1	Acide perfluorododécanoïque
	PFTTrDA	72629-94-8	Acide perfluorotridécanoïque
	PFTeDA	376-06-7	Acide perfluorotétradécanoïque
Sulfonates d'alkyls perfluorés (PFSA)	PFBS	375-73-5	Sulfonate de perfluorobutane
	PFPS	2706-91-4	Sulfonate de perfluoropentane
	PFHxS	355-46-4	Sulfonate de perfluorohexane
	PFHpS	375-92-8	Sulfonate de perfluoroheptane
	PFOS	1763-23-1	Sulfonate de perfluorooctane
	PFDS	335-77-3	Sulfonate de perfluorodécane
Autres	PFHxPA	40143-76-8	Acide perfluorohexylphosphonique
	PFOPA	40143-78-0	Acide perfluorooctylphosphonique
	PFDPA	52299-26-0	Acide perfluorodécylphosphonique
	PFOSA	754-91-6	Sulfonamide de perfluorooctane
	PPVE	1623-05-8	Ether perfluoropropyl perfluorovinyle
	EtFOSA	4151-50-2	N-Éthyl perfluorooctane sulfonamide
	MeFOSA	31506-32-8	N-Méthyl perfluorooctane sulfonamide

Dans la suite de la présente note, les substances polyfluoroalkylées et perfluoroalkylées sont désignées sous l'acronyme PFAS.

La majeure partie des articles contenant des composés perfluorés sont fabriqués en dehors du marché européen et il est difficile d'obtenir des informations spécifiques sur les perfluorés présents dans les articles importés.

Des données récentes montrent par ailleurs une diminution importante des perfluorés dans les produits commercialisés au cours de ces dernières années. Le PFOS est cependant toujours présent dans certains produits. En particulier, des données récentes de l'US-EPA suggèrent que des produits liquides d'entretien de tapis, cires et produits d'étanchéité de sols traités, des papiers traités destinés à un contact avec des denrées alimentaires, ainsi que des pâtes et rubans d'étanchéité constituent les sources les plus importantes de composés perfluorés, dont le PFOA, parmi les dix catégories d'articles étudiés aux Etats-Unis (sources US-EPA³). Par ailleurs, selon ces auteurs, les composés perfluorés à chaîne courte (C4 à C7) seraient plus utilisés que les composés à chaîne longue (C8 à C12) mais cette tendance devra être confirmée par des études de marché.

Teneurs en perfluorés dans différents produits et milieux

Depuis 2002, une baisse des niveaux de PFOS et PFOA dans l'environnement (aliments, air, poussières) est rapportée dans une étude scandinave⁴, contrairement aux dérivés sulfonés à courte chaîne. Le manque de données physico-chimiques ainsi que de références analytiques pour des composés autres que PFOS et PFOA constituent toutefois un frein à l'étude de ces substances chez l'Homme et dans l'environnement.

³ 4.4.2 US- EPA: Trends of perfluoroalkyl Acid Content in Articles of Commerce – Market Monitoring from 2007 through 2011 (août 2012)

⁴ Nordic Council of Ministers* (2013) Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries. Use, occurrence and toxicology. pp. 230.

Concernant les contaminations alimentaires, une faible contamination des aliments a été observée dans l'étude nationale de l'alimentation totale (EAT2, Anses, 2011b⁵). Des concentrations inférieures à limite de détection ont été rapportées dans 98% des échantillons testés dans cette étude). Les poissons, et plus particulièrement les poissons d'eau douce, sont les denrées alimentaires les plus contaminées (échantillonnage spécifique des poissons d'eau douce avec l'étude ICAR-PCB⁶, des produits de la mer avec l'étude CALIPSO⁷). En conséquence, les forts consommateurs de poissons d'eau douce sont les plus exposés, suivis par les forts consommateurs de produits de la mer.

Concernant la contamination dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) : les PFAS ne font pas partie des paramètres soumis à l'obligation du contrôle sanitaire des EDCH. A ce jour, les données nationales sont issues des travaux du Laboratoire d'hydrologie de l'Anses de Nancy (LHN), publiées dans le rapport de mai 2011 relatif aux campagnes nationales d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux brutes et distribuées. D'autres campagnes de prélèvement et d'analyse, dites «exceptionnelles», ont été réalisées à la demande de la Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) dont les résultats n'ont pas encore fait l'objet d'une publication :

- en 2011 sur les eaux souterraines en métropole par le BRGM;
- en 2012 sur les eaux de surface dans les DOM et en métropole et sur les eaux souterraines dans les DOM.

Concernant la contamination dans l'air (intérieur et extérieur) et des poussières : les résultats de la recherche bibliographique montrent que :

- la majorité des études recensées dans la littérature concerne le PFOS et le PFOA. Parmi les autres composés perfluorés étudiés, le PFOSA, le PFBS, le PFHxS, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH, le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE sont ceux faisant l'objet du plus grand nombre de publications ;
- les données de contamination de l'air intérieur et des poussières se rapportent principalement aux logements. Quelques études présentent également des données de contamination dans d'autres environnements intérieurs (bureaux, magasins *etc.*). Les gammes de concentrations mesurées dans ces deux médias sont assez larges ;
- plusieurs publications présentant des données de contamination dans l'air extérieur ont pour objectif l'étude du transport à longue distance des composés perfluorés. Dans ces études, les mesures ont pu être réalisées dans des territoires ruraux et isolés. Les gammes de concentrations mesurées dans l'air extérieur sont assez larges. Les composés perfluorés neutres, plus volatils, ont fait l'objet de davantage de publications ;
- seules deux études présentant des données de contamination dans les poussières domestiques et l'air extérieur en France ont été identifiées dans la littérature scientifique pour le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE, l'EtFOSE (air extérieur et poussières), le PFOSA (poussières uniquement), le PFBS, le PFNA, le PFDA, le PFDS, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH et le 10 : 2 FTOH (air extérieur uniquement).

⁵ Anses (2011b) Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT2). Tome 1. Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-œstrogènes. ISBN 978-2-11-128112-7. 305 p.

⁶ ICAR-PCB : Étude nationale d'imprégnation aux polychlorobiphényles des consommateurs de poissons d'eau douce, menée en 2009. Denys S1, et al.. *Toxicol Lett.* 2014 Dec 1;231(2):233-8.

⁷ CALIPSO : Étude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3, menée en 2004.

Des calculs d'exposition agrégée sont présentés dans le rapport d'expertise, qui ont été réalisés dans l'objectif de déterminer les sources principales d'exposition à certains composés perfluorés. Les média d'exposition pris en compte dans ces calculs sont :

- Les aliments et les boissons - exposition par ingestion
- Les poussières déposées dans les environnements intérieurs - exposition par ingestion
- Le compartiment aérien - exposition par inhalation

Les résultats du calcul de la Dose journalière d'exposition (DJE) présentée dans le rapport d'expertise permettent d'approcher la contribution des différentes voies d'exposition (scénario moyen).

A noter que la qualité des données utilisées pour ces calculs diffère d'un médium à l'autre :

- les données d'exposition par la voie alimentaire sont issues de données individuelles françaises, les données de contamination dans l'air et les poussières sont des données issues de la bibliographie.

Données de biosurveillance

Concernant les études de biosurveillance, plusieurs éléments d'ordre méthodologique liés à la mesure quantitative des PFAS dans les matrices biologiques représentent une source d'hétérogénéité, ce qui rend difficile leur comparaison directe. Les seuils de détection, la gestion des valeurs non détectées, ou encore la prise en compte des formes linéaires et ramifiées de certains composés, sont notamment des points critiques pouvant avoir une influence sur les résultats des distributions des concentrations mesurées dans la population.

Le PFOS et le PFOA sont les deux principaux biomarqueurs d'exposition aux acides carboxyliques perfluorés (PFCA) cités dans la littérature. Ce sont aussi les deux composés parmi l'ensemble des perfluorés qui sont le plus systématiquement recherchés. Ils contribuent selon les études, à 75-90 % du profil d'exposition, même si celui-ci dépend du nombre d'autres substances recherchées. D'autres composés comme le PFHxS, le PFNA et le PFDA sont également fréquemment recherchés et détectés dans de nombreuses études. Les PFDoA, PFUnA, PFHpA et PFTrDA constituent un autre ensemble de substances détectées essentiellement dans des études menées sur le continent asiatique. On observe une variabilité relativement importante des proportions relatives entre les différents PFAS recherchés, notamment en fonction de l'origine géographique des prélèvements collectés. Les autres représentants de cette famille de substances, en particulier leurs précurseurs (dérivés du PFOSA/PFOSE, fluorotélomères) sont beaucoup plus rarement recherchés et/ou détectés.

Dans le sérum de sujets adultes, les teneurs de PFOA et PFOS observées au niveau international sont globalement de l'ordre de quelques µg/l à quelques dizaines de µg/l. L'existence d'une exposition fœtale et post-natale est également démontrée. Dans le sang du cordon, les niveaux mesurés sont toutefois environ 1,2 à 3 fois inférieurs à ceux mesurés dans le sang maternel, selon la substance considérée. Dans le lait maternel, les concentrations observées sont environ plus de 10 fois inférieures à celles mesurées dans le sérum maternel.

Les taux de transfert de la mère au fœtus (sang du cordon, liquide amniotique) ou au nourrisson (lait maternel) sont variables d'une substance à une autre, en lien notamment avec leurs propriétés structurales, physico-chimiques et pharmacocinétiques. Ce transfert est ainsi plus important pour le PFOA que pour le PFOS. Les formes ramifiées, les chaînes de longueur courte, et les groupements fonctionnels carboxylates favorisent ce transfert, comparativement aux formes linéaires, aux formes à chaîne longues, et à celles comportant des groupements sulfonates.

Une tendance à la diminution des niveaux d'imprégnation biologique en population générale est observée pour ce qui concerne le PFOS et ce, sur plusieurs continents depuis 2002, date correspondant à l'arrêt de l'une des principales sociétés de production. Cette tendance n'est néanmoins pas observée s'agissant du PFOA pour lequel les études publiées montrent des résultats contradictoires. Des niveaux d'imprégnation biologique dus à d'autres substances de la famille des perfluorés sont par ailleurs en augmentation depuis la dernière décennie (PFNA, PFHxS).

Les études sur les imprégnations biologiques à ces divers composés montrent des résultats contradictoires et mettent en évidence l'influence de divers facteurs tels que l'âge, le sexe ... La diversité des sources d'exposition, la variabilité des profils d'exposition dans le temps, ainsi que les polymorphismes individuels au niveau de certains paramètres pharmacocinétiques, sont autant d'éléments pouvant contribuer à cette non-convergence d'observations.

Si le volume de données disponibles paraît relativement important pour le PFOS et le PFOA, une amélioration de la caractérisation de cette classe de substances dans toute sa diversité, depuis les formulations techniques jusqu'aux produits de dégradation de ceux-ci, serait nécessaire afin de mieux appréhender cette famille de contaminants dans toute sa complexité. La prise en considération plus systématique des formes précurseurs (fluorotélomères, dérivés PFOSE/PFOA) et la distinction des formes linéaires et ramifiées sont deux exemples d'axes de travail qui seraient à approfondir.

Les résultats de deux études (étude Elfe⁸ et programme ANR CONTREPERF) conduites en France sont attendus en 2015 qui devraient permettre de rendre compte de niveaux d'imprégnation chez des mères et leurs enfants.

Données de toxicité

Des études épidémiologiques ont rapporté un effet possible des composés perfluorés - sans pouvoir l'attribuer spécifiquement au PFOS ou au PFOA - sur la fertilité des couples (augmentation du risque d'infécondité involontaire). Un effet sur la morphologie spermatique a été suggéré dans une unique étude humaine et appelle à la nécessité de réaliser de nouveaux travaux reposant sur une approche longitudinale. Pour ce qui concerne les autres événements de santé faisant partie du champ de cette expertise, les données sont trop limitées pour permettre de caractériser un effet éventuel des composés perfluorés.

Des études expérimentales récentes confirment les effets des PFOS et PFOA. La glande mammaire semble être l'organe le plus sensible au PFOA, notamment lors d'expositions *in utero*. La période peri-pubertaire constitue également une période sensible vis-à-vis des effets des perfluorés. PFOS et PFOA exceptés, très peu d'autres composés de la famille des perfluorés ont fait l'objet d'études permettant d'évaluer leur toxicité. Il convient de souligner les différences de sensibilité des espèces animales vis-à-vis des perfluorés. Depuis l'expertise de l'Inserm (2011), de nouvelles études sur la toxicité des perfluorés ont été publiées. Ces études feront l'objet d'une expertise par l'Anses.

Des valeurs de dose journalière tolérable (DJT) pour le PFOS égale à 150 ng/kg/jour et, pour le PFOA, à 1500 ng/kg/jour ont été proposées par l'EFSA en 2008. Ces valeurs, en cours d'évaluation par l'Anses, apparaissent significativement supérieures aux valeurs d'exposition évaluées et disponibles dans la littérature (Inserm, 2011⁹).

⁸ <http://www.elfe-france.fr/index.php/fr/>

⁹ Rapport d'expertise collective de l'Inserm sur « reproduction et environnement » publié en 2011 qui s'appuie sur les données scientifiques disponibles en date du second semestre 2010 ; le chapitre VIII traite des composés perfluorés

2. Composés phtalates

Les phtalates sont utilisés dans la fabrication de certains produits de consommation notamment dans les produits utilisant des matières plastiques comme le PVC. Certains usages sont soumis à des réglementations sectorielles comme par exemple les jouets, matériaux et objets en caoutchouc au contact des denrées, produits et boissons alimentaires, les produits biocides et phytosanitaires, les produits cosmétiques, produits de construction et de décoration, et les articles de puériculture. Un intérêt croissant pour les phtalates à longue chaîne (supérieure à 7 atomes de carbone) peut être observé. En effet, des données récentes montrent une diminution importante de l'usage des phtalates à chaîne courte, pour lesquels la réglementation a conduit à des restrictions d'usage au niveau européen dans les produits au cours des dernières années. Les phtalates à chaîne longue, encore peu soumis à des restrictions, semblent ainsi constituer à ce jour une alternative aux composés à chaîne courte.

A la liste des dix phtalates mentionnés dans la saisine de la DGS (cf. supra) l'Anses a considéré sur la base des auditions de représentants de l'industrie de la plasturgie et de chercheurs spécialisés dans le domaine de la toxicologie de la reproduction, que d'autres composés justifiaient d'être soumis à l'expertise soit d'un point de vue toxicologique soit sur le versant de leurs usages.

Il s'agit des substances suivantes : di-propyl-heptylphtalate (DPHP) (CAS n° 53306-54-0), diisoundecylphtalate (DIUP) (CAS n° 26761-40-0), dicyclohexylphtalate (DCHP) (CAS n° 84-61-7), diisooctylphtalate (DIOP) (CAS n° 27554-26-3), ditridecylphtalate (DTDP) (CAS n° 119-06-2), di-n-heptylphtalate (DHPP) (CAS n° 3648-21-3), di-iso-heptylphtalate (DiHP) (CAS n° 71888-89-6), di-n-octylphtalate (DnOP) (CAS n° 117-84-0), di-undecylphtalate (DUP) (CAS n° 3648-20-2), diallyl-phtalate (DAP), butyl-octylphtalate (DBzP (CAS n° 523-31-9), dipropylphtalate (DiPrP) (CAS n° 605-45-8)).

En France, une étude de filières a été conduite par l'Anses qui a permis de mettre en évidence les points suivants :

- Phtalates à chaîne courte : aucun usage spécifique n'a été identifié pour le Mono-n-butyl phtalate (MnBP), dipropylphtalate (DPP) di-n-hexylphtalate (DnHP), di-n-pentylphtalate (DnPP). A noter que le mono-n-butyl phtalate (MnBP) est un métabolite biologique du DBP et du BBP, ce qui explique qu'aucun usage n'a été identifié pour ce composé lors de l'étude de filières. D'après les réponses des industriels à l'enquête de filières, les di-2-ethylhexyl)phtalate (DEHP), le dibutylphtalate (DBP), di-isobutylphtalate (DIBP) et le butylbenzylphtalate (BBP) sont majoritairement utilisées, en tant que plastifiants, qui par la suite sont mis en œuvre dans différents articles en caoutchouc, des colles, des aménagements intérieurs (revêtements de sol et de mur, câbles, rideaux de douches, tissus enduits..) des poches plastiques, des couvertures d'agendas.
- Phtalates à chaîne longue : plusieurs usages ont été identifiés pour le di-isononylphtalate (DINP), le di-isodecylphtalate (DIDP) et le di-propylheptylphtalate (DPHP). Ils sont notamment utilisés dans le caoutchouc, et dans de nombreux autres secteurs d'activités et usages (colles, mastics, etc.).

Il conviendrait de confirmer cette tendance par une étude de filières actualisée et portant plus spécifiquement sur les composés pour lesquels peu d'informations sont disponibles.

Teneurs en phtalates dans différents produits et milieux

Concernant les contaminations alimentaires et dans les eaux destinées à la consommation humaine, les données déjà disponibles ou en cours d'acquisition permettront, pour certains composés de la famille des phtalates, de savoir s'ils sont présents ou non dans les aliments ainsi que dans les EDCH. Les résultats des études en cours permettront de mieux quantifier l'exposition d'origine alimentaire dont l'eau de consommation humaine. Cependant, un certain nombre de phtalates de nouvelle génération n'ont pas fait l'objet de ce type d'étude. Des travaux sont conduits à l'Agence sous l'égide du Laboratoire d'hydrologie de Nancy afin de caractériser au niveau national les teneurs en phtalates dans les eaux distribuées et les eaux embouteillées.

Concernant les contaminations dans l'air (intérieur et extérieur) et des poussières, il existe des données françaises dans les logements et les écoles pour le BBP, le DBP, le DEHP, le DiBP et le DiNP. Le di-éthylphtalate (DEP), le di-méthylphtalate (DMP) et le di-méthyléthylphtalate (DMEP) (non ciblés dans la saisine de la DGS) ont également été mesurés dans ces études. D'autres études en cours permettront de disposer, d'ici 2015-2016, de données d'exposition à ces phtalates à l'échelle du parc national des résidences principales d'une part, et du parc des écoles maternelles et élémentaires d'autre part (France continentale dans les deux cas). Par ailleurs, peu de données de contamination dans l'air extérieur ont été identifiées dans la littérature scientifique.

Pour ce qui concerne les phtalates n'ayant pas fait l'objet de mesures dans ces milieux en France :

- Compte tenu du peu d'informations obtenues lors de l'enquête de filières sur le DnPP, le DnHP, le DPP, et le DPHP, il conviendrait de confirmer l'utilisation de ces substances en France, afin d'évaluer le besoin d'acquérir des données d'exposition. Cette recommandation s'applique également aux phtalates n'ayant pas fait l'objet d'une étude de filières (DiUP, DCHP, DiOP et DTDP).
- Concernant le DiDP, des mesures dans l'air et les poussières en France peuvent d'ores et déjà être recommandées au regard des résultats de l'enquête de filières.
- Dans l'attente de disposer de mesures réalisées en France, il pourrait être envisagé d'évaluer la qualité des études disponibles dans les autres pays et la possibilité d'extrapoler leurs résultats à la situation française, en vue de leur utilisation pour de futurs travaux d'expertise.

Données de biosurveillance

Certains composés phtalates peuvent générer des métabolites communs dont le suivi à travers les études de biosurveillance peut s'avérer complexe.

- L'ensemble des données d'exposition devrait permettre d'identifier les populations à risque, par exemple les individus avec des comportements, des habitudes alimentaires ou des activités professionnels conduisant à des situations d'exposition potentiellement à risque.
- Des données sont disponibles concernant l'imprégnation biologique de la population française par le DEHP, le DBP etc (étude ELFE). Toutefois une meilleure caractérisation de cette classe de substances dans toute sa diversité, depuis les formulations techniques jusqu'aux produits de dégradation de ceux-ci, est nécessaire afin d'appréhender cette famille de contaminants dans toute sa complexité¹⁰.

¹⁰ <http://www.elfe-france.fr/index.php/fr/>

Données de toxicité

Les substances phtalates à longues chaînes sont généralement considérées comme étant moins toxiques comparativement aux composés à chaînes courtes (<C8), même si peu d'études documentent leurs effets sur l'environnement et sur l'Homme. Les données sont toutefois encore très insuffisantes dans ce domaine.

- Concernant les études expérimentales, les études récentes relatives aux effets des phtalates sur l'appareil reproducteur mâle soulèvent certaines questions :
Alors que les valeurs toxicologiques de référence des phtalates sont souvent fondées sur l'effet anti-androgénique de ces produits chez le fœtus de rat mâle, un nombre croissant de données montre, que l'activité androgénique du testicule fœtal ne serait pas affectée par les phtalates chez l'homme. Cela interroge sur la pertinence de l'extrapolation à l'Homme des données expérimentales obtenues chez le rat.
- La revue des études *in vivo* sur l'impact possible des phtalates sur l'obésité et le métabolisme suggère qu'une analyse exhaustive de la littérature devra être réalisée pour préciser le potentiel obésogène des phtalates mais également l'impact sur la survenue d'autres troubles métaboliques. Enfin, certaines études laissent à penser qu'il pourrait y avoir des effets à distance à l'âge adulte après une exposition néonatale ; il s'agit de l'effet DOHaD (origine développementale des maladies humaines adultes/ *Developmental origins of human adult diseases*), et même après plusieurs générations signifiant une modification transgénérationnelle de l'épigénôme. Ces pistes doivent être explorées pour confirmer ou infirmer ces résultats.
- Par ailleurs, l'exposition ubiquitaire, justifie la prise en compte de leurs effets liés à une exposition combinée à plusieurs de ces substances.

Conclusions et perspectives

L'usage de certains composés de la famille des perfluorés et des phtalates est encadré du fait de l'application du règlement REACH et/ou de réglementations sectorielles. Certains autres composés de ces deux familles n'ont pour l'instant pas fait l'objet d'une évaluation dans un cadre réglementaire au niveau européen.

Le recensement des données disponibles sur certaines substances montre l'usage varié qui peut en être fait et qui conduit à une contamination de plusieurs compartiments de l'environnement, ainsi que d'aliments.

Ainsi, la question de la mesure de l'exposition de la population générale et professionnelle à certaines substances et des risques éventuels pour la santé se pose.

Les résultats des études ou expertise en cours à l'Anses, notamment portant sur les contaminations alimentaires (études EATi, Contreperf), ou d'études de biosurveillance conduites par ailleurs en France vont conduire l'agence à évaluer la contribution de différents milieux à l'exposition interne et à évaluer les risques pour la santé humaine par une approche agrégée prenant en compte l'ensemble des voies d'exposition.

Les composés perfluorés concernés incluent, PFOS et PFOA, et pour ce qui concerne les phtalates, DEHP, BBP, DIDP. Il s'agira en particulier de comparer les niveaux d'exposition observés à des valeurs de référence lorsqu'elles existent.

Certaines substances ne disposent actuellement pas de valeurs toxicologiques de référence (VTR) alors que leur toxicité a été documentée. Aussi, l'Anses mandatera le CES « Caractérisation des dangers des substances et valeurs toxicologiques de référence » en vue de proposer des VTR prenant en compte leurs effets reprotoxiques et/ou PE. Les composés perfluorés concernés incluent, PFHxA, PFHxS, PFBA, PFBS et pour ce qui concerne les phtalates, DIBP, DnOP, DIOP.

Maisons-Alfort, le

Le Directeur général

Marc MORTUREUX

Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par des composés de la famille des Perfluorés

Saisines « n°2009-SA-0331 »

Tome 2

Version de mars 2015

Mots clés

Perfluorés, Acides perfluoroalkyls, Perfluorooctane sulfonate, Acide perfluorooctanoïque, acides carboxyliques perfluorés, acides sulfoniques perfluorés, PFAA, PFOS, PFOA, PFCA, PFSA, reprotoxicité, perturbation endocrinienne, exposition,

Présentation des intervenants

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

Comités d'experts spécialisé (CES)

Les CES suivant ont été associés à ce travail.

- CES « Évaluation des risques liés aux substances chimiques » –

Ce rapport a été présenté et discuté au CES. La relecture du rapport a été confiée au CES qui a fait part de ces remarques lors des réunions du 12 septembre, 10 octobre, 14 novembre et 19 décembre 2013.

Président

M. Michel GUERBET – Professeur de toxicologie à l'UFR médecine pharmacie de Rouen - Pharmacien toxicologue

Vice-président

Mme Béatrice SECRETAN-LAUBY – Docteur en toxicologie, Scientifique pour monographies du CIRC – groupe IMO, CIRC/ OMS

Membres

M. Luc BELZUNCES – Directeur de Recherche - Laboratoire de Toxicologie Environnementale, UR 406 A&E, INRA

M. Damien BOURGEOIS – Chargé de Recherche – Institut de Chimie Séparative de Marcoule - CNRS

Mme Corinne CASSIER-CHAUVAT – Directrice de Recherche DR2 CNRS – iBiTecS/SBiGeM/LBI, unité mixte CEA-CNRS URA 2096

Mme Anne CHEVALIER – épidémiologiste retraitée - InVS

M. Pascal EMPEREUR-BISSONNET - Médecin, responsable de l'unité « Populations, Risques, Territoires » - Département Santé Environnement, InVS

Mme Brigitte ENRIQUEZ – Enseignant chercheur (Pr) Pharmacie – toxicologie / Responsable de la pharmacie centrale – Unité de Pharmacie Toxicologie, ENVA

Mme Dominique GUENOT – Chargée de recherche - CNRS

M. Michel GUERBET – Professeur des Universités en toxicologie – Laboratoire de toxicologie, UFR Médecine Pharmacie de Rouen.

M. Cong Khanh HUYNH – Docteur es Sciences - Ingénieur chimiste – Institut universitaire Roman de Santé au Travail

M. Kannan KRISHNAN – Professeur, Enseignant chercheur - Santé publique et Toxicologie - Département de Santé environnementale et de santé au travail, Université de Montréal

M. Dominique LAFON – Médecin toxicologue, pilote de la thématique reproduction et travail– INRS

Mme Dominique LAGADIC-GOSSMANN – Directrice de Recherche CNRS – EA 4427 SeRAIC / IRSET, Université Rennes 1

Mme Annie LAUDET - Pharmacien toxicologue retraitée – INRS

Mme Florence MÉNÉTRIER – Responsable de l'unité Prositon / Pharmacien – DSV/Prositon, CEA

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail, toxicologue – Service de santé des armées

Mme Odette PRAT - Chercheur Biologiste Toxicologue / Responsable Toxicogénomique - Institut de Biologie Environnementale et de Biotechnologie / DSV/ CEA

M. Henri SCHROEDER – Enseignant chercheur / Pharmacien biologiste – URAFPA, INRA USC 340, Faculté des Sciences et Technologies, Nancy université

- CES « Caractérisation des dangers des substances et valeurs toxicologiques de référence »

Ce rapport a été présenté et discuté au CES. La relecture du rapport a été confiée au CES qui a fait part de ces remarques lors des réunions du 13 mars, 10 avril, 15 mai, 12 juin et 10 juillet 2014.

Président

M. Michel GUERBET – Professeur de toxicologie à l'UFR médecine pharmacie de Rouen - Pharmacien toxicologue

Vice-président

M. Dominique LAFON – Médecin toxicologue, pilote de la thématique reproduction et travail à l'INRS – Médecine du travail, toxicologie, reprotoxicité

Membres

M. Marc BARIL - Professeur associé à l'Université de Montréal – Chimiste toxicologue, VLEP

M. Sylvain BILLET – Enseignant chercheur / maître de conférence en toxicologie à l'Université du Littoral Côte d'Opale – Toxicologie respiratoire, nanomatériaux

Mme Michèle BISSON – Responsable d'étude à l'INERIS – Pharmacien toxicologue, toxicologie générale - VTR

Mme Anne CHEVALIER – Epidémiologiste retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire

M. François CLINARD – Epidémiologiste à l'Institut de Veille Sanitaire – Pharmacien toxicologue, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires

Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Scientifique, Section des Monographies de IARC (IMO) Centre International de Recherche sur le Cancer - Docteur es science en biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

Mme Mounia EL-YAMANI – Responsable d'unité à l'Institut de Veille sanitaire – Docteur es science en biochimie, toxicologie, VLEP

M. Claude EMOND – Professeur adjoint de clinique à l'Université de Montréal – Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Guillaume GARCON – Professeur de toxicologie à l'Université de Lille 2 – Toxicologie générale, cancérologie, modèles expérimentaux, toxicologie respiratoire, pollution atmosphérique

M. Ludovic LE HEGARAT – Chef d'unité adjoint Toxicologie des contaminants - Anses – Laboratoire de Fougères- Toxicologie, génotoxicité, nanomatériaux

M. Karim MAGHNI – Professeur sous octroi agrégé à l'Université de Montréal – Toxicologie, immunologie, asthme, allergies, nanomatériaux

Mme Véronique MALARD – Ingénieur chercheur en toxicologie au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Centre de Marcoule. – Toxicologie « *in vitro* », biologie cellulaire, nanotoxicologie, protéomique.

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue au Service de santé des armées

M. Jean-Paul PAYAN – Chef du laboratoire Pénétration Cutanée, Cinétique et Métabolisme à l'INRS, Nancy – Pharmacien toxicologue, toxicocinétique

M. Henri SCHROEDER – Enseignant chercheur à l'URAFPA, INRA USC 340, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine - Pharmacien biologiste - Neurotoxicité, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Alain SIMONNARD – Chef de département à l'INRS, Nancy - Pharmacien toxicologue, toxicologie générale et reprotoxicité, anatomopathologie

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève – Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

Mme Lydie SPARFEL – Professeur à l'Université de Rennes 1 / IRSET 'Institut de Recherche en Santé, Environnement et Travail' UMR INSERM 1085– Pharmacien Toxicologue, immunotoxicologie, toxicogénomique, cancérologie, biologie cellulaire et moléculaire

M. Jérôme THIREAU – Chargé de recherche au CNRS – Docteur es science, physiologie animale, biologie cellulaire, cardiotoxicité

- CES « Eaux » au cours des séances des 3 septembre et 1^{er} octobre 2013.

Président

Yves LEVI – Université Paris Sud – Professeur des universités – Santé publique-environnement, micropolluants des milieux aquatiques

Membres

Claire ALBASI – CNRS – Directeur de recherche / Docteur, ingénieur – Produits et procédés de traitement

Sophie AYRAULT – CEA – Chef d'équipe, Docteur HDR – Chimie de l'eau

Jean BARON – Eau de Paris – Responsable de département / Ingénieur de recherche – Matériaux au contact de l'eau

Jean-Luc BOUDENNE – Université Aix Marseille – Chef d'équipe développements métrologiques et chimie des milieux – Produits et procédés de traitement de l'eau

Véronique BOUVARD – CIRC / OMS – Spécialiste scientifique / PhD – Toxicologie

Corinne CABASSUD – INSA – Responsable d'axe de recherche / Professeure des universités – produits et procédés de traitement de l'eau

Jean CARRE – Retraité EHESP – Enseignant chercheur / Professeur - hydrogéologie

Catherine CHUBILLEAU – Centre Hospitalier de Niort – Praticien hospitalier / Docteur en pharmacie, Docteur en sciences - Épidémiologie

Olivier CORREC – CSTB – Ingénieur de recherche / Docteur – MCDE

Christophe DAGOT – ENSIL – Directeur adjoint / Professeur – Assainissement

Isabelle DUBLINEAU – IRSN – Chargée de mission auprès du directeur de la radioprotection de l'Homme – Toxicologie

Sylvie DUBROU – LHVP – Directeur / Pharmacien – Microbiologie de l'eau

Robert DURAND – Responsable d'équipe / Professeur des universités – Université de Pau et des Pays de l'Adour – Écotoxicologie, biodégradation et biotransformation.

Stéphane GARNAUD – Mairie de Saint-Maur-des-Fossés – Responsable technique eau et assainissement – Assainissement

Jean-François HUMBERT – INRA – Directeur de recherche / PhD, HDR – Microbiologie de l'eau

Michel JOYEUX – Eau de Paris – Directeur de recherche développement et qualité de l'eau / Docteur en médecine, Docteur en sciences – Toxicologie

Colette LE BACLE – Retraitée INRS – Conseiller médical en santé au travail, pilote de la thématique risques biologiques / médecin du travail – Santé travail

Benjamin LOPEZ – BRGM – Chef de projet / docteur – Hydrogéologie

Jacques-Noël MUDRY – Université de Franche Comté – Professeur d'hydrogéologie – Hydrogéologie

Daniel PERDIZ – Université Paris Sud – Maître de conférences / Pharmacien toxicologue – Toxicologie

Fabienne PETIT – Université de Rouen CNRS – Enseignant chercheur / Professeur des universités – Écologie microbienne

Mohamed SAKHA – Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand – Professeur des universités – Chimie de l'eau

Marie-Pierre SAUVANT ROCHAT – Université d'Auvergne, Faculté de pharmacie – Professeur de santé publique – Santé publique

Michèle TREMBLAY – Institut de santé publique du Québec – MD conseil en santé au travail et en maladies infectieuses / MD spécialiste en santé communautaire – Santé travail

Michèle VIALETTE – Institut Pasteur Lille – Chef de service / microbiologiste – Microbiologie

Bénédicte WELTE – Eau de Paris – Directrice adjointe de recherche du développement et de la qualité de l'eau / Docteur es sciences – Produits et procédés de traitement de l'eau

■ CES « Évaluation des risques liés aux contaminants alimentaires »

Jean-Claude AMIARD – Professeur émérite

Pierre-Marie BADOT – Ecotoxicologue, Professeur, Université de Franche-Comté, Besançon

Alain BAERT – Toxicologue, CAP-TV Rennes

Valérie CAMEL – Analyste, Professeur AgroParisTech

Martine CLAUW – Toxicologue, Professeur, Ecole nationale vétérinaire, Toulouse

Hervé COFFIGNY – Toxicologue, Retraité

Cyril FEIDT – Ecotoxicologue, Professeur Institut Polytechnique de Lorraine

Thierry GUERIN – Analyste, Anses

Philipp Hess – Ecotoxicologue, Ifremer

Frédéric HOMMET – Analyse, Anses

Bruno LE BIZEC – Analyste, Professeur, LABERCA, ONIRIS, Nantes

Anne-Marie LE BON – INRA, Dijon

Rémi MAXIMILIEN – Toxicologue, Directeur de Recherche, CEA, Fontenay-aux-roses

J-François NARBONNE – Toxicologue, Professeur, université de Bordeaux

Isabelle OSWALD – Toxicologue, Professeur, TOXALIM, INRA, Toulouse

Alain PERIQUET – Ecotoxicologue, Professeur, Université de Toulouse

Jérôme ROSE – Spécialiste éléments traces et métalliques, CNRS CEREGE, Aix-en-Provence

A-Claude ROUDOT – Statisticien, Professeur, Université de Bretagne occidentale

Jacques TULLIEZ – Ecotoxicologue, Retraité

Paule VASSEUR – Toxicologue, Professeur, Université de Metz

J-Paul VERNOUX – Toxicologue, Professeur, Université de Caen

Participation Anses

UEDRS :

Claire Beausoleil
Aurélie Mathieu-Huart
François Pouzaud
Christophe Rousselle

UERA :

Emmanuelle Durand
Carole Leroux
Valérie Pernelet- Joly

UERCA :

Gilles Rivière

UERE :

Thomas Cartier
Anne Novelli
Pascale Panetier

UMERPC

Sebastien Denys
Marion Hulin
Véronique Sirot

DERA :

Ami Yamada
Nawel Bemrah
Jean-Charles Leblanc

UOSS

Geoffrey Argiles
Céline Dubois
Laurane Verrines

DER

Jean-Nicolas Ormsby

DPR

Catherine Gourlay-France

Laboratoire d'hydrologie de Nancy (LHN)

Xavier Dauchy

Sommaire

1	Contexte, objet et modalités d'élaboration de ce rapport intermédiaire.....	17
1.1	Contexte	17
1.2	Objet de ce rapport.....	17
1.3	Modalités de traitement.....	18
1.3.1	Moyens mis en œuvre et organisation	18
1.3.2	Méthodologie	18
2	Identification de données de contamination et ou d'exposition aux perfluorés.....	21
2.1	Identification de données de contamination relatives aux environnements domestiques et/ou extérieurs	21
2.1.1	Revue de la littérature scientifique	21
2.1.2	Concentrations dans les poussières domestiques	22
2.1.3	Concentrations dans l'air intérieur	37
2.1.4	Concentrations dans l'air extérieur	42
2.1.5	Acquisition de données françaises	61
2.1.6	Éléments de discussion	61
2.1.7	Références bibliographiques	62
2.2	Relatives aux aliments	65
2.2.1	Données de consommation alimentaire	65
2.2.2	Données de contamination alimentaire	66
2.2.3	Évaluation de l'exposition alimentaire	77
2.2.4	Présentation du programme ANR CONTREPERF.....	82
2.2.5	Références bibliographiques	83
2.3	Teneurs en PFAS relatives aux eaux de distribution et aux eaux embouteillées.....	84
2.3.1	Teneurs en PFAS dans les eaux distribuées en réseaux ou conditionnées	85
2.3.2	Concernant les données nationales d'exposition hydrique aux PFAS	85
2.3.3	Contamination des eaux dans l'étude de l'alimentation totale	88
2.3.4	Traitements réduisant la teneur en PFAS dans les eaux	88
2.3.5	Valeur de référence dans l'eau destinée à la consommation humaine.....	89
2.3.6	Synthèse et perspectives.....	90
2.3.7	Références bibliographiques	92
2.4	Relatives aux produits de consommation	96
2.4.1	Nordic Council of Ministers: Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries: uses, occurrence and toxicology (2013).....	96
2.4.2	US- EPA: Trends of perfluoroalkyl Acid Content in Articles of Commerce – Market Monitoring from 2007 through 2011 (aout 2012).....	96
2.4.3	Danish EPA : Exposure of pregnant consumers to suspected endocrine disruptors (avril 2012).....	97
2.4.4	Références bibliographiques	98
2.5	Conclusion relatives à l'exposition potentielle aux perfluorés : nature des composés, sources principales :	100
2.5.1	Modèle d'exposition via l'alimentation	100

2.5.2	Modèle d'exposition d'exposition <i>via</i> l'air.....	101
2.5.3	Modèle d'exposition <i>via</i> les poussières déposées.....	101
2.5.4	Paramètres d'exposition	101
2.5.5	Doses internes d'exposition totales et contribution des différentes sources.....	104
2.5.6	Mise en perspective	112
2.5.7	Références bibliographiques	113
2.6	Exposition	114
3	Discussion – Perspectives	116
3.1	Teneurs en perfluorés dans différents produits et milieux.....	116
3.2	Exposition	118
Annexe 1 : Avis Du CES « Eaux » Concernant La Présence De Composés Perfluorés Dans Les Eaux Destinées A La Consommation Humaine		121

Sigles et abréviations

AFFF :	Agents Formant un Film Flottant
Afssa :	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
Afssaps :	Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé
Afsset :	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
ANR :	Agence Nationale de la Recherche
Anses :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APFO :	Perfluorooctanoate d'Ammonium
ATP :	Adaptation au Progrès Technique
BNPC :	Base Nationale des Produits et Compositions
CALIPSO :	Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3
CONTREPERF :	Projet concernant l'exposition alimentaire aux contaminants perfluorés de femmes enceintes
CAS :	Chemical Abstracts Service
CE :	Commission Européenne
CES :	Comité d'Experts Spécialisés
CHU :	Centre hospitalier universitaire
CLP :	Classification, labelling and packaging of substances and mixtures
CRD :	Commission Recherche et Développement
CSST :	Commission de la santé et de la sécurité au travail
DCE :	Directive Cadre sur l'Eau
DGS :	Direction Générale de la Santé
DJE :	Dose Journalière d'Exposition
EAT :	Etude de l'Alimentation Totale française
ECF :	Fluoration Electrochimique
ECHA :	European CHemical Agency
EDCH :	Eaux Destinées à la Consommation Humaine
EDEN :	Etude des déterminants pré et postnatals du développement de la santé de l'enfant
EFSA :	European Food Safety Authority
EINECS :	European inventory of existing commercial chemical substances
ERS :	Evaluation des risques sanitaires
ETFE :	Ethylène Tétrafluoroéthylène
FDS :	Fiche de données de sécurité
FICG :	Fédération de l'imprimerie et de la communication graphique
FBSA :	Perfluorobutane Sulfonamine
FBSE :	Perfluorobutane Sulfonamidoethanol
FIPEC :	Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs
FTA :	Fluorotelomer Acid
FTOH :	Fluorotelomer Alcohol

FTS :	Fluorotelomer Sulfonate
FTSA :	Fluorotelomer Sulfonic Acid
FTUCA :	Fluorotelomer Unsaturated Carboxylic Acid
GC-MS :	Chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse
GT :	Groupe de Travail
HDL :	High Density Lipoprotein
HPV :	High Production Volume
HRIV :	Health-Related Indication Values
HSDB :	Hazardous Substances Data Bank
IARC:	International Agency for Research on Cancer (Centre international de recherche sur le cancer)
ICAR-PCB:	Imprégnation et Consommation Alimentaire de produits de Rivière-Polychlorobiphényles
INCA2:	Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2
IRCM :	Institut de recherche en cancérologie de Montpellier
Ineris :	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INPES :	Institut national de prévention et d'éducation pour la santé
INRS :	Institut national de recherche et sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
Insee :	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm :	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS :	Institut de Veille Sanitaire
Koc :	Coefficient d'adsorption du sol
Kow :	Coefficient de partage octanol-eau
Laberca :	Laboratoire d'étude des résidus et contaminants dans les aliments
LB :	Lower bound
LC-MS :	Chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse
LD :	Limite de détection
LDL :	Low Density Lipoprotein
LIE :	Limite Inférieure d'Explosivité
LHN :	Laboratoire d'Hydrologie de Nancy
LOAEL:	Lowest observed adverse effect level
LOQ :	Limite de quantification
LSE :	Limite Supérieure d'Explosivité
MCDA :	Matériaux destinés à être en Contact avec les Denrées Alimentaires
NAF :	Nomenclature d'activités françaises
NTP :	National Toxicology Program
OCDE :	Organisation pour la Coopération et de Développement Economique
OMS :	Organisation mondiale de la santé
Onema :	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
PBPK :	Pharmacocinétique physiologique / Physiologically based pharmacokinetic
PE :	Perturbateur endocrinien
PFAA :	Acide perfluoroalkylé

PFAS :	Substances polyfluoroalkylées et perfluoroalkylées
PFBA :	Acide perfluorobutanoïque
PFBS :	Sulfonate de perfluorobutane
PFCA :	Acides carboxyliques perfluorés (ex PFOA)
PFDA :	Acide perfluorodécanoïque
PFDcA :	Perfluorodécanoate
PFDS :	Sulfonate de perfluorodécane
PFDoA :	Acide perfluorododécanoïque
PFHpA :	Acide perfluoroheptanoïque
PFHpS :	Sulfonate de perfluoroheptane
PFHxA :	Acide perfluorohexanoïque
PFHxS :	Sulfonate de perfluorohexane
PFNA :	Acide perfluorononanoïque
PFOA :	Acide perfluorooctanoïque
PFOcDA :	Acide Perfluorooctadécanoïque
PFOS :	Sulfonate de perfluorooctane
PFOSA :	Perfluorooctanesulfonamide
PFOSE :	Perfluorooctane Sulfonamidoethanol
PFOSi :	Acide perfluorooctylsulfinate
PFPA :	Acide perfluoropentanoïque
PFPS :	Sulfonate de perfluoropentane
PFSA :	Acides sulfoniques perfluorés (ex PFOS)
PFTeDA :	Acide perfluorotétradécanoïque
PFTrDA :	Acide perfluorotridécanoïque
PFUnA :	Acide perfluoroundécanoïque
PND :	Post natal day
POP :	Polluants Organiques Persistants
ppb :	partie par milliard
ppm :	partie par million
PTFE :	Polytétrafluoroéthylène
PVDF :	Fluorure de Polyvinylidène
QSAR :	Quantitative structure - activity relationship
REACH :	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
SGH :	Système Global Harmonisé
T3 :	Triiodothyronine
T4 :	Thyroxine
UB :	Upper bound
UBA :	UmweltBundesAmt (The Germany Federal Environment Agency)
UE :	Union européenne
UFIP :	Union française des industries pétrolières
UNIFA :	Union nationale des industries françaises de l'ameublement

US EPA : United States Environmental Protection Agency

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans les poussières domestiques recensées dans la littérature.....	22
Tableau 2 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans les poussières domestiques recensées dans la littérature (ng.g ⁻¹).....	25
Tableau 3 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans les poussières domestiques recensées dans la littérature (ng.g ⁻¹).....	35
Tableau 4 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans l'air de logements recensées dans la littérature scientifique.....	38
Tableau 5 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans l'air intérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m ⁻³).....	39
Tableau 6 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans l'air intérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m ⁻³).....	40
Tableau 7 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique.....	42
Tableau 8 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m ⁻³).....	45
Tableau 9 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m ⁻³).....	50
Tableau 10 : Liste des composés perfluoroalkylés recherchés dans les études CALIPSO, ICAR-PCB, EAT2 et EATi et leur limite de détection minimale et maximale par composé (ng.g ⁻¹ de poids frais)...	67
Tableau 11 : Taux de censure par composé perfluoré et par étude.....	67
Tableau 12: Comparaison entre la moyenne de contamination des poissons du rapport de l'EFSA, l'EAT2, l'étude CALIPSO et l'étude ICAR-PCB (ng.g-1 de poids frais).....	73
Tableau 13: Contamination en composés perfluorés des groupes d'aliments échantillonnés dans le cadre des études EAT2, CALIPSO et ICAR-PCB (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	75
Tableau 14 : Données de consommation alimentaire et de contamination alimentaire utilisées pour le calcul de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés.....	77
Tableau 15 : Distribution de l'exposition alimentaire par population et par composé perfluorés (en ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹).....	79
Tableau 16 : Partenaires et objectifs du programme ANR CONTREPERF.....	82
Tableau 17 : Nombre de résultats par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne nationale d'analyse réalisée par le LHN.....	86
Tableau 18 : Nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse réalisée par le LHN.....	87
Tableau 19 : Valeurs guides en composés perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine.....	89
Tableau 20 : Valeurs limites indicatives (HRIV) pour différents PFAS (Wilhem <i>et al.</i> , 2010)......	90
Tableau 21 : Liste des molécules de composés perfluorés recherchées dans les eaux prélevées au cours des campagnes dites « exceptionnelles » d'échantillonnage de 2011 et 2012 à la demande de la DEB du MEDDE.....	90
Tableau 22 : Substances investiguées par le Danish EPA (juillet 2011 à mars 2012).....	98
Tableau 23 : Concentrations moyennes dans l'air intérieur, extérieur, et les poussières retenues pour les calculs d'exposition.....	102
Tableau 41 : Doses internes moyennes d'exposition à 12 perfluorés via l'alimentation, l'air et les poussières déposées – approche UB.....	105
Tableau 25 : Doses internes moyennes d'exposition à 12 perfluorés via l'alimentation, l'air et les poussières déposées – approche LB.....	108

Liste des figures

Figure 1 : Part des 15 PFAA dans la contamination des poissons de mer et d'eau douce, sous les hypothèses LB et UB.....	70
Figure 2 : Dendrogramme pour la contamination moyenne de la somme des 15 perfluorés sous l'hypothèse LB pour les espèces de poisson d'eau douce	72
Figure 3 : Données disponibles pour les couples femmes enceintes/fœtus pour l'utilisation du modèle PBPK	83
Figure 4: contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les enfants - approche UB.....	106
Figure 5 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les adultes - approche UB.....	106
Figure 6 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les femmes enceintes - approche UB	107
Figure 7 : Contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les enfants - approche LB	109
Figure 8 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les adultes - approche LB	110
Figure 9 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les femmes enceintes - approche LB.....	111

1 Contexte, objet et modalités d'élaboration de ce rapport intermédiaire

1.1 Contexte

Ce rapport s'inscrit dans le travail en cours au sein de l'Anses sur la problématique des perturbateurs endocriniens (PE). En 2009, le ministère chargé de la santé a saisi l'Afssaps, l'Afssa, l'Afsset, l'InVS, l'INPES en vue d'une expertise sur la question des PE entrant dans leur champ de compétences respectifs. L'Inserm, pour sa part, a notamment été chargé de réaliser une expertise collective sur les effets de substances dites PE en rassemblant et en analysant l'ensemble de la littérature scientifique disponible. Sur la base des substances identifiées *via* cette expertise comme préoccupantes pour leur toxicité sur la reproduction et/ou leur action de PE, l'Agence a été saisie, avec pour mission :

- de hiérarchiser les substances à étudier en priorité,
- d'identifier les produits et articles contenant des substances reprotoxiques ou susceptibles de l'être (PE notamment),
- d'analyser et, si possible, de quantifier les voies d'exposition de la population générale à ces substances. Une analyse spécifique sera réalisée concernant les populations vulnérables et les personnes exposées à ces substances dans un cadre professionnel, à travers l'utilisation de produits destinés au grand public,
- de procéder à une évaluation des risques et des bénéfices (les bénéfices sanitaires attendus pour certains produits).

L'un des objectifs de ce travail est, *in fine*, d'identifier les substitutions possibles pour les produits ou substances pour lesquels un risque sanitaire aurait été mis en évidence en s'assurant que les candidats à la substitution identifiés aient pu faire l'objet d'une évaluation des risques préalable à leur autorisation.

Dans le cadre de la saisine de la direction générale de la santé (DGS) « 2009-SA-0331 », l'Anses avait pour objectif d'évaluer les risques des composés listés en Annexe III du contrat d'expertise du 05/02/1010, et notamment pour les composés suivants : Sulfonate de perfluorooctane (PFOS – CAS n° 1763-23-1, 29081-56-9, 2795-39-3) et Acide perfluorooctanoïque (PFOA - CAS n° 335-67-1).

1.2 Objet de ce rapport

Par courrier du 4 juin 2009, la DGS a saisi l'Agence en vue de demander une expertise sur les risques sanitaires pour le consommateur liés à des substances reprotoxiques et/ou PE présents dans des produits et/ou articles mis sur le marché, dont le sulfonate de perfluorooctane (PFOS – CAS n° 1763-23-1, 29081-56-9, 2795-39-3) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA - CAS n° 335-67-1).

D'autres perfluorés peuvent être présents dans des articles ou produits de consommation et potentiellement rencontrés dans différents compartiments de l'environnement. Ces composés ne faisaient pas l'objet de la saisine de la DGS. Néanmoins, dans le cadre de ce rapport intermédiaire, tous les éléments utiles à une meilleure connaissance des expositions en lien avec les perfluorés et à une meilleure compréhension des effets sanitaires de cette famille de composés seront considérés.

L'objet de ce rapport intermédiaire est de recenser les données disponibles ou en cours d'acquisition concernant les dangers potentiels d'un certain nombre de composés de la famille des perfluorés ainsi que des données d'usage et de contamination de différents produits ou compartiments de l'environnement, incluant les eaux et l'alimentation. L'objectif final de ce rapport est de définir les principaux effets toxiques en lien avec une exposition à ces composés et de déterminer les sources principales d'exposition humaine, en vue de prioriser les perfluorés qui pourront faire l'objet, dans un second temps, d'une évaluation des risques sanitaires (ERS).

1.3 Modalités de traitement

1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation

Ce rapport intermédiaire a été rédigé par l'Anses sur la base de documents disponibles en interne à l'Agence ou publiés par d'autres organismes d'expertise. Les données figurant dans ces documents n'ont pas fait l'objet d'une évaluation spécifique pour ce rapport intermédiaire. Elles ont été insérées dans ce rapport à partir du moment où elles peuvent apporter des éléments utiles à la compréhension des dangers et les expositions associés aux perfluorés.

L'Anses a soumis ce rapport pour commentaires au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Évaluation des risques liés aux substances chimiques » en charge de l'instruction de la saisine de la DGS sur les perturbateurs endocriniens. Il a ainsi été discuté lors des réunions du CES du 12 septembre, 10 octobre, 14 novembre et 19 décembre 2013, et 13 mars, 10 avril, 15 mai, 12 juin et 10 juillet 2014. La version finale de ce rapport intermédiaire tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

1.3.2 Méthodologie

En ce qui concerne le recensement des données relatives au danger des perfluorés, les composés suivants ont fait l'objet d'une évaluation plus complète de leurs effets sur la santé:

- PFOS,
- PFOA,

Afin d'évaluer la toxicité de chacune de ces substances, notamment sur la fonction de reproduction et la fonction endocrine, l'Anses a conduit une recherche bibliographique. Les bases de données suivantes ont été consultées : PubMed, PubChem, Scopus, European Chemicals Bureau: EURAR /ESIS, ECHA - European Chemicals Agency, EFSA, TOXNET, ChemIDplus, Toxline, HSDB – Hazardous Substances Data Bank, CCRIS - Chemical Carcinogenesis Information, CTD - [Comparative Toxicogenomics Database](http://www.inchem.org/index.html), Haz-Map, Genetox, GESTIS, INCHEM : <http://www.inchem.org/index.html>, Fiches du CSST (français) : www.reptox.csst.qc.ca/, OCDE-SIDS initial assessment profile et <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html> et <http://webnet3.oecd.org/echemportal/et>, IARC, NTP, CDC Chemical Emergency Response and ATSDR - Agency for toxic substances and diseases registry, Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH) and Criteria documents, CCHST - Canadian Center for Occupational Health and Safety <http://ccinfoweb.cchst.ca/> (French), INRS - Institut national de recherche et de sécurité. Fiches toxicologiques, Toxicity Profiles of the American Risk Assessment Information System (RAIS) - Programme d'évaluation des substances d'intérêt prioritaire de Santé Canada : <http://risk.lsd.ornl.gov/>, EPA - Integrated Risk Information System (IRIS) Toxicological reviews. Toxicological Profiles, OEHHA, Santé Canada, OMS,

INERIS, NIOSH, OSHA, SIDS, CIS – Recherche Centre International de Sécurité et de Santé au Travail, Bases de données bibliographiques et Encyclopédie de Sécurité et de Santé au travail.

Les articles répertoriés ont été répartis de la manière suivante :

- articles rapportant les résultats d'études épidémiologiques ou des études de cas chez l'homme : « données humaines »
- articles rapportant les résultats d'études expérimentales réalisées sur l'animal de laboratoire et apportant des informations sur les effets potentiels de la substance sur la fonction de reproduction et la fonction endocrine en lien avec la sphère de la reproduction (par exemple, études de reprotoxicité, de toxicité chronique ou subchronique, de cancérogenèse) : « étude *in vivo* »
- articles rapportant les résultats d'études *in vitro* (modèles cellulaires...) ou *in silico* (QSAR...) susceptibles d'apporter des informations sur le mécanisme d'action de la substance en lien avec les effets potentiels de la substance sur la fonction de reproduction et la fonction endocrine en lien avec la sphère de la reproduction: « étude *in vitro* »

En ce qui concerne la partie identification des produits et/ou articles contenant ces substances ainsi que la partie évaluation de l'exposition, la méthodologie employée est détaillée comme suit :

- réalisation d'une enquête de filières auprès des industriels français identifiés comme potentiellement concernés par les substances grâce aux recherches bibliographiques ;
- interrogation de bases de données afin de compléter les informations obtenues par les industriels ;
- réalisation d'une recherche bibliographique pour l'identification des données d'exposition relatives aux environnements domestiques et/ou extérieurs ;
- acquisition de données de contamination pour 16 à 17 composés perfluorés selon l'étude, dont PFOS et PFOA, dans les aliments (eau incluse) constitutifs du régime alimentaire de plusieurs groupes de population via les programmes de surveillance et de recherche de l'Agence (EAT2, EAT infantile, CALIPSO, ICAR-PCB, CONTREPERF) permettant d'évaluer l'exposition alimentaire des populations suivantes: population générale (3-79 ans), enfants en bas âge (0-3 ans), forts consommateurs de produits de la mer, consommateurs de poissons d'eau douce, femmes enceintes.

Enfin, les rapports d'expertise récents identifiés par l'Agence ont été consultés et les données utiles à cette expertise ont été insérées dans ce rapport. Il s'agit des rapports suivants :

- Rapport d'expertise collective de l'Inserm sur « reproduction et environnement » publié en 2011 qui s'appuie sur les données scientifiques disponibles en date du second semestre 2010 ; le chapitre VIII traite des composés perfluorés
- Rapport intitulé « Per and polyfluorinated substances in the Nordic Countries – use, occurrence and toxicology » du Nordic Council of Ministers, publié en 2013.

Suite à l'analyse des données de toxicité et d'exposition disponibles ou en cours d'acquisition, l'Agence se positionnera sur la pertinence et sur la faisabilité d'une évaluation de risques sanitaires pour certains de ces composés perfluorés.

2 Identification de données de contamination et ou d'exposition aux perfluorés

Comme beaucoup d'autres polluants chimiques d'origine anthropique, les composés perfluorés peuvent être relargués dans l'environnement à chaque étape de leur cycle de vie, puis retrouvés dans la chaîne alimentaire et *in fine* dans les organismes vivants. Le PFOS et le PFOA étant les principaux produits de dégradation finaux de nombreux composés perfluorés, ils sont retrouvés de façon généralement prépondérante dans les matrices environnementales ou biologiques, et sont le plus souvent les seuls étudiés. Par leur structure chimique comportant d'une part une chaîne carbonée polyfluorée apolaire et d'autre part un groupement fortement polaire, les PFC se caractérisent par des propriétés à la fois hydrophobes et lipophobes, et de ce fait ne s'accumulent pas dans les tissus adipeux. (Inserm, 2011)

2.1 Identification de données de contamination relatives aux environnements domestiques et/ou extérieurs

La recherche de données de contamination relatives aux environnements domestiques et/ou extérieurs s'inscrit dans le cadre de la saisine DGS sur les risques sanitaires pour le consommateur liés à la présence de substances reprotoxiques et/ou PE présentes dans des produits mis sur le marché en France, dont le PFOS et le PFOA. La présence d'autres composés perfluorés dans ces médias a également été recherchée.

2.1.1 Revue de la littérature scientifique

La présence de composés perfluorés dans l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières domestiques est documentée à partir des données de la littérature. Une extraction bibliographique sur la période 2000 – 2013 (veille en cours) a été réalisée grâce aux bases de données Scopus et Pubmed à partir des équations de recherche suivantes (les équations 2 et 3 concernent particulièrement le PFOS et le PFOA) :

- équation 1 : ("perfluorinated" OR "perfluorinated" OR "perfluoroalkyl") AND ("air pollution" OR "indoor air" OR "housing" OR "dust" OR "environmental exposure" OR "personal exposure")
- équation 2 : ("Pfos" OR "Perfluorooctylsulfonic acid" OR "Perfluorooctanesulfonic acid" OR "Perfluorooctanesulfonate" OR "Perfluorooctane sulfonic acid" OR "Heptadecafluoro-1-octanesulfonic acid" OR "Potassium perfluorooctanesulfonate" OR "Perfluorooctane sulfonate potassium salt" OR "1-octanesulfonic acid" OR "1-perfluorooctanesulfonic acid") AND ("air pollution" OR "indoor air" OR "housing" OR "dust" OR "environmental exposure" OR "personal exposure")
- équation 3 : ("Pfoa" OR "Pentadecafluorooctanoic acid" OR "Pentadecafluorooctanoic acid" OR "Perfluorocaprylic acid" OR "Perfluorooctanoic acid" OR "Perfluoroheptanecarboxylic acid" OR "Perfluorooctanoic acid" OR "Pentadecafluoro-n-octanoic acid" OR "Pentadecafluoro-1-octanoic acid" OR "Pentadecafluoro-1-octanoic acid" OR "Octanoic acid") AND ("air pollution" OR "indoor air" OR "housing" OR "dust" OR "environmental exposure" OR "personal exposure")

Une recherche plus générale sur la famille des perturbateurs endocriniens et sur les composés organiques semi-volatils a également été effectuée.

Ces recherches visant à documenter l'exposition de la population générale aux composés perfluorés, les études présentant des résultats de mesures en milieu professionnel (e.g. usines d'incinération) ont été référencées mais n'ont pas été prises en compte pour la suite des travaux. Enfin, compte tenu du nombre d'études identifiées relativement faible, aucun critère de sélection géographique n'a été appliqué pour cette première étape.

Trois revues bibliographiques majeures présentant une synthèse des données d'exposition dans l'air intérieur et/ou l'air extérieur et/ou les poussières domestiques ont été identifiées dans la littérature (D'Hollander *et al.*, 2010a ; Fromme *et al.*, 2009 ; Harrad *et al.*, 2010). Les études citées dans ces revues ont été identifiées par ailleurs (à l'exception de 2 études). La majorité d'entre elles concernent la présence des composés perfluorés dans les poussières domestiques et l'air extérieur.

2.1.2 Concentrations dans les poussières domestiques

Les données de contamination en composés perfluorés dans les poussières domestiques sont décrites de façon succincte dans les tableaux suivants. Les données disponibles identifiées sont ici simplement recensées et les publications n'ont pas fait l'objet d'une analyse visant à déterminer la qualité des données. Dans la quasi-totalité des études, les prélèvements de poussières ont été réalisés soit par collecte du sac d'aspirateur domestique, soit par une aspiration dédiée au prélèvement en utilisant des aspirateurs dont l'embout a été modifié pour éviter les contaminations. L'analyse est ensuite réalisée par chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse (LC-MS) pour les composés perfluorés ioniques et généralement par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS) pour les composés perfluorés neutres. Compte tenu du nombre important de composés perfluorés analysés dans les différentes études, les données de contamination sont présentées dans 3 tableaux : tableau 18 (PFOS/PFOA), tableau 19 (autres composés perfluorés ioniques), tableau 20 (composés perfluorés neutres).

Tableau 1 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans les poussières domestiques recensées dans la littérature

Auteurs	Pays	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures dans les logements	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (ng.g ⁻¹)	PFOS (ng.g ⁻¹)
Björklund <i>et al.</i> , 2009	Suède	2006-2007	48	Maisons Med = 54 Appartements Med = 93	Maisons Med = 39 Appartements Med = 85
D'Hollander <i>et al.</i> , 2010b	Belgique	2008	45	Med = 0,7	Med = 0,5
Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Espagne	2009	10	Min = 1,5 ; Max = 36	Min = 1,1 ; Max = 12

Auteurs	Pays	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures dans les logements	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (ng.g ⁻¹)	PFOS (ng.g ⁻¹)
Goosey <i>et al.</i> , 2011	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA	2007-2009	143	France : Med = 31 Moy = 52 UK : Med = 310 Moy = 310 Australie : Med = 120 Moy = 530 Canada : Med = 69 Moy = 270 Allemagne : Med = 300 Moy = 290 Kazakhstan : Med =< 0,98 Moy = 49 Thaïlande : Med = 18 Moy = 45 USA : Med = 240 Moy = 370	France : Med = 160 Moy = 330 UK : Med = 140 Moy = 450 Australie : Med = 170 Moy = 1000 Canada : Med = 140 Moy = 290 Allemagne : Med = 170 Moy = 310 Kazakhstan : Med = 59 Moy = 56 Thaïlande : Med = 16 Moy = 32 USA : Med = 310 Moy = 4520
Huber <i>et al.</i> , 2011	Norvège	2007-2008	12	Med = 38,8	Med = 9,1
Kato <i>et al.</i> , 2009	USA, UK, Allemagne, Australie	2004	39	Med = 96,5	Med = 479,6
Knobeloch <i>et al.</i> , 2012	USA	2008	39	Med = 44	Med = 47
Kubwabo <i>et al.</i> , 2005	Canada	2002-2003	67	Med = 19,7	Med = 37,8
Moriwaki <i>et al.</i> 2003	Japon	NR	30	Min = 69 Max = 3700	Min = 11 Max = 2500
Strynar et Lindstrom, 2008	USA	2000-2001	102	Med = 142	Med = 201
Beesoon <i>et al.</i> , 2011	Canada	2007-2008	18	Med = 38	Med = 37
Cornelis <i>et al.</i> , 2012	Belgique	2008	40	Med = 0,72	Med = 0,77
Haug <i>et al.</i> , 2011	Norvège	2008	41	Med = 18	Med = 3,1
Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Canada	2007-2008	152	Med = 30	Med = 71
Xu <i>et al.</i> , 2013	Allemagne	2008-2009	31	Med = 39,2	Med = 19,9
Zhang <i>et al.</i> , 2010	Chine	2009	12	Moy = 7,73	Moy = 1,91
Liu <i>et al.</i> , 2011	Japon	2010	Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	Site 1 : Med = 20,8 Site 2 : Med = 78,2 Site 3 : Med = 21,6 Site 4 : Med = 13,2 Site 5 : Med = 12,1	NC

Auteurs	Pays	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures dans les logements	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (ng.g ⁻¹)	PFOS (ng.g ⁻¹)
SSNC, 2011 ¹	Afrique du Sud, Tanzanie, Kenya, Ouganda, Philippines, Malaisie, Suède, Allemagne, Belgique, république Tchèque, Hongrie, Italie	NR	3 prélèvements par pays poolés pour l'analyse	Afrique du Sud < LD Tanzanie = 3,4 Kenya < LD Ouganda < LD Philippines = 1,1 Malaisie < LD Suède < LD Allemagne < LD Belgique < LD République Tchèque < LD Hongrie < LD Italie < LD	Afrique du Sud = 7,2 Tanzanie = 1,5 Kenya < LD Ouganda = 0,7 Philippines < LD Malaisie = 7,6 Suède = 1,6 Allemagne < LD Belgique < LD République Tchèque < LD Hongrie < LD Italie < LD
De Silva <i>et al.</i> , 2012	Canada	2007-2008	102	NC	Med = 75
Nakata <i>et al.</i> , 2007 (d'après D'Hollander <i>et al.</i> , 2010a)	Japon	NR	7	Min = 18 Max = 89	Min = 7 Max = 41
Fraser <i>et al.</i> , 2013	USA	2009	30	Moy = 23,7	Moy = 26,9

¹ Le PFBS, PFDA, PFHpA, PFDS, PFDaA, PFHxS, PFHxA, PFNA et le PFOSA ont également été mesurés dans cette étude. Tous les résultats de mesures sont inférieurs aux limites de détection.

Tableau 2 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans les poussières domestiques recensées dans la littérature (ng.g⁻¹)

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
6 : 2 FTUCA		Min < LD ; Max = 0,080								Med = 10 Moy = 35				
8 : 2 FTUCA		Min < LD ; Max = 0,11								Med = 3,6 Moy = 11				
10 : 2 FTUCA		Min < LD ; Max < LD												
5 : 3 FTSA		Min < LD ; Max < LD												
PFOSA			UK : Med = 20 ; Moy = 54 / Australie : Med = 1,2 ; Moy = 25 / Canada : Med = 7,8 ; Moy = 190 / France : Med = 3,0 ;	Med < LQ	Med < LQ				Med < LD	Med = 0,45 Moy = 1,8		Moy = 1,01		

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
			Moy = 3,4/ Allemagne : Med = 47 ; Moy = 56 / Kazakhstan : Med et Moy < LD ; / Thaïlande : Med = 8,5 ; Moy = 13 / USA : Med = 69 ; Moy = 66											
6 : 2 FTS				Min < LD ; Max = 38,7						Med = 4,8 Moy = 9,0				
8 : 2 FTS				Min < LD ; Max = 139						Med = 5,3 Moy = 15				
PFBS	Med < LD	Min < LD ; Max = 6,5		Min < LD ; Max = 10,6	Med = 359	Med = 1,8	Min et max < LD	Med = 9,11	Med < LD	Med = 0,40 Moy = 1,3				Moyenn e non reportée en

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
														raison du faible pourcent age de détection
PFHxS	Med = 0,1	Min = 0,17 ; Max = 5,3	UK : Med = 210 ; Moy = 450 / Australie : Med = 180 ; Moy = 240 / Canada : Med = 120 ; Moy = 150 / France : Med = 77 ; Moy = 130 / Allemagne : Med = 150 ; Moy = 290 / Kazakhstan : Med =	Min < LD ; Max = 3,1	Med = 185,5	Med = 16	Med = 23,1	Med = 45,5	Med = 14	Med = 0,60 Moy = 8,4		Moy < LD		Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent age de détection

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar <i>et Lindstro m</i> , 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser <i>et al.</i> , 2013	
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30	
			120 ; Moy = 94 / Thaïlande : Med = 16 ; Moy = 25 / USA : Med = 240 ; Moy = 270												
PFHpS						Med = 9,9			Med < LD	Med = 0,19 Moy = 0,29					
PFHxA	Med = 0,3	Min = 0,40 ; Max = 2,9			Med < LQ	Med < LD		Med = 54,2	Med = 35	Med = 28 Moy = 33			Site 1 : Med = 9,2 Site 2 : Med = 27,5 Site 3 : Med = 8,2 Site 4 : Med = 3,0 Site 5 : Med =	Moy = 8,65	

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar <i>et Lindstro m</i> , 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser <i>et al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
													12,4	
PFHpA		Min = 0,46 ; Max = 4,0		Min = 2,8 ; Max = 18,5	Med = 97,3	Med = 17		Med = 50,2	Med = 21	Med = 9,4 Moy = 10	Med = 79	Moy = 1,06	Site 1 : Med = 3,7 Site 2 : Med = 5,5 Site 3 : Med = 3,9 Site 4 : Med = 2,8 Site 5 : Med = 2,1	Moy = 12
PFNA	Med = 0,1	Min = 0,40 ; Max = 37		Min = 3,3 ; Max = 26,7	Med < LQ	Med = 12		Med = 7,99	Med = 15	Med = 23 Moy = 29	Moy = 26	Moy = 1,0	Site 1 : Med = 23,2 Site 2 : Med = 28,8 Site 3 : Med = 22,7 Site 4 :	Moy = 10,9

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
													Med = 29,0 Site 5 : Med = 15,3	
PFDcA				Min < LD ; Max = 10,5										
PFDoA (PFDODA)		Min < LD ; Max = 17		Min < LD ; Max = 3,0	Med < LQ	Med = 5,0		Med = 7,78	Med = 10	Med = 19 Moy = 22	Moy = 6,3	Moy = 0,75	Site 1 : Med = 4,0 Site 2 : Med = 2,7 Site 3 : Med = 2,1 Site 4 : Med = 6,0 Site 5 : Med = 4,1	Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent age de détection

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
PFDA	Med = 0,2	Min = 0,75 ; Max = 41			Med < LQ	Med = 5,7		Med = 6,65	Med = 15	Med = 4,1 Moy = 4,1	Moy = 8,4	Moy = 2,06	Site 1 : Med = 7,3 Site 2 : Med = 6,5 Site 3 : Med = 5,4 Site 4 : Med = 11,3 Site 5 : Med = 6,5	Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent age de détection
PFDS		Min < LD ; Max < LD		Min = 1,0 ; Max = 13,7		Med = 5,4			Med = 2,1	Med = 1,1 Moy = 3,5		Moy < LD		
PFUnDA (PFUA) (PFUnA)		Min < LD ; Max = 15		Min < LD ; Max = 323	Med < LQ	Med = 3,1		Med = 7,57	Med = 6,1		Moy = 7,8	Moy = 0,20	Site 1 : Med = 12,9 Site 2 : Med = 15,7 Site 3 :	Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten et <i>al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber et <i>al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug et <i>al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser et <i>al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
													Med = 8,9 Site 4 : Med = 21,6 Site 5 : Med = 11,0	age de détection
PFT _r DA (PFTA)		Min=0,04 7 Max = 77				Med = 2,1			Med = 2,4	Med = 6,8 Moy = 8,8	Moy = 7,3		Site 1 : Med = 5,5 Site 2 : Med = 8,0 Site 3 : Med = 28 Site 4 : Med =7,8 Site 5 : Med = 5,1	Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent age de détection
PFT _e DA		Min < LD ; Max = 6,7				Med = 3,7			Med = 3,3	Med = 3,3 Moy =			Med < LD (sites 1,	Moyenn e non reportée

Etude	D'Holland er <i>et al.</i> , 2010	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc h <i>et al.</i> , 2012	Kubwab o <i>et al.</i> , 2005	Strynar <i>et al.</i> , Lindstro m, 2008	Beesoo n <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Zhan g <i>et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser <i>et al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- 2005) N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
										5,3			2, 3, 4 et 5)	en raison du faible pourcent age de détection
PFocDA		Min < LD ; Max < LD												
PFBA	Med = 0,2	Min = 7,2 ; Max = 25		Min < LD ; Max = 27,5		Med = 3,5			Med = 2,6					Moy = 13,9
PFPA		Min < LD ; Max = 0,93				Med = 5,4			Med = 5,2	Med = 3,0 Moy = 3,9				Moyenn e non reportée en raison du faible pourcent age de détection
PFPS				Min < LD ; Max < LD										

Etude	D'Holland <i>et al.</i> , 2010	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Knobeloc <i>h et al.</i> , 2012	Kubwab <i>o et al.</i> , 2005	Strynar et Lindstro m, 2008	Beesoo <i>n et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Shoei <i>b et al.</i> , 2011	Zhan <i>g et al.</i> , 2010	Liu <i>et al.</i> , 2011	Fraser <i>et al.</i> , 2013
Substance	Belgique (2008) N = 45	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007- 2009) N=143	Norvège (2007- 2008) N = 8	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2008) N = 39	Canada (2002- 2003- N = 67	USA (2000- 2001) N = 102	Canada (2007- 2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007- 2008) N = 152	Chine (2009) N = 12	Japon (2010) Site 1 : N = 77 Site 2 : N = 21 Site 3 : N = 20 Site 4 : N = 16 Site 5 : N = 20	USA (2009) N = 30
PFNS				Min < LD ; Max < LD										

Tableau 3 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans les poussières domestiques recensées dans la littérature (ng.g⁻¹)

Etude	Jogsten et al., 2012	Goosey et al., 2011	Kato et al., 2009	Strynar et Lindstrom, 2008	Beesoon et al., 2011	Haug et al., 2011	Shoeib et al., 2011	Xu et al., 2013	Shoeib et al., 2005	De Silva et al., 2012	Fraser et al., 2013
Substance	Espagne (2009) N = 10	Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, UK, USA (2007-2009) N=143	USA, UK, Allemagne, Australie (2004) N = 39	USA (2000-2001) N = 102	Canada (2007-2008) N = 18	Norvège (2008) N = 41	Canada (2007-2008) N = 152	Allemagne (2008-2009) N = 31	Japon (2002-2003) N = 59	Canada (2007-2008) N = 102	USA (2009) N = 30
4 : 2 FTOH								Min et Max < LD			
6 : 2 FTOH	Min = 0,008 ; Max = 0,060			Med = 23,5			Med = 49	Med = 3,7		Med = 49	Moyenne non reportée en raison du faible pourcentage de détection
8 : 2 FTOH	Min < LD ; Max = 1,3			Med = 32,9			Med = 88	Med = 13,1		Med = 63	Moy = 10,8
10 : 2 FTOH	Min < LD ; Max = 0,39			Med = 30,6			Med = 51	Med = 6,6		Med = 40	Moyenne non reportée en raison du faible pourcentage de détection
MeFOSA (Me FOSEA)	Min < LD ; Max = 0,065	Med < LD (UK, Australie, Canada, France, Allemagne, Kazakhstan, Thaïlande, USA) UK : Moy = 13 / Australie : Moy = 360 / Canada : Moy = 32 / France : Moy = 5,4 / Allemagne : Moy = 1,7 / Kazakhstan : Moy < LD / Thaïlande : Moy = 1,6 / USA : Moy = 15	Med < LQ		Med = 2,3	Med = 0,51 Moy = 0,56	Med = 1,8		Moy = 14		
EtFOSA	Min < LD ; Max < LD	UK : Med = 40 ; Moy = 640 / Australie : Med = 930 ; Moy = 2000 / Canada : Med = 550 ; Moy = 1300 / France : Med =	Med < LQ		Med = 0,15	Med = 0,61 Moy =	Med = 0,14		Moy < LD		

Etude	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2011	Kato <i>et al.</i> , 2009	Strynar et Lindstrom, 2008	Beesoon <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Xu <i>et al.</i> , 2013	Shoeib <i>et al.</i> , 2005	De Silva <i>et al.</i> , 2012	Fraser <i>et al.</i> , 2013
		130 ; Moy = 150 / Allemagne : Med = 120 ; Moy = 190 / Kazakhstan : Med = 89 ; Moy = 150 / Thaïlande : Med = 26 ; Moy = 140 / USA : Med = 99 ; Moy = 140				2,3					
MeFOSE	Min < LD ; Max = 0,51	UK : Med = 93 ; Moy = 230 / Australie : Med = 38 ; Moy = 84 / Canada : Med = 3,6 ; Moy = 8,4 / France : Med = 130 ; Moy = 190 / Allemagne : Med = 38 ; Moy = 84 / Kazakhstan : Med = 6,1 ; Moy = 12 / Thaïlande : Med = 4,0 ; Moy = 14 / USA : Med = 88 ; Moy = 120	Med = 219 (Me-PFOSA-EtOH)		Med = 49	Med = 9,0 Moy = 13	Med = 51		Moy = 412		Moyenne non reportée en raison du faible pourcentage de détection
EtFOSE	Min < LD ; Max = 1,9	UK : Med = 34 ; Moy = 320 / Australie : Med = 20 ; Moy = 60 / Canada : Med = 4,9 ; Moy = 8,4 / France : Med = 140 ; Moy = 190 / Allemagne : Med = 120 ; Moy = 100 / Kazakhstan : Med < LD ; Moy = 5,7 / Thaïlande : Med = 16 ; Moy = 59 / USA : Med = 150 ; Moy = 210	Med = 176,8 (Et-PFOSA-EtOH)		Med = 10		Med = 8,5		Moy = 2200		Moyenne non reportée en raison du faible pourcentage de détection
Me-PFOSA-AcOH			Med < LQ								
Et-PFOSA-AcOH			Med = 243,5								
Me-FOSAA					Med = 1,2						
Et-FOSAA					Med = 27						

En résumé, outre le PFOS et le PFOA, 26 composés perfluorés ioniques et 12 composés perfluorés neutres ont fait l'objet de publications sur la contamination des poussières déposées dans les environnements intérieurs. Les données de contamination présentées dans ces études se rapportent principalement aux logements. Certaines des études citées présentent également des résultats de mesures dans les poussières d'autres environnements (bureaux, écoles, crèches, voitures) (Björklund *et al.*, 2009 ; D'Hollander *et al.*, 2010 ; Goosey *et al.*, 2011 ; Strynar et Lindstrom, 2008 ; Zhang *et al.*, 2010 ; Fraser *et al.*, 2013). Ces résultats ne sont pas présentés dans ce document.

Le PFOS et le PFOA sont les composés perfluorés ayant fait l'objet du plus grand nombre de publications. Parmi les autres composés perfluorés étudiés, le PFHxS, le PFBS, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le PFUnDA, le PFDA et le PFDoA ont fait l'objet de plusieurs publications scientifiques.

Pour ces 10 composés, les niveaux de contamination **médians** rapportés dans les différentes études varient (valeurs quantifiées uniquement) :

- de 0,7 à 310 ng.g⁻¹ pour le PFOA (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Goosey *et al.*, 2011)
- de 0,5 à 479 ng.g⁻¹ pour le PFOS (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Kato *et al.*, 2009)
- de 0,4 à 359 ng.g⁻¹ pour le PFBS (Haug *et al.*, 2011 ; Kato *et al.*, 2009)
- de 0,1 à 240 ng.g⁻¹ pour le PFHxS (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Goosey *et al.*, 2011)
- de 0,3 à 54 ng.g⁻¹ pour le PFHxA (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Strynar et Lindstrom, 2008)
- de 2 à 97 ng.g⁻¹ pour le PFHpA (Liu *et al.*, 2011 ; Kato *et al.*, 2009)
- de 0,1 à 29 ng.g⁻¹ pour le PFNA (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Liu *et al.*, 2011)
- de 2 à 19 ng.g⁻¹ pour le PFDoA (Liu *et al.*, 2011 ; Haug *et al.*, 2011)
- de 0,2 à 15 ng.g⁻¹ pour le PFDA (D'Hollander *et al.*, 2010b ; Beeson *et al.*, 2011)
- de 3 à 21 ng.g⁻¹ pour le PFUnDA (Knobeloch *et al.*, 2012 ; Liu *et al.*, 2011)

Parmi les autres composés mesurés, le 10 : 2 FTUCA, le 5 : 3 FTSA, le PFDCa, le PFPS, le PFNS, le 4 : 2 FTOH et le Me PFOSA-AcOH n'ont été mesurés que dans une seule étude et les résultats de mesure sont tous inférieurs aux limites de détection.

Une seule étude présentant des résultats de mesures pour le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE en France a été identifiée dans la littérature (Goosey *et al.*, 2011). Cette étude présente également des résultats de mesures au Royaume-Uni, en Australie, au Canada, en Allemagne, au Kazakhstan, en Thaïlande et aux Etats-Unis. En France, les prélèvements ont été effectués dans 9 logements à Annecy, à l'aide d'aspirateurs équipés de sacs à poussières en nylon. Lorsque le sol était recouvert de moquette, les poussières ont été prélevées sur une surface de 1 m² pendant 2 minutes (contre 4 m² pendant 4 minutes sur sol non recouvert). Les poussières prélevées ont ensuite été tamisées à 500 µm. Les composés ont été extraits des poussières tamisées par centrifugation avec de l'acétone et analysés par LC-MS. Tout pays confondu, les concentrations médianes les plus élevées concernent l'EtFOSA (930 ng.g⁻¹), suivit du PFOA et du PFOS (310 ng.g⁻¹). Pour le MeFOSA, les concentrations médianes sont toutes inférieures à la limite de détection. En France, les concentrations médianes les plus élevées concernent le PFOS (160 ng.g⁻¹), suivit de l'EtFOSE (140 ng.g⁻¹), de l'EtFOSA et du MeFOSE (130 ng.g⁻¹), du PFHxS (77 ng.g⁻¹), du PFOA (31 ng.g⁻¹) et du PFOSA (3,0 ng.g⁻¹). Enfin, les niveaux mesurés dans cette étude sont dans la gamme de ceux mesurés dans les autres études, à l'exception de l'EtFOSA pour lequel la médiane des concentrations mesurées est nettement supérieure aux autres études.

2.1.3 Concentrations dans l'air intérieur

Très peu d'études présentant des résultats de mesures des composés perfluorés dans l'air intérieur ont été identifiées dans la littérature. Dans la majorité des études, les mesures ont été réalisées dans des logements, par prélèvement actif ou passif sur des durées plus ou moins longues (de 24h à un mois). Les composés ont ensuite été analysés par LC-MS (perfluorés ioniques) ou GC-MS (perfluorés neutres). La répartition des composés entre les phases gazeuse et particulaire n'est pas renseignée systématiquement.

Ces études sont présentées de façon succincte dans les tableaux suivants. Là encore, ces études n'ont pas fait l'objet d'une analyse visant à déterminer la qualité des données. Compte tenu du nombre important de composés perfluorés analysés dans les différentes études, les données de contamination sont présentées dans 3 tableaux : tableau 21 (PFOS/PFOA), tableau 22 (autres composés perfluorés ioniques), tableau 23 (composés perfluorés neutres).

Tableau 4 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans l'air de logements recensées dans la littérature scientifique

Auteurs	Pays	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures réalisées	Concentrations mesurées	
				PFOA (pg.m ⁻³)	PFOS (pg.m ⁻³)
Barber <i>et al.</i> , 2007	Norvège	2005-2006	4	Moy = 4,4	< LQ
Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Espagne	2009	10	< LD	Min = 6,1 Max = 69
Goosey et Harrad, 2012	UK	2008-2009	20	Med = 24 Moy = 52 Min =<1,9 Max = 440	Med = 11 Moy = 38 Min =<1 Max = 400
Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Canada	2007-2008	59	Med = 21 Moy = 113 Min = 3,4 Max = 2570	< LD
Boast <i>et al.</i> , 2010	Australie	2008-2009	10	Med = 21,6	Med = 12,8

Tableau 5 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans l'air intérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m⁻³)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey et Harrad 2012	Jogsten <i>et al.</i> , 2012 ²	Shoeib <i>et al.</i> , 2011
Substance	Norvège (2005 – 2006) N = 4 Phase particulaire uniquement	Australie (2008-2009) N = 10	UK (2008-2009) N = 10	Espagne (2009) N = 10	Canada (2007-2008) N = 6
6 : 2 FTUCA	Moy= 18,8				
8 : 2 FTUCA	Moy = 20,7				
PFOSA	Moy = 2,8				
6 : 2 FTS	Moy < LQ				
PFBS	Moy < LQ				
PFHxS	Moy < LQ	Med = 1,6	Med = 23		
PFDCS	Moy = 2,6				
PFHxA	Moy = 17,1				Med = 10
PFHpA	Moy = 0,8				Med = 5,4
PFNA	Moy = 2,7	Med = 4,0			Moy = 89
PFDCA	Moy = 3,4				
PFUnA	Moy < LQ				Moy = 3,4
PFDoA	Moy = 1,2				Moy = 9,8
PFTeA (PFTeDA)	Moy < LQ				Moy = 0,16
PFDA					Med = 7,9
PFBA				Moy = 62	

² Les autres perfluorés ioniques n'ont pas été détectés

Tableau 6 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans l'air intérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m⁻³)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Goosey et Harrad 2012	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2005	Langer <i>et al.</i> , 2010	Shoeib <i>et al.</i> , 2004	Shoeib <i>et al.</i> , 2007 (d'après Fromme <i>et al.</i> , 2009)
Composé	Norvège (2005) N = 4 Phase particulière uniquement	UK (2008-2009) N = 10	Espagne (2009) N = 10	Canada (2007-2008) N = 6	Norvège (2007-2008) N = 6	Norvège (2008) N = 41	Corée du Sud (2009) N = 7	Canada (2002-2003) N = 59	Allemagne (2009-2010) N = 2 (Logements uniquement)	Canada (2001-2003) N = 10 (4 logements)	Canada (2002-2003) N = 52
10 : 2 FTO	Phase gaz. Moy = 199 / Phase part. Moy = 6										
4 : 2 FTOH	Phase gaz. Moy = 114 / Phase part. Moy < LQ					Med = 2,4			Moy = 0,8 - 1,2		
6 : 2 FTOH	Phase gaz. Moy = 2990 / Phase part. Moy < LQ		Min = 3,0 ; Max = 47	Med = 1040	Med = 24	Med = 933			Moy = 1,1 - 2,9		
8 : 2 FTOH	Phase gaz. Moy = 3424 / Phase part. Moy < LQ		Min = 7,5 ; Max = 170	Med = 2920	Med = 42	Med = 5173	Moy = 4839		Moy = 8,1 - 17,4		Moy = 2070
10 : 2 FTOH	Phase gaz. Moy = 3559 / Phase part. Moy = 13		Min < LD; Max = 47	Med = 950	Med = 10005	Med = 2822	Moy = 2610		Moy = 1,9 - 5,1		Moy = 891
12 : 2 FTOH									Moy = 0,8 - 1,7		
MeFOSA	Phase gaz. Moy = 6608 / Phase part.	Med < LD	Min < LD ; Max = 14	Med = 21	Med = 27	Med = 8,3			Moy = 1,0 - 1,2		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Goosey et Harrad 2012	Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Huber <i>et al.</i> , 2011	Haug <i>et al.</i> , 2011	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2005	Langer <i>et al.</i> , 2010	Shoeib <i>et al.</i> , 2004	Shoeib <i>et al.</i> , 2007 (d'après Fromme <i>et al.</i> , 2009)
	Moy = 6										
EtFOSEA	Phase gaz. Moy = 6626 / Phase part. Moy = 7	Med = 67	Min < LD / Max = 6,1	Med = 19	Med = 29	Med = 0,5	Moy = 5,3	Moy = 59	Moy = 1,2 - 1,6		
MeFOSEA	Phase gaz. Moy = 6018 / Phase part. Moy = 363	Med = 760	Min < LD ; Max = 6,1	Med = 320	Med = 846	Med = 265	Moy = 83	Moy = 1970	Moy = 2,7 - 3,1	De 667 à 8315	
EtFOSE	Phase gaz. Moy = 5755 / Phase part. Moy = 76	Med = 540	Min < LD ; Max = 6,1	Med = 59	Med = 156	Med = 78	Moy = 27	Moy = 1100 Moy = 35	Moy = 2,1 - 2,2	De 364 à 1799	
Me FOSEA							Moy = 122			De < LD à 283	
Me FBSA									Moy < LD		
MeFBSE									Moy = 2,4 - 2,6		
6 : 2 FTA									Moy < LD - 0,2		
8 : 2 FTA									Moy = 0,2 - 1,5		
10 : 2 FTA									Moy = 0,7 - 1,1		

En résumé, outre le PFOS et le PFOA, 16 composés perfluorés ioniques et 16 composés perfluorés neutres ont fait l'objet de publications sur la contamination de l'air dans les environnements intérieurs. Les données de contamination présentées dans ces études se rapportent principalement aux logements. Les études de Goosey et Harrad (2012) et de Kim *et al.*, 2012 présentent également des résultats de mesures dans l'air de bureaux et de magasins (ces mesures ne sont pas présentées dans ce document).

Aucune donnée en France n'est actuellement disponible. Les composés perfluorés neutres, plus volatils, ont fait l'objet de plus de publications que les composés ioniques et sont retrouvés à des concentrations plus élevées. Les concentrations moyennes les plus élevées mesurées concernent le 6 : 2 FTOH (2990 pg.m⁻³), le 8 : 2 FTOH (4839 pg.m⁻³), le 10 : 2 FTOH (3559 pg.m⁻³), le MeFOSA (6608 pg.m⁻³), l'EtFOSA (6626 pg.m⁻³), le MeFOSE (6018 pg.m⁻³) et l'EtFOSE (5755 pg.m⁻³) (phase gazeuse) (Barber *et al.*, 2007 ; Huber *et al.*, 2011 ; Haug *et al.*, 2011).

Pour le PFOS et le PFOA, les concentrations moyennes les plus élevées mesurées sont respectivement égales à 38 et 113 pg.m⁻³ (Goosey et Harrad, 2012 ; Shoeib *et al.*, 2011).

Parmi les autres composés mesurés, aucune donnée quantifiée n'est disponible pour le 6 : 2 FTS, le PFBS, le PFHxS, le PFUnA et le MeFBSA.

2.1.4 Concentrations dans l'air extérieur

Les études présentant des résultats de mesure dans l'air extérieur sont présentées dans les tableaux suivants. Plusieurs de ces études ont été réalisées pour évaluer le transport atmosphérique à plus ou moins longue distance des composés perfluorés. Certaines des mesures présentées ont donc été réalisées dans des endroits ruraux et isolés.

Les mesures ont été réalisées par prélèvement actif ou passif sur des durées plus ou moins longues (de 24 h à 3 mois). Les composés ont ensuite été analysés par LC-MS ou GC-MS. La répartition des composés entre les phases gazeuse et particulaire n'est pas renseignée systématiquement.

Tableau 7 : Synthèse des données d'exposition au PFOS et au PFOA dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique

Auteurs	Pays (environnement) ³	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures réalisées	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (pg.m ⁻³)	PFOS (pg.m ⁻³)
Barber <i>et al.</i> , 2007	UK (plusieurs sites), Irlande, Norvège ⁴ (Urbain, semi-rural, rural)	2005-2006	21	UK (1) : Moy = 552 UK (2) : Moy = 341 UK (3) : Moy = 101 UK (4) : Moy = 15,7 Norvège : Moy = 1,54 Irlande : Moy = 8,9	UK (1) : Moy < LD UK (2) : Moy = 46 UK (3) : Moy = 1,6 UK (4) : Moy = 7,1 Norvège : Moy = 1,0 Irlande : Moy < LD

³ Urbain, sub-urbain, semi-rural, rural, isolé

⁴ UK (1) : Hazelrigg (février-mars 2005) ; UK(2) : Manchester (février mars 2005) ; UK (3) : Hazelrigg (novembre 2005-février 2006) ; UK (4) : Manchester (novembre – décembre 2005) ; Norvège : Kjeller (novembre-décembre 2005) ; Irlande : Mace Head (mars 2006)

Auteurs	Pays (environnement) ³	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures réalisées	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (pg.m ⁻³)	PFOS (pg.m ⁻³)
Jogsten <i>et al.</i> , 2012	Espagne (milieu NR)	2009	10	Min = 6,0 Max = 20	< LD
Goosey et Harrad, 2012	UK (urbain, semi-rural)	2008-2009	10	Med = 1,1	Med = 1,5
Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Allemagne (urbain)	2006	NR	Min = <0,2 Max = 2,6	Min = 0,4 Max = 1,6
Chaemfa <i>et al.</i> , 2010	UK, Norvège, Europe (urbain, semi-rural, rural, isolé)	2006-2007	49	Mesures en pg par échantillon, volumes prélevés non disponibles	
Harada <i>et al.</i> , 2005	Japon (urbain)	2001-2002	NR	Site 1 : Moy = 262,7 Site 2 : Moy = 2,0	Site 1 : Moy = 5,2 Site 2 : Moy = 0,7
Harada <i>et al.</i> , 2006	Japon (urbain)	2005	NR	Site 1 : Moy = 9,4 Site 2 : Moy = 149,9 Site 3 : Moy = 228,8	Site 1 : Moy = 1,3 Site 2 : Moy = 2,6 Site 3 : Moy = 5,0
Kim et Kannan, 2007	USA (urbain, isolé)	2005	8	Phase gazeuse ; Med = 2,86 Phase particulaire : Med = 1,57	Phase gazeuse : Med = 1,42 Phase particulaire Med = 0,66
Genualdi <i>et al.</i> , 2010	USA, Canada, Rep Tchèque, Bermudes, Norvège, Islande, Irlande France, Australie ⁵ (urbain, rural, bruit de fond, isolé)	2009	20	Tous pays confondus : Min des moyennes < LQ Max des moyennes = 4,49 France : Moy = 4,49	Tous pays confondus : Min des moyennes < LQ Max des moyennes = 149,5 France : Moy = 149,5
Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Canada (urbain)	2007-2008	6	Moy = 2,5 Med < LD	< LD
Dreyer <i>et al.</i> , 2009	Allemagne (semi-rural)	2007-2008	117	Site 1 : Med = 0,2 Site 2 : Med = 0,1	Site 1 Med = 0,3 Site 2 : Med = 0,1
Muller <i>et al.</i> , 2012	Suisse (urbain)	2010	8	Moy = 7,7	Moy = 2,3
Dreyer et Ebinghaus 2009	Allemagne (semi-rural, isolé)	2007	8	Min = 0,6 Max = 1,0	Min = 0,2 Max = 9,1
Sasaki <i>et al.</i> , 2003	Japon (urbain)	2001-2002	24	NC	moy = de 0,6 à 5,3

⁵ USA (urbain, bruit de fond, isolé), Canada (urbain, rural, bruit de fond, isolé), Rep Tchèque (bruit de fond), Bermudes (bruit de fond), Norvège (Isolé), Islande (Isolé), Irlande (bruit de fond), France (urbain), Australie (bruit de fond)

Auteurs	Pays (environnement) ³	Date de réalisation de l'étude	Nombre de mesures réalisées	Concentrations mesurées (médiane, ou, à défaut, la moyenne, le minimum ou le maximum)	
				PFOA (pg.m ⁻³)	PFOS (pg.m ⁻³)
Boulanger <i>et al.</i> , 2005	USA (urbain, rural)	2003	8	NC	Min < LD Max = 8,1
Boast <i>et al.</i> , 2010	Australie (sub-urbain)	2008-2009	10	Med = 2,77	Med = 3,16
Sugita <i>et al.</i> , 2007 (d'après Fromme <i>et al.</i> , 2009)	Japon (urbain)	2006	Phase 1 : N = 26 Phase 2 : N = 27	NR	Phase 1 : Moy. = 7,3 Phase 2 : Moy. = 4,3

Tableau 8 : Synthèse des données d'exposition aux autres composés perfluorés ioniques dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m⁻³)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007 ⁶	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey <i>et Harrad</i> 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Kim <i>et Kannan</i> 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ⁷	Mueller <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Dreyer <i>et Ebinghaus</i> , 2009	Green <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007
Substance	UK (plusieurs sites), Irlande, Norvège ⁸ (2005 – 2006) N = 20 (Urbain, semi-rural, rural)	Australie (2008 - 2009) N = 10 (sub-urbain)	UK (2008-2009) N = 10 (urbain, semi-rural)	Allemagne (2006) Nombre de mesures non renseigné (urbain)	USA (2005) N = 8 (urbain, isolé)	USA, Canada, Rep Tchèque, Bermudes, Norvège, Islande, Irlande, France, Australie ⁹ (urbain, rural, bruit de fond, isolé) (2009) N = 20	Allemagne (2007-2008) N = 117 (semi-rural)	Suisse (2010) N = 8 Urbain	Canada (2007-2008) N = 6 (urbain)	Allemagne (2007) N = 8 (semi-rural, isolé)	Norvège (2007) N = 45 (urbain, isolé)	USA (2001) N = 20 (urbain)	Canada (2004) (N = 10) (1 site isolé)
6 : 2 FTUCA	Moy < LQ (Tous sites)			Min et Max < LD									
8 : 2 FTUCA	Moy < LQ (Tous sites)							Moy = 1,3					
PFOSA	UK (3) : Moy = 0,2 Norvège : Moy = 0,78 Autres sites : Moy < LQ		Med = 11		Phase gaz. : Med = 0,47 Phase part. : Med =		Site 1 : Med < LD (phases gaz. et part.) Site 2 : Med < LD (phases gaz. et part.)	Moy = 3,3 (phase part.) (non recherché dans la phase)		Premiers sites Phase gaz. Min < LQ ; Max = 7,3 Phase part. Min < LD ; Max < LD	Urbain : Min et Max < LD Transport à longue distance : Min < LD ;		Phase gaz. : < LQ à 61,3 Phase part. : < LQ à 4,7

⁶ Mesures en phase particulière uniquement

⁷ Mesures en phase particulière uniquement

⁸ UK (1) : Hazelrigg (février-mars 2005) ; UK(2) : Manchester (février mars 2005) ; UK (3) : Hazelrigg (novembre 2005-février 2006) ; Norvège :Kjeller (novembre-décembre 2005) ; Irlande : Mace Head (mars 2006)

⁹ USA (urbain, bruit de fond, isolé), Canada (urbain, rural, bruit de fond, isolé), Rep Tchèque (bruit de fond), Bermudes (bruit de fond), Norvège (Isolé), Islande (Isolé), Irlande (bruit de fond), France (urbain), Australie (bruit de fond)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007 ⁶	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Kim <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ⁷	Mueller <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Dreyer <i>et al.</i> , 2009	Green <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007
					0,23			gaz.)		Autres sites Phase gaz. Min < LD ; Max = 1,6	max = 0,12		
6 : 2 FTS	UK (2) : Moy = 9,4 UK (3) : Moy = 1,9 UK (4) : Moy = 1,2 Norvège : Moy = 0,18 Irlande et UK (1) : Moy < LQ				Phase gaz. : Med < LQ Phase part. : Med < LQ						Urbain : Min et Max < LD Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,11		
8 : 2 FTS					Phase gaz. : Med = 6,26 Phase part. : Med = 3,96						Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFBS	UK (2) : Moy = 2,2 UK (3) : Moy = 2,6 Autres sites : Moy < LQ			Min et Max < LD		Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 29,9 France : Moy = 29,9	Med < LD Moy = 0,2	Moy < LQ		Min < LD Max = 0,8	Urbain : Min et Max < LD Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,04		
PFHxS	UK (1) : Moy < LQ UK (2) : Moy = 1,0 UK (3) : Moy = 0,04 UK (4) : Moy = 0,1 Norvège : Moy	Med < LD	Med = 2,7	Min = 0,03 ; Max = 0,09	Phase gaz. : Med = 0,34 Phase part. : Med < LQ	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 60,4 France : Moy = 60,4	Pas de donnée exploitable	Moy < LQ		Min < LD Max = 0,3	Urbain : Min < LD ; Max = 0,11 Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,01		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007 ⁶	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Kim <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ⁷	Mueller <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Dreyer <i>et al.</i> , 2009	Green <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007
	= 0,05 Irlande : Moy = 0,07												
PFHpS							Pas de donnée exploitable			Min < LD Max= 0,4	Urbain : Min et Max < LD Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,01		
PFHxA	UK (3) : Moy=107 Norvège : Moy = 0,5 Autres sites : Moy < LQ						Med < LD Moy = 0,1	Moy = 2,5	Med < LD	Min < LQ Max= 0,2	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFHpA	UK (1) : Moy = 14,4 UK (2) : Moy = 8,2 UK (3) : Moy = 1,6 UK (4) : Moy = 0,2 Norvège : Moy = 0,87 Irlande : Moy < LQ				Phase gaz. : Med = 0,23 Phase part. : Med = 0,29		Med et Moy < LD	Moy = 3,0		Min < LD Max= 0,2	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFNA	UK (3) : Moy = 0,9 UK (4) : Moy = 0,8 / Norvège : Moy = 0,12 / Autres sites : Moy < LQ	Med < LD		Min < LD ; Max =0,4	Phase gaz. : Med = 0,20 Phase part. : Med < LQ	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 0,45 France : Moy = 0,45	Med < LD Moy = 0,1	Moy = 1,0	Med < LD	Min < LQ Max= 0,6	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFDoA (PFDoDA)	Moy < LQ (Tous sites)				Phase gaz. :		Med et Moy < LD	Moy = 0,86	Med < LD	Min < LD Max= 0,2	Urbain : Min et Max		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007 ⁶	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Kim <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ⁷	Mueller <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Dreyer <i>et al.</i> , 2009	Green <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007
					Med = 0,27 Phase part. : Med < LQ						< LD Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,36		
PFTeDA	Moy < LQ (Tous sites)						Med et Moy < LD	Moy = 0,21		Min < LD Max < LQ	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFDA (PFDCa)	UK (1) : Moy = 8,3 UK (2) : Moy = 5,4 UK (3) : Moy = 1,0 Autres sites : Moy < LQ				Phase gaz. : Med = 0,56 Phase part. : Med = 0,22	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 0,076 France : Moy = 0,076	Med < LD Moy = 0,1	Moy = 1,3		Min < LD Max = 0,2			
PFDS (PFDCs)	UK (2) : Moy = 0,8 / Norvège : Moy = 0,06 Autres sites : Moy < LQ				Phase gaz. : Med < LD Phase part. : Med < LQ		Pas de donnée exploitable			Min < LD Max < LD	Urbain : Min < LD ; Max = 0,10 Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,03		
PFUnDA (PFUA) (PFUnA)	UK (3) : Moy = 0,7 Autres sites : Moy < LQ				Phase gaz. : Med < LQ Phase part. : Med < LQ	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 0,296 France : Moy = 0,296	Med < LD Moy = 0,1	Moy=0,3	Med < LD	Min < LD Max = 0,1	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFHxSi							Pas de donnée exploitable			Min < LD Max < LQ			
PFOSi							Pas de			Min < LD			

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007 ⁶	Boast <i>et al.</i> , 2010	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Kim <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ⁷	Mueller <i>et al.</i> , 2012	Shoeib <i>et al.</i> , 2011	Dreyer <i>et al.</i> , 2009	Green <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007
							donnée exploitable			Max < LQ			
PFDSi							Pas de donnée exploitable			Min < LD Max < LQ			
PFPA							Med et Moy < LD	Moy = 1,4		Min < LD Max = 0,3			
PFTTrDA (PFTA, PFTTrA)							Med et Moy < LD	Moy = 0,14	Med < LD	Min < LD Max < LQ	Toutes les mesures sont inférieures aux LD		
PFOcDA							Pas de donnée exploitable			Min < LD Max < LD			
PFBA							Site 1 : Med = 0,1 Moy = 0,3 Site 2 : Med = 0,1 Moy = 0,3	Moy = 7,0		Min < LQ Max = 1,6	Urbain : Min et Max < LD Transport à longue distance : Min < LD ; max = 0,67		
∑ Sulfonamides perfluorés													Min < MDL Max = 1549

Tableau 9 : Synthèse des données d'exposition aux composés perfluorés neutres dans l'air extérieur recensées dans la littérature scientifique (pg.m⁻³)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey et Harrad 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004	
Substance	UK, Irlande, Norvège ¹² (2005-2006) N = 20 (Urbain, semi-rural, rural)	Espagne (2009) N = 10 (milieu NR)	UK (2008-2009) N = 10 (urbain, semi-rural)	Allemagne (2006) Nombre de mesures non renseigné. (urbain)	USA, Canada, Rep Tchèque, Bermudes, Norvège, Islande, Irlande, France, Australie ¹³ (urbain, rural, bruit de fond, isolé) (2009) N = 20	Allemagne (2007-2008) N = 117 (semi-rural). Deux sites (S1 et S2)	USA (2003) N = 8 (urbain, rural)	Suisse (2010) N = 8 (urbain)	Canada (2007-2008) N = 6 (urbain)	Norvège (2007) N = 45 (urbain, isolé)	Corée du Sud (2009) N = 6 (urbain, bruit de fond)	Canada (2002-2003) N = 7 (urbain)	Chine, Japon, Inde, Taiwan (2009) N = 46 (urbain, sub-urbain, rural, bruit de fond)	Japon N = 24 (urbain)	USA (2001) N = 20 (urbain)	Canada (2004) N = 10 (1 site) (isolé)	Japon, USA (2004-2006) : N = 18 USA : N = 34 Milieu : isolé	Canada (2001) N = 6 (urbain et rural)	Canada (2001-2003) N = 3 (sub-urbain)	
6 : 2 FTO	Moy < LQ (Tous sites)																			
8 : 2 FTO	Phase gaz. UK (3) : Moy = 11,9 UK												Japon : Med = 72							

¹⁰ Ces résultats sont également présentés dans l'étude de Dreyer et Ebinghaus (2009). Cette deuxième étude présente également des résultats de mesures en mer.

¹¹ Chine : bruit de fond (N = 18) ; Japon : urbain, sub-urbain, rural, bruit de fond (N = 9) ; Inde : urbain, sub-urbain, rural (N = 18) ; Taiwan : sub-urbain (N = 1)

¹² UK (1) : Hazelrigg (février-mars 2005) ; UK(2) : Manchester (février mars 2005) ; UK (3) : Hazelrigg (novembre 2005-février 2006) ; Norvège : Kjeller (novembre-décembre 2005) ; Irlande : Mace Head (mars 2006)

¹³ USA (urbain, bruit de fond, isolé), Canada (urbain, rural, bruit de fond, isolé), Rep Tchèque (bruit de fond), Bermudes (bruit de fond), Norvège (Isolé), Islande (Isolé), Irlande (bruit de fond), France (urbain), Australie (bruit de fond)

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004
	(4) : Moy = 24,7 Irlande : Moy < LQ <u>Phase part.</u> Moy < LQ (Tous sites)												Inde : Med = 46,2 Chine : Med = 62,2 Taiwan = 401						
10 : 2 FTO	<u>Phase gaz.</u> UK (1) : Moy = 0,2 UK (2) : Moy = 0,2 UK (3) : Moy = 2,0 UK (4) : Moy = 3,1 Norvège : Moy = 2,0 Irlande : Moy = 1,5 <u>Phase part.</u> UK (2) : Moy = 0,3 Autres sites : Moy < LQ																		
12 : 2 FTO	<u>Phase gaz.</u> UK (3) : Moy = 5,2 UK (4) : Moy = 3,3 / Irlande : Moy = 2,2 <u>Phase part.</u>																		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004		
	Moy < LQ (Tous sites)																				
6 : 2 FTA						Phase gaz. Med = 1,0 (S1) Med = 1,2 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)							Japon : Med = 0,19 Inde : Med < LD Chine : Med < LD Taiwan = 0,38								
8 : 2 FTA						Phase gaz. Med = 1,4 (S1) Med = 2,5 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)							Japon : Med = 1,17 Inde : Med = 0,88 Chine : Med = 0,78 Taiwan = 3,78								
10 : 2 FTA						Phase gaz. Med = 0,9 (S1) Med = 1,0 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)															
4 : 2 FTOH	Phase gaz. UK (1) : Moy					Med < LD (S1)				< LD (toute			Japon : Med =						Urban et		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004
	= 56,5 UK (2) : Moy = 3 UK (3) : Moy = 26,3 UK (4) : Moy < LQ Norvège : Moy < LQ Irlande : Moy = 1,4 Phase part. UK (1) Moy = 0,7 UK (2) : Moy = 2,1 Autes sites : Moy < LQ					et S2, phases gaz. et part.)				s mesur es)			24,1 Inde : Med = 60,3 Chine : Med = 7,92 Taiwan = 6,22					rural: Moy. < LD	
6 : 2 FTOH	Phase gaz. UK (1) : Moy = 81 UK (2) : Moy = 187 UK (3) : Moy = 31,5 UK (4) : Moy = 61,2 Norvège : Moy = 11,7 Irlande : Moy = 4,95 Phase part. UK(2) Moy = 1,8 Autres sites	Min = 0,07 Max = 8,1		Min = 0,6 Max = 36,3	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy = 31,2 France : Moy = 31,2	Phase gaz. Med = 15 (S1) Med = 17 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)		Moy = 59 (phase gaz.) ; Moy < LQ (phase part.)	Med = 85	< LD (toutes mesures)			Japon : Med = 7,81 Inde : Med = 3,31 Chine : Med = 4,77 Taiwan = 15,0	Moy = 352 à 1465		Phase gaz. : < LQ à 19,7 Phase part. : < LQ	USA : Moy = 4,6 Japon : NR	Urbain : Moy. = 87 Rural : Moy. = 29	

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , Harrad 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004	
	: Moy < LQ																			
8 : 2 FTOH	<p>Phase gaz. UK (1) : Moy = 102 UK (2) : Moy = 237 UK (3) : Moy = 66,5 UK (4) : Moy = 237 Norvège : Moy = 34,4 Irlande : Moy = 11,3</p> <p>Phase part. UK (2): Moy = 5,8 UK (3): Moy = 8,5 Autres sites : moy < LQ</p>	Min = 0,24 ; max = 1,7		Min = 0,6 Max = 60,4	Tous pays confondus : Min des moy. = 1,72 Max des moy. = 200 France : Moy = 200	<p>Phase gaz. Med = 40 (S1) Med = 48 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)</p>		Moy = 700 (phase gaz.) ; Moy < LQ (phase part.)	Med = 151	Urbain : Min < LD ; max = 60 Transport à longue distance : Min et max < LD	Moy = 9346		Japon : Med = 121 Inde : Med = 48,3 Chine : Med = 56,2 Taiwan = 709	Moy = 39 à 173		Phase gaz. : < LQ à 18,6 Phase part. : < LQ	USA : Moy = 24 Japon : NR	Urbain : Moy. = 55 Rural : Moy. = 32		
10 : 2 FTOH	<p>Phase gaz. UK (1) : Moy = 75</p>	Min < 0,082 ; max		Min = 0,5 ; Max =	Tous pays confondus	<p>Phase gaz. Med =</p>		Moy = 190 (phase	Med = 56	< LD (toutes	Moy = 101		Japon : Med =	Moy = 4 à 485		Phase gaz. : < LQ	USA : Moy = 15	Urbain : Moy.		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , Harrad 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004	
	UK (2) : Moy = 65 UK (3) : Moy = 21,2 UK (4) : Moy = 61,8 Norvège : Moy = 17,2 Irlande : Moy = 7,8 <u>Phase part.</u> UK (2) : Moy = 2,7 Norvège : Moy = 13 Autres sites : Moy < LQ	= 0,76		22,9	s : Min des moy. < LQ Max des moy. = 7,66 France : Moy = 7,66	13 (S1) Med = 14 (S2) <u>Phase part.</u> Med < LD (S1 et S2)		e gaz.) ; Moy < LQ (phase part.)		mesures)	25		47 Inde : Med = 18 Chine : Med = 40,5 Taiwan = 332			à 3,5 Phase part. : < LQ à 4,1	Japon : NR	= 29 Rural : Moy. = 17		
12 : 2 FTOH	<u>Phase gaz.</u> UK (3) : Moy = 7,6 UK (4) : Moy = 20,9 Irlande : Moy < LQ <u>Phase part.</u> Moy < LQ (tous sites)					<u>Phase gaz.</u> Med = 5 (S1) Med = 5,8 (S2) <u>Phase part.</u> Med < LD (S1 et S2)				< LD (toutes mesures)			Japon : Med = 21 Inde : Med = 10,7 Chine : Med = 18,2 Taiwan = 134							
∑ FTOHs															Min < MDL Max = 224					
8 : 2 FTO Acryl														Moy = 2 à 3						
8 : 2														Moy =						

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004
Methacryl														424 à 2377					
MeFBSA	Phase gaz. UK (3) : Moy = 0,2 UK (4) : Moy = 0,4 Irlande : Moy < LQ Phase part. Moy < LQ (tous sites)					Phase gaz. Med = 1,8 (S1) Med = 1,7 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)							Japon : Med = 1,12 Inde : Med = 2,5 Chine : Med = 1,27 Taiwan = 1,17						
MeFBSE	Moy < LQ (Tous sites)					Phase gaz. Med = 1,3 (S1) Med = 2,0 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)							Japon : Med = 5,92 Inde : Med = 12,9 Chine : Med = 16,0 Taiwan = 16,1			Phase gaz. : < LQ à 34 Phase part. : < LQ à 5,4			
EtFBSE																Phase gaz. : < LQ Phase part. : < LQ			

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004	
MeFOSA	Phase gaz. UK (1) : Moy = 5,5 UK (2) : Moy = 6,1 Autres sites : Moy < LQ Norvège : Moy = 5,5 Autres sites : Moy < LQ Phase part. UK (2) : Moy = 1,5 Autres sites : Moy < LQ		Med < LD	Min = 0,8 ; Max = 2,6	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 1,92 France : Moy < LQ	Phase gaz. Med = 2,1 (S1) Med = 1,9 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)		Moy = 20 (phase gaz.) ; Moy = 1,9 (phase part.)	Med = 3,2	Toutes les mesures sont inférieures aux LD	Moy = 121		Japon : Med = 5,91 Inde : Med = 6,89 Chine : Med = 7,40 Taiwan = 4,53							
EtFOSA	Phase gaz. UK (1) : Moy = 7,9 UK (2) : Moy = 9,6 Norvège : Moy = 5,0 Autres sites : Moy < LQ Phase part. UK (1) Moy = 0,1 UK (2) Moy = 0,7 Autres sites : Moy < LQ		Med = 79	Min = 0,4 ; Max = 1,1	Tous pays confondus : Min des moy < LQ Max des moy = 1,43 France : Moy < LQ	Phase gaz. Med = 0,9 (S1) Med = 1,0 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)	Min < LD ; Max = 2,2	Moy = 6,7 (phase gaz.) ; Moy = 0,6 (phase part.)	Med = 1,6	< LD (toutes mesures)	Moy = 3,6	Moy < LD	Japon : Med = 2,65 Inde : Med = 0,96 Chine : Med = 2,99 Taiwan = 3,25			Phase gaz. : < LQ à 18,6 Phase part. : < LQ	USA : Moy < LQ Japon : NR	Urban : Moy. = 14 Rural : NR		

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004
MeFOSE	<p>Phase gaz. UK (1) : Moy = 24 UK (2) : Moy = 23,7 Norvège : Moy = 48,9 Autres sites : Moy < LQ Phase part. UK (1) : Moy = 12,1 UK (2) : Moy = 24 Autres sites : Moy < LQ</p>		Med = 54	Min < LD ; Max = 9,3	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 8,73 France : Moy = 8,73	<p>Phase gaz. Med = 1,3 (S1) Med = 1,6 (S2) Phase part. Med = 0,2 (S1) Med = 0,1 (S2)</p>		Moy < LQ (phase gaz.) ; Moy = 24 (phase part.)	Med = 7,6	< LD (toutes mesures)	Moy = 113	Moy = 412	Japon : Med = 7,23 Inde : Med = 15,1 Chine : Med = 10,8 Taiwan = 16,4			Phase gaz. : < LQ à 39,2 Phase part. : < LQ à 26,9	USA : Moy < LQ Japon : NR	Urban : Moy. = 101 Rural : Moy. = 35	De 16,0 à 31,7
EtFOSE	<p>Phase gaz. UK (1) : Moy = 9,2 UK (2) : Moy = 6,4 Norvège : Moy = 29,5 Autres sites : Moy < LQ Phase part. UK (1) : Moy = 6,9 UK (2) : Moy = 11 Autres sites : Moy < LQ</p>		Med = 81	Min < LD ; Max = 1,4	Tous pays confondus : Min des moy. < LQ Max des moy. = 2,45 France : Moy < LQ	<p>Phase gaz. Med = 0,6 (S1) Med = 0,7 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)</p>	Min < LD ; Max = 1,0	Moy < LQ (phase gaz.) ; Moy = 10 (phase part.)	Med = 2,4	< LD (toutes mesures)	Moy = 26	Moy = 2200	Japon : Med = 2,27 Inde : Med = 4,24 Chine : Med = 4,27 Taiwan = 3,71			Phase gaz. : < LQ Phase part. : < LQ à 27,9	USA : Moy < LQ Japon : NR	Urban : Moy. = 205 Rural : Moy. = 76	De 8,47 à 9,79

Etude	Barber <i>et al.</i> , 2007	Jogst en <i>et al.</i> , 2012	Goosey <i>et al.</i> , Harrad 2012	Jahnke <i>et al.</i> , 2007	Genualdi <i>et al.</i> , 2010	Dreyer <i>et al.</i> , 2009 ¹⁰	Boulan ger <i>et al.</i> , 2005	Muell er <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2011	Green <i>et al.</i> , 2008	Kim <i>et al.</i> , 2012	Shoei b <i>et al.</i> , 2005	Li <i>et al.</i> , 2011 ¹¹	Oono <i>et al.</i> , 2008	Stock <i>et al.</i> , 2004	Stock <i>et al.</i> , 2007	Piekar z <i>et al.</i> , 2007	Martin <i>et al.</i> , 2002	Shoei b <i>et al.</i> , 2004	
Me2FOSA						Phase gaz. Med < LD (S1) Med = 0,1 (S2) Phase part. Med < LD (S1 et S2)														
MeFOSEA											Moy = 1,2	Moy = 14								< LD

En résumé, outre le PFOS et le PFOA, 27 composés perfluorés ioniques et 25 composés perfluorés neutres ont fait l'objet de publications sur la contamination de l'air extérieur.

Une autre étude de Stock *et al.*, (2004) présente des résultats de mesures pour la somme des FTOH (\sum FTOH) et la somme de l'EtFOSE et du MeFOSE (\sum EtFOSE, MeFOSE). Cette étude a été réalisée aux USA et au Canada en 2001 en milieu urbain (6 villes). Les concentrations moyennes en \sum FTOH varient de 22 à 403 pg.m^{-3} et les concentrations moyennes en \sum EtFOSE, MeFOSE de 11 à 165 pg.m^{-3} .

Le PFOS et le PFOA sont les composés perfluorés ayant fait l'objet du plus grand nombre de publications. Parmi les autres perfluorés étudiés, les composés neutres ont fait l'objet de davantage de publications que les composés ioniques, en particulier le 6 : 2 FTOH, 8 : 2 FTOH, le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE.

Pour ces composés, les niveaux de contamination moyens rapportés dans les différentes études varient (valeurs quantifiées uniquement) :

- de 1,5 à 552 pg.m^{-3} pour le PFOA (Barber *et al.*, 2007) ;
- de 0,7 à 149,5 pg.m^{-3} pour le PFOS (Harada *et al.*, 2005 ; Genualdi *et al.*, 2010) ;
- de 1,8 à 1465 pg.m^{-3} pour le 6 : 2 FTOH (Barber *et al.*, 2007 ; Oono *et al.*, 2008)
- de 1,7 à 9346 pg.m^{-3} pour le 8 : 2 FTOH (Jogsten *et al.*, 2012 ; Kim *et al.*, 2012)
- de 2,7 à 10125 pg.m^{-3} pour le 10 : 2 FTOH (Barber *et al.*, 2007 ; Kim *et al.*, 2012)
- de 1,5 à 121 pg.m^{-3} pour le MeFOSA (Barber *et al.*, 2007 ; Kim *et al.*, 2012)
- de 0,1 à 14 pg.m^{-3} pour le EtFOSA (Barber *et al.*, 2007 ; Martin *et al.*, 2002)
- de 8,7 à 412 pg.m^{-3} pour le MeFOSE (Genualdi *et al.*, 2010 ; Shoeib *et al.*, 2005)
- de 2,5 à 2200 pg.m^{-3} pour le EtFOSE (Genualdi *et al.*, 2010 ; Shoeib *et al.*, 2005)

Une seule étude présentant des résultats de mesure de 6 : 2 FTOH, 8 : 2 FTOH, 10 : 2 FTOH, EtFOSA, MeFOSA, MeFOSE, EtFOSE, PFBS, PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA, PFDA et PFUnDA en France récents (2009) est disponible dans la littérature scientifique (Genualdi *et al.*, 2010). Ces mesures ont été réalisées dans le cadre du projet GAPS (Global Atmospheric Passive Sampling) dont l'objectif est de suivre l'évolution des concentrations atmosphériques de polluants organiques à l'échelle mondiale (55 sites au total). Les prélèvements ont été réalisés en France, en République Tchèque, au Canada, aux Etats-Unis, aux Bermudes, en Norvège, en Islande, en Irlande et en Australie. En France, les mesures ont été réalisées en milieu urbain (Paris) par prélèvements passifs sur 98 jours (1 seule station de mesure). Les composés ont été analysés par LC/MS. Les moyennes des concentrations mesurées en France sont systématiquement plus élevées que dans les autres pays, à part pour le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA et l'EtFOSE pour lesquels les mesures en France sont inférieures aux limites de quantification. Les auteurs de l'étude expliquent ces concentrations élevées par le fait que les mesures ont été réalisées en milieu urbain. Les concentrations mesurées les plus fortes concernent le 8 : 2 FTOH (200 pg.m^{-3}), le PFOS (149,5 pg.m^{-3}), le PFHxS (60,4 pg.m^{-3}), le 6 : 2 FTOH (31,2 pg.m^{-3}), le PFBS (29,9 pg.m^{-3}), le MeFOSE (8,73 pg.m^{-3}), le 10 : 2 FTOH (7,66 pg.m^{-3}) et le PFOA (4,49 pg.m^{-3}). Les concentrations des autres composés (PFNA, PFDA et PFUnDA) sont inférieures au pg.m^{-3} .

Enfin, les niveaux mesurés dans cette étude sont dans la gamme de ceux mesurés dans les autres études, à l'exception du PFHxS, du PFBS et du PFOS pour lesquels les concentrations mesurées sont supérieures aux autres études.

Huit études ont mesuré des composés perfluorés dans l'air intérieur et l'air extérieur (Barber *et al.*, 2007 ; Boast *et al.*, 2010 ; Goosey et Harrad, 2012 ; Jogsten *et al.*, 2012 ; Kim *et al.*, 2012 ; Shoeib *et al.*, 2004 ; Shoeib *et al.*, 2005 ; Shoeib *et al.*, 2011). Les résultats de ces études montrent que les concentrations en composés perfluorés sont plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur (à

l'exemption des résultats de l'étude de Barber *et al.*, 2007 pour le PFOS et le PFOA et des résultats de l'étude de Jogsten *et al.*, 2012 pour le PFOA dans lesquelles les concentrations sont plus élevées à l'extérieur qu'à l'intérieur).

2.1.5 Acquisition de données françaises

En décembre 2012, l'Anses a signé une convention de recherche et de développement (CRD) avec l'Inserm et le Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Rennes dont l'objectif est d'évaluer la faisabilité d'une étude de l'exposition de jeunes enfants à des composés chimiques, dont les composés perfluorés. A terme, cette étude vise à améliorer la connaissance de ces expositions par la réalisation de mesures dans les aliments et dans les environnements intérieurs (air et poussières) et de mesures biologiques. Des mesures de composés perfluorés dans quelques logements français vont être réalisées dans le cadre de cette CRD. Pour plusieurs composés, il s'agira des premières mesures réalisées en France dans ces médias. Ces résultats serviront à alimenter les travaux du GT sur les substances PE et reprotoxiques. L'échéance de la CRD (étude de faisabilité) est fixée à juin 2015.

2.1.6 Eléments de discussion

Les données de contamination de l'air et des poussières actuellement présentées dans ce rapport ont été identifiées à partir d'une revue de la littérature sur la période 2000 – 2013 (veille bibliographique en cours). Tous les composés perfluorés ont été inclus dans cette recherche, sans restriction géographique. Une CRD, actuellement en cours à l'Anses, doit aboutir à la mise en place d'une étude visant à mieux caractériser l'exposition des jeunes enfants aux composés perfluorés. Des mesures dans l'air et les poussières de logements en France doivent être réalisées dans le cadre de ce projet. Les résultats de cette CRD sont attendus pour juin 2015.

Les résultats de la recherche bibliographique montrent que :

- Les données de contamination de l'air intérieur et des poussières se rapportent principalement aux logements. Quelques études présentant également des données de contamination dans d'autres environnements intérieurs (bureaux, magasins etc.) ont également été recensées. Les gammes de concentrations mesurées dans ces deux médias sont assez larges.
- Plusieurs publications présentant des données de contamination dans l'air extérieur ont pour objectif l'étude du transport à longue distance des composés perfluorés et les mesures ont pu être réalisées dans des endroits isolés. Les gammes de concentrations mesurées dans l'air extérieur sont assez larges. Les composés perfluorés neutres, plus volatils, ont fait l'objet de davantage de publications.
- La majorité des études recensées dans la littérature concerne le PFOS et le PFOA.
- Parmi les autres composés perfluorés étudiés, **le PFOSA, le PFBS, le PFHxS, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH, le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE** sont ceux faisant l'objet du plus grand nombre de publications, tous médias confondus.
- D'après les études ayant mesuré les composés perfluorés dans l'air intérieur et extérieur, les concentrations mesurées à l'intérieur sont plus élevées qu'à l'extérieur.
- Il est possible d'évaluer l'exposition agrégée via l'air (intérieur et extérieur) et les poussières pour les composés suivants : le PFOS, le PFOA, le PFBS, le PFBA, le PFHxS, le PFHxA, le

PFHpA, le PFNA, le PFDaA, le PFDA, le PFOSA, le PFTeDA, le 6 : 2 FTUCA, le 8 : 2 FTUCA, le 6 : 2 FTS, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH, le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE. Il s'agit des seuls composés pour lesquels des données quantifiées sont disponibles dans les trois médias.

- Seules deux études présentant des données de contamination dans les poussières domestiques (Goosey *et al.*, 2011) et l'air extérieur (Genualdi *et al.*, 2010) en France ont été identifiées dans la littérature pour **le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE, l'EtFOSE** (air extérieur et poussières), **le PFOSA** (poussières uniquement), **le PFBS, le PFNA, le PFDA, le PFDS, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH et le 10 : 2 FTOH** (air extérieur uniquement). Pour l'air extérieur, les niveaux mesurés dans cette étude sont dans la gamme de ceux mesurés dans les autres études, à l'exception du PFHxS, du PFBS et du PFOS pour lesquels les concentrations mesurées sont supérieures aux autres études. Pour les poussières, les niveaux mesurés dans cette étude sont dans la gamme de ceux mesurés dans les autres études, à l'exception de l'EtFOSA pour lequel la médiane des concentrations mesurées est nettement supérieure aux autres études. Aucune donnée en France n'est actuellement disponible pour l'air intérieur.

2.1.7 Références bibliographiques

- Adamo C, Antignac JP, Auger J, Balaguer P, Bourc'his D, Bujan L, Chevrier C, Cotinot C, Cravedi JP, Laudet V, Livera G, Slama R (2011) *Expertise collective INSERM. Reproduction et Environnement*, éditions Inserm, Paris, 713 p.
- Barber JL, Berger U (2007) Analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in air samples from Northwest Europe. *Journal of Environmental Monitoring*.
- Beeson S, Webster GM, Shoeib M, Harner T, Benskin JP, Martin JW (2011) Isomer profiles of perfluorochemicals in matched maternal, cord, and house dust samples: Manufacturing sources and transplacental transfer. *Environmental Health Perspectives* **119**, 1659-1664.
- Björklund JA, Thuresson K, De Wit CA (2009) Perfluoroalkyl compounds (PFCs) in indoor dust: Concentrations, human exposure estimates, and sources. *Environmental Science and Technology* **43**, 2276-2281.
- Boast K, Coram S, Dawid Z, Galbally I, Gillet R, Harnwell J, Kaserzon S, Keywood M, Lawson S, Molloy S, Powell J, Selleck P (2010) CSIRO. Persistent organic pollutants and metals. A report to the air quality Section, Environment Standards Branch, Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. COMMONWEALTH OF AUSTRALIA.
- Boulanger B, Peck AM, Schnoor JL, Hornbuckle KC (2005) Mass budget of perfluorooctane surfactants in Lake Ontario. *Environmental Science and Technology* **39**, 74-79.
- Chaemfa C, Barber JL, Huber S, Breivik K, Jones KC (2010) Screening for PFOS and PFOA in European air using passive samplers. *Journal of Environmental Monitoring* **12**, 1100-1109.
- Cornelis C, D'Hollander W, Roosens L, Covaci A, Smolders R, Van Den Heuvel R, Govarts E, Van Campenhout K, Reynders H, Bervoets L (2012) First assessment of population exposure to perfluorinated compounds in Flanders, Belgium. *Chemosphere* **86**, 308-314.
- De Silva AO, Allard CN, Spencer C, Webster GM, Shoeib M (2012) Phosphorus-Containing Fluorinated Organics: Polyfluoroalkyl Phosphoric Acid Diesters (diPAPs), Perfluorophosphonates (PFPAAs), and Perfluorophosphinates (PFPIAs) in Residential Indoor Dust. *Environmental Science and Technology* **46**, 12575-12582.
- D'Hollander W, De Voogt P, De Coen W, Bervoets L (2010a) Perfluorinated substances in human food and other sources of human exposure. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **208**, 179-215.

- D'Hollander W, Roosens L, Covaci A, Cornelis C, Reynders H, Campenhout KV, Voogt PD, Bervoets L (2010b) Brominated flame retardants and perfluorinated compounds in indoor dust from homes and offices in Flanders, Belgium. *Chemosphere* **81**, 478-487.
- Dreyer A, Ebinghaus R (2009) Polyfluorinated compounds in ambient air from ship- and land-based measurements in northern Germany. *Atmospheric Environment* **43**, 1527-1535.
- Dreyer A, Matthias V, Temme C, Ebinghaus R (2009) Annual time series of air concentrations of polyfluorinated compounds. *Environmental Science and Technology* **43**, 4036.
- Ericson Jogsten I, Nadal M, van Bavel B, Lindström G, Domingo JL (2012) Per- and polyfluorinated compounds (PFCs) in house dust and indoor air in Catalonia, Spain: Implications for human exposure. *Environment International* **39**, 172-180.
- Fraser AJ, Webster TF, Watkins DJ, Strynar MJ, Kato K, Calafat AM, Vieira VM, McClean MD (2013) Polyfluorinated compounds in dust from homes, offices, and vehicles as predictors of concentrations in office workers' serum. *Environment International* **60**, 128-136.
- Fromme H, Tittlemier SA, Völkel W, Wilhelm M, Twardella D (2009) Perfluorinated compounds - Exposure assessment for the general population in western countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **212**, 239-270.
- Genualdi S, Lee SC, Shoeib M, Gawor A, Ahrens L, Harner T (2010) Global pilot study of legacy and emerging persistent organic pollutants using sorbent-impregnated polyurethane foam disk passive air samplers. *Environmental Science and Technology* **44**, 5534-5539.
- Goosey E, Harrad S (2011) Perfluoroalkyl compounds in dust from Asian, Australian, European, and North American homes and UK cars, classrooms, and offices. *Environment International* **37**, 86-92.
- Goosey E, Harrad S (2012) Perfluoroalkyl substances in UK indoor and outdoor air: Spatial and seasonal variation, and implications for human exposure. *Environment International* **45**, 86-90.
- Green N, Schlabach M, Bakke T, Brevik EM, Dye C, Herzka D, Huber S, Plosz B, Remberger M, Schoyen M, Uggerud HT, Vogelsang C (2008) Screening of selected metals and new organic contaminants 2007. Report 2367/2008. Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, Norway., Oslo, Norvège)
- Harada K, Nakanishi S, Saito N, Tsutsui T, Koizumi A (2005) Airborne perfluorooctanoate may be a substantial source contamination in Kyoto Area, Japan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **74**, 64-69.
- Harada K, Nakanishi S, Sasaki K, Furuyama K, Nakayama S, Saito N, Yamakawa K, Koizumi A (2006) Particle size distribution and respiratory deposition estimates of airborne perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate in Kyoto area, Japan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **76**, 306-310.
- Harrad S, De Wit CA, Abdallah MAE, Bergh C, Björklund JA, Covaci A, Darnerud PO, De Boer J, Diamond M, Huber S, Leonards P, Mandalakis M, Ostman C, Haug LS, Thomsen C, Webster TF (2010) Indoor contamination with hexabromocyclododecanes, polybrominated diphenyl ethers, and perfluoroalkyl compounds: An important exposure pathway for people? *Environmental Science and Technology* **44**, 3221-3231.
- Haug LS, Huber S, Schlabach M, Becher G, Thomsen C (2011) Investigation on per- and polyfluorinated compounds in paired samples of house dust and indoor air from Norwegian homes. *Environmental Science and Technology* **45**, 7991-7998.
- Huber S, Haug LS, Schlabach M (2011) Per- and polyfluorinated compounds in house dust and indoor air from northern Norway - A pilot study. *Chemosphere* **84**, 1686-1693.
- Jahnke A, Huber S, Temme C, Kylin H, Berger U (2007) Development and application of a simplified sampling method for volatile polyfluorinated alkyl substances in indoor and environmental air. *Journal of Chromatography A* **1164**, 1-9.
- Kato K, Calafat AM, Needham LL (2009) Polyfluoroalkyl chemicals in house dust. *Environmental Research* **109**, 518-523.

- Kim SK, Kannan K (2007) Perfluorinated Acids in Air, Rain, Snow, Surface Runoff, and Lakes: Relative Importance of Pathways to Contamination of Urban Lakes. *Environmental Science and Technology* **41**, 8328-8334.
- Kim SK, Shoeib M, Kim KS, Park JE (2012) Indoor and outdoor poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in Korea determined by passive air sampler. *Environmental Pollution* **162**, 144-150.
- Knobeloch L, Imm P, Anderson H (2012) Perfluoroalkyl chemicals in vacuum cleaner dust from 39 Wisconsin homes. *Chemosphere* **88**, 779-783.
- Kubwabo C, Stewart B, Zhu J, Marro L (2005) Occurrence of perfluorosulfonates and other perfluorochemicals in dust from selected homes in the city of Ottawa, Canada. *Journal of Environmental Monitoring* **7**, 1074-1078.
- Langer V, Dreyer A, Ebinghaus R (2010) Polyfluorinated compounds in residential and nonresidential indoor air. *Environmental Science and Technology* **44**, 8075-8081.
- Li J, Del Vento S, Schuster J, Zhang G, Chakraborty P, Kobara Y, Jones KC (2011) Perfluorinated compounds in the asian atmosphere. *Environmental Science and Technology* **45**, 7241-7248.
- Liu W, Chen S, Harada KH, Koizumi A (2011) Analysis of perfluoroalkyl carboxylates in vacuum cleaner dust samples in Japan. *Chemosphere* **85**, 1734-1741.
- Martin JW, Muir DCG, Moody CA, Ellis DA, Wai CK, Solomon KR, Mabury SA (2002) Collection of airborne fluorinated organics and analysis by gas chromatography/chemical ionization mass spectrometry. *Analytical Chemistry* **74**, 584-590.
- Moriwaki H, Takata Y, Arakawa R (2003) Concentrations of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in vacuum cleaner dust collected in Japanese homes. *Journal of Environmental Monitoring* **5**, 753-757.
- Müller CE, Gerecke AC, Bogdal C, Wang Z, Scheringer M, Hungerbühler K (2012) Atmospheric fate of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs): I. Daynight patterns of air concentrations in summer in Zurich, Switzerland. *Environmental Pollution* **169**, 196-203.
- Oono S, Matsubara E, Harada KH, Takagi S, Hamada S, Asakawa A, Inoue K, Watanabe I, Koizumi A (2008) Survey of airborne polyfluorinated telomers in Keihan area, Japan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **80**, 102-106.
- Piekarz AM, Primbs T, Field JA, Barofsky DF, Simonich S (2007) Semivolatile fluorinated organic compounds in Asian and western U.S. air masses. *Environmental Science and Technology* **41**, 8248-8255.
- Sasaki K, Harada K, Saito N, Tsutsui T, Nakanishi S, Tsutsui H, Koizumi A (2003) Impact of airborne perfluorooctane sulfonate on the human body burden and the ecological system. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **71**, 408-4013.
- Shoeib M, Harner T, Ikonomou M, Kannan K (2004) Indoor and Outdoor Air Concentrations and Phase Partitioning of Perfluoroalkyl Sulfonamides and Polybrominated Diphenyl Ethers. *Environmental Science and Technology* **38**, 1313-1320.
- Shoeib M, Harner T, Wilford BH, Jones KC, Zhu J (2005) Perfluorinated sulfonamides in indoor and outdoor air and indoor dust: Occurrence, partitioning, and human exposure. *Environmental Science and Technology* **39**, 6599-6606.
- Shoeib M, Harner T, Webster M, Lee SC (2011) Indoor sources of poly- and perfluorinated compounds (PFCS) in Vancouver, Canada: Implications for human exposure. *Environmental Science and Technology* **45**, 7999-8005.
- Stock NL, Lau FK, Ellis DA, Martin JW, Muir DCG, Mabury SA (2004) Polyfluorinated telomer alcohols and sulfonamides in the north american troposphere. *Environmental Science and Technology* **38**, 991-996.
- Stock NL, Furdui VI, Muir DCG, Mabury SA (2007) Perfluoroalkyl contaminants in the Canadian arctic: Evidence of atmospheric transport and local contamination. *Environmental Science and Technology* **41**, 3529-3536.

Strynar MJ, Lindstrom AB (2008) Perfluorinated compounds in house dust from Ohio and North Carolina, USA. *Environmental Science and Technology* **42**, 3751-3756.

Sugita K, Koyano M, Endo O, Watanabe T, Yamashita N, Ushiyama A, Suzuki G (2007) Perfluorinated compounds levels in urban airborne particles - recent aspects in Tokyo area. *Organohalogen Compd* **69**, 2885-2888.

Swedish Society for Nature Conservation (SSNC) (2011) *Home sweet home - dusty surprises under the bed*

Xu Z, Fiedler S, Pfister G, Henkelmann B, Mosch C, Völkel W, Fromme H, Schramm K-W (2013) Human exposure to fluorotelomer alcohols, perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate via house dust in Bavaria, Germany. *Science of the total environment* **443**, 485-490.

Zhang T, Sun HW, Wu Q, Zhang XZ, Yun SH, Kannan K (2010) Perfluorochemicals in meat, eggs and indoor dust in China: Assessment of sources and pathways of human exposure to perfluorochemicals. *Environmental Science and Technology* **44**, 3572-3579.

2.2 Relatives aux aliments

A ce jour, au sein de l'agence, l'exposition alimentaire aux perfluorés a été évaluée ou est en cours d'évaluation pour les populations suivantes :

- la population générale en France Métropolitaine *via* l'EAT2 (2006-2010)
- les forts consommateurs de produits de la mer *via* l'étude CALIPSO (2004-2005)
- les pêcheurs amateurs de poissons d'eau douce et membres de leur foyer *via* l'enquête ICAR-PCB (2008-2011)
- les femmes enceintes recrutées au CHU de Toulouse dans le cadre du programme ANR CONTREPERF (2010-2013), en cours d'évaluation
- les femmes enceintes de l'enquête EDEN
- les enfants non allaités de 0 à 3 ans en France Métropolitaine *via* l'EAT infantile (2010-2014), en cours d'évaluation

2.2.1 Données de consommation alimentaire

L'Anses dispose des consommations alimentaires individuelles issues des études suivantes :

- **INCA2** (Etude individuelle nationale des consommations alimentaires 2) menée entre 2005 et 2007 sur la population générale. Cette étude a inclus 3362 individus : 1918 adultes et 1444 enfants entre 3 et 17 ans représentatifs de la population générale française. La consommation alimentaire a été recueillie par le biais d'un carnet de consommation sur 7 jours consécutifs.
- **CALIPSO** (Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3) menée en 2004. Cette étude a inclus 1011 individus adultes recrutés sur 4 sites côtiers en France Métropolitaine consommant des produits de la mer au moins 2 fois par semaine (fréquence correspondant à la médiane de consommation de produits de la mer dans l'étude INCA1), considérés donc comme étant des forts consommateurs de produits de la mer. La consommation alimentaire a été recueillie par le biais d'un questionnaire de fréquence alimentaire.
- **ICAR-PCB** (Etude nationale d'imprégnation aux polychlorobiphényles des consommateurs de poissons d'eau douce) menée en 2009. Cette étude a inclus 606 individus adultes dans des foyers de pêcheurs adhérents d'une des associations agréées de pêche et de protection des milieux aquatiques sur 6 sites d'étude répartis sur 18 départements, chaque site correspondant à une portion de cours d'eau (Seine, Somme, Rhône, Rhin, Garonne, Loire ou leurs affluents). La consommation alimentaire a été recueillie par le biais d'un questionnaire de fréquence alimentaire.

- **CONTREPERF** (programme ANR) menée entre 2010 et 2013. Cette étude a inclus 107 femmes enceintes admises au CHU de Toulouse pour une césarienne programmée. La consommation alimentaire a été recueillie par le biais d'un questionnaire de fréquence alimentaire avec un volet avant la grossesse et pendant la grossesse.
- **EDEN** (Etude des déterminants pré et postnatals du développement de la santé de l'enfant) lancée en 2003. Cette étude a inclus 2002 femmes enceintes âgées entre 18 et 45 ans dans les CHU de Nancy et de Poitiers. Les consommations alimentaires avant la grossesse et au dernier trimestre de la grossesse ont été recueillies par le biais d'un questionnaire de fréquence alimentaire.
- **BEBE-SFAE** mené en 2005. Cette étude a inclus 706 enfants, non nourris au sein, âgés de 0 à 3 ans et répartis dans 11 groupes d'âge différents. La consommation alimentaire a été recueillie par le biais d'un carnet de consommation sur 3 jours consécutifs. Il s'agit des données les plus récentes disponibles sur la consommation des enfants de 0 à 3 ans. Cette étude a été réalisée par le TNS-Sofres-CHU Dijon pour le Syndicat Français des Aliments de l'Enfance.

2.2.2 Données de contamination alimentaire

L'Anses dispose des contaminations alimentaires issues des études suivantes :

- **EAT2** (Etude de l'alimentation totale française 2) sur l'alimentation totale
 - 599 échantillons composites préparés tels que consommés, constitués de 15 sous-échantillons
 - Echantillonnage entre juin 2007 et janvier 2009
 - Prise en compte de la variabilité régionale (territoire métropolitain découpé en 8 grandes régions, échantillonnage sur chaque région)
- **EATi** (Etude de l'alimentation totale infantile) :
 - 200 échantillons composites préparés tels que consommés, constitués de 12 sous-échantillons (1 par mois). Echantillons principalement composés d'aliments destinés aux enfants de moins de 3 ans
 - Echantillonnage entre juillet 2011 et juillet 2012
 - Prise en compte de la marque consommée lorsque l'information est disponible
- **CALIPSO** sur les produits de la mer
 - 159 échantillons composites des parties comestibles, constitués de 5 sous-échantillons
 - Echantillonnage entre janvier et avril 2005
 - Prise en compte de la variabilité régionale (échantillonnage sur 4 sites côtiers)
- **ICAR-PCB** sur les poissons d'eau douce
 - 387 échantillons composites de filets
 - Echantillonnage entre 2008 et 2010 par l'Onema (office national de l'eau et des milieux aquatiques)
 - Prise en compte de la variabilité régionale (échantillonnage sur les 6 grands fleuves français ou leurs affluents découpés en 23 tronçons)

Les échantillons alimentaires des études EAT2, EATi, CALIPSO et ICAR-PCB ont été analysés par le Laboratoire (Laboratoire d'étude des résidus et contaminants dans les aliments), avec une limite analytique faible. Les composés perfluorés recherchés pour chaque étude ainsi que leur limite de détection sont indiqués dans le Tableau 10. Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) sont ici égales.

Tableau 10 : Liste des composés perfluoroalkylés recherchés dans les études CALIPSO, ICAR-PCB, EAT2 et EATi et leur limite de détection minimale et maximale par composé (ng.g⁻¹ de poids frais)

Composés perfluoroalkylés	Acronyme	CALIPSO	ICAR-PCB	EAT2	EATi
Carboxylates d'alkyls perfluorés					
Acide perfluorobutanoïque	PFBA	0,019-0,15	0,01-0,71	0,0004-3,732	0,0018-0,256
Acide perfluoropentanoïque	PFPA	0,01-0,24	0,02-0,55	0,0007-0,508	0,0009-0,085
Acide perfluorohexanoïque	PFHxA	0,01-0,205	0,02-0,51	0,0015-0,37	0,0005-0,043
Acide perfluoroheptanoïque	PFHpA	0,004-0,163	0,01-0,4	0,0009-0,22	0,0005-0,085
Acide perfluorooctanoïque	PFOA	0,006-0,129	0,01-0,37	0,001-0,4	0,0005-0,064
Acide perfluorononanoïque	PFNA	0,01-0,142	0,01-0,52	0,0005-0,253	0,0009-0,155
Acide perfluorodécanoïque	PFDA	0,01-0,172	0,02-0,96	0,0003-0,115	0,0005-0,085
Acide perfluoroundécanoïque	PFUnA	0,01-0,421	0,03-0,36	0,0005-1,207	0,0009-0,085
Acide perfluorotridécanoïque	PFTrDA	0,017-0,15	0,01-0,46	0,004-1,103	0,0009-0,085
Acide perfluorotétradécanoïque	PFTeDA	0,005-0,331	0,01-0,5	0,006-1,372	0,0009-0,085
Acide perfluorododécanoïque	PFDoA	-	0,09-0,95	0,0001-0,505	0,0009-0,047
Sulfonates d'alkyls perfluorés					
Sulfonate de perfluorobutane	PFBS	0,007-0,055	0,01-0,44	0,012-1,199	0,0005-0,043
Sulfonate de perfluorohexane	PFHxS	0,008-0,063	0,03-0,83	0,0005-0,61	0,0009-0,043
Sulfonate de perfluoroheptane	PFHpS	0,004-0,093	0,01-0,38	0,0005-1,228	0,0005-0,043
Sulfonate de perfluorooctane	PFOS	0,007-0,07	0,3	0,0006-0,617	0,0009-0,043
Sulfonate de perfluorodécane	PFDS	0,003-0,094	0,02-0,4	0,0002-0,622	0,0027-0,043
Sulfinate d'alkyl perfluoré					
Acide perfluorooctylsulfinate	PFOSi	0,004-0,125	0,01-0,19	-	0,0005-0,043
Sulfonamide d'alkyl perfluoré					
Perfluorooctanesulfonamide	PFOSA	-	0,03-0,48	-	-

(-) Non recherché

Les limites de détection sont matrice et composé-dépendants. Pour les analyses les plus récentes, conduites pour l'étude EATi, le LABERCA a amélioré ses méthodes analytiques afin d'abaisser davantage les limites de détection et de quantification.

Malgré les limites de détection faibles, de l'ordre du ng.g⁻¹ de poids frais, les taux de censure, c'est-à-dire les contaminations en-dessous des limites de quantification (LOQ), sont en moyenne supérieurs à 60% pour l'ensemble des études comme le montre le Tableau 11 ci-dessous. Les hypothèses basses (lower bound : LB) et hautes (upper bound : UB) ont été utilisées comme le recommande l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (GEMS/Food-EURO, 1995) :

- Hypothèse LB : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par 0
- Hypothèse UB : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par la LOQ

Tableau 11 : Taux de censure par composé perfluoré et par étude

PFAA	Taux de censure			
	CALIPSO	ICAR-PCB	EAT2	EATi
PFBS	100,0	99,0	99,6	100,0
PFHxS	95,0	54,5	99,4	100,0
PFHpS	99,4	74,2	100,0	100,0
PFOS	15,1	0,26	98,3	99,5
PFDS	97,5	61,8	100,0	100,0
PFBA	54,1	96,9	100,0	100,0
PFPA	67,9	100	100,0	100,0
PFHxA	61,0	96,9	99,6	100,0
PFHpA	60,4	97,4	99,2	100,0

PFOA	54,7	79,8	97,3	99,5
PFNA	58,5	58,4	99,0	100,0
PFDA	53,5	12,4	97,1	100,0
PFUnA	45,3	6,2	99,2	99,5
PFTTrDA	88,1	49,9	100,0	99,5
PFTeDA	98,7	76,7	100,0	100,0
Moyenne	69,9	64,3	99,3	99,9

Sous l'hypothèse LB, les items alimentaires les plus contaminés en PFOS sont les poissons d'eau douce avec une contamination moyenne de 42 ng.g⁻¹ de poids frais, les coquillages/crustacés/mollusques avec une contamination moyenne de 0,82 ng.g⁻¹ de poids frais, puis les poissons de mer et les produits à base de produit de la mer avec une contamination moyenne respective de 0,58 ng.g⁻¹ de poids frais et de 0,22 ng.g⁻¹ de poids frais. Seuls 5 autres items alimentaires ont une contamination moyenne en PFOS quantifiée: la charcuterie (0,004 ng.g⁻¹ de poids frais), la viande (0,003 ng.g⁻¹ de poids frais), l'eau et les plats composés (0,001 ng.g⁻¹ de poids frais) ainsi que les légumes (0,00028 ng.g⁻¹ de poids frais). Aucun PFOS n'a été détecté dans les échantillons d'aliments infantiles analysés.

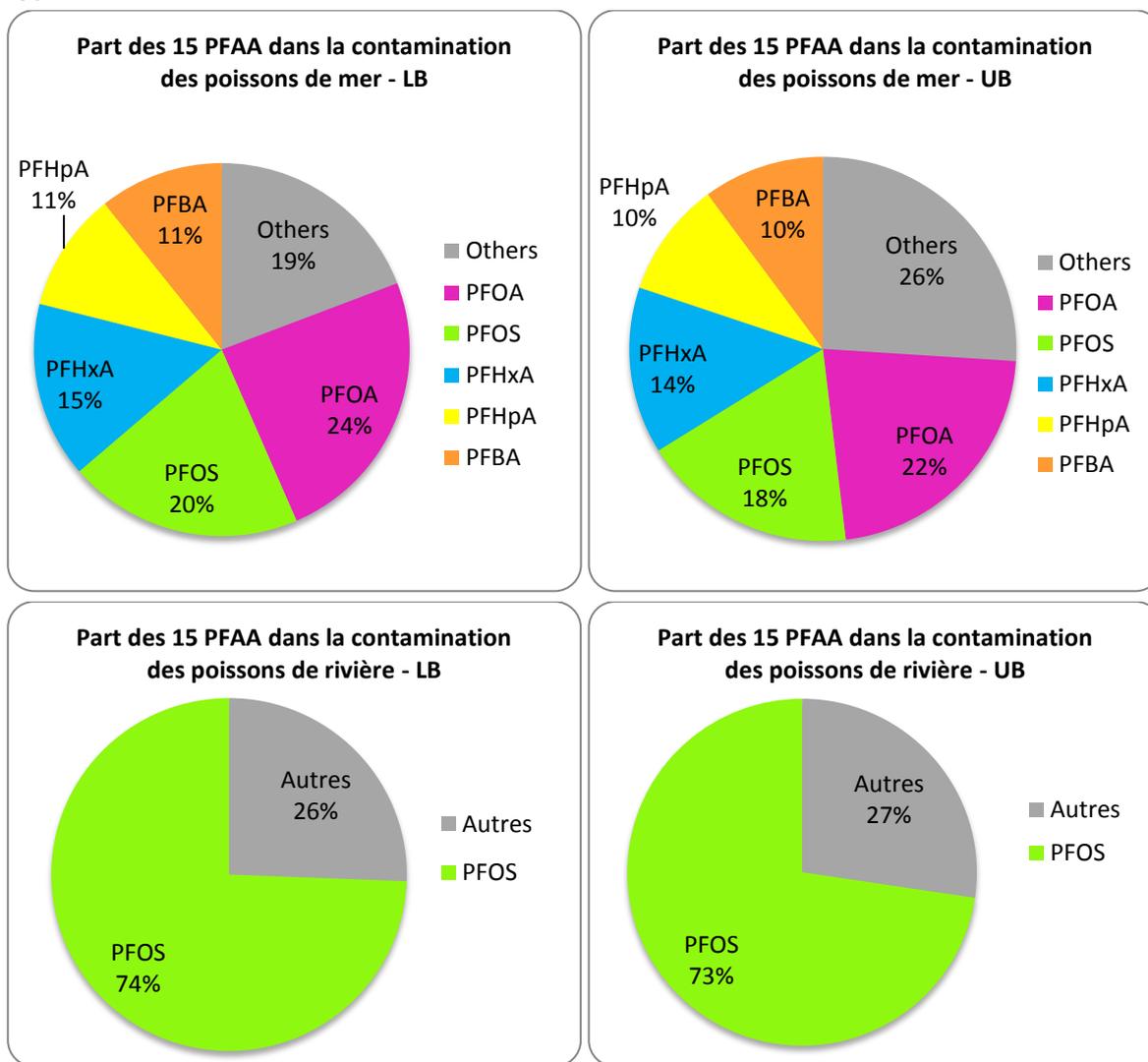
Les items alimentaires les plus contaminés en PFOA sont les poissons de mer, les coquillages/crustacés/mollusques et les poissons d'eau douce avec une contamination moyenne respective de 0,7 ng.g⁻¹, 0,3 ng.g⁻¹ et 0,19 ng.g⁻¹ de poids frais. Seuls 6 autres items alimentaires ont une contamination moyenne en PFOA quantifiée: la viande, la volaille et le gibier, la charcuterie, les légumes, l'eau et les plats composés (0,001 ng.g⁻¹ de poids frais pour les 6 items). De même que précédemment, aucun PFOA n'a été détecté dans les échantillons d'aliments infantiles analysés.

Lorsque l'on considère les 15 PFAAs commun aux différentes études de l'Agence (EAT2, CALIPSO, ICAR-PCB, CONTREPERF, EATi), les denrées alimentaires les plus contaminées sont les poissons d'eau douce, et plus particulièrement le goujon, le vairon et le barbeau, suivis des produits de la mer. La contamination moyenne exprimée en somme des 15 PFAAs varie de 9,4 à 168,4 ng.g⁻¹ de poids frais pour les poissons d'eau douce et de 0,3 à 6,8 ng.g⁻¹ pour les poissons de mer sous l'hypothèse LB (respectivement 10,34 à 169,9 ng.g⁻¹ de poids frais et 1,1 à 7,1 ng.g⁻¹ sous l'hypothèse UB). La contamination des autres items alimentaires est en-dessous de la LOQ, à l'exception de l'eau (quantification du PFBS, du PFDS, du PFHpA, du PFHxA, du PFHxS, du PFOA et du PFOS), de la volaille et du gibier (quantification du PFDA et du PFOA), des abats (quantification du PFDA, du PFNA et du PFUnA), de la viande (quantification du PFHpA, du PFOA et du PFOS), des légumes (quantification du PFNA, du PFOS et du PFOA), de la charcuterie (quantification du PFOS et du PFOA) et des plats composés (quantification du PFOS et du PFOA).

La contamination moyenne en composés perfluorés des poissons d'eau douce est supérieure à celle des poissons de mer quelque soit l'espèce considérée. De plus, ces 2 types de poissons ne présentent pas le même profil de contamination, comme visible sur la

Figure 1. En effet, le PFOS est le contributeur majoritaire de la contamination des poissons d'eau douce avec environ 75% de contribution, tandis que la contamination se partage entre le PFOA, le PFOS, le PFHxA, le PFHpA et le PFBA pour les poissons de mer (sous l'hypothèse LB, les contributions sont respectivement de 24%, 20%, 15%, 11% et 11%). Cette différence de profil peut être notamment due à une différence de contamination du milieu de vie de ces organismes, ce qui reste néanmoins à confirmer par des prélèvements et analyses d'eau douce et d'eau de mer, éventuellement complétés par des sédiments.

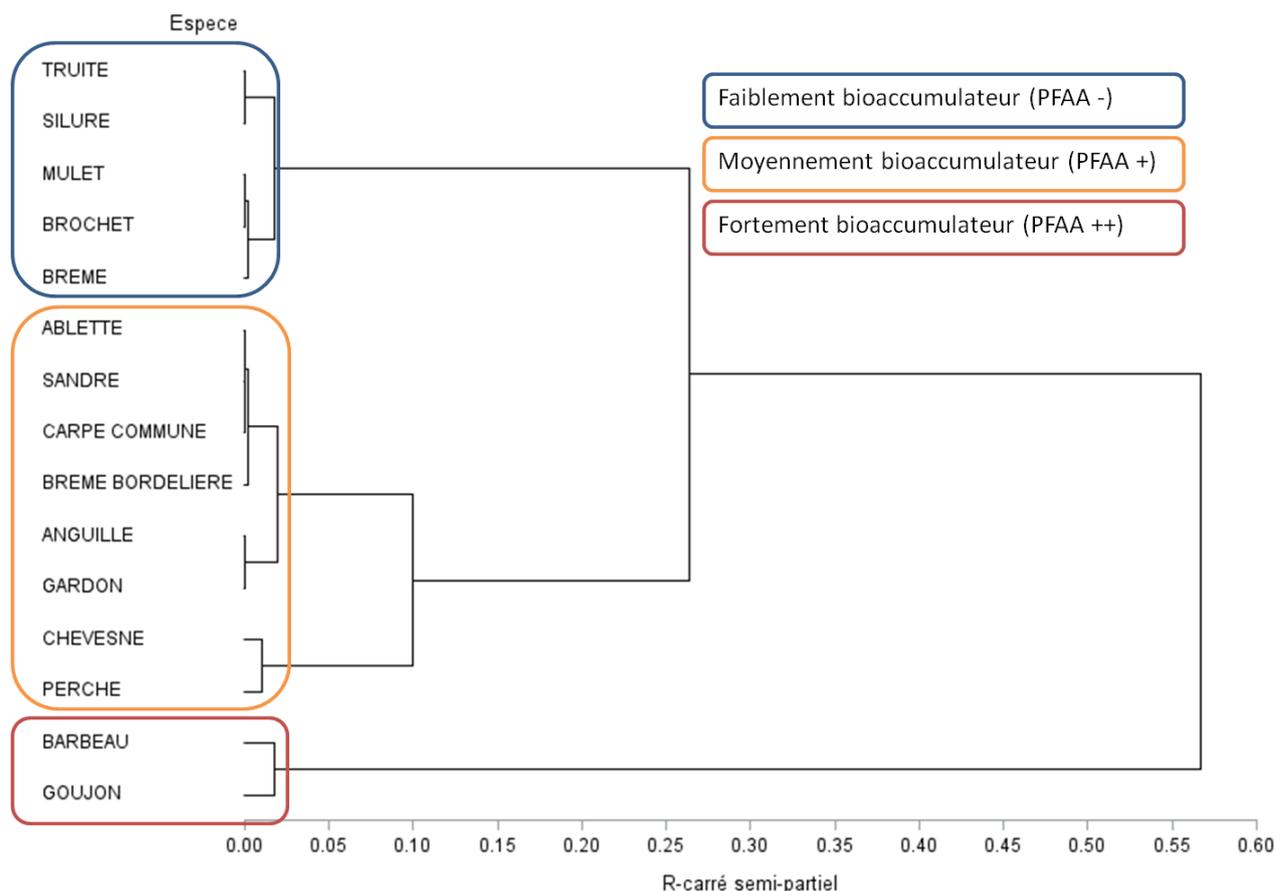
Figure 1 : Part des 15 PFAA dans la contamination des poissons de mer et d'eau douce, sous les hypothèses LB et UB



Une classification ascendante de Ward a été réalisée afin de déterminer des groupes de poisson d'eau douce fortement, moyennement et faiblement bioaccumulateurs de PFAAs. La moyenne de la contamination en somme des 15 PFAAs communs aux études sur les perfluorés (EAT2, EATi, CALIPSO, ICAR-PCB, EDEN et CONTREPERF) a été calculée pour chaque espèce sous l'hypothèse LB pour le dendrogramme présenté

Figure 2. Les espèces dont l'effectif était inférieur à 5 ont été exclues de la classification (blageon et vairon). La différence de contamination entre ces 3 groupes de poisson se retrouve essentiellement pour le PFOS, le PFUnA et le PFTTrDA. La contamination moyenne pour ces 3 composés sous l'hypothèse LB est respectivement de 84,9 ng.g⁻¹ pf, 37,8 ng.g⁻¹ pf et 13 ng.g⁻¹ pf pour les poissons d'eau douce fortement bioaccumulateurs de PFAAs, 33,4 ng.g⁻¹ pf, 4,8 ng.g⁻¹ pf et 1,3 ng.g⁻¹ pf pour les poissons d'eau douce moyennement bioaccumulateurs de PFAAs et de 18,7 ng.g⁻¹ pf, 2,3 ng.g⁻¹ pf et 0,2 ng.g⁻¹ pf pour les poissons d'eau douce faiblement bioaccumulateurs en PFAAs.

Figure 2 : Dendrogramme pour la contamination moyenne de la somme des 15 perfluorés sous l'hypothèse LB pour les espèces de poisson d'eau douce



En juin 2012, l'EFSA a publié un rapport sur l'occurrence des composés perfluoroalkylés dans les aliments et sur l'exposition alimentaire aux PFAAs, en se basant sur les données transmises par 13 Etats Européens. Le PFOS et le PFOA étaient les composés présentant le plus haut taux de détection, respectivement 29% et 9%. Le PFOA est retrouvé à son plus haut niveau dans les abats de gibier, la viande de gibier, dans les crustacés, dans les produits laitiers et dans le filet de poisson, respectivement à 5,4 ng.g⁻¹, 0,4 ng.g⁻¹, 0,15 ng.g⁻¹, 0,13 ng.g⁻¹ et à 0,1 ng.g⁻¹ de poids frais en moyenne sous l'hypothèse LB. Le PFOS est retrouvé à son plus haut niveau dans les abats de gibier (maximum: 3480 ng.g⁻¹) et de poisson, dans le filet de poisson, dans les crustacés et la viande de gibier à des niveaux moyens respectifs de 215 ng.g⁻¹, 4,9 ng.g⁻¹, 2,1 ng.g⁻¹, 1,5 ng.g⁻¹ et 0,87 ng.g⁻¹ sous l'hypothèse LB.

L'EFSA retrouve bien une plus forte contamination en PFAAs dans les poissons et produits de la mer, comme c'est le cas dans notre étude pour l'hypothèse LB. L'analyse plus fine des données EFSA a également révélé une contamination plus importante chez les poissons d'eau douce que chez les poissons de mer ou diadromes, ce qui est cohérent avec nos données de contamination.

Dans ce même rapport de l'EFSA, lorsque l'on examine les valeurs de la contamination de chair de poisson par PFAA, on remarque une nette différence entre les valeurs sous l'hypothèse LB et sous l'hypothèse UB, ce qui dénote une limite de quantification haute, contrairement aux données obtenues dans le cadre du projet CONTREPERF.

Le

Tableau 12 compare les valeurs de contamination sous les hypothèses LB et UB de la chair de poisson entre le rapport de l'EFSA, l'EAT2 et les données du projet CONTREPERF. Pour le PFPA, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le PFUnA, le PFHxS et le PFDS, la contamination moyenne des

poissons en PFAA du rapport de l'EFSA est inférieure à celle de l'étude CALIPSO sous l'hypothèse LB et supérieure sous l'hypothèse UB, mettant en évidence une limite de quantification haute et un nombre important de données censurées. Pour le PFOA, la contamination est plus élevée pour les échantillons de l'étude CALIPSO pour les hypothèses LB et UB, suggérant une consommation d'espèces de poisson de mer plus contaminées ou bioaccumulatrices en PFOA en France que celles consommées dans le reste de l'Europe. Pour le PFOS, la contamination moyenne sous l'hypothèse LB des poissons d'eau douce dans le rapport EFSA est de 10 ng.g⁻¹ pf, ce qui est proche de la contamination moyenne des poissons d'eau douce faiblement bioaccumulatrices de PFAAs de l'étude ICAR-PCB (13 ng.g⁻¹ pf). Toutefois, ce rapport ne mentionne pas la liste des espèces analysées. D'après les données provenant des études sur l'alimentation totale des différents pays européens, il est probable que des espèces telles que la truite ou le brochet, espèces faiblement contaminées en France d'après nos données mais couramment consommées, aient été essentiellement échantillonnées. Les niveaux de contamination faibles dans l'EAT2 proviennent de l'échantillonnage d'espèces peu contaminées pour cette étude. En effet, l'EAT2 visait les aliments les plus consommés par la population générale et n'a, en ce sens, retenu que quelques espèces de poissons de mer (lieu ou colin, poisson pané frit, saumon et thon), tandis que les études CALIPSO et ICAR-PCB avaient pour but d'avoir une vision beaucoup plus exhaustive des espèces consommées pour les populations fortes consommatrices de ces produits.

Tableau 12: Comparaison entre la moyenne de contamination des poissons du rapport de l'EFSA, l'EAT2, l'étude CALIPSO et l'étude ICAR-PCB (ng.g-1 de poids frais)

PFAA	LB/UB	EFSA*	EAT2**	CALIPSO**	ICAR***
PFPA	LB	0,0084	0	0,17	0
	UB	0,29	0,077	0,19	0,18
PFHxA	LB	0,073	0,002	0,46	0,38
	UB	0,54	0,042	0,47	0,59
PFHpA	LB	0,017	0,004	0,31	0,034
	UB	0,52	0,068	0,32	0,14
PFOA	LB	0,1	0,001	0,73	0,19
	UB	0,64	0,023	0,74	0,25
PFNA	LB	0,014	0	0,09	0,2
	UB	0,6	0,039	0,11	0,24
PFDA	LB	0,064	0	0,1	2,6
	UB	0,55	0,026	0,12	2,6
PFUnA	LB	0,045	0,114	0,19	7,1
	UB	0,54	0,135	0,21	7,1
PFTrDA	LB	0,022	0,074	0,013	3,4
	UB	0,18	0,118	0,065	3,44
PFTeDA	LB	0,0031	0	0,0015	0,09
	UB	0,55	0,067	0,043	0,18
PFBS	LB	0,0031	0	0	0,0001
	UB	0,85	0,042	0,22	0,079
PFHxS	LB	0,00052	0	0,0025	0,18
	UB	0,46	0,012	0,026	0,29
PFOS	LB	2,1	0,089	0,59	42
	UB	2,5	0,099	0,59	42
PFDS	LB	0,00031	0	0,006	0,13
	UB	0,16	0,028	0,036	0,21

* espèces non disponibles

** poissons de mer

*** poissons d'eau douce

Le Tableau 13 présente la contamination des denrées alimentaires issues de l'étude CALIPSO pour les poissons de mer et produits de la mer, de l'étude ICAR-PCB pour les poissons d'eau douce et de l'EAT2 pour les autres denrées.

Pour l'EATi, les résultats seront complétés ultérieurement.

Tableau 13: Contamination en composés perfluorés des groupes d'aliments échantillonnés dans le cadre des études EAT2, CALIPSO et ICAR-PCB (ng.g⁻¹ de poids frais)

Groupe d'aliments	n	EAT2		CALIPSO		ICAR-PCB		EAT2		CALIPSO		ICAR-PCB			
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB		
Pain et panification sèche	7	0	0,337	0	0,291	0	0,038	0	0,029	0	0,068	0	0,072	0	0,084
Céréales pour petit déjeuner	3	0	0,113	0	0,090	0	0,013	0	0,010	0	0,022	0	0,024	0	0,029
Viennoiseries	3	0	0,277	0	0,237	0	0,031	0	0,024	0	0,055	0	0,059	0	0,069
Biscuits sucrés ou salés et barres	4	0	0,38	0	0,253	0	0,056	0	0,045	0	0,110	0	0,083	0	0,125
Pâtisseries et gâteaux	8	0	0,238	0	0,176	0	0,042	0	0,027	0	0,079	0	0,050	0	0,061
Lait	38	0	0,253	0	0,105	0	0,057	0	0,089	0	0,110	0	0,087	0	0,147
Ultrafrais laitier	75	0	0,211	0	0,134	0	0,058	0	0,078	0	0,091	0	0,067	0	0,128
Fromages	32	0	0,229	0	0,105	0	0,041	0	0,047	0	0,056	0	0,041	0	0,068
Oeufs et dérivés	30	0	0,109	0	0,055	0	0,022	0	0,009	0	0,017	0	0,018	0	0,031
Beurre	1	0	0,494	0	0,092	0	0,049	0	0,143	0	0,099	0	0,075	0	0,148
Viande	64	0	0,439	0	0,101	0	0,032	0	0,033	0,001	0,052	0	0,041	0	0,072
Volaille et gibier	38	0	0,453	0	0,092	0,000	0,030	0	0,050	0	0,047	0	0,038	0	0,068
Abats	16	0	0,333	0	0,739	0,140	0,147	0	0,383	0	0,093	0	0,757	0	0,186
Charcuterie	79	0	0,543	0	0,126	0	0,034	0	0,051	0	0,065	0	0,077	0	0,080
Poissons (EAT2)	46	0	0,098	0	0,042	0	0,026	0	0,028	0,004	0,068	0	0,025	0,002	0,042
Poissons de mer (CALIPSO)	95	0,309	0,329	0,000	0,022	0,101	0,120	0,006	0,036	0,299	0,315	0,000	0,031	0,441	0,456
Poissons d'eau douce PFAA++ (ICAR-PCB)	10	0,000	0,575	0,000	0,059	6,762	6,762	0,363	0,418	0,164	0,305	0,302	0,395	1,939	2,242
Poissons d'eau douce PFAA+ (ICAR-PCB)	282	0,011	0,221	0,000	0,080	1,653	1,695	0,156	0,226	0,030	0,127	0,148	0,224	0,298	0,491
Poissons d'eau douce PFAA- (ICAR-PCB)	93	0,010	0,143	0,000	0,091	1,152	1,168	0,050	0,091	0,003	0,083	0,016	0,083	0,030	0,176
Crustacés et mollusques (EAT2)	37	0	0,234	0	0,068	0,023	0,038	0	0,036	0	0,055	0	0,047	0	0,114
Crustacés et mollusques (CALIPSO)	42	0,011	0,065	0,000	0,019	0,045	0,075	0,011	0,035	0,298	0,322	0,000	0,026	0,054	0,079
Autres produits de la mer (CALIPSO)	20	0,000	0,085	0,000	0,028	0,002	0,071	0,000	0,037	0,000	0,042	0,000	0,037	0,000	0,040
Légumes	60	0	0,129	0	0,048	0	0,009	0	0,009	0	0,016	0	0,021	0	0,030
Pommes de terre et apparentés	1	0	0,116	0	0,086	0	0,023	0	0,022	0	0,047	0	0,089	0	0,047
Légumes secs	1	0	0,689	0	0,320	0	0,043	0	0,041	0	0,129	0	0,123	0	0,172
Chocolat	1	0	0,971	0	0,135	0	0,049	0	0,047	0	0,194	0	0,139	0	0,194
Eaux	6	0	0,005	0,001	0,002	0	0,001	0	0,001	0,003	0,028	0	0,016	0,002	0,008
Sandwiches, casse-croûte	3	0	0,261	0	0,097	0	0,026	0	0,015	0	0,026	0	0,050	0	0,078
Plats composés	19	0	0,276	0	0,081	0	0,026	0	0,027	0	0,028	0	0,043	0	0,064
Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	22	0	0,194	0	0,090	0	0,024	0	0,031	0	0,039	0	0,033	0	0,056
Condiments et sauces	3	0	0,575	0	0,087	0	0,035	0	0,060	0	0,085	0	0,150	0	0,116

Groupe d'aliments	n	PFHxS		PFNA		PFOA		PFOS		PFPA		PFUnA		PFTeDA		PFTrDA	
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Pain et panification sèche	7	0	0,042	0	0,061	0	0,076	0	0,104	0	0,252	0	0,462	-	-	-	-
Céréales pour petit déjeuner	3	0	0,014	0	0,020	0	0,025	0	0,042	0	0,090	0	0,169	-	-	-	-
Viennoiseries	3	0	0,035	0	0,050	0	0,062	0	0,089	0	0,209	0	0,383	-	-	-	-
Biscuits sucrés ou salés et barres	4	0	0,063	0	0,079	0	0,086	0	0,177	0	0,404	0	0,766	0	1,372	0	0,915
Pâtisseries et gâteaux	8	0	0,039	0	0,054	0	0,066	0	0,108	0	0,249	0	0,305	0	1,187	0	0,791
Lait	38	0	0,055	0	0,077	0	0,081	0	0,071	0	0,176	0	0,484	0	0,494	0	0,148
Ultrafrais laitier	75	0	0,053	0	0,094	0	0,088	0	0,079	0	0,145	0	0,450	0	0,793	0	0,499
Fromages	32	0	0,041	0	0,073	0	0,055	0	0,071	0	0,139	0	0,298	-	-	-	-
Oeufs et dérivés	30	0	0,015	0	0,027	0	0,033	0	0,024	0	0,043	0	0,157	0	0,500	0	0,370
Beurre	1	0	0,075	0	0,049	0	0,069	0	0,094	0	0,247	0	0,197	-	-	-	-
Viande	64	0	0,030	0	0,037	0,001	0,056	0,003	0,048	0	0,106	0	0,293	0	0,437	0	0,313
Volaille et gibier	38	0	0,032	0	0,036	0,001	0,049	0	0,041	0	0,111	0	0,302	0	0,401	0	0,289
Abats	16	0	0,376	0,028	0,068	0	0,038	0	0,381	0	0,206	0,016	0,043	-	-	0	0,042
Charcuterie	79	0	0,049	0	0,048	0,001	0,064	0,004	0,060	0	0,148	0	0,255	0	0,424	0	0,275
Poissons (EAT2)	46	0	0,012	0	0,039	0,001	0,023	0,089	0,099	0	0,077	0,114	0,135	0	0,067	0,074	0,118
Poissons de mer (CALIPSO)	95	0,002	0,026	0,089	0,111	0,701	0,718	0,584	0,586	0,160	0,183	0,181	0,207	0,001	0,044	0,013	0,065
Poissons d'eau douce PFAA++ (ICAR-PCB)	10	0,275	0,307	0,703	0,726	0,875	0,953	84,879	84,879	0,000	0,249	33,417	33,417	0,431	0,577	18,740	18,740
Poissons d'eau douce PFAA+ (ICAR-PCB)	282	0,230	0,366	0,172	0,224	0,164	0,224	37,799	37,799	0,000	0,172	4,759	4,767	0,059	0,142	2,302	2,362
Poissons d'eau douce PFAA- (ICAR-PCB)	93	0,040	0,173	0,094	0,117	0,023	0,067	13,045	13,049	0,000	0,140	1,256	1,267	0,038	0,069	0,229	0,259
Crustacés et mollusques (EAT2)	37	0	0,046	0,002	0,042	0,007	0,044	0,180	0,189	0	0,146	0,014	0,079	0,003	0,039	0,041	0,054
Crustacés et mollusques (CALIPSO)	42	0,048	0,066	0,105	0,127	0,298	0,322	0,822	0,825	0,007	0,043	0,262	0,292	0,000	0,052	0,050	0,088
Autres produits de la mer (CALIPSO)	20	0,000	0,031	0,013	0,059	0,000	0,063	0,217	0,231	0,000	0,060	0,058	0,135	0,000	0,050	0,049	0,117
Légumes	60	0	0,013	0,000	0,015	0,001	0,030	0,000	0,015	0	0,045	0	0,078	0	0,043	0	0,032
Pommes de terre et apparentés	1	0	0,022	0	0,023	0	0,023	0	0,022	0	0,047	0	0,023	-	-	0	0,023
Légumes secs	1	0	0,081	0	0,129	0	0,344	0	0,123	0	0,215	0	0,689	-	-	-	-
Chocolat	1	0	0,184	0	0,194	0	0,097	0	0,093	0	0,388	-	-	-	-	-	-
Eaux	6	0,002	0,002	0	0,001	0,001	0,016	0,001	0,002	0	0,004	0	0,008	-	-	-	-
Sandwiches, casse-croûte	3	0	0,040	0	0,042	0	0,037	0	0,050	0	0,105	0	0,157				
Plats composés	19	0	0,031	0	0,035	0,001	0,035	0,001	0,041	0	0,087	0	0,258	0	0,474	0	0,286
Entremets, crèmes desserts et laits gélifiés	22	0	0,024	0	0,038	0	0,041	0	0,040	0	0,114	0	0,254	0	0,583	0	0,583
Condiments et sauces	3	0	0,100	0	0,036	0	0,209	0	0,153	0	0,100	0	0,310	-	-	-	-

(-) Non recherché

2.2.3 Evaluation de l'exposition alimentaire

Le calcul de l'exposition alimentaire a été réalisé de manière déterministe et non probabiliste du fait des forts taux de censure (taux de censure de 99% pour EAT2, 70% pour CALIPSO, 64% pour ICAR-PCB). Les données utilisées pour le calcul de l'exposition alimentaire sont listées dans le ci-dessous :

Tableau 14 : Données de consommation alimentaire et de contamination alimentaire utilisées pour le calcul de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés

Population	Données de consommation alimentaire	Données de contamination alimentaire
Population générale française	INCA2	EAT2
Forts consommateurs de produits de la mer	CALIPSO	<ul style="list-style-type: none"> • Produits de la mer : CALIPSO • Autres aliments : EAT2
Pêcheurs amateurs et membres de leur foyer	ICAR-PCB	<ul style="list-style-type: none"> • Poissons d'eau douce : ICAR-PCB • Produits de la mer : CALIPSO • Autres aliments : EAT2
Femmes enceintes de CONTREPERF (sur la consommation alimentaire au 3 ^e trimestre de la grossesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Fréquence de consommation : CONTREPERF • Portions consommées : EDEN 	<ul style="list-style-type: none"> • Poissons d'eau douce : ICAR-PCB • Produits de la mer : CALIPSO • Autres aliments : EAT2
Femmes enceintes de la cohorte EDEN	EDEN	EAT2
Population infantile 0-3 ans	BEBE-SFAE	EAT infantile

En ce qui concerne la population infantile et les femmes enceintes (programme ANR CONTREPERF), les calculs d'exposition seront complétés ultérieurement. Le Tableau 15 présente quelques données sur la distribution de l'exposition alimentaire de la population générale, des forts consommateurs de produits de la mer, des pêcheurs amateurs de poissons d'eau douce et membres de leur foyer, du quartile supérieur de cette même population (fréquence de consommation de poissons d'eau douce > 45 fois par an) ainsi que des femmes enceintes au 3^e trimestre de leur grossesse issues de l'enquête EDEN (Chan-Hon-Tong A. *et al*, 2013). Seuls les 15 composés perfluorés communs aux études sont présentés. L'exposition alimentaire au PFTeDA ainsi qu'au PFTrDA sont sous-estimés en raison de l'absence de données de contamination pour ces 2 composés dans le pain et la panification sèche, les céréales pour petit déjeuner, les viennoiseries, les fromages, le beurre, les légumes secs, le chocolat, l'eau, les sandwiches et casse-croûte, les condiments et les sauces. La contamination en PFTeDA des abats et des pommes de terre fait également défaut dans nos études. Le 95^e percentile des données d'exposition du dernier quartile de la population des pêcheurs amateurs et membres de leur foyer de l'étude ICAR-PCB est donnée à titre indicatif, l'effectif de ce quartile étant trop faible pour donner une réelle signification au 95^e percentile (n=142).

Ces données d'exposition alimentaire sont néanmoins à prendre avec précaution. En effet, ici seule l'hypothèse UB est exposée conformément aux recommandations de l'OMS. Or l'hypothèse UB est fortement dépendante des limites de quantification, ce qui explique que les poissons d'eau douce et les produits de la mer, qui sont les contributeurs majoritaires de l'exposition alimentaire sous l'hypothèse basse LB, ne sont pas les contributeurs majoritaires sous l'hypothèse haute UB au profit du lait, des produits laitiers, du pain et de la panification sèche, dans lesquels les composés perfluorés n'ont pourtant pas pu être quantifiés.

Le rapport Norden fait également un état des lieux de l'exposition alimentaire dans les pays nordiques, en comparaison avec l'exposition alimentaire dans d'autres pays européens. Ce document rapporte que l'apport alimentaire en PFOA en Norvège est de 31 ng.j^{-1} et de 18 ng.j^{-1} pour le PFOS, c'est-à-dire $0,44$ et $0,26 \text{ ng.kg}^{-1}$ poids corporel. j^{-1} en prenant un poids corporel de 70 kg. Cette exposition est inférieure à celles estimées en Espagne, en Allemagne, en Grande-Bretagne, au Japon et au Canada. L'exposition alimentaire calculée à l'Agence est inférieure à cette valeur sous l'hypothèse LB, sauf pour les forts consommateurs de poissons de rivière, et systématiquement supérieure pour toutes les populations étudiées sous l'hypothèse UB. Pour le PFOS, Vestergren et son équipe ont estimé l'exposition alimentaire entre $3,9$ et 530 ng.kg^{-1} poids corporel. j^{-1} (Vestergren *et al.*, 2007) avec une médiane à $1,4 \text{ ng.kg}^{-1}$ poids corporel. j^{-1} dans l'étude de Fromme (Fromme, 2007). Les expositions alimentaires médianes pour le PFHxS et le PFHxA ont été estimées à respectivement 2 et $4,3 \text{ ng.kg}^{-1}$ poids corporel. j^{-1} . Les auteurs du rapport soulignent néanmoins les différences au niveau des habitudes alimentaires entre les pays européens.

Par ailleurs, 2 études, l'une norvégienne et l'autre danoise, suggèrent une diminution de l'imprégnation aux PFOS, PFHpS et PFOA avec l'augmentation de la consommation de fruits et légumes (Rylander *et al.*, 2009 ; Halldorsson *et al.*, 2008). Toutefois, les auteurs soulignent que la faible imprégnation pourrait être due à un nombre important de facteurs de confusion liés à un mode de vie sain.

Tableau 15 : Distribution de l'exposition alimentaire par population et par composé perfluorés (en ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹)

Population	n	PFBA				PFBS				PFDA				PFDS				PFHpA				PFHpS			
		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95	
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Adultes 18-79 ans	1918	0,00	2,57	0,00	4,39	0,00	1,16	0,00	2,08	0,00	0,34	0,00	0,64	0,00	0,4	0,00	0,85	0,00	0,76	0,00	1,54	0,00	0,7	0,00	1,45
Enfants 3-17 ans	1444	0,00	5,29	0,00	10,92	0,00	2,34	0,00	4,72	0,00	0,81	0,00	1,85	0,00	1,03	0,00	2,59	0,00	1,73	0,00	3,99	0,00	1,52	0,00	3,18
Forts consommateurs de produits de la mer	993	0,43	4,3	1,46	10,4	0,02	1,74	0,11	4,05	0,16	0,73	0,51	1,82	0,02	0,74	0,09	1,78	0,45	2,73	1,56	6,61	0,00	0,85	0,00	2,07
Pêcheurs amateurs ou membre du foyer	606	0,05	4,49	0,15	11,9	0,01	1,88	0,01	4,94	0,08	0,64	0,34	1,91	0,00	0,67	0,02	2,01	0,08	1,2	0,2	3,09	0,00	1,06	0,02	2,73
Consommateurs de poisson d'eau douce (Q4)*	142	0,07	4,41	0,2	10,84	0,01	1,82	0,01	4,48	0,42	0,96	1,54	3,02	0,03	0,69	0,13	1,95	0,1	1,18	0,27	2,94	0,03	1,06	0,14	2,61
Femmes d'EDEN avant grossesse	1861	0,00	3,15	0,00	5,78	0,00	1,35	0,00	2,53	0,01	0,49	0,03	0,99	0,00	0,65	0,00	1,40	0,01	0,90	0,02	1,81	0,00	0,79	0,00	1,55
Femmes d'EDEN au 3e trimestre	1775	0,00	2,97	0,00	5,30	0,00	1,30	0,00	2,36	0,01	0,49	0,03	0,96	0,00	0,67	0,00	1,37	0,01	0,91	0,02	1,73	0,00	0,78	0,00	1,44

* dernier quartile de la fréquence de consommation de poisson d'eau douce de la population ICAR-PCB

Population	n	PFHxA		PFHxS		PFNA		PFOA		PFOS		PFPA													
		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95													
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB												
Adultes 18-79 ans	1918	0,00	0,86	0,00	1,67	0,00	0,38	0,00	0,7	0,00	0,49	0,00	0,97	0,00	0,74	0,00	1,5	0,00	0,66	0,00	1,15	0,00	1,5	0,00	2,6
Enfants 3-17 ans	1444	0,00	2,02	0,00	4,43	0,00	0,86	0,00	1,88	0,00	1,14	0,00	2,48	0,00	1,55	0,00	3,24	0,00	1,38	0,00	2,88	0,00	3,23	0,00	6,67
Forts consommateurs de produits de la mer	993	0,64	1,87	2,32	5,13	0,06	0,67	0,27	1,72	0,18	1	0,53	2,4	1,16	2,06	3,83	5,86	1,53	2,45	4,42	6,5	0,21	2,39	0,76	5,95
Pêcheurs amateurs ou membres du foyer	606	0,09	1,41	0,26	3,88	0,02	0,66	0,04	1,8	0,03	0,86	0,09	2,41	0,15	1,23	0,48	3,24	1,17	2,13	5,24	7,84	0,02	2,2	0,08	5,96
Consommateurs de poisson d'eau douce (Q4)	142	0,16	1,45	0,62	3,96	0,05	0,69	0,13	1,82	0,07	0,86	0,21	2,36	0,23	1,27	0,76	3,32	7,51	8,42	29,74	32,08	0,03	2,12	0,11	5,39
Femmes d'EDEN avant grossesse	1861	0,01	1,14	0,01	2,36	0,01	0,52	0,01	1,03	0,00	0,71	0,01	1,40	0,01	0,83	0,01	1,60	0,03	0,78	0,09	1,51	0,00	1,66	0,00	3,24
Femmes d'EDEN au 3e trimestre	1775	0,01	1,16	0,01	2,31	0,00	0,51	0,01	0,98	0,00	0,71	0,01	1,38	0,01	0,82	0,01	1,53	0,03	0,77	0,08	1,42	0,00	1,64	0,00	3,07

Population	n	PFUnA				PFTeDA				PFTrDA			
		Moy		P95		Moy		P95		Moy		P95	
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Adultes 18-79 ans	1918	0,00	3,23	0,00	6,19	-	-	-	-	-	-	-	-
Enfants 3-17 ans	1444	0,00	7,21	0,00	15,99	-	-	-	-	-	-	-	-
Forts consommateurs de produits de la mer	993	0,43	5,27	1,54	12,6	0,00	3,67	0,01	8,87	0,05	2,24	0,2	5,56
Pêcheurs amateurs ou membres du foyer	606	0,19	5,06	0,75	14,49	0,00	4,19	0,01	13,51	0,08	2,66	0,32	8,59
Consommateurs de poisson d'eau douce (Q4)	142	1,28	5,8	5,96	18,29	0,02	3,72	0,05	11,95	0,73	3,07	2,22	9,63
Femmes d'EDEN avant grossesse	1861	0,02	4,12	0,09	8,40	0,00	3,51	0,00	7,83	0,02	1,77	0,06	3,66
Femmes d'EDEN au 3e trimestre	1775	0,02	4,20	0,08	8,41	0,00	3,56	0,00	7,42	0,01	1,72	0,05	3,58

- Non calculé (manque de données de contamination pour certains items alimentaires)

2.2.4 Présentation du programme ANR CONTREPERF

L'Agence est impliquée dans le programme de l'agence nationale de la recherche (ANR) CONTREPERF, identifié sous la référence ANR-10-CESA-0008. Ce programme a été élaboré pour une durée de 3 ans à compter de novembre 2010, et regroupe 5 partenaires : le laboratoire d'étude des résidus et contaminants dans les aliments (LABERCA) qui coordonne le programme, l'UMR 1331 Toxalim, l'U896 de l'institut de recherche en cancérologie de Montpellier (IRCM), le service gynécologie-obstétrique du centre hospitalier universitaire (CHU) de Toulouse et le département de l'évaluation des risques liés aux aliments (DERA) de l'Agence. Le Tableau 33 ci-dessous résume les rôles de chaque partenaire dans le cadre de ce programme.

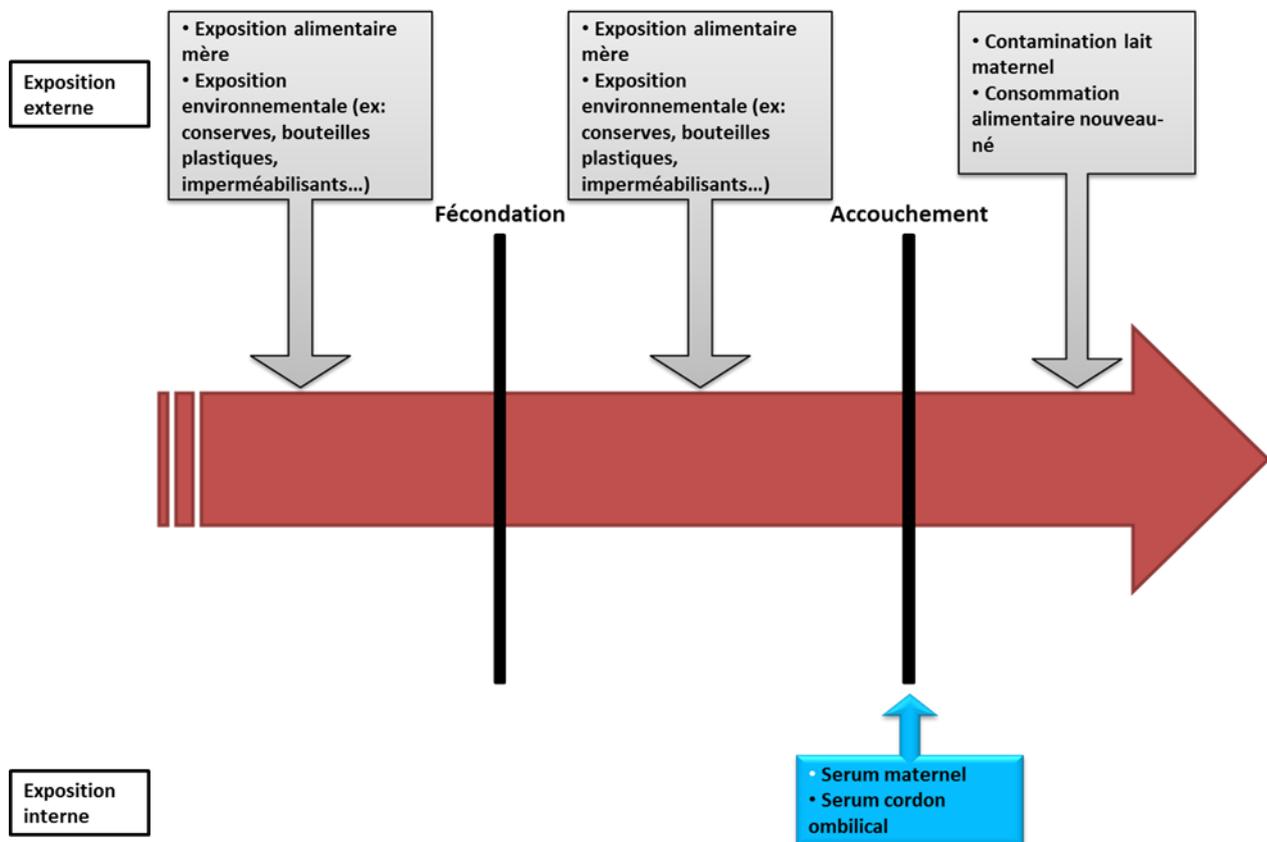
Tableau 16 : Partenaires et objectifs du programme ANR CONTREPERF

Partenaires	Objectifs	Détails
LABERCA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Coordination du programme ✓ Caractérisation des niveaux et profils d'exposition (alimentaires et internes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyses aliments • Analyses lait maternel • Analyses serum maternel, cordon • Interprétation transfert mère-enfant
UMR 1331 Toxalim	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caractérisation de la toxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude de biotransformation • Etude de génotoxicité • Etude métabolomique
U 896 (IRCM)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caractérisation de la toxicité 	<ul style="list-style-type: none"> • Etude de transactivation et de capacité d'interaction avec des récepteurs nucléaires
CHU Toulouse	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recrutement de 100 femmes enceintes 	<ul style="list-style-type: none"> • Administration questionnaire • Prélèvements: sang maternel, sang de cordon ombilical, lait maternel
ANSES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Caractérisation de l'exposition ✓ Lien imprégnation – voies d'exposition externes 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition alimentaire des forts consommateurs de produits de la mer et des pêcheurs de poissons d'eau douce et membres de leur foyer • Exposition alimentaire et environnementale des femmes enceintes • Comparaison exposition alimentaire nouveau-né: allaitement exclusif VS lait infantile (+in utero)

C'est dans ce cadre que l'exposition alimentaire des forts consommateurs de produits de la mer, des pêcheurs amateurs de poissons d'eau douce et membres de leur foyer et des 107 femmes enceintes recrutées au CHU de Toulouse exposée précédemment a été entreprise.

Un prolongement de ce projet est envisagé en 2014 afin d'exploiter un modèle pharmacocinétique physiologique (PBPK/physiologically based pharmacokinetic) existant (Loccisano A.E, 2013) pour établir le lien entre exposition interne (imprégnation) et exposition externe (estimation de l'apport via l'alimentation et l'environnement). Ce modèle permettra notamment d'évaluer si l'exposition alimentaire est la voie d'exposition majoritaire comme le suggèrent de nombreuses études (Haug, 2011 ; Verstergren, 2009). La figure 3 schématise les données dont l'Agence dispose pour exploiter le modèle PBPK.

Figure 3 : Données disponibles pour les couples femmes enceintes/fœtus pour l'utilisation du modèle PBPK



2.2.5 Références bibliographiques

Afssa (2006) CALIPSO Etude des Consommations Alimentaires de produits de la mer et Imprégnation aux éléments traces, Polluants et Oméga 3.

Afssa (2009) Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2) (2006-2007) - Rapport

Anses (2011) Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux résultats de l'étude nationale de surveillance des expositions alimentaires aux substances chimiques (Etude de l'Alimentation Totale 2 - 2006-2010)

Anses/InVS (2011) Rapport d'étude scientifique ICAR-PCB 2011 - Imprégnation et Consommation Alimentaire de produits de Rivière – PCB

Chan-Hon-Tong A, Charles MA, Forhan A, Heude B, Sirot V. (2013) Exposure to food contaminants during pregnancy. *Science of The Total Environment Volumes 458–460*, 1 August 2013, pp. 27–35

EFSA (2012) SCIENTIFIC REPORT OF EFSA - Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure - European Food Safety Authority

Fromme *et al.* (2007) Exposure of an adult population to perfluorinated substances using duplicate diet portions and biomonitoring data

Halldorsson *et al.* (2008) Dietary predictors of perfluorinated chemicals: a study from the Danish national birth cohort

Haug L.S., Huber S., Becher G., Thomsen C. (2011). Characterisation of human exposure pathways to perfluorinated compounds – Comparing exposure estimates with biomarkers of exposure. *Environment International* 37, 687-693

INSERM (2007) EDEN - Etude des Déterminants pre et postnatal du développement et de la santé de l'enfant

Loccisano AE, Longnecker MP, Campbell JL, Jr., Andersen ME, Clewell HJ, 3rd (2013) Development of PBPK models for PFOA and PFOS for human pregnancy and lactation life stages. *J Toxicol Environ Health A* 76(1), 25-57.

Norden (2013) Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries

Rylander *et al.* (2009) Dietary predictors and plasma concentrations of perfluorinated compounds in a coastal population from Northern Norway

Vestergren *et al.* (2007) Estimating the contribution of precursor compounds in consumer exposure to PFOS and PFOA

WHO (1995) GEMS/Food-EURO Second Workshop on Reliable Evaluation of Low-Level Contamination of Food

2.3 Teneurs en PFAS relatives aux eaux de distribution et aux eaux embouteillées

Suite à la publication, en mai 2011, du rapport de l'Anses relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) menée par le laboratoire d'hydrologie de l'Anses de Nancy (LHN), l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC) a saisi l'Anses par courrier du 7 novembre 2011 d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés à la présence de composés perfluorés dans les EDCH. La réponse à cette demande d'expertise s'inscrit dans le contexte transversal des travaux menés par l'agence sur le thème des perturbateurs endocriniens. Ce chapitre s'appuie sur l'avis du CES « Eaux » joint en annexe 1 à ce rapport.

Certains composés perfluorés figurant dans le règlement (UE) n° 10/2011¹⁴ entrent dans la composition de polymères fluorés (PF) utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'EDCH (MCDE). Le sel d'ammonium de l'acide perfluorooctanoïque (n° CAS : 3825-26-1) et l'éther perfluoropropyl perfluorovinyle (n° CAS : 1623-05-8) sont utilisés dans le polytétrafluoroéthylène (PTFE) à des concentrations inférieures à quelques pourcents (< 10 %). Le PTFE étant utilisé dans les vannes et accessoires dont la surface mouillée est faible, les MCDE ne sont pas une source importante de composés perfluorés dans l'EDCH. Par ailleurs, l'utilisation du polyfluorure de vinylidène (PVDF) devrait se développer comme barrière protectrice à l'intérieur notamment de tubes en polyéthylène.

À partir des données publiées dans la littérature scientifique, le rapport de l'Anses de mai 2011 relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les EDCH détaille les modes de synthèse des PFCA et des PFSA, les pays producteurs de ces familles de composés et les quantités produites et émises dans l'environnement (Anses, 2011).

¹⁴ Règlement (UE) n°10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.

2.3.1 Teneurs en PFAS dans les eaux distribuées en réseaux ou conditionnées

Les tableaux V et VI qui figurent dans le rapport du CES joint en annexe 1 de ce rapport résument des résultats figurant dans la littérature concernant les teneurs en PFAS respectivement dans les eaux distribuées dans les réseaux publics et dans les eaux conditionnées. Afin de reprendre et compléter les résultats présentés dans le rapport de l'Anses de mai 2011 relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les EDCH, la requête bibliographique suivante a été réalisée le 14 juin 2013 à l'aide du moteur de recherche « SCOPUS » : (TITLE-ABS-KEY(perfluor*) OR TITLE-ABS-KEY(pfas) OR TITLE-ABS-KEY(pfc*)) AND (TITLE-ABS-KEY(drinking water) OR TITLE-ABS-KEY(bottled water)) AND PUBYEAR > 2009

Même si les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule, diffèrent selon les études, les plus souvent recherchées dans les EDCH de réseaux étant le PFOS et le PFOA, il apparaît que la teneur moyenne en PFAS dans ce type d'eau est de l'ordre du nanogramme voire de la dizaine de nanogrammes par litre et que les plus fortes teneurs peuvent atteindre la centaine de nanogrammes par litre.

S'agissant des eaux conditionnées, les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule, diffèrent également selon les études, il apparaît cependant que la contamination moyenne des eaux conditionnées est plus faible que celle des eaux distribuées en réseaux, les plus fortes teneurs étant de l'ordre du nanogramme par litre.

2.3.2 Concernant les données nationales d'exposition hydrique aux PFAS

Début 2008, la DGS a mandaté le LHN pour réaliser une campagne nationale d'occurrence de ces substances (Anses, 2011a). Celle-ci a été menée en deux temps sur des eaux brutes et traitées. Une première campagne réalisée pendant l'été 2009, avait pour objectif de caractériser la présence de ces substances au plan national. La seconde campagne, menée en juin 2010, avait pour objectif de vérifier la contamination observée sur les sites choisis pour la première campagne et d'étudier de possibles fluctuations temporelles.

La méthode analytique développée a permis de quantifier 3 PFSA (PFOS, PFHxS et PFBS) et 7 PFCA (PFDA, PFNA, PFOA, PFHpA, PFHxA, PFPA et PFBA) avec une limite de détection (LD) de 1 ng/L et une LQ de 4 ng/L.

Les objectifs de la première campagne étaient :

- de réaliser une couverture nationale homogène en prenant en compte au moins deux prélèvements dans tous les départements, y compris les départements d'Outre-Mer ;
- de choisir des sites de prélèvements, dont les débits cumulés représentaient au moins 20 % de la production nationale. Ainsi l'ouvrage produisant le débit le plus important a été retenu dans chaque département ;
- de réduire le biais entre les sites potentiellement contaminés et ceux pour lesquels l'occurrence de ces composés étaient improbables. Un site de prélèvement a été choisi aléatoirement dans chaque département et un autre a été laissé à l'appréciation de chaque Direction Territoriale des ARS en fonction de leurs connaissances sur la vulnérabilité de la ressource.

Pour la première campagne d'analyse, 262 échantillons d'eaux brutes et 190 échantillons d'EDCH ont été réceptionnés. 66 échantillons d'eau brute présentaient une concentration supérieure à la LQ (4 ng/L) pour au moins un composé perfluoré. 41 échantillons d'EDCH appariés à 41 échantillons d'eau brute parmi les 66 pré-cités ont été analysés.

Le tableau 34 présente le nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne d'analyse.

Tableau 17 : Nombre de résultats par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne nationale d'analyse réalisée par le LHN

Sigles	Type eau brute	Classes de concentration (ng/L)									
		< LoD	> LoD - < LoQ	> LoQ - < 10	> 10 - < 20	> 20 - < 30	> 30 - < 40	> 40 - < 50	> 50 - < 60	> 60 - < 70	> 70
PFBS	ESU ^a	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO ^b	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
PFHxS	ESU	3	21	2	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	0	11	3	1	0	0	0	0	0	0
PFOS	ESU	4	12	10	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	2	4	6	3	0	0	0	0	0	0
PFBA	ESU	24	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0
PFPA	ESU	12	12	1	0	0	1	0	0	0	0
	ESO	7	6	1	1	0	0	0	0	0	0
PFHxA	ESU	3	18	4	0	1	0	0	0	0	0
	ESO	6	3	4	2	0	0	0	0	0	0
PFHpA	ESU	17	8	0	1	0	0	0	0	0	0
	ESO	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0
PFOA	ESU	17	6	3	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	5	6	4	0	0	0	0	0	0	0
PFNA	ESU	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	12	1	1	1	0	0	0	0	0	0
PFDA	ESU	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Eau de surface

^b Eau souterraine

Les objectifs de la seconde campagne étaient :

- de confirmer les résultats positifs observés lors de la première campagne,
- d'étudier sur les eaux superficielles la répartition des PFAS qui *a priori*, pourrait être fonction des propriétés physico-chimiques de ces molécules dans la colonne d'eau ;
- d'établir une description des ressources en fonction de leur niveau de contamination afin de mener ultérieurement des études permettant d'identifier l'origine de la contamination sur les ressources les plus contaminées.

Au total, lors de la seconde campagne d'analyse, 69 échantillons d'eau brute et 69 échantillons d'EDCH ont été réceptionnés et analysés.

Le tableau 35 présente le nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse.

Tableau 18 : Nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse réalisée par le LHN

Sigles	Type eau brute	Classes de concentration (ng/L)									
		< LoD	> LoD - < LoQ	> LoQ - < 10	> 10 - < 20	> 20 - < 30	> 30 - < 40	> 40 - < 50	> 50 - < 60	> 60 - < 70	> 70
PFBS	ESU	21	16	1	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	12	16	1	2	0	0	0	0	0	0
PFHxS	ESU	15	19	3	1	0	0	0	0	0	0
	ESO	5	16	8	2	0	0	0	0	0	0
PFOS	ESU	9	21	6	2	0	0	0	0	0	0
	ESO	9	11	8	2	1	0	0	0	0	0
PFBA	ESU	25	11	2	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	18	8	4	1	0	0	0	0	0	0
PFPA	ESU	19	13	5	0	1	0	0	0	0	0
	ESO	22	5	1	2	1	0	0	0	0	0
PFHxA	ESU	12	14	10	0	0	1	0	0	0	1
	ESO	16	8	2	3	2	0	0	0	0	0
PFHpA	ESU	22	13	2	1	0	0	0	0	0	0
	ESO	21	6	2	2	0	0	0	0	0	0
PFOA	ESU	10	23	4	1	0	0	0	0	0	0
	ESO	11	15	5	0	0	0	0	0	0	0
PFNA	ESU	36	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	ESO	25	4	1	1	0	0	0	0	0	0
PFDA	ESU	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3.3 Contamination des eaux dans l'étude de l'alimentation totale

Concernant les niveaux de contamination des eaux et d'exposition aux PFAS prélevés lors de la seconde étude nationale de l'alimentation totale (EAT2, Anses, 2011b), 6 échantillons d'eau ont été constitués dans plusieurs régions de France et lors de plusieurs saisons afin de tenir compte d'une variabilité spatiale (régionalisation de l'échantillonnage) et temporelle (saisonnalité de l'échantillonnage) de la contamination des eaux par les PFAS. Trois échantillons étaient chacun constitués de 15 sous-échantillons d'EDCH et les trois autres étaient constitués de 15 sous-échantillons d'eaux de sources conditionnées, choisis en fonction des niveaux de consommation renseignés par l'étude INCA2 (2006-2007). Les autres aliments ont été échantillonnés selon un protocole décrit dans le rapport de la seconde étude de l'alimentation totale (EAT2, juin 2011).

Les performances analytiques peuvent être variables selon les matrices analysées (eau et autres aliments), ce qui peut induire des conséquences sur l'estimation de la contribution de l'exposition hydrique à l'exposition alimentaire totale. Les LD et LQ, dépendantes de la matrice et du composé recherché, étaient comprises entre 0,2 pg/g de poids frais et 3,73 ng/g poids de frais.

Le tableau IX présent dans le rapport du CES joint en annexe 1 de ce rapport présente les résultats des concentrations moyennes de l'eau en PFAS retenues dans l'EAT2 pour les six échantillons composites d'eau de source et d'eau du réseau prélevées aux robinets.

Les données de contamination de l'alimentation ont été couplées aux données de consommation individuelles de l'étude INCA2 (2006-2007) afin d'estimer des expositions journalières par ingestion, en particulier les expositions hydriques, les expositions alimentaires totales et la contribution de l'exposition hydrique à l'exposition alimentaire totale pour les adultes et les enfants de 3 à 17 ans.

Le tableau X présent dans le rapport du CES joint en annexe 1 de ce rapport résume les expositions hydriques et alimentaires totales en moyenne et au 95^e percentile ainsi que la contribution hydrique moyenne pour les adultes et les enfants pour les différents PFAS intégrés dans l'étude EAT2. Il apparaît ainsi que la contribution de l'exposition hydrique par rapport à l'exposition alimentaire totale varie entre 1,3 et 24 % chez les adultes et entre 0,4 et 17 % chez les enfants (estimation en borne supérieure de la contamination alimentaire ou scénario UB).

2.3.4 Traitements réduisant la teneur en PFAS dans les eaux

Concernant les traitements réduisant la teneur en PFAS dans les eaux, une étude menée de juillet 2012 à fin juin 2014 par le LHN, en partenariat avec les Agences de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et Seine-Normandie ainsi que le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France et l'Agence régionale de santé Ile-de-France consiste à observer le comportement de certains précurseurs de PFCA et de leurs métabolites ultimes dans différentes filières de potabilisation (simple chloration, filtrations sur sable ou charbon actif, nanofiltration).

Le premier objectif de cette étude est de quantifier les PFCA et leurs précurseurs en différents points d'un système partant du rejet industriel brut et se terminant à la sortie de filières de potabilisation. Ces différents points d'échantillonnage incluent les étapes de traitement des rejets industriels, le transport des composés par le fleuve jusqu'aux points de captage et enfin les étapes de potabilisation. L'imprégnation du biote à ces substances sera également évaluée par l'intermédiaire d'une campagne d'échantillonnage et des analyses réalisées par un autre laboratoire.

Le second objectif est d'évaluer l'efficacité des filières de traitement, aussi bien pour les eaux usées que pour les eaux brutes destinées à être traitées. L'impact de chaque étape du processus de traitement sur la dégradation des précurseurs sera étudié. La formation de sous-produits autres que les PFCA par réaction avec les désinfectants utilisés en eau potable pourra être envisagée. De même, la génération de métabolites intermédiaires entre le précurseur et les PFCA devra être prise en considération. La question de la présence éventuelle des précurseurs et leurs métabolites intermédiaires dans les eaux potables est d'importance au regard de leur toxicité qui serait plus élevée que celle des PFCA (Phillips *et al.*, 2007).

Deux sites seront pour cela étudiés, ayant chacun des spécificités en termes de nature des produits rejetés, en termes de temps de transfert hydraulique, en termes de filières de traitement mise en œuvre (eaux usées et eaux potables) ainsi qu'en termes de taille de population potentiellement exposée dans le cas de l'alimentation en EDCH.

2.3.5 Valeur de référence dans l'eau destinée à la consommation humaine

Seuls quelques états Nord-américains, l'agence américaine pour la protection de l'environnement (US EPA) et l'Allemagne ont proposé des valeurs guides (VG) dans les EDCH pour le PFOS, le PFOA, le PFBA ou le PFBS. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 36.

Tableau 19 : Valeurs guides en composés perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine.

	Désignation de la valeur guide par les différentes instances	PFOA	PFOS	PFBA	PFBS
Amérique du Nord					
Minnesota	Chronic non-cancer health risk limit	300 ng/L	300 ng/L	7 µg/L	7 µg/L
New Jersey	Health-based drinking water concentration protective for lifetime exposure	40 ng/L		-	-
Caroline du Nord	Acceptable water level	630 ng/L		-	-
US EPA	Provisional health advisory value	400 ng/L	200 ng/L	-	-
Europe					
Allemagne	Health-based guidance value for safe lifelong exposure for all population groups	[PFOA] + [PFOS] < 300 ng/L		-	-
UK	Maximum acceptable concentration	10 µg/L	0,3 µg/L	-	-

Wilhem *et al.* (2010) ont proposé des valeurs indicatives basées sur des critères sanitaires (Health-related indication values ou HRIV) pour différents PFAS (autres que PFBA, PFOA et PFOS). La méthodologie adoptée par ces auteurs s'appuie sur une démarche validée par l'agence fédérale

allemande pour l'environnement (UBA) qui propose des valeurs indicatives dans l'eau de boisson pour des contaminants chimiques dont les données toxicologiques sont fragmentaires (UBA, 2003). Cette méthode est une adaptation pragmatique de la démarche du seuil de préoccupation toxicologique (Threshold of toxicological concern ou TTC) appliquée à l'élaboration de VG dans l'eau de boisson. Les HRIV ainsi proposés par l'UBA peuvent varier entre 0,01 et 3 µg/L. Dans le cas des PFAS, Wilhem *et al.* ont hiérarchisé les HRIV de ces molécules en fonction de la demi-vie d'élimination estimée chez l'animal d'une part (singe et rat) et chez l'Homme ainsi qu'en fonction de l'appartenance de ces molécules à la famille des acides carboxyliques alkyls perfluorés (PFCA) d'une part ou à celle des acides sulfoniques perfluoroalcanes (PFSA).

Le tableau 37 résume les HRIV proposés par Wilhem *et al.* pour différents PFAS.

Tableau 20 : Valeurs limites indicatives (HRIV) pour différents PFAS (Wilhem *et al.*, 2010).

Famille	Composé perfluoré	HRIV (µg/L)
PFCA	PFPA	3
	PFHxA	1
	PFHpA	0,3
PFSA	PFBS	3
	PFPS	1
	PFHxS	0,3
	PFHpS	0,3

2.3.6 Synthèse et perspectives

Les PFAS ne sont pas inclus dans le contrôle sanitaire des EDCH. A ce jour, les données nationales connues sont issues des travaux du LHN, publiés dans le rapport de mai 2011 relatif aux campagnes nationales d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux brutes et distribuées. D'autres campagnes de prélèvement et d'analyse, dites « exceptionnelles », ont été réalisées à la demande de la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) :

- en 2011 sur les eaux souterraines en métropole par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ;
- en 2012 sur les eaux de surface dans les DOM et en métropole et sur les eaux souterraines dans les DOM (Onema pour la maîtrise d'ouvrage ; INERIS, BRGM et IFREMER pour la mise en œuvre technique).

Les résultats de ces campagnes d'analyse ne sont pas connus. Les molécules de la famille des composés perfluorés analysées sont citées dans le tableau 38.

Tableau 21 : Liste des molécules de composés perfluorés recherchées dans les eaux prélevées au cours des campagnes dites « exceptionnelles » d'échantillonnage de 2011 et 2012 à la demande de la DEB du MEDDE.

Campagnes	Campagne eaux souterraines - Métropole	Campagne eaux surface - Métropole et DOM	Campagne eaux souterraines - DOM
-----------	--	--	----------------------------------

Molécules	EtFOSA	EtFOSA	PFHpA
	PFDS	MeFOSA	PFUnA
	PFDA	PFDA	PFOS
	PFDoA	PFDoA	PFOA
	PFHpA	PFUnA	
	PFHS	FOSA	
	PFHxA		
	PFNA		
	PFUnA		
	FOSA		
	PFOS		
	PFOA		
	PFTDA		

Par ailleurs, le PFOS a été identifiée comme substance dangereuse prioritaire dans l'annexe X de la directive du parlement européen et du conseil du 12 août 2013¹⁵. Aujourd'hui, la présence de PFOS dans l'environnement résulte davantage des activités et usages antérieurs que de foyers de production actuels. En effet, le principal fabriquant de cette molécule (Société 3M) a arrêté sa synthèse en 2002. Il n'existerait plus de production de PFOS en Europe et en Amérique du Nord. Cette production subsiste néanmoins en Chine. Une dérogation d'usage existe aujourd'hui en Europe pour certaines applications (Directive 2006/122/ECOF du 12 décembre 2006¹⁶).

Les résultats des campagnes nationales d'analyse réalisées par le LHN dans des eaux conduisent à recommander le suivi d'au moins quatre PFAS dans les eaux brutes et traitées (PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS) pour disposer d'une information suffisamment robuste sur la contamination des eaux par les PFAS. En effet, dans ces conditions, sur 45 échantillons d'eau brute, seuls 2 échantillons (4 %) sont caractérisés par le fait que le calcul de la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS. Sur 35 échantillons d'EDCH, 5 (14 %) sont tels que la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS.

Des PFAS peuvent se former au cours des processus de traitement de l'eau (par exemple PFHpA ou PFPeA), par décomposition de précurseurs dans les filières de potabilisation.

Les propriétés physico-chimiques des PFAS sont suffisamment hétérogènes pour induire des conséquences sur :

- leur comportement et leur devenir dans l'environnement avec, par exemple, une plus grande mobilité dans les sols des PFCA à chaîne perfluoroalcane courte, l'adsorption dans les sédiments des PFAS à chaîne carbonée longue, la décomposition de précurseurs en PFCA, etc ;

¹⁵ Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

¹⁶ Directive 2006/122/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 portant trentième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (sulfonates de perfluorooctane).

- leur comportement et leur devenir au cours des processus de production de l'EDCH avec, par exemple, une meilleure rétention des PFAS à longue chaîne carbonée par filtration sur charbon actif en grains ;
- la contribution hydrique par rapport à l'apport alimentaire total qui varie de 1 à 20 % selon la molécule envisagée d'après les résultats de l'EAT2.

La question de la caractérisation des dangers des PFAS se pose, compte tenu de l'hétérogénéité de leurs propriétés physico-chimiques. Les données toxicologiques les mieux renseignées concernent le PFOS et le PFOA, ce qui explique pourquoi des valeurs guides dans l'EDCH sont le plus souvent proposées pour ces deux molécules seulement.

En conclusion, considérant que les PFAS ne figurent pas dans la liste des paramètres du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH), le CES

« Eaux » :

- constate que des PFAS peuvent être détectés dans des eaux brutes et des EDCH et recommande, lors d'étude d'occurrence de ces molécules dans les EDCH, de rechercher au moins le PFOS, le PFOA, le PFHxA et le PFHxS afin de caractériser la contamination des eaux par les PFAS ;
- observe que, parmi les procédés de traitement qui présentent une efficacité pour diminuer les teneurs en PFAS dans les EDCH, seules la nanofiltration et l'osmose inverse présentent une efficacité supérieure à 70 % (99 % pour l'osmose inverse) et constate que les oxydants, y compris l'ozone, n'ont aucun effet sur ces molécules ;
- constate la transformation éventuelle de certains PFAS en PFAS à chaînes perfluorées courtes (typiquement C3 à C6) au cours de la filtration sur charbon actif en grain ;
- observe que la part hydrique des PFAS à l'exposition alimentaire totale nationale est minoritaire puisque, selon les données issues de l'EAT2 et en fonction du PFAS considéré, cette contribution peut être estimée entre 1 et 20 % chez les enfants et les adultes ;

2.3.7 Références bibliographiques

Anses (2011a) Campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. ISBN 978-2-11-128592-7. 117p.

Anses (2011b) Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT2). Tome 1. Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-œstrogènes. ISBN 978-2-11-128112-7. 305 p.

Borg, D., Lund, B.-O., Lindquist, N.-G., Håkansson, H. (2013) Cumulative health risk assessment of 17 perfluoroalkylated and polyfluoroalkylated substances (PFASs) in the Swedish population. *Environment International*, 59, pp. 112-123.

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., Voogt, P.D., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., van Leeuwen, S.P.J. (2011) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7 (4), pp. 513-541.

- Domingo, J.L., Ericson-Jogsten, I., Perelló, G., Nadal, M., Van Bavel, B., Kärrman, A. (2012) Human exposure to perfluorinated compounds in Catalonia, Spain: Contribution of drinking water and fish and shellfish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (17), pp. 4408-4415.
- Efsa (2008) Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts, *The EFSA Journal* (2008). Journal number, 653, 1-131.
- Ericson, I., Nadal, M., Van Bavel, B., Lindström, G., Domingo, J.L. (2008) Levels of perfluorochemicals in water samples from Catalonia, Spain: Is drinking water a significant contribution to human exposure? *Environmental Science and Pollution Research*, 15 (7), pp. 614-619.
- Eschauzier, C., Beerendonk, E., Scholte-Veenendaal, P., De Voogt, P. (2012) Impact of treatment processes on the removal of perfluoroalkyl acids from the drinking water production chain. *Environmental Science and Technology*, 46 (3), pp. 1708-1715.
- Eschauzier, C., Hoppe, M., Schlummer, M., de Voogt, P. (2013) Presence and sources of anthropogenic perfluoroalkyl acids in high-consumption tap-water based beverages. *Chemosphere*, 90 (1), pp. 36-41.
- Flores, C., Ventura, F., Martin-Alonso, J., Caixach, J. (2013) Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in N.E. Spanish surface waters and their removal in a drinking water treatment plant that combines conventional and advanced treatments in parallel lines. *Science of the Total Environment*, 461-462, pp. 618-626.
- Gellrich, V., Brunn, H., Stahl, T. (2013) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in mineral water and tap water. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 48 (2), pp. 129-135.
- Haug, L.S., Salihovic, S., Jogsten, I.E., Thomsen, C., van Bavel, B., Lindström, G., Becher, G. (2010) Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere*, 80 (10), pp. 1137-1143.
- Kim, S.-K., Kho, Y.L., Shoeib, M., Kim, K.-S., Kim, K.-R., Park, J.-E., Shin, Y.-S. (2011) Occurrence of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate in the Korean water system: Implication to water intake exposure. *Environmental Pollution*, 159 (5), pp. 1167-1173.
- Leider PH, SC Chang, RG York, JL Butenhoff (2009) Toxicological evaluation of potassium perfluorobutanesulfonate in a 90-day oral gavage study with Sprague-Dawley rats. *Toxicology* 255:45-52.
- Llorca, M., Farré, M., Picó, Y., Müller, J., Knepper, T.P., Barceló, D. (2012) Analysis of perfluoroalkyl substances in waters from Germany and Spain. *Science of the Total Environment*, 431, pp. 139-150.
- Loos, R., Wollgast, J., Huber, T., Hanke, G. (2007) Polar herbicides, pharmaceutical products, perfluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and nonylphenol and its carboxylates and ethoxylates in surface and tap waters around Lake Maggiore in Northern Italy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387 (4), pp. 1469-1478.

- McLaughlin, C.L., Blake, S., Hall, T., Harman, M., Kanda, R., Foster, J., Rumsby, P.C. (2011) Perfluorooctane sulphonate in raw and drinking water sources in the United Kingdom. *Water and Environment Journal*, 25 (1), pp. 13-21.
- Mak YL, Taniyasu S, Yeung LW, Lu G, Jin L, Yang Y, Lam PK, Kannan K, Yamashita N (2009) Perfluorinated compounds in tap water from China and several other countries. *Environmental Science and Technology*. 43(13):4824-9.
- Minnesota Department of Health (2011a) Chemical Name: Perfluorobutyrate. CAS: 375-22-4. Synonyms: PFBA, Perfluorobutyric acid , Heptafluorobutyric acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division.
<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- Minnesota Department of Health (2011b) Chemical Name: Perfluorobutane sulfonate. CAS: 375-73-5. Synonyms: PFBS, Nonafluorobutanesulphonic acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division.
<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- NOTOX (2007) Project 470677 Final Report. Repeated dose 28-day oral toxicity study with MTDID-8391 by daily gavage in the rat, followed by a 21-day recovery period. 21 Juin 2007.
- Phillips, M.M., Dinglasan-Panlilio, M.J.A., Mabury, S.A., Solomon, K.R., Sibley, P.K. (2007) Fluorotelomer acids are more toxic than perfluorinated acids. *Environmental Science and Technology*, 41 (20), pp. 7159-7163.
- Post, G.B., Cohn, P.D., Cooper, K.R. (2012) Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: A critical review of recent literature. *Environmental Research*, 116, pp. 93-117.
- Quinete, N., Orara, F., Werres, F., Moreira, I., Wilken, R.-D. (2009) Determination of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid in the rhine river, Germany. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (7 B), pp. 1356-1362.
- Quiñones, O., Snyder, S.A. (2009) Occurrence of perfluoroalkyl carboxylates and sulfonates in drinking water utilities and related waters from the United States. *Environmental Science and Technology*, 43 (24), pp. 9089-9095.
- Saito, N., Harada, K., Inoue, K., Sasaki, K., Yoshinaga, T., Koizumi, A. (2004) Perfluorooctanoate and Perfluorooctane Sulfonate Concentrations in Surface Water in Japan. *Journal of Occupational Health*, 46 (1), pp. 49-59.
- Skutlarek, D., Exner, M., Färber, H. (2006) Perfluorinated surfactants in surface and drinking waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 13 (5), pp. 299-307.
- Steinle-Darling, E., Reinhard, M. (2008) Nanofiltration for trace organic contaminant removal: Structure, solution, and membrane fouling effects on the rejection of perfluorochemicals. *Environmental Science and Technology*, 42 (14), pp. 5292-5297.
- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Mimura, M., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2008) Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in raw and treated tap water from Osaka, Japan. *Chemosphere*, 72 (10), pp. 1409-1412.

- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2011) Fate of Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in drinking water treatment processes. *Water Research*, 45 (13), pp. 3925-3932.
- Tang, C.Y., Fu, Q.S., Robertson, A.P., Criddle, C.S., Leckie, J.O. (2006) Use of reverse osmosis membranes to remove perfluorooctane sulfonate (PFOS) from semiconductor wastewater. *Environmental Science and Technology*, 40 (23), pp. 7343-7349.
- Thompson, J., Eaglesham, G., Mueller, J. (2011) Concentrations of PFOS, PFOA and other perfluorinated alkyl acids in Australian drinking water. *Chemosphere*, 83 (10), pp. 1320-1325.
- UBA (German Federal Environment Agency) (2003) Evaluation from the point of view of health of the presence in drinking water of substances that are not (yet) possible or only partially possible to evaluate. Recommendation of the Federal Environmental Agency after consultation with the Drinking Water Commission at the Federal Environmental Agency
<http://www.umweltdaten.de/wassere/emfprichtbewertbstoffe-english.pdf>.
- Ullah, S., Alsberg, T., Berger, U. (2011) Simultaneous determination of perfluoroalkyl phosphonates, carboxylates, and sulfonates in drinking water. *Journal of Chromatography A*, 1218 (37), pp. 6388-6395.
- Wilhelm, M., Bergmann, S., Dieter, H.H. (2010) Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213 (3), pp. 224-232.
- Xiao, F., Simcik, M.F., Gulliver, J.S. (2013) Mechanisms for removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation. *Water Research*, 47 (1), pp. 49-56.
- York RG (2003) Oral (Gavage) Repeated Dose 90-Day Toxicity Study of Potassium Perfluorobutane Sulfonate (PFBS) in Rats. Argus Research Protocol Number 418-026.

2.4 Relatives aux produits de consommation

2.4.1 Nordic Council of Ministers: Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries: uses, occurrence and toxicology (2013)

Le Nordic Chemicals Group (NKG) a réalisé sous l'égide du Nordic Council of Ministers un rapport de synthèse compilant les données disponibles concernant les composés perfluorés: usages, contamination de différents milieux (aliments, air, poussières ...), imprégnation chez l'Homme, toxicité ... L'objectif de ce rapport était de rassembler le maximum de données disponibles exploitables pour la population scandinave sur ces composés, avec un focus particulier sur les composés autres que PFOS et PFOA en vue de prioriser les besoins en termes d'acquisition de connaissances et/ou réglementaires. Cette étude s'est déroulée en 3 étapes :

1. identification des composés perfluorés et de leurs usages sur le marché scandinave
2. présence dans des produits industriels ou de consommation et contaminations de l'environnement et de l'Homme
3. synthèse des données de toxicité sur les substances priorisées à l'étape 2

Une enquête spécifique a été réalisée auprès des opérateurs scandinaves en vue d'obtenir des informations sur l'identité et les usages de ces substances. Les résultats de cette enquête ont été jugés peu concluants par les auteurs du rapport.

Le rapport conclut que la majeure partie des articles contenant des composés perfluorés sont fabriqués en dehors du marché européen et qu'il est difficile d'obtenir des informations spécifiques sur les perfluorés présents dans des articles importés.

Il y a peu d'études sur la contamination des différents compartiments de l'environnement autres que celles s'intéressant aux PFOS et PFOA. En Scandinavie, des données d'imprégnation chez l'Homme sont disponibles en Norvège et Suède et, dans une moindre mesure, au Danemark. Concernant les acides carboxyliques perfluorés (PFCAs), la plupart des études rapportent la présence de PFOA, PFNA et PFHxA mais d'autres substances (C10-C13) ont été détectées dans d'autres études. Concernant les acides sulfoniques perfluorés (PFSA), PFOS, PFSA et PFHxS sont les substances les plus utilisées. **Les données humaines sont, selon les auteurs, manquantes pour PFAL, FTS, PAP/di-PAP et FTMAPS.**

Les auteurs concluent également que, comparativement aux composés à chaînes longues ($\geq C8$), les substances à courtes chaînes sont considérées moins toxiques alors que de nombreuses études montrent des effets sur l'environnement et sur l'Homme. Les données sont encore largement insuffisantes dans ce domaine.

Depuis 2002, une baisse des niveaux de PFOS et PFOA dans l'environnement est observée, contrairement aux dérivés sulfonés à courte chaîne. Le manque de données physico-chimiques ainsi que de références analytiques pour des composés autres que PFOS et PFOA constitue un frein à l'étude de ces substances chez l'Homme et dans l'environnement.

2.4.2 US- EPA: Trends of perfluoroalkyl Acid Content in Articles of Commerce – Market Monitoring from 2007 through 2011 (aout 2012)

Une étude réalisée par l'US-EPA visant à documenter les tendances du marché américain sur la présence de composés perfluorés dans des articles du commerce a été publiée en 2012 (Liu and Krebs)¹⁷. Cette campagne de mesure a été réalisée sur 35 articles du commerce prélevés entre

¹⁷ EPA/600/R-12/585

mars 2007 et septembre 2011 et faisait suite à une première phase d'analyses conduites sur 131 articles correspondant à 13 catégories de produits prélevés en mars 2007. Des articles contenant potentiellement des perfluorés ont été sélectionnés. La présence de 9 composés perfluorés disposant d'une chaîne carbonée de 5 à 12 atomes de carbone avait été recherchée dans ces articles. Au final, 116 articles avaient été analysés et la concentration en composés perfluorés totaux variait de < LD à 47100 ng/g et celle en PFOA de < LD à 6750 ng/g. Parmi les 13 catégories d'articles, ceux contenant les quantités les plus élevées de perfluorés étaient : produits liquide d'entretien de tapis, moquettes traitées en usine, cires et produits d'étanchéité de sols traités, produit textile domestique traité et ameublement. Or à cette époque, des modifications de formulations ont conduit à réduire l'utilisation de certains perfluorés, dont le PFOS et le PFOA.

Une seconde phase de ce projet a donc conduit à vérifier ces tendances par de nouvelles mesures sur cette fois 10 catégories d'articles (les 3 autres n'étant plus jugées pertinentes: fil dentaire, ustensiles de cuisson antiadhésifs, produits divers). A partir des 35 références d'articles prélevés sur le marché en 2007-2008, 60 nouveaux correspondant aux mêmes références (ou à des références similaires) ont été achetés en 2009, 2010 et 2011, chez des distributeurs locaux ou par internet.

Une diminution importante de la concentration en PFOA a été observée dans toutes les catégories d'articles sauf pour un produit de la catégorie textiles domestiques et ameublement et 2 pâtes et rubans d'étanchéité pour lesquels une augmentation de la concentration de PFOA a été rapportée. La concentration en PFBA (C4) est augmentée dans 19 des 35 articles investigués, en particulier dans les cires pour sol pour lesquelles cette augmentation est importante. Les données les plus récentes suggèrent que les produits liquides d'entretien de tapis, cires et produits d'étanchéité de sols traités, les papiers traités pour contact alimentaire ainsi que les pâtes et rubans d'étanchéité constituent les sources les plus importantes de composés perfluorés, dont le PFOA, parmi les 10 catégories d'articles étudiés. Ces données montrent une diminution importante des perfluorés dans les produits au cours des dernières années. Le PFOS est cependant toujours présent dans certains produits. Les composés perfluorés à chaîne courte semblent constituer une alternative aux composés à chaîne longue ; cependant il n'y a pas de tendances significatives sur cette période quant au rapport somme totale des perfluorés de C4 à C7 *versus* la somme des perfluorés de C8 à C12. Les limites de cette étude sont mentionnées dans le rapport (nombre limité d'échantillons, durée de suivi du marché courte...) et les auteurs recommandent de poursuivre la surveillance du marché en vue de conforter les tendances observées.

2.4.3 Danish EPA : Exposure of pregnant consumers to suspected endocrine disruptors (avril 2012)

Dans ce rapport, le Danish EPA s'est intéressé à l'exposition et aux risques pour la santé des femmes enceintes susceptibles d'être exposées à différentes substances suspectées perturbateurs endocriniens.

L'étude s'est intéressée à 36 substances, sélectionnées sur la base des critères suivants :

- Les substances appartiennent aux groupes 1 et 2a selon les critères d'identification des perturbateurs endocriniens élaborés par le Danish Center for Endocrine Disruptors (CEHOS) pour le Danish EPA (Danish EPA 2011) ;
- L'effet de perturbation endocrinienne est associé à un mode d'action lié à une perturbation de l'activité hormonale anti-androgénique, oestrogénique ou thyroïdienne ;
- Il existe un niveau de connaissance suffisant d'après les études animales pour dériver des doses sans effet toxique pour l'Homme (en ciblant spécifiquement les effets endocriniens) ;
- Les substances devraient être présentes dans des produits couramment utilisés par les femmes enceintes ;

- Les substances devraient contribuer à une exposition importante ;
- Les substances sont susceptibles de se retrouver dans plusieurs produits de consommation.

Le PFOS et le PFOA appartiennent à la liste des 36 substances retenues pour l'étude. Cette liste est présentée dans le Tableau 22 ci-dessous.

Tableau 22 : Substances investiguées par le Danish EPA (juillet 2011 à mars 2012)

The Selected substances are:			
Substance name (CAS No.)	Anfiandro- genic	Estrogenic	thyroid disrupting
Phthalates			
DEHP (di-ethyl-hexyl-phthalate) (117-81-7)	X		X
DiNP (di-iso-nonyl-phthalate) (28553-12-0)	X		
DBP (di-butyl-phthalate) (84-74-2)	X		
DiBP (di-iso-butyl-phthalate) (84-69-5)	X		
BBP (butyl-benzyl-phthalate) (85-68-7)	X		
DPP (dipentyl phthalate) (131-18-0)	X		
DnHP (di-n-hexyl phthalate) (84-75-3)	X		X
DnOP (Di-n-octyl phthalate) (117-84-0)	X		X
Other environmentally hazardous chemical substances			
Dioxin and dioxin-like PCBs	X		X
Bisphenol A (80-05-7)		X	
Nonylphenol (25154-52-3)		X	
TBBPA (Tetrabromobisphenol A) (79-94-7)		X	X
Perfluorooctanoate (PFOA) (335-67-1)	X		X
Perfluorooctane sulfonate (PFOS) (1763-23-1)	X		X
Octamethylcyclotetrasiloxane (D4) (556-67-2)		X	
Substances in cosmetic products			
Propylparaben (94-13-3)		X	
Butylparaben (94-26-8)		X	
Isobutylparaben (4247-02-3)		X	
Octyl methoxycinnamate, 2-ethylhexyl-4-methoxycinnamate (OMIC) (5466-77-3)		X	X
3-Benzylidene camphor (3-BC) (15087-24-8)		X	
4-Methylbenzylidene camphor (4-MBC) (36861-47-9)		X	
Benzophenone 3 (BC-3) (131-57-7)		X	
Triclosan (3380-34-5)		X	X
Resorcinol (108-46-3)			X
Pesticides			
Chlorpyrifos (2921-88-2)	X		X
Dithiocarbamates:	X		X
- Mancozeb (8018-01-7)			
- Maneb (12427-38-2)			
- Propineb (12071-83-9)			
Imazalil (35554-44-0)	X		
Iprodione (36734-19-7)	X		
Pirimiphos-methyl (29232-93-7)	X		
Procymidon(32809-16-8)	X		
Propamocarb (24579-73-5)		X	
Tebuconazole (107534-96-3)	X		
Thiabendazole (148-79-8)	X		X

Source : Danish EPA (2012)

Le PFOS et le PFOA n'ont été retrouvés dans cette étude, dans aucun de ces articles.

2.4.4 Références bibliographiques

Danish EPA : Exposure of pregnant consumers to suspected endocrine disruptors (avril 2012)

Nordic Council of Ministers* (2013) Per- and polyfluorinated substances in the Nordic Countries. Use, occurrence and toxicology. pp. 230.

US EPA (2012) Trends of Perfluoroalkyl Acid Content in Articles of Commerce — *Market Monitoring from 2007 through 2011*

2.5 Conclusion relatives à l'exposition potentielle aux perfluorés : nature des composés, sources principales :

Des calculs d'exposition agrégés ont été réalisés dans l'objectif de déterminer les sources principales dans l'exposition à certains composés perfluorés. Les médias d'exposition pris en compte dans ces calculs sont :

- Les aliments et les boissons – exposition par ingestion
- Les poussières déposées dans les environnements intérieurs – exposition par ingestion
- Le compartiment aérien – exposition par inhalation

Pour rappel, les données de contamination des aliments et des boissons sont issues de l'étude EAT2 (cf. 3.2), tandis que les données relatives aux poussières et au compartiment aérien sont issues d'études françaises ou européennes identifiées au cours d'une recherche bibliographique (cf. chapitre 3.1).

Dans un premier temps, des doses internes d'exposition ont été calculées pour chaque média, puis sommées de manière à calculer une dose interne totale agrégeant l'exposition *via* l'alimentation, l'air et les poussières. Ces calculs ont été réalisés pour les composés perfluorés pour lesquels des données de mesure dans chacun des médias étaient disponibles, c'est-à-dire le **PFOS**, **PFOA**, **PFBS**, **PFBA**, **PFDA**, **PFDS**, **PFHxS**, **PFHpA**, **PFHxA**, **PFNA**, **PFUnA** et le **PFTeDA**, (N = 12). Les calculs ont été faits pour chacun des composés perfluorés indépendamment les uns des autres, l'exposition cumulée aux 12 perfluorés n'a pas été évaluée.

Les catégories de population pour lesquelles les expositions ont été quantifiées sont :

- Les enfants de plus de 3 ans,
- Les adultes (hommes et femmes),
- Les femmes enceintes.

Ces calculs ont été réalisés selon une approche déterministe, en calculant des niveaux moyens d'exposition.

Pour l'alimentation, comme discuté dans le chapitre 3.2, compte tenu du taux de censure important dans les aliments, les expositions ont été calculées selon deux hypothèses, selon les recommandations de l'OMS (GEMS/Food-EURO, 1995) :

- Hypothèse basse (lower bound : LB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par 0
- Hypothèse haute (Upper bound : UB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par la LOQ

La même approche a été retenue pour les calculs d'exposition *via* l'air et les poussières lorsque les mesures étaient inférieures à la limite de quantification.

2.5.1 Modèle d'exposition *via* l'alimentation

Les doses externes d'expositions présentées dans le tableau 32 du chapitre 3.2 ont été converties en doses internes en considérant un taux d'absorption par ingestion de 100% par défaut.

$$DI_{\text{alimentation}} = DJE_{\text{alimentation}} \times T_{\text{ing}}$$

Avec :

$DI_{\text{alimentation}}$: Dose interne d'exposition *via* l'alimentation (ng.kg⁻¹.j⁻¹)

$DJE_{\text{alimentation}}$: Dose journalière d'exposition (externe) *via* l'alimentation (ng.kg⁻¹.j⁻¹)

T_{ing} : Taux d'absorption par ingestion (%)

2.5.2 Modèle d'exposition d'exposition *via* l'air

Les doses internes d'exposition *via* l'air intérieur et extérieur ont été calculées grâce au modèle d'exposition suivant :

$$DI_{air} = (C_{int} \times t_{int} + C_{ext} \times (1 - t_{int})) \times \frac{Vr}{Pc} \times T_{inh}$$

Avec :

DI_{air} : Dose interne d'exposition par inhalation ($ng \cdot kg^{-1} \cdot j^{-1}$)

C_{int} : Concentration de substance dans l'air intérieur ($ng \cdot m^{-3}$)

C_{ext} : Concentration de substance dans l'air extérieur ($ng \cdot m^{-3}$)

T_{int} : facteur de temps passé en intérieur

Vr : Volume respiratoire ($m^3 \cdot j^{-1}$)

Pc : Poids corporel (kg)

T_{inh} : Taux d'absorption par inhalation (%)

Les valeurs des paramètres d'exposition sont présentées dans les paragraphes suivants.

2.5.3 Modèle d'exposition *via* les poussières déposées

Les doses internes d'exposition *via* l'ingestion de poussières déposées au sol ont été calculées grâce au modèle d'exposition suivant :

$$DI_{poussières} = \frac{C_{pouss} \times Q_{pouss}}{Pc} \times T_{ing}$$

$DI_{poussières}$: Dose interne d'exposition par ingestion de poussières déposées ($ng \cdot kg^{-1} \cdot j^{-1}$)

$C_{poussières}$: Concentration de substance dans les poussières déposées ($ng \cdot g^{-1}$)

Q_{pouss} : Quantité de poussières ingérées quotidiennement ($g \cdot j^{-1}$)

Pc : Poids corporel (kg)

T_{ing} : Taux d'absorption par ingestion (%)

2.5.4 Paramètres d'exposition

→ **Données de contamination dans l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières déposées**

Les données de contamination retenues pour l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières déposées sont issues de la recherche bibliographique présentée dans le chapitre 3.1. Pour rappel, les publications recensées n'ont pas fait l'objet d'une analyse approfondie visant à déterminer la qualité des données. Le choix de l'étude à retenir s'est porté sur :

- 1/ l'origine géographique des données, en privilégiant les données françaises, puis européennes, puis nord-américaines,
- 2/ l'indication de concentrations moyennes (et non des concentrations minimales ou maximales)
- 3/ le nombre de composés perfluorés d'intérêt analysés dans l'étude

Les études retenues et les concentrations moyennes mesurées dans l'air intérieur, l'air extérieur et les poussières déposées pour les 12 composés perfluorés sont présentées dans le tableau 40 ci-dessous :

Tableau 23 : Concentrations moyennes dans l'air intérieur, extérieur, et les poussières retenues pour les calculs d'exposition

Composé	Concentration moyenne mesurée dans l'air intérieur (pg.m-3)		Concentration moyenne mesurée dans l'air extérieur (pg.m-3)		Concentrations mesurées dans les poussières déposées (ng.g-1)	
PFOS	38	Goosey et Harrad 2012 (UK)	149,5	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	330	Goosey <i>et al.</i> , 2011 (France)
PFOA	52	Goosey et Harrad 2012 (UK)	4,49	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	52	Goosey <i>et al.</i> , 2011 (France)
PFBS	1 (UB) 0 (LB)	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	29,9	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France)	1,3	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFBA	62	Jogsten <i>et al.</i> , 2012 (Espagne)	7	Mueller <i>et al.</i> , 2012 (Suisse, milieu urbain)	0,2 ++++	D'Hollander <i>et al.</i> , 2010 (Belgique)
PFDA	3,4	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	0,076	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	4,1	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFDS	2,6	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	0,22 (UB) 0,14 (LB)++++	Barber <i>et al.</i> , 2007 (UK, milieu urbain, semi-rural et rural)	3,5	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFHxS	1	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	60,4	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	130	Goosey <i>et al.</i> , 2011 (France)
PFHpA	0,8	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	3	Mueller <i>et al.</i> , 2012 (Suisse, milieu urbain)	10	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFHxA	17,1	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	2,5	Mueller <i>et al.</i> , 2012 (Suisse, milieu urbain)	33	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFNA	2,7	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	0,45	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	29	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)
PFUnA	1 (UB) 0 (LB)	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	0,296	Genualdi <i>et al.</i> , 2010 (France, milieu urbain)	3,4 (calculée)	Jogsten <i>et al.</i> , 2012 (Espagne)
PFTeDA	2,9 (UB) 0 (LB)	Barber <i>et al.</i> , 2007 (Norvège)	0,21	Mueller <i>et al.</i> , 2012 (Suisse, milieu urbain)	5,3	Haug <i>et al.</i> , 2011 (Norvège)

En l'absence d'information sur le temps passé dans chaque micro-environnement intérieur, les concentrations mesurées dans les logements sont assimilées à tous les environnements intérieurs pour le calcul des doses internes.

++++ Concentration médiane

++++ Moyenne des moyennes

→ **Poids corporel**

Les poids corporel retenus pour les calculs correspondent aux poids moyens des individus des différentes études utilisées pour le calcul de l'exposition alimentaire aux perfluorés.

Population	Poids moyen (kg)	Etude
Enfants de plus de 3 ans [3 – 17 ans]	38,4	INCA2
Adultes [18 – 79 ans]	69,7	INCA2
Femmes enceintes (3 ^{ième} trimestre)	75,4	EDEN

→ **Volume respiratoire**

Les volumes respiratoires moyens pour les trois populations ont été calculés à partir de 2 études référencées dans l'exposure factors handbook de l'US-EPA (US-EPA, 2011).

Population	Volume respiratoire moyen (m ³ /j)	Etude
Enfants de plus de 3 ans [3 – 16 ans]	13,7	US-EPA, 2009, d'après l'US-EPA 2011
Adultes de plus de 16 ans	16,2	US-EPA, 2009, d'après l'US-EPA 2011
Femmes enceintes	19,5	Brochu <i>et al.</i> , 2006, d'après l'US EPA, 2011

La méthode de calcul des volumes respiratoires moyens, à partir des données de l'exposure factors handbook est décrite dans le rapport d'expertise collective relatif à l'évaluation des risques sanitaires du bisphénol A (Anses, 2013).

→ **Fraction de temps passé dans les environnements intérieurs**

La fraction de temps passée dans les environnements intérieurs est fixée à 0,95. Cette valeur s'appuie sur les données de l'étude sentinelle de l'air et de l'exposure factor handbook de l'US EPA qui indiquent des fractions de temps passé à l'intérieur de 0,955 et de 0,80 respectivement.

→ **Quantité de poussières ingérées quotidiennement**

Les données utilisées pour documenter ce paramètre reposent sur les données recommandées dans l'exposure factors handbook de l'US EPA (US EPA, 2011). La quantité moyenne de poussières ingérée est déterminée pour différentes classes d'âges. Certaines classes d'âges définies dans le cadre de ces travaux sont fusionnées pour concorder avec les données recommandées. Les études ayant permis de déterminer ces valeurs sont décrites succinctement dans le tableau ci-dessous.

Classes d'âges proposées par l'US-EPA	Classes d'âges définies pour les calculs d'exposition	Quantité moyenne de poussières ingérées recommandées (mg.j ⁻¹)	Référence
1 an – 6 ans	3 ans – 16 ans	60	US-EPA, 2011
6 ans – 21 ans		60	
Adultes et femmes enceintes	16 ans et +	30	

→ **Taux d'absorption par inhalation et ingestion**

Dans une approche simplifiée, un taux d'absorption de 100% par inhalation et par ingestion a été retenu pour chaque composé perfluorés

2.5.5 Doses internes d'exposition totales et contribution des différentes sources

Résultats – approche UB

Les doses internes moyennes d'exposition des enfants, des adultes et des femmes enceintes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Les contributions relatives de chaque voie dans l'exposition totales sont présentées sous forme d'histogrammes dans les figures ci-dessous.

Tableau 24 : Doses internes moyennes d'exposition à 12 perfluorés via l'alimentation, l'air et les poussières déposées – approche UB

Composés perfluorés	Enfants				Adultes				Femmes enceintes			
	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j
PFOS	5,2E-01	1,6E-02	1,4E+00	1,9E+00	1,4E-01	1,0E-02	6,6E-01	8,1E-01	1,3E-01	1,1E-02	7,7E-01	9,1E-01
PFOA	8,1E-02	1,8E-02	1,6E+00	1,6E+00	2,2E-02	1,2E-02	7,4E-01	7,7E-01	2,1E-02	1,3E-02	8,2E-01	8,5E-01
PFBS	2,0E-03	8,7E-04	2,3E+00	2,3E+00	5,6E-04	5,8E-04	1,2E+00	1,2E+00	5,2E-04	6,3E-04	1,3E+00	1,3E+00
PFBA	3,1E-04	2,1E-02	5,3E+00	5,3E+00	8,6E-05	1,4E-02	2,6E+00	2,6E+00	8,0E-05	1,5E-02	3,0E+00	3,0E+00
PFDA	6,4E-03	1,2E-03	8,1E-01	8,2E-01	1,8E-03	7,7E-04	3,4E-01	3,4E-01	1,6E-03	8,4E-04	4,9E-01	4,9E-01
FDS	5,5E-03	8,9E-04	1,0E+00	1,0E+00	1,5E-03	5,9E-04	4,0E-01	4,0E-01	1,4E-03	6,4E-04	6,7E-01	6,7E-01
PFHxS	2,0E-01	1,4E-03	8,6E-01	1,1E+00	5,6E-02	9,5E-04	3,8E-01	4,4E-01	5,2E-02	1,0E-03	5,1E-01	5,6E-01
PFHpA	1,6E-02	3,2E-04	1,7E+00	1,7E+00	4,3E-03	2,2E-04	7,6E-01	7,6E-01	4,0E-03	2,4E-04	9,1E-01	9,1E-01
PFHxA	5,2E-02	5,8E-03	2,0E+00	2,1E+00	1,4E-02	3,9E-03	8,6E-01	8,8E-01	1,3E-02	4,2E-03	1,2E+00	1,2E+00
PFNA	4,5E-02	9,2E-04	1,1E+00	1,2E+00	1,2E-02	6,2E-04	4,9E-01	5,0E-01	1,2E-02	6,7E-04	7,1E-01	7,2E-01
PFUnA	5,3E-03	3,4E-04	7,2E+00	7,2E+00	1,5E-03	2,3E-04	3,2E+00	3,2E+00	1,4E-03	2,5E-04	4,2E+00	4,2E+00
PFTeDA	8,3E-03	9,9E-04	-	-	2,3E-03	6,6E-04	-	-	2,1E-03	7,2E-04	3,6E+00	3,6E+00

(-) Non calculé (manque de données de contamination pour certains items alimentaires)

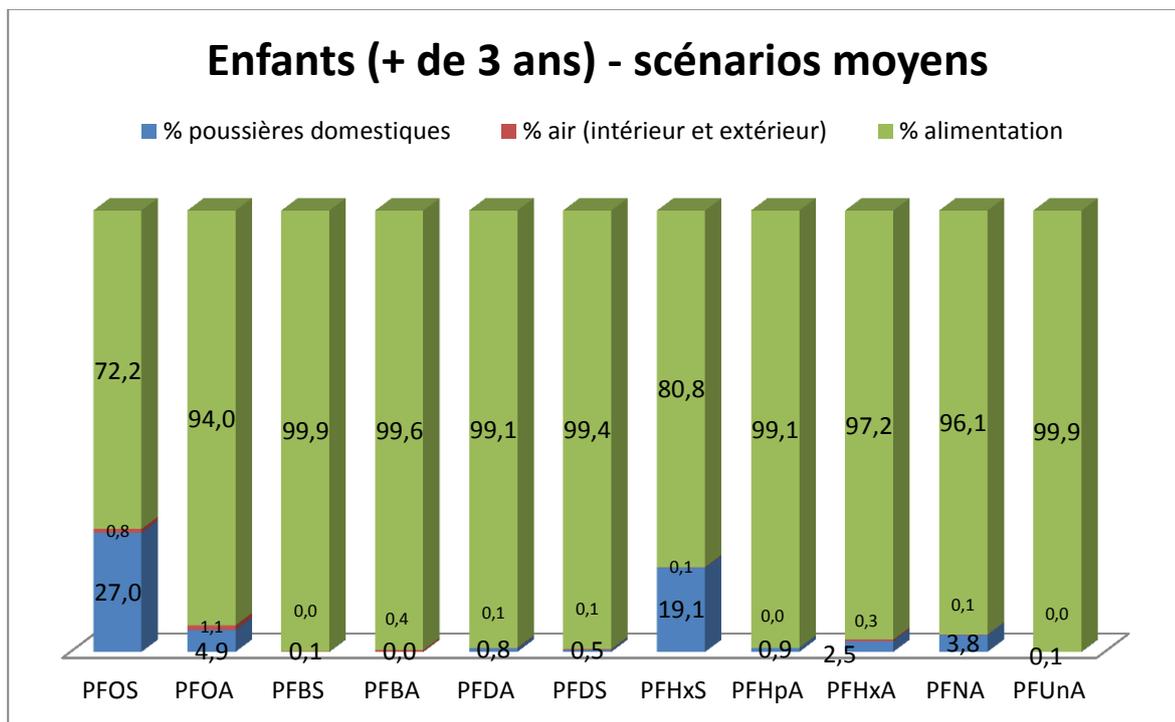


Figure 4: contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les enfants - approche UB

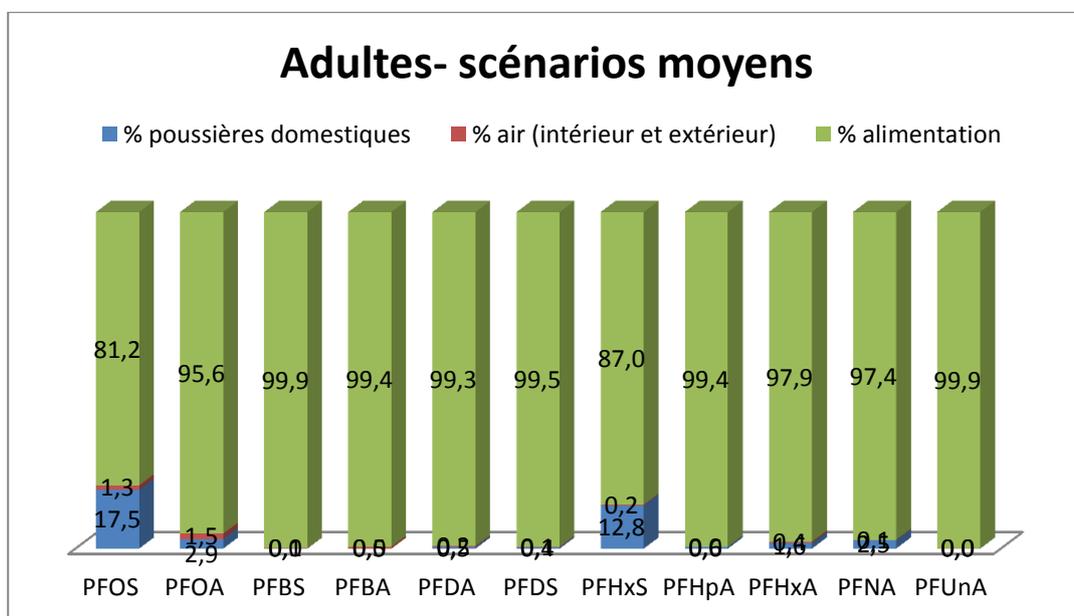


Figure 5 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les adultes - approche UB

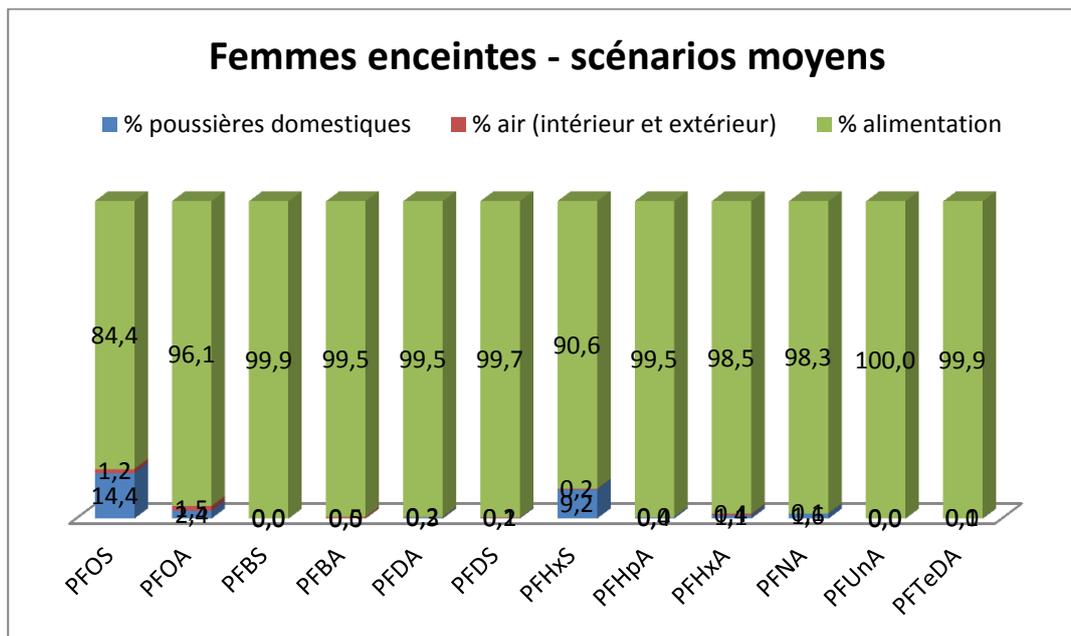


Figure 6 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les femmes enceintes - approche UB

Discussions des résultats selon l'approche UB :

- Les niveaux d'exposition (doses internes moyennes d'exposition) les plus élevés concernent les enfants de plus de 3 ans, pour tous les perfluorés ;
- Parmi les composés perfluorés étudiés, les niveaux d'exposition les plus élevés concernent le PFUnA
- La voie alimentaire ressort systématiquement comme étant la voie d'exposition majoritaire pour les 3 types de populations cibles;
- Quelle que soit la population, l'ingestion de poussières n'est pas négligeable (environ 10% de l'exposition totale) pour le PFOS, le PFHxS;
- Pour les enfants de plus de 3 ans, l'ingestion de poussières participe, pour le PFOS et le PFHxS, à hauteur d'environ 30 et 20 %, respectivement.

Résultats - Approche LB

Les doses internes moyennes d'exposition des enfants, des adultes et des femmes enceintes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Les contributions relatives de chaque voie dans l'exposition totales sont présentées sous forme d'histogrammes dans les figures ci-dessous.

Tableau 25 : Doses internes moyennes d'exposition à 12 perfluorés via l'alimentation, l'air et les poussières déposées – approche LB

Composés perfluorés	Enfants				Adultes				Femmes enceintes			
	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j	DI poussières ng/kg/j	DI air ng/kg/j	DI alimentation ng/kg/j	DI totale ng/kg/j
PFOS	5,2E-01	1,6E-02	0,0E+00	5,3E-01	1,4E-01	1,0E-02	0,0E+00	1,5E-01	1,3E-01	1,1E-02	3,0E-02	1,7E-01
PFOA	8,1E-02	1,8E-02	0,0E+00	9,9E-02	2,2E-02	1,2E-02	0,0E+00	3,4E-02	2,1E-02	1,3E-02	1,0E-02	4,4E-02
PFBS	2,0E-03	5,3E-04	0,0E+00	2,6E-03	5,6E-04	3,6E-04	0,0E+00	9,2E-04	5,2E-04	3,9E-04	0,0E+00	9,0E-04
PFBA	3,1E-04	2,1E-02	0,0E+00	2,1E-02	8,6E-05	1,4E-02	0,0E+00	1,4E-02	8,0E-05	1,5E-02	0,0E+00	1,5E-02
PFDA	6,4E-03	1,2E-03	0,0E+00	7,6E-03	1,8E-03	7,7E-04	0,0E+00	2,5E-03	1,6E-03	8,4E-04	1,0E-02	1,2E-02
PFDS	5,5E-03	8,9E-04	0,0E+00	6,4E-03	1,5E-03	5,9E-04	0,0E+00	2,1E-03	1,4E-03	6,4E-04	0,0E+00	2,0E-03
PFHxS	2,0E-01	1,1E-03	0,0E+00	2,0E-01	5,6E-02	7,2E-04	0,0E+00	5,7E-02	5,2E-02	7,8E-04	0,0E+00	5,2E-02
PFHpA	1,6E-02	3,2E-04	0,0E+00	1,6E-02	4,3E-03	2,2E-04	0,0E+00	4,5E-03	4,0E-03	2,4E-04	1,0E-02	1,4E-02
PFHxA	5,2E-02	5,8E-03	0,0E+00	5,7E-02	1,4E-02	3,9E-03	0,0E+00	1,8E-02	1,3E-02	4,2E-03	1,0E-02	2,7E-02
PFNA	4,5E-02	9,2E-04	0,0E+00	4,6E-02	1,2E-02	6,2E-04	0,0E+00	1,3E-02	1,2E-02	6,7E-04	0,0E+00	1,2E-02
PFUnA	5,3E-03	5,3E-06	0,0E+00	5,3E-03	1,5E-03	3,5E-06	0,0E+00	1,5E-03	1,4E-03	3,8E-06	2,0E-02	2,1E-02
PFTeDA	8,3E-03	9,9E-04	-	-	2,3E-03	6,6E-04	-	-	2,1E-03	7,2E-04	0,0E+00	2,8E-03

(-) Non calculé (manque de données de contamination pour certains items alimentaires).

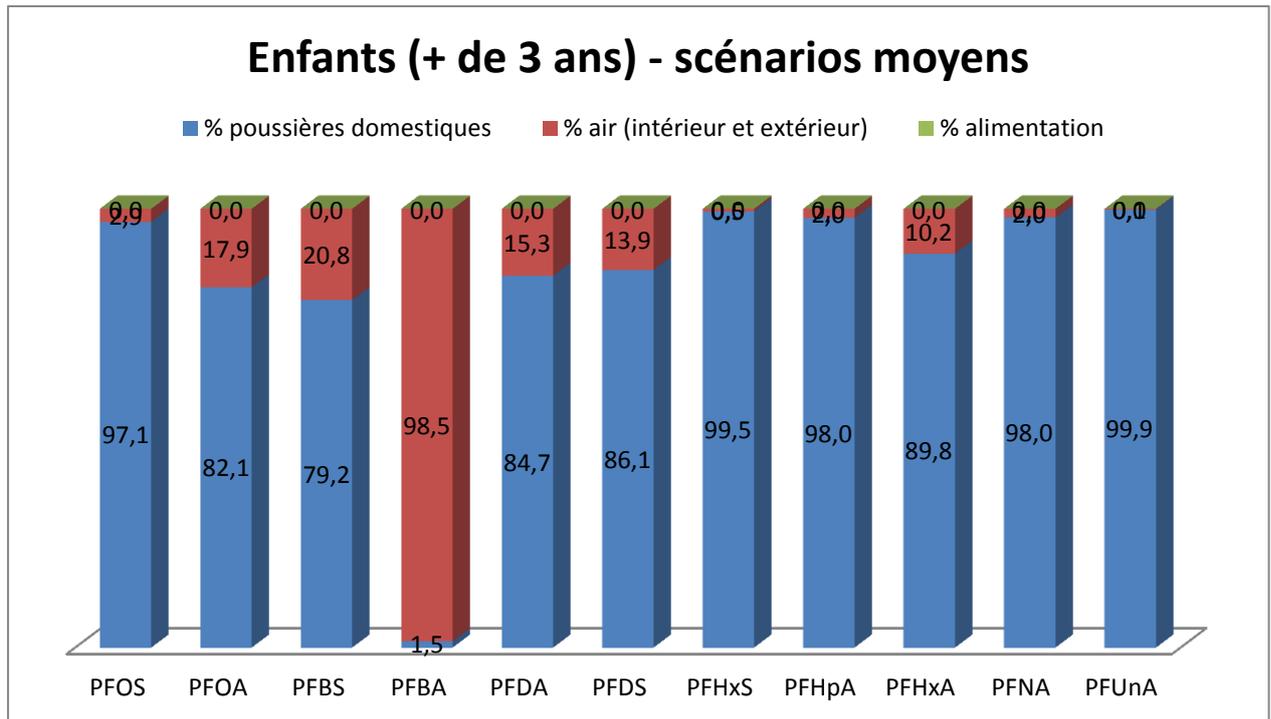


Figure 7 : Contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les enfants - approche LB

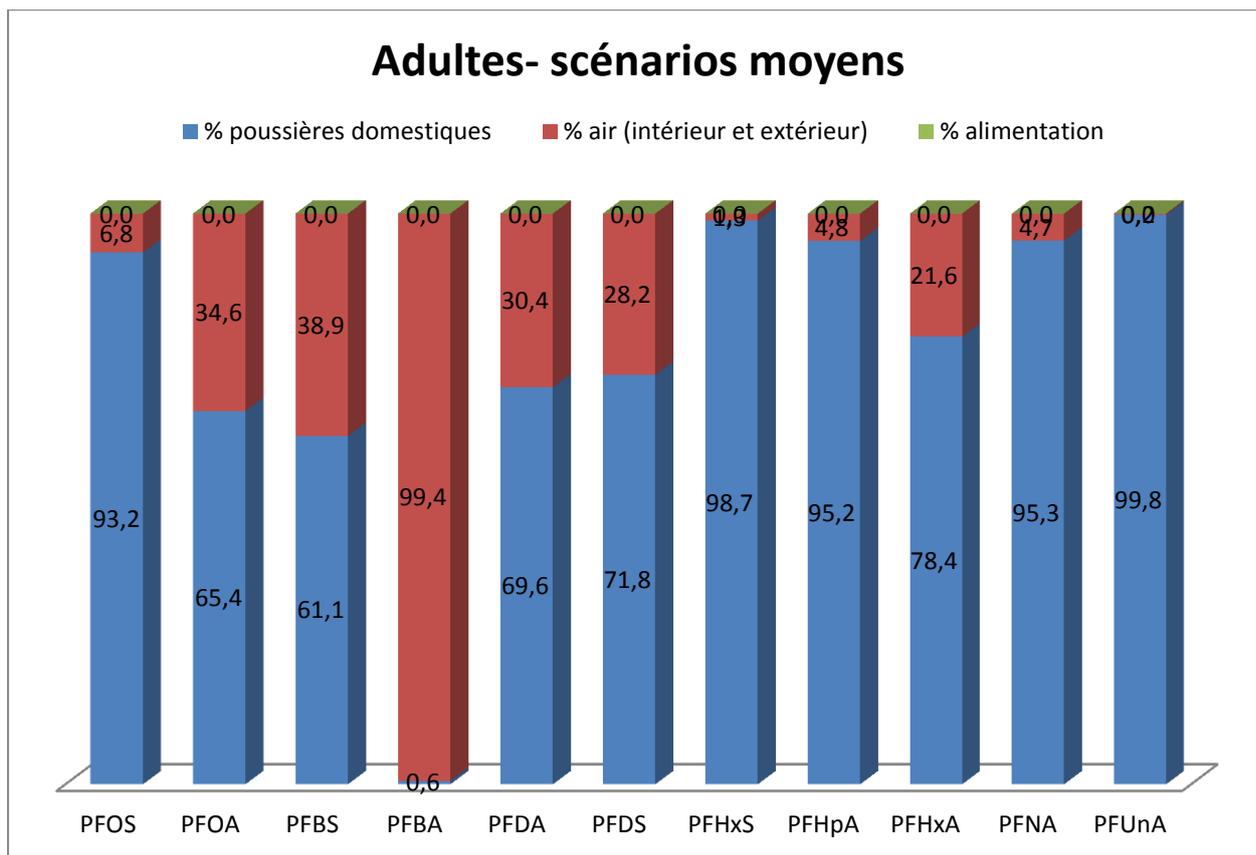


Figure 8 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les adultes - approche LB

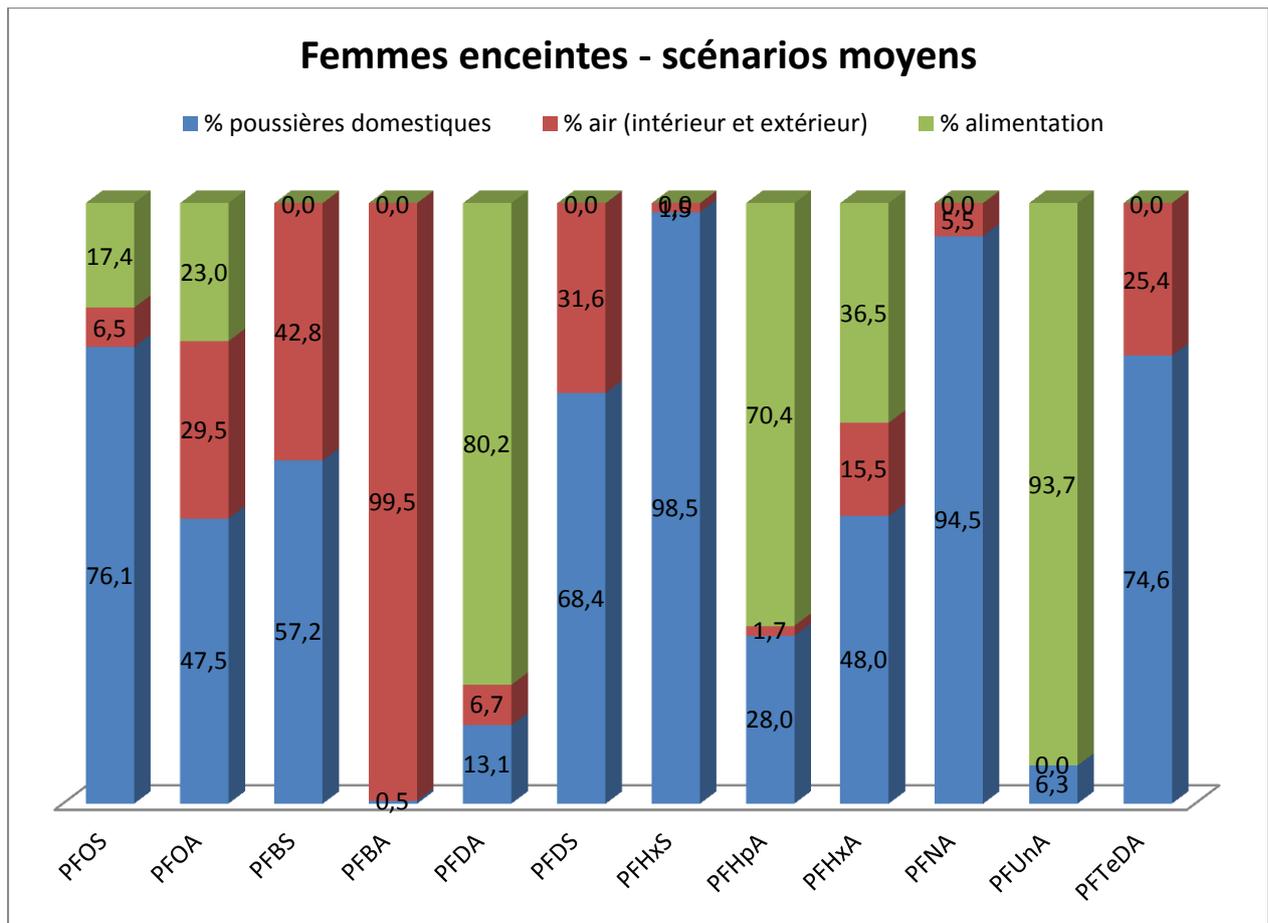


Figure 9 : contributions relatives des voies d'exposition pour 12 composés perfluorés chez les femmes enceintes - approche LB

Discussions des résultats selon l'approche LB :

- Les niveaux d'exposition (doses internes moyennes d'exposition) les plus élevés concernent les enfants de plus de 3 ans pour tous les perfluorés, à l'exception du PFDA et du PFUnA pour lesquels l'exposition des femmes enceintes est plus élevée.
- Parmi les composés perfluorés étudiés, les niveaux d'exposition les plus élevés concernent le PFOS
- En considérant l'hypothèse LB, l'exposition des enfants et des adultes via l'alimentation est nulle quelle que soit le congénère considéré. Pour ces deux populations, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire pour l'ensemble des composés perfluorés étudiés, à l'exception du PFBA pour lequel l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 98 % de l'exposition. Ce résultat est lié au fait que :
 - la concentration en PFBA mesurée dans les poussières est faible comparée aux autres composés perfluorés et
 - la concentration en PFBA mesurée dans les logements est élevée comparée à celle des autres composés perfluorés.
- En considérant l'approche LB, l'exposition des femmes enceintes *via* l'alimentation est nulle pour le PFBS, le PFBA, le PFDS, le PFHxS, le PFNA et le PFTeDA. Pour

ces composés, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire à l'exception du PFBA pour lequel l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 99 % de l'exposition. Pour le PFOS, le PFOA, le PFDA, le PFHpA, le PFHxA et le PFUnA, la contribution de la voie alimentaire à l'exposition totale varie de 17 à 94 %.

2.5.6 Mise en perspective

Les résultats du calcul de la DJE total permettent d'avoir une idée de l'ordre de grandeur des contributions des différentes voies d'exposition (**scénario moyen**). **En raison du taux de censure élevé dans les aliments, l'exposition a été évaluée selon deux hypothèses. Cela permet d'encadrer la contribution de l'alimentation par rapport aux deux autres médias d'exposition considérés.**

Il est important de garder à l'esprit que la qualité des données utilisées pour ces calculs diffère d'un média à l'autre :

- Les données d'exposition pour la voie alimentaire sont issues de données individuelles françaises, analysées et en cours de validation par le CES *ad hoc* ;
- *A contrario*, les données air et poussières sont des données issues de la bibliographie pour lesquelles aucune analyse qualitative n'a encore été réalisée.

Une étude permettant de mettre en perspective les niveaux d'exposition calculés dans le cadre de ces travaux a été identifiée dans la littérature (Trudel *et al.*, 2008). L'objectif de cette étude était d'évaluer l'exposition globale des consommateurs en Europe et en Amérique du nord au PFOS et au PFOA et d'identifier les sources d'exposition majoritaires. Les calculs d'exposition agrégée ont été réalisés en considérant :

- Des sources d'exposition directes, liées à l'utilisation de PFOS et de PFOA dans des produits de consommation. Les scénarios retenus concernent l'exposition par ingestion via des tapis traités (contact main-bouche) (PFOA et PFOS) et des emballages papiers et carton (migration dans les aliments) (PFOA uniquement) et l'exposition par inhalation via l'utilisation de spray d'imprégnation des textiles (PFOA uniquement).
- Des sources d'expositions indirectes, liées à la présence de PFOS et de PFOA dans l'alimentation (incluant l'eau), l'air (intérieur et extérieur) et les poussières déposées.

Les niveaux d'exposition calculés sont considérés représentatifs d'une exposition chronique au PFOS et PFOA. Les calculs ont été réalisés pour 7 catégories de population : les nourrissons (0 – 1 ans), les bébés (1 – 4 ans), les enfants (5 – 11 ans), les adolescents (12 – 20 ans) (femmes et hommes) et les adultes (> 20 ans) (femmes et hommes). Pour chacune des classes d'âge, les expositions ont été calculées selon 3 scénarios (exposition faible, moyenne et haute²⁰) pour tenir compte de la variabilité des paramètres d'expositions.

Les résultats de cette étude montrent :

- Des doses d'exposition au PFOS et au PFOA plus élevées pour les nourrissons, les bébés et les enfants, comparativement aux adolescents et aux adultes, ce qui concorde avec les résultats de calculs de l'Anses
- Des doses d'expositions qui varient de 3 à 220 ng.kg⁻¹.j⁻¹ pour le PFOS et de 1 à 130 ng.kg⁻¹.j⁻¹ pour le PFOA (selon les 3 scénarios d'exposition basse, moyenne et haute et toutes catégories de population confondues en Europe et en Amérique du Nord). Les niveaux d'exposition moyens calculés dans l'étude de Trudel *et al.* (2008) sont systématiquement plus élevés que ceux calculés dans le cadre des travaux de

²⁰ Pour le scénario « exposition faible », les calculs ont été réalisés en utilisant le 5^{ème} percentile des distributions des paramètres d'exposition. Pour le scénario « exposition moyenne », il s'agit de la moyenne et pour le scénario « exposition haute » du 95^{ème} percentile.

l'Anses. Pour rappel, les calculs réalisés par l'Anses ne tiennent compte que de l'exposition via l'alimentation (incluant l'eau), l'air et les poussières, les produits de consommation n'ont pas été intégrés.

- Pour les scénarios d'exposition faible et moyenne, l'alimentation (incluant l'eau) est la voie d'exposition majoritaire au PFOS et au PFOA pour toutes les catégories de population. La part attribuable à l'exposition directe via les produits de consommation est quant à elle très minoritaire. Pour les scénarios d'exposition haute, la part attribuable aux produits de consommation est majoritaire pour PFOS (toutes les populations) et le PFOA (nourissons, bébés, enfants).

2.5.7 Références bibliographiques

Afssa (2009) Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2) (2006-2007) - Rapport

Barber JL, Berger U (2007) Analysis of per- and polyfluorinated alkyl substances in air samples from Northwest Europe. *Journal of Environmental Monitoring*.

Brochu P, Ducré-robotaille J, Brodeur J (2006) Physiological daily inhalation rates for free-living pregnant and lactating adolescents and women aged 11 to 55 years, using data from doubly labeled water measurements for use in health risk assessment. *Human Ecol Risk Assess* 12, 702-735.

D'Hollander W, Roosens L, Covaci A, Cornelis C, Reynders H, Campenhout KV, Voogt PD, Bervoets L (2010b) Brominated flame retardants and perfluorinated compounds in indoor dust from homes and offices in Flanders, Belgium. *Chemosphere* 81, 478-487.

Ericson Jogsten I, Nadal M, van Bavel B, Lindström G, Domingo JL (2012) Per- and polyfluorinated compounds (PFCs) in house dust and indoor air in Catalonia, Spain: Implications for human exposure. *Environment International* 39, 172-180.

Genualdi S, Lee SC, Shoeib M, Gawor A, Ahrens L, Harner T (2010) Global pilot study of legacy and emerging persistent organic pollutants using sorbent-impregnated polyurethane foam disk passive air samplers. *Environmental Science and Technology* 44, 5534-5539.

Goosey E, Harrad S (2011) Perfluoroalkyl compounds in dust from Asian, Australian, European, and North American homes and UK cars, classrooms, and offices. *Environment International* 37, 86-92.

Goosey E, Harrad S (2012) Perfluoroalkyl substances in UK indoor and outdoor air: Spatial and seasonal variation, and implications for human exposure. *Environment International* 45, 86-90.

Haug LS, Huber S, Schlabach M, Becher G, Thomsen C (2011) Investigation on per- and polyfluorinated compounds in paired samples of house dust and indoor air from Norwegian homes. *Environmental Science and Technology* 45, 7991-7998.

INSERM (2007) EDEN - Etude des Déterminants pre et postnatal du développement et de la santé de l'enfant

Müller CE, Gerecke AC, Bogdal C, Wang Z, Scheringer M, Hungerbühler K (2012) Atmospheric fate of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs): I. Daynight patterns of air concentrations in summer in Zurich, Switzerland. *Environmental Pollution* 169, 196-203.

Trudel, D., Horowitz, L., Wormuth, M., Scheringer, M., Cousins, I. T. and Hungerbühler, K. (2008), Estimating Consumer Exposure to PFOS and PFOA. *Risk Analysis*, 28: 251–269. doi: 10.1111/j.1539-6924.2008.01017.x U.S. EPA (Environmental Protection Agency) (2009). *Metabolically- derived human ventilation rates: A revised approach based upon oxygen*

consumption rates. Office of Research and Development, Washington, DC; EPA/600/R-06/129F.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency) (2011). *Exposure Factors Handbook: 2011 Edition*. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-09/052F.

2.6 Exposition

Des calculs d'exposition agrégée ont été réalisés dans l'objectif de déterminer les sources principales dans l'exposition à certains composés perfluorés. Les médias d'exposition pris en compte dans ces calculs sont :

- Les aliments et les boissons – exposition par ingestion
- Les poussières déposées dans les environnements intérieurs – exposition par ingestion
- Le compartiment aérien – exposition par inhalation

Les données de contamination des aliments et des boissons sont issues de l'étude EAT2 (cf. 3.2), tandis que les données relatives aux poussières et au compartiment aérien sont issues d'études françaises ou européennes identifiées au cours d'une recherche bibliographique (cf. chapitre 3.1).

Dans un premier temps, des doses internes d'exposition ont été calculées pour chaque média, puis sommées de manière à calculer une dose interne totale agrégeant l'exposition *via* l'alimentation, l'air et les poussières. Ces calculs ont été réalisés pour les composés perfluorés pour lesquels des données de mesure dans chacun des médias étaient disponibles, c'est-à-dire **PFOS**, **PFOA**, **PFBS**, **PFBA**, **PFDA**, **PFDS**, **PFHxS**, **PFHpA**, **PFHxA**, **PFNA**, **PFUnA**, **PFTeDA**, **PFOSA** et **PFDoA**. Les calculs ont été faits pour chacun des composés perfluorés indépendamment les uns des autres; l'exposition cumulée à ces 14 perfluorés n'a pas été évaluée.

Les catégories de populations pour lesquelles les expositions ont été quantifiées sont :

- les enfants de plus de 3 ans,
- les adultes hommes et femmes,
- les femmes enceintes.

Ces calculs ont été réalisés selon une approche déterministe, en calculant des niveaux moyens d'exposition.

Pour l'alimentation, compte tenu du taux de censure important dans les aliments (comme discuté dans le chapitre 3.2) les expositions ont été calculées selon deux hypothèses, selon les recommandations de l'OMS (GEMS/Food-EURO, 1995) :

- Hypothèse basse (lower bound : LB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par 0 ;
- Hypothèse haute (Upper bound : UB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par la LOQ.

La même approche a été retenue pour les calculs d'exposition *via* l'air et les poussières lorsque les mesures étaient inférieures à la limite de quantification.

Selon l'approche UB :

- la voie alimentaire ressort systématiquement comme la voie d'exposition majoritaire pour les 3 types de population cibles;

- l'ingestion de poussière n'est pas négligeable (environ 10 % de la contribution totale) pour le PFOS, le PFHxS pour les 3 types de population cibles;
- pour les enfants de plus de 3 ans, l'ingestion de poussières participe à hauteur d'environ 30 et 20 % pour le PFOS et le PFHxS, respectivement.

Selon l'approche LB :

- l'exposition des enfants et des adultes *via* l'alimentation est négligeable. Pour ces deux populations, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire pour l'ensemble des composés perfluorés étudiés, à l'exception du PFBA où l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 98 % de l'exposition. Ce résultat est lié au fait que :
 - la concentration en PFBA mesurée dans les poussières est faible comparée aux autres composés perfluorés ;
 - la concentration en PFBA mesurée dans les logements est élevée comparée aux autres composés perfluorés.
- l'exposition des femmes enceintes *via* l'alimentation est négligeable pour le PFBS, le PFBA, le PFDS, le PFHxS, le PFNA et le PFTeDA. Pour ces composés, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire à l'exception du PFBA où l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 99 % de l'exposition. Pour le PFOS, le PFOA, le PFDA, le PFHpA, le PFHxA et le PFUnA, l'exposition par alimentation contribue à hauteur de 17 à 94 % de l'exposition totale.

Les résultats du calcul de la DJE total permettent d'avoir une idée de l'ordre de grandeur des contributions des différentes voies d'exposition (scénario moyen). En raison du taux de censure élevé dans les aliments, l'exposition a été évaluée selon deux hypothèses. Cela permet d'encadrer la contribution de l'alimentation par rapport aux deux autres médias d'exposition considérés.

Il est important de garder à l'esprit que la qualité des données utilisées pour ces calculs diffère d'un média à l'autre :

- les données d'exposition pour la voie alimentaire sont issues de données individuelles françaises, analysées et en cours de validation par le CES *ad hoc*.
- *a contrario*, les données air et poussières sont des données issues de la bibliographie pour lesquelles aucune analyse qualitative n'a encore été réalisée.

3 Discussion – Perspectives

3.1 Teneurs en perfluorés dans différents produits et milieux

Depuis 2002, une baisse des niveaux de PFOS et PFOA dans l'environnement est observée, contrairement aux dérivés sulfonés à courte chaîne. Le manque de données physico-chimiques ainsi que de références analytiques pour des composés autres que PFOS et PFOA constitue un frein à l'étude de ces substances chez l'Homme et dans l'environnement.

Concernant les contaminations alimentaires, une faible contamination des aliments a été observée dans l'étude EAT2 (concentrations inférieures à limite de détection dans 98% des échantillons testés). Les poissons, et plus particulièrement les poissons d'eau douce, sont les denrées alimentaires les plus contaminées (échantillonnage spécifique des poissons d'eau douce avec l'étude ICAR-PCB, des produits de la mer avec l'étude CALIPSO). En conséquence, les forts consommateurs de poissons d'eau douce sont les plus exposés, suivis par les forts consommateurs de produits de la mer.

Concernant la contamination des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH), les PFAS ne sont pas inclus dans le contrôle sanitaire de ces eaux. A ce jour, les données nationales connues sont issues des travaux du LHN, publiés dans le rapport de mai 2011 relatif aux campagnes nationales d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux brutes et distribuées. D'autres campagnes de prélèvement et d'analyse, dites «exceptionnelles», ont été réalisées à la demande de la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) :

- en 2011 sur les eaux souterraines en métropole par le BRGM;
- en 2012 sur les eaux de surface dans les DOM et en métropole et sur les eaux souterraines dans les DOM.

Les résultats de ces campagnes d'analyse ne sont pas encore publiés.

Par ailleurs, le PFOS a été identifié comme substance dangereuse prioritaire dans l'annexe X de la directive du parlement européen et du conseil du 12 août 2013. Aujourd'hui, la présence de PFOS dans l'environnement résulte davantage des activités et usages antérieurs que de foyers de production actuels. En effet, le principal fabricant de cette molécule (Société 3M) a arrêté sa synthèse en 2002. Il n'existerait plus de production de PFOS en Europe et en Amérique du Nord. Cependant, une dérogation d'usage existe aujourd'hui en Europe pour certaines applications (Directive 2006/122/ECOFdu 12 décembre 2006). Par contre, la production de PFOS subsiste néanmoins dans d'autres pays dont la Chine.

Les résultats des campagnes nationales d'analyse réalisées par le LHN dans des eaux conduisent à recommander le suivi d'au moins quatre PFAS dans les eaux brutes et traitées (PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS) pour disposer d'une information suffisamment robuste sur la contamination des eaux par les PFAS.

Des PFAS peuvent se former au cours des processus de traitement de l'eau (par exemple PFHpA ou PFPA), par décomposition de précurseurs dans les filières de potabilisation.

Les propriétés physico-chimiques des PFAS sont suffisamment hétérogènes pour induire des conséquences sur :

- leur comportement et leur devenir dans l'environnement avec, par exemple, une plus grande mobilité dans les sols des PFCA à chaîne perfluoroalcane courte, l'adsorption sur les sédiments des PFAS à chaîne carbonée longue, la décomposition de précurseurs en PFCA, etc. ;
- leur comportement et leur devenir au cours des processus de production de l'EDCH avec, par exemple, une meilleure rétention des PFAS à longue chaîne carbonée par filtration sur charbon actif en grains ;
- la contribution hydrique par rapport à l'apport alimentaire total qui varie de 1 à 20 % selon la molécule envisagée d'après les résultats de l'EAT2.

En conclusion, considérant que les PFAS ne figurent pas dans la liste des paramètres du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH), le CES «Eaux» :

- constate que des PFAS peuvent être détectés dans des eaux brutes et des EDCH et recommande, lors d'étude d'occurrence de ces molécules dans les EDCH, de rechercher au moins le PFOS, le PFOA, le PFHxA et le PFHxS afin de caractériser la contamination des eaux par les PFAS ;
- observe que, parmi les procédés de traitement qui présentent une efficacité pour diminuer les teneurs en PFAS dans les EDCH, seules la nanofiltration et l'osmose inverse présentent une efficacité supérieure à 70 % (99 % pour l'osmose inverse) et constate que les oxydants, y compris l'ozone, n'ont aucun effet sur ces molécules ;
- constate la transformation éventuelle de certains PFAS en PFAS à chaînes perfluorées courtes (typiquement C3 à C6) au cours de la filtration sur charbon actif en grain ;
- observe que la part hydrique des PFAS à l'exposition alimentaire totale nationale est minoritaire puisque, selon les données issues de l'EAT2 et en fonction du PFAS considéré, cette contribution peut être estimée entre 1 et 20 % chez les enfants et les adultes.

Concernant la contamination de l'air (intérieur et extérieur) et des poussières, les résultats de la recherche bibliographique montrent que :

- la majorité des études recensées dans la littérature concerne le PFOS et le PFOA, parmi les autres composés perfluorés étudiés, le PFOSA, le PFBS, le PFHxS, le PFHxA, le PFHpA, le PFNA, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2 FTOH, le 10 : 2 FTOH, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE et l'EtFOSE sont ceux faisant l'objet du plus grand nombre de publications ;
- les données de contamination de l'air intérieur et des poussières se rapportent principalement aux logements. Quelques études présentant également des données de contamination dans d'autres environnements intérieurs (bureaux, magasins etc..) ont également été recensées. Les gammes de concentrations mesurées dans ces deux médias sont assez larges ;
- plusieurs publications présentant des données de contamination dans l'air extérieur ont pour objectif l'étude du transport à longue distance des composés perfluorés. Dans ces études, les mesures ont pu être réalisées dans des endroits isolés. Les

gammes de concentrations mesurées dans l'air extérieur sont assez larges. Les composés perfluorés neutres, plus volatils, ont fait l'objet de davantage de publications ;

- seules deux études présentant des données de contamination dans les poussières domestiques et l'air extérieur en France ont été identifiées dans la littérature pour le PFOS, le PFOA, le PFHxS, le MeFOSA, l'EtFOSA, le MeFOSE, l'EtFOSE (air extérieur et poussières), le PFOSA (poussières uniquement), le PFBS, le PFNA, le PFDA, le PFDS, le 6 : 2 FTOH, le 8 : 2FTOH et le 10 : 2 FTOH (air extérieur uniquement).

3.2 Exposition

Des calculs d'exposition agrégée ont été réalisés dans l'objectif de déterminer les sources principales dans l'exposition à certains composés perfluorés. Les médias d'exposition pris en compte dans ces calculs sont :

- Les aliments et les boissons – exposition par ingestion
- Les poussières déposées dans les environnements intérieurs – exposition par ingestion
- Le compartiment aérien – exposition par inhalation

Les données de contamination des aliments et des boissons sont issues de l'étude EAT2 (cf. 3.2), tandis que les données relatives aux poussières et au compartiment aérien sont issues d'études françaises ou européennes identifiées au cours d'une recherche bibliographique (cf. chapitre 3.1).

Dans un premier temps, des doses internes d'exposition ont été calculées pour chaque média, puis sommées de manière à calculer une dose interne totale agrégeant l'exposition *via* l'alimentation, l'air et les poussières. Ces calculs ont été réalisés pour les composés perfluorés pour lesquels des données de mesure dans chacun des médias étaient disponibles, c'est-à-dire **PFOS, PFOA, PFBS, PFBA, PFDA, PFDS, PFHxS, PFHpA, PFHxA, PFNA, PFUnA, PFTeDA, PFOSA** et **PFDoA**. Les calculs ont été faits pour chacun des composés perfluorés indépendamment les uns des autres; l'exposition cumulée à ces 14 perfluorés n'a pas été évaluée.

Les catégories de populations pour lesquelles les expositions ont été quantifiées sont :

- les enfants de plus de 3 ans,
- les adultes hommes et femmes,
- les femmes enceintes.

Ces calculs ont été réalisés selon une approche déterministe, en calculant des niveaux moyens d'exposition.

Pour l'alimentation, compte tenu du taux de censure important dans les aliments (comme discuté dans le chapitre 3.2) les expositions ont été calculées selon deux hypothèses, selon les recommandations de l'OMS (GEMS/Food-EURO, 1995) :

- Hypothèse basse (lower bound : LB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par 0 ;
- Hypothèse haute (Upper bound : UB) : toutes les données non-quantifiées sont remplacées par la LOQ.

La même approche a été retenue pour les calculs d'exposition *via* l'air et les poussières lorsque les mesures étaient inférieures à la limite de quantification.

Selon l'approche UB :

- la voie alimentaire ressort systématiquement comme la voie d'exposition majoritaire pour les 3 types de population cibles;
- l'ingestion de poussière n'est pas négligeable (environ 10 % de la contribution totale) pour le PFOS, le PFHxS pour les 3 types de population cibles;
- pour les enfants de plus de 3 ans, l'ingestion de poussières participe à hauteur d'environ 30 et 20 % pour le PFOS et le PFHxS, respectivement.

Selon l'approche LB :

- l'exposition des enfants et des adultes *via* l'alimentation est négligeable. Pour ces deux populations, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire pour l'ensemble des composés perfluorés étudiés, à l'exception du PFBA où l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 98 % de l'exposition. Ce résultat est lié au fait que :
 - la concentration en PFBA mesurée dans les poussières est faible comparée aux autres composés perfluorés ;
 - la concentration en PFBA mesurée dans les logements est élevée comparée aux autres composés perfluorés.
- l'exposition des femmes enceintes *via* l'alimentation est négligeable pour le PFBS, le PFBA, le PFDS, le PFHxS, le PFNA et le PFTeDA. Pour ces composés, l'ingestion de poussières est la voie d'exposition majoritaire à l'exception du PFBA où l'air (intérieur + extérieur) contribue à plus de 99 % de l'exposition. Pour le PFOS, le PFOA, le PFDA, le PFHpA, le PFHxA et le PFUnA, l'exposition par alimentation contribue à hauteur de 17 à 94 % de l'exposition totale.

Les résultats du calcul de la DJE total permettent d'avoir une idée de l'ordre de grandeur des contributions des différentes voies d'exposition (scénario moyen). En raison du taux de censure élevé dans les aliments, l'exposition a été évaluée selon deux hypothèses. Cela permet d'encadrer la contribution de l'alimentation par rapport aux deux autres médias d'exposition considérés.

Il est important de garder à l'esprit que la qualité des données utilisées pour ces calculs diffère d'un média à l'autre :

- les données d'exposition pour la voie alimentaire sont issues de données individuelles françaises, analysées et en cours de validation par le CES *ad hoc*.
- *a contrario*, les données air et poussières sont des données issues de la bibliographie pour lesquelles aucune analyse qualitative n'a encore été réalisée.

ANNEXES

Annexe 1 : Avis Du CES « Eaux » Concernant La Présence De Composes Perfluores Dans Les Eaux Destinées A La Consommation Humaine

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ « EAUX »

SÉANCE DU 1^{ER} OCTOBRE 2013

DEMANDE D'AVIS RELATIF À LA PRESENCE DE COMPOSES PERFLUORES DANS LES
EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE

DOSSIERS ANSES N° 2009-SA- 0331 & 2012-SA-0001

AVIS

Rappel des saisines et contexte

Suite à la publication, en mai 2011, du rapport de l'Anses relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) menée par le laboratoire d'hydrologie de l'Anses de Nancy (LHN), l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (AERMC) a saisi l'Anses par courrier du 7 novembre 2011 d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés à la présence de composés perfluorés dans les EDCH.

Par décision du directeur de l'évaluation des risques de l'Anses, la réponse à cette demande d'expertise s'inscrit dans le contexte transversal des travaux menés par l'agence sur le thème des perturbateurs endocriniens.

En effet, par courrier du 4 juin 2009, la Direction générale de la santé (DGS) a saisi l'Agence en vue de demander une expertise sur les risques sanitaires pour le consommateur liés à des substances reprotoxiques ou de type perturbateurs endocriniens présents dans des produits ou articles mis sur le marché, dont le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA).

D'autres composés perfluorés peuvent être présents dans des articles ou produits de consommation et détectés dans différents compartiments de l'environnement. Ces composés ne faisaient pas l'objet de la saisine de la DGS. Néanmoins, dans le contexte d'un rapport intermédiaire en cours de rédaction à l'Anses qui fera l'objet d'une validation par le Comité d'Experts Spécialisé (CES) « Chimie », les éléments utiles, pour une meilleure connaissance des expositions en lien avec les composés perfluorés et une meilleure compréhension des effets sanitaires de cette famille de composés, seront considérés.

Le présent avis du CES « Eaux » concerne la partie du rapport intermédiaire relative à la présence de composés perfluorés dans l'EDCH.

Méthode d'expertise

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

Elle a été menée initialement par l'Unité d'évaluation des risques liés à l'eau et par le laboratoire d'hydrologie de Nancy.

Par la suite, le projet d'avis relatif à la présence de composés alkyls perfluorés dans les EDCH a été présenté puis examiné par le CES « Eaux » les 3 septembre et 1^{er} octobre 2013.

Argumentaire

1 – Définition des composés perfluorés

Selon Buck *et al.* (2011) les composés alkyls perfluorés sont des molécules dont tous les atomes d'hydrogène liés à tous les atomes de carbones (excepté les atomes de carbones liés à des groupes fonctionnels) ont été remplacés par des atomes de fluor.

Les molécules les plus connues sont l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et le sulfonate de perfluorooctane (PFOS).

Le tableau I résume le classement proposé par ces auteurs pour les composés alkyls perfluorés non polymérisés.

Tableau I : Classification et structures chimiques pour les composés alkyls perfluorés non polymérisés (d'après Buck *et al.*, 2011)

Classification et structures chimiques		$C_nF_{2n+1}R$, où R =	Exemples (n=8)
Acide alkyls perfluorés (PFAA)	Acides carboxyliques alkyls perfluorés (PFCA)	-COOH	PFOA (forme acide carboxylique)
	Carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA)	-COO ⁻	PFOA (forme carboxylate)
	Acides sulfoniques perfluoroalcanes (PFSA)	-SO ₃ H	PFOS (forme acide)
	Sulfonates de perfluoroalcanes (PFSA)	-SO ₃ ⁻	PFOS (forme sulfonate)
	Acides sulfiniques de perfluoroalcanes (PFSIA)	-SO ₂ H	Acide sulfinique perfluorooctane (PFOSI)
	Acides phosphoniques alkyls perfluorés (PFPA)	-P(=O)(OH) ₂	Acide sulfonique perfluorooctyl (C8-PFPA)
	Acides phosphiniques alkyls perfluorés (PFPIA)	-P(=O)(OH)(C _m F _{2m+1})	Acide phosphinique bis(perfluorooctyl) (C8/C8-PFPIA)
Sulfonates de perfluoroalcane fluorés (PASF)		-SO ₂ F	Sulfonate de perfluorooctane fluoré (POSF)
Sulfonamides de perfluoroalcanes (FASA)		-SO ₂ NH ₂	Sulfonamide de perfluorooctane (PFOSA)
Perfluoroalcanoyles fluorés (PAF)		-COF	Perfluorooctanoyle fluoré (POF)
Iodures alkyls perfluorés (PFAI)		-I	Iodure hexyl-perfluoré (PFHxI)
Aldéhydes alkyls perfluorés (PFAL) et hydrates d'aldéhyde perfluorés (PFAL.H ₂ O _s)		-CHO et -CH(OH) ₂	Perfluorononanal (PFNAL)

Il existe de nombreuses autres molécules décrites par Buck *et al.* (2011) :

- les composés alkyls polyfluorés non polymérisés dont tous les atomes d'hydrogène sur au moins un atome de carbone ont été remplacés par un atome de fluor ;
- les fluoropolymères dont les atomes de fluor sont directement liés à une ossature polymérique carbonée ;

- les perfluoropolyéthers dont les atomes de fluor sont directement liés aux atomes de carbone d'une ossature polymérique d'atomes de carbone et d'oxygène ;
- d'autres polymères comportant des chaînes carbonées fluorées.

Par la suite, l'ensemble des composés perfluorés et polyfluorés de cette vaste famille seront désignés sous l'acronyme PFAS (*Perfluorinated Alkylated Substances*). Certaines de ces molécules sont présentées dans le tableau II. Pour chaque molécule de la famille des PFCA et des PFSA, les numéros CAS sont précisés pour la forme acide.

Tableau II : Molécules citées dans le présent avis classées par famille et par numéro CAS (d'après Buck *et al.*, 2011).

Famille	Abréviation	Numéro CAS	Nom de la molécule
Carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA)	PFBA	375-22-4	Acide perfluorobutanoïque
	PFPeA	2706-90-3	Acide perfluoropentanoïque
	PFHxA	307-24-4	Acide perfluorohexanoïque
	PFHpA	375-85-9	Acide perfluoroheptanoïque
	PFOA	335-67-1	Acide perfluorooctanoïque
	NH4-PFOA	3825-26-1	Sel d'ammonium de l'acide perfluorooctanoïque
	PFNA	375-95-1	Acide perfluorononanoïque
	PFDA	335-76-2	Acide perfluorodécanoïque
	PFUnA	2058-94-8	Acide perfluoroundécanoïque
	PFDoA	307-55-1	Acide perfluorododécanoïque
	PFTTrA	72629-94-8	Acide perfluorotridécanoïque
	PFTDA	376-06-7	Acide perfluorotétradécanoïque
Sulfonates d'alkyls perfluorés (PFSA)	PFBS	375-73-5	Sulfonate de perfluorobutane
	PFPS	2706-91-4	Sulfonate de perfluoropentane
	PFHxS	355-46-4	Sulfonate de perfluorohexane
	PFHpS	375-92-8	Sulfonate de perfluoroheptane
	PFOS	1763-23-1	Sulfonate de perfluorooctane
	PFDS	335-77-3	Sulfonate de perfluorodécane
Autres	PFHxPA	40143-76-8	Acide perfluorohexylphosphonique
	PFOPA	40143-78-0	Acide perfluorooctylphosphonique
	PFDP	52299-26-0	Acide perfluorodécylphosphonique
	PFOSA	754-91-6	Sulfonamide de perfluorooctane
	PPVE	1623-05-8	Ether perfluoropropyl perfluorovinyle
	EtFOSA	4151-50-2	N-Éthyl perfluorooctane sulfonamide
	MeFOSA	31506-32-8	N-Méthyl perfluorooctane sulfonamide

2 – Propriétés physico-chimiques des PFAS

La liaison covalente carbone – fluor étant très forte et très stable, les PFAS présentent une grande stabilité thermique et chimique.

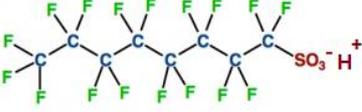
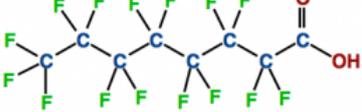
Les PFAS présentent des propriétés hydrophobes et lipophobes car ils n'établissent pas d'interaction intermoléculaire du fait de plusieurs propriétés physico-chimiques :

- la très forte électronégativité de l'atome de fluor rend toute polarisation difficile ;
- la rigidité de la liaison carbone-fluor explique celle de la chaîne perfluoroalcane ;
- la chaîne perfluoroalcane est protégée des déformations stériques par la présence des atomes de fluor de petite taille.

En raison des propriétés tensioactives des sulfonates de perfluoroalcane (PFSA) et des carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA), il est difficile, voire impossible, de déterminer

certaines de leurs propriétés comme le coefficient de partage octanol-eau (K_{OW}). Les propriétés physicochimiques du PFOS et du PFOA sont décrites dans le tableau III.

Tableau III : Propriétés physico-chimiques du PFOS et du PFOA (Efsa, 2008)

Nom	Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)	Acide perfluorooctanoïque (PFOA)
Numéro CAS	1763-23-1	335-67-1
Formule brute	C ₈ F ₁₇ SO ₃ H	C ₈ HF ₁₅ O ₂
Formule développée		
Masse molaire	500 g/mol	414 g/mol
Point de fusion	> 400°C	45-50°C
Point d'ébullition	Non mesurable	189-192°C (736 mm Hg)
Coefficient de partage octanol / eau	Non mesurable	Non mesurable
Solubilité dans l'eau	680 mg/L à 25°C	9,5 g/L à 25°C
Pression de vapeur	3,31.10 ⁻⁴ Pa (à 20°C)	100 Pa (à 20°C)
Constante de Henry	3,05.10 ⁻⁹ atm.m ³ /mol	Non déterminée

3 – Origines et sources de contamination de l'eau

La présence des PFAS dans l'environnement est d'origine anthropique. Il existe à la fois des sources directes et indirectes d'émission de PFAS dans l'environnement. Les sources directes sont liées à la production et à l'utilisation de ces composés induisant notamment leur présence dans les rejets industriels, alors que les sources indirectes concernent leur présence sous forme d'impuretés ou de produits de dégradation. Les sources majeures de contamination de l'environnement sont les rejets industriels liés aux processus de fabrication, les zones de lutte contre les incendies et les lixiviats de décharges.

Les PFAS sont produits selon deux procédés : la fluoration électrochimique (ECF)²¹ et la télomérisation²².

Les propriétés physico-chimiques des PFAS expliquent la grande diversité de leurs utilisations.

Les principales applications industrielles des carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA) et des sulfonates de perfluoroalcanes (PFSA) sont :

- la protection des papiers notamment ceux utilisés pour le conditionnement des aliments (emballages alimentaires) ;
- les applications spécialisées :
 - le traitement des surfaces (usages : détergents, traitements antiadhésifs),
 - les aides à la polymérisation de fluoropolymères (polyfluorure de vinylidène (PVDF), polytétrafluoroéthylène (PTFE), ...),
 - les mousses anti-incendie,
 - les agents tensio-actifs pour les puits de pétrole et les mines,

²¹ La fluoration électrochimique permet la substitution des atomes d'hydrogène d'un hydrocarbure par des atomes de fluor en présence d'un courant électrique et de fluorure d'hydrogène. Le produit initial de cette réaction est le fluorure de perfluorooctane sulfonyle.

²² Processus au cours duquel le tétrafluoroéthylène réagit avec un intermédiaire perfluorés alkylés iodés pour former des fluorotélomères (polymérisation par réaction en chaîne).

- les fluides hydrauliques dans l'aviation,
- les placages de métaux (chrome),
- la photolithographie et les semi-conducteurs,
- la photographie...

Les principales applications domestiques des carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA) et des sulfonates de perfluoroalcanes (PFSA) sont :

- les imperméabilisants (vêtements, tapis, cuir, chaussures, ustensiles de cuisine) ;
- les antiadhésifs papiers (emballages alimentaires) ;
- les enduits (peintures) ;
- les détergents (nettoyants, shampooings) ;
- les pesticides et les insecticides...

Certains composés perfluorés figurant dans le règlement (UE) n° 10/2011²³ entrent dans la composition de polymères fluorés (PF) utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'EDCH (MCDE). Le sel d'ammonium de l'acide perfluorooctanoïque (n° CAS : 3825-26-1) et l'éther perfluoropropyl perfluorovinyle (n° CAS : 1623-05-8) sont utilisés dans le polytétrafluoroéthylène (PTFE) à des concentrations inférieures à quelques pourcents (< 10 %). Le PTFE étant utilisé dans les vannes et accessoires dont la surface mouillée est faible, les MCDE ne sont pas une source importante de composés perfluorés dans l'EDCH. Par ailleurs, l'utilisation du polyfluorure de vinylidène (PVDF) devrait se développer comme barrière protectrice à l'intérieur notamment de tubes en polyéthylène.

À partir des données publiées dans la littérature scientifique, le rapport de l'Anses de mai 2011 relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les EDCH détaille les modes de synthèse des PFCA et des PFSA, les pays producteurs de ces familles de composés et les quantités produites et émises dans l'environnement (Anses, 2011).

4 – Traitements réduisant la teneur en PFAS dans les eaux

Résultats présents dans la littérature.

En étudiant l'efficacité du traitement du PFOS et du PFOA par différentes filières de potabilisation schématiquement décrites dans le tableau IV, Takagi *et al.* (2011) ont montré que les étapes de clarification et d'ozonation ne sont pas efficaces. Ces résultats sont corroborés par d'autres auteurs lors de l'étude de l'efficacité de stations de traitement au Sud-Ouest de Queensland, en Australie (Thompson *et al.*, 2011) ou au Royaume-Uni (McLaughlin *et al.*, 2011)..

Tableau IV : description schématique des filières de traitement faisant l'objet de l'étude de Takagi *et al.* (2011)

A	Eau brute	Coagulation / Décantation	Traitement biologique	Décantation / Filtration sur sable	Ozonation	Filtration sur charbon actif	Chloration	Eau traitée
B	Eau	Traitement	Clarification	Ozonation	Filtration	Chloration	Eau traitée	

²³ Règlement (UE) n°10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.

	brute	biologique			sur charbon actif		
C	Eau brute	Clarification	Ozonation	Filtration sur charbon actif	Chloration	Eau traitée	
D	Eau brute	Décantation	Ozonation	Filtration sur charbon actif	Chloration	Filtration sur sable	Eau traitée
E	Eau brute	Clarification	Filtration sur charbon actif	Chloration	Eau traitée		

Des essais concernant l'efficacité du traitement du PFOS et du PFOA par filtration sur lit de charbon actif en grain de la filière de traitement E a montré une bonne efficacité variant de 100 % avec du charbon actif fraîchement mis en œuvre à environ 65 % après une utilisation de 200 jours. Ces auteurs ont parfois observé des concentrations en PFOS et en PFOA plus élevées en eau traitée qu'en eau brute. Ce phénomène serait lié à la dégradation de précurseur de PFAS au cours du traitement de potabilisation, ce qui avait par ailleurs été décrit dans le rapport de mai 2011 de l'Anses relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les EDCH menée par le LHN.

Eschauzier *et al.* (2012) ont étudié le comportement de différents PFAS depuis les eaux brutes jusqu'aux eaux traitées. L'eau brute provenait du canal Lek (Amsterdam, Pays-Bas) et la filière de traitement était schématiquement constituée des étapes suivantes : prise d'eau, coagulation, filtration rapide sur sable, passage sur dune, aération, filtration rapide sur sable, ozonation, adoucissement, filtration sur charbon actif en grain (CAG), filtration lente sur sable et bêche d'eau traitée. Au cours de ce traitement, les teneurs en PFAS comportant les chaînes carbonées les plus longues (ex. PFNA et PFOS) diminuaient lors de l'étape de traitement de filtration sur lit de charbon actif en grain, avec des teneurs à l'aval de cette étape du traitement inférieures aux limites de quantification (LQ) (de l'ordre de 0,20 ng/L). Cependant, les teneurs en PFAS à courte chaîne carbonée (e.g. PFBA et PFBS) n'étaient pas significativement réduites par les différentes étapes de traitement, y compris par l'étape de filtration sur CAG. L'absence de régénération fréquente des filtres à charbon actif entraîne également une perte d'efficacité de ce type de traitement vis-à-vis du PFOS et du PFOA (McLaughlin *et al.*, 2011 ; Takagi *et al.*, 2011).

Xiao *et al.* (2013) confirment qu'une coagulation classique avec des sels d'aluminium (par exemple 10 à 60 mg/L de sulfate d'aluminium à un pH de 6,5 à 8) est inefficace pour le traitement du PFOS et du PFOA dans les eaux. Les auteurs ont montré que cette efficacité peut être améliorée au dessus de 25 % en augmentant la dose de coagulant par exemple au delà de 60 mg/L et en diminuant le pH de l'eau (4,5 – 6,5). L'efficacité de la coagulation reste néanmoins inférieure à 35 %.

Une récente étude (Flores *et al.*, 2013) concerne l'efficacité d'une filière de potabilisation complexe constituée d'une filière commune (1) suivie de deux filières fonctionnant en parallèle {(2) et (3)}. La filière commune d'entrée (1) est composée d'une pré-oxydation au dioxyde de chlore suivie d'une clarification (coagulation-floculation-décantation-filtration sur sable). La filière (2) est constituée d'une étape d'ozonation suivie d'une filtration sur charbon actif en grain. La filière (3) est composée d'une étape d'ultrafiltration, d'un traitement aux ultra-violet et d'une étape d'osmose inverse suivie d'une reminéralisation. L'analyse du PFOA et du PFOS a montré les résultats suivants :

- les oxydants (dioxyde de chlore, ozone), les étapes de coagulation-floculation-décantation et la filtration sur sable n'ont aucun impact sur les concentrations de ces deux molécules ;
- le charbon actif réduit les teneurs en PFOA et PFOS de 45 ± 19 % et 64 ± 11 % respectivement ;
- comme d'autres auteurs l'avaient précédemment montré, l'efficacité du charbon actif en grain est liée, entre autre, à la fréquence de régénération des filtres ;
- l'osmose inverse permet un abattement supérieur à 99 %.

Aux États-Unis, Quiñones et Snyder (2009) ont étudié l'efficacité de sept usines différentes pour le traitement d'eau présentant des teneurs significatives pour huit PFAS. Ils ont observé une différence notable des teneurs en PFAS entre l'eau brute et l'eau traitée uniquement pour une filière constituée d'une étape de microfiltration couplée à une étape d'osmose inverse utilisée pour le traitement secondaire d'eau usée. Dans une publication relative à la nanofiltration, Steinle-Darling et Reinhard (2008) ont trouvé des pourcentages de réjection supérieurs ou égaux à 95 % pour la majorité des 15 PFAS étudiés. Le PFPeA présentait un taux de réjection de 72 %, probablement dû à la petite taille de cette molécule, tandis que le PFOSA présentait un taux de réjection variant de 42 à plus de 98 %, en fonction du type de membrane. Pour ce dernier composé, les auteurs pensent que la neutralité électrostatique pourrait expliquer ce plus faible taux de réjection.

Tang *et al.* (2006) ont montré que l'osmose inverse pouvait être un moyen d'éliminer le PFOS des rejets de l'industrie du secteur électronique (réjection d'au moins 99 %), à conditions que certains solvants présents soient préalablement retirés.

Études en cours au laboratoire d'hydrologie de Nancy (LHN).

Une autre source potentielle de contamination des eaux par les PFAA est leur formation à partir de précurseurs utilisés dans l'industrie chimique (Post *et al.*, 2012).

Une étude menée de juillet 2012 à fin juin 2014 par le LHN, en partenariat avec les Agences de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse et Seine-Normandie ainsi que le Syndicat des Eaux d'Ile-de-France et l'Agence régionale de santé Ile-de-France consiste à observer le comportement de certains précurseurs de PFCA et de leurs métabolites ultimes dans différentes filières de potabilisation (simple chloration, filtrations sur sable ou charbon actif, nanofiltration).

Le premier objectif de cette étude est de quantifier les PFCA et leurs précurseurs en différents points d'un système partant du rejet industriel brut et se terminant à la sortie de filières de potabilisation. Ces différents points d'échantillonnage incluent les étapes de traitement des rejets industriels, le transport des composés par le fleuve jusqu'aux points de captage et enfin les étapes de potabilisation.

L'imprégnation du biote à ces substances sera également évaluée par l'intermédiaire d'une campagne d'échantillonnage et des analyses réalisées par un autre laboratoire.

Le second objectif est d'évaluer l'efficacité des filières de traitement, aussi bien pour les eaux usées que pour les eaux brutes destinées à être traitées. L'impact de chaque étape du processus de traitement sur la dégradation des précurseurs sera étudié. La formation de sous-produits autres que les PFCA par réaction avec les désinfectants utilisés en eau

potable pourra être envisagée. De même, la génération de métabolites intermédiaires entre le précurseur et les PFCA devra être prise en considération. La question de la présence éventuelle des précurseurs et leurs métabolites intermédiaires dans les eaux potables est d'importance au regard de leur toxicité qui serait plus élevée que celle des PFCA (Phillips *et al.*, 2007).

Deux sites seront pour cela étudiés, ayant chacun des spécificités en termes de nature des produits rejetés, en termes de temps de transfert hydraulique, en termes de filières de traitement mise en œuvre (eaux usées et eaux potables) ainsi qu'en termes de taille de population potentiellement exposée dans le cas de l'alimentation en EDCH.

5 – Synthèse bibliographique des teneurs en PFAS dans les eaux distribuées en réseaux ou conditionnées

Les tableaux V et VI résument des résultats figurant dans la littérature concernant les teneurs en PFAS respectivement dans les eaux distribuées dans les réseaux publics et dans les eaux conditionnées. Afin de reprendre et compléter les résultats présentés dans le rapport de l'Anses de mai 2011 relatif à la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les EDCH, la requête bibliographique suivante a été réalisée le 14 juin 2013 à l'aide du moteur de recherche « SCOPUS » :

(TITLE-ABS-KEY(perfluor*) OR TITLE-ABS-KEY(pfas) OR TITLE-ABS-KEY(pfc*)) AND (TITLE-ABS-KEY(drinking water) OR TITLE-ABS-KEY(bottled water)) AND PUBYEAR > 2009

Tableau V : Concentration en PFAS mesurées dans différentes eaux de consommation humaine distribuées en réseau (en ng/L)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDS	Eau du robinet	Espagne	4		< 1	0	< 1		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDS	Eau du robinet	Chine	43		< 0,02	0	< 0,02		Mak <i>et al.</i> (2009)
PFDS	Eau du robinet	Europe	7	0,045	0,07	43	< 0,045	0,195	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDS	Eau du robinet	Espagne	4	0,4	0,33	0	< 0,13	< 0,40	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	4		0,61	100	0,39	0,87	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau du robinet	Japon	26		2,9	96	< 0,1	22	Takagi <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau du robinet	Chine	43		3,9	86	< 0,02	11	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFOS	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	692	15		63	< 10	100	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	111	< 10		0	< 10		Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Italie	6		8,1		6,2	9,7	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	7		0,8	57	< 0,4	2	Quinete <i>et al.</i> (2009)
PFOS	Eau du robinet	États-Unis	66		13	68	< 1	57	Quinones et Snyder (2009)
PFOS	Eau du robinet	Japon	6		3	67	< 0,1	12	Saito <i>et al.</i> (2004)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	14	< 2	6	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	26	1,3		35	< 1	4,7	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		< 0,30	0	< 0,30	< 0,30	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	5		0,4	20	< 0,04	0,4	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	84	7	46	51	< 0,04	258	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Europe	7	0,861	3,02	100	0,397	8,81	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Australie	61	0,755	1,64	38	< 0,13	15,1	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Corée	15		1,2		< 0,33	3,6	Kim <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Norvège	3	0,23	0,2	100	0,071	0,31	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	10	0,55	1,98	70	< 0,05	6,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Royaume-Uni	80	< 11	11	23	< 11	205	McLaughlin <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,18	50	< 0,18	0,28	Ericson <i>et al.</i> (2008)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFHxS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		0	< 10		Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHxS	Eau du robinet	États-Unis	66		3,1	32	< 1	12	Quinones et Snyder (2009)
PFHxS	Eau du robinet	Allemagne	26	1,1		12	< 1	12,1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		0,55	100	0,5	0,6	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHxS	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,06	0	< 0,06	< 0,06	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	84	0,4	3,8	36	< 0,06	28	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau du robinet	Europe	7	0,909	0,97	71	< 0,16	2,5	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Australie	61	0,92	1,71	21	< 0,18	14,4	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Norvège	3	0,12	0,105	100	0,045	0,15	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	10	0,5	0,4	40	< 0,1	0,73	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,27	0	< 0,27		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFBS	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	< 10		49	< 10	65	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		3	< 10	11	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Norvège	3	0,045	0,045	0	< 0,045	0,045	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	14		2,9	21	< 2	20	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	119	2,6		16	< 1	13,3	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		16	100	14	17	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,11	0	< 0,11	< 0,11	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	84	2,4	8,3	35	< 0,11	36	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Europe	7	0,955	4,43	86	< 0,092	18,8	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFBS	Eau du robinet	Australie	61	0,14	0,54	11	< 0,14	2,52	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	10	0,18	1,56	50	< 0,10	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFDoA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,34	0	< 0,34		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDoA	Eau du robinet	Italie	6		1		0,1	2,8	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFDoA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	0	< 1		Quinones et Snyder (2009)
PFDoA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDoA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,45	0	< 0,45	< 0,45	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDoA	Eau du robinet	Norvège	3	0,22	0,26	33	0,13	0,43	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFDoA	Eau du robinet	Espagne	8	0,10	0,10	0	< 0,10	< 0,10	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFUnA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,43	0	< 0,43		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFUnA	Eau du robinet	Italie	6		0,2		0,1	0,4	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFUnA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	9	< 1	1,6	Quinones et Snyder (2009)
PFUnA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFUnA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,43	0	< 0,43	< 0,43	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFUnA	Eau du robinet	Norvège	3	0,2	0,205	67	0,065	0,35	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFUnA	Eau du robinet	Espagne	9	0,10	0,56	11	< 0,10	3,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,82	0	< 0,82		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau du robinet	Italie	6		0,2		0,1	0,3	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFDA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	18	< 1	3,3	Quinones et Snyder (2009)
PFDA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFDA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		< 0,042	0	< 0,042	< 0,042	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFDA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,19	0	< 0,19	< 0,19	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	84	2,3	2,2	8	< 0,19	4,7	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Europe	7	0,094	0,24	57	< 0,09	0,612	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDA	Eau du robinet	Norvège	3	0,52	0,58	67	0,22	1	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	9	0,13	0,56	22	< 0,13	3,7	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFNA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,42	25	< 0,42	0,52	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFNA	Eau du robinet	Italie	6		0,5		0,3	0,7	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFNA	Eau du robinet	États-Unis	66		2,2	27	< 1	9,7	Quinones et Snyder (2009)
PFNA	Eau du robinet	Allemagne	26	1,4		4	< 1	1,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFNA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		0,08	-	< 0,04	0,2	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFNA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,03	0	< 0,03	< 0,03	Llorca <i>et al.</i> (2012)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFNA	Eau du robinet	Espagne	84	0,8	4,4	32	< 0,03	22	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFNA	Eau du robinet	Europe	7	0,13	0,26	43	< 0,13	0,522	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFNA	Eau du robinet	Norvège	3	0,22	0,22	0	< 0,22	0,22	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFNA	Eau du robinet	Espagne	9	0,22	1,28	33	< 0,10	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	4		2,2	100	0,32	6,3	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOA	Eau du robinet	Japon	26		22	100	2,3	84	Takagi <i>et al.</i> (2008)
PFOA	Eau du robinet	Chine	43		10	100	0,02	78	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFOA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	692	23		93	< 10	83	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	113	< 10		27	< 10	68	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Italie	6		2,4		1	2,9	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	7		0,9	86	< 0,4	1,3	Quinete <i>et al.</i> (2009)
PFOA	Eau du robinet	Etats-Unis	66		8,4	27	< 1	30	Quinones et Snyder (2009)
PFOA	Eau du robinet	Japon	6		9,9	100	0,12	40	Saito <i>et al.</i> (2004)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	21	< 2	4	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	26	2,6		19	< 1	6,1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		3,7	100	3,2	4,3	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	5	1,3	1,3	40	< 0,16	1,9	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	84	2,9	6,7	37	< 0,16	35	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Europe	7	4,92	4,36	100	0,302	8,56	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Australie	61	0,5	1,08	49	< 0,13	9,66	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Corée	15		5,4		< 0,33	33	Kim <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Norvège	3	1,2	1,45	100	1,2	2,5	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	10	0,78	2,54	50	< 0,40	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	4		0,9	50	< 0,61	3	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHpA	Eau du robinet	Chine	43		?	83	< 0,02	?	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFHpA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	< 10		2	< 10	12	Wilhem <i>et al.</i> (2010)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFHpA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		14	< 10	25	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHpA	Eau du robinet	Italie	6		0,5		0,3	0,8	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	0	< 2		Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	26	1,5		12	< 1	1,5	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		1,2	100	0,9	1,4	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	5	7,6	9,2	100	0,23	24	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	84	10,8	8,1	13	< 0,23	16	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau du robinet	Europe	7	1,09	1,03	86	< 0,12	1,91	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHpA	Eau du robinet	Australie	61	0,15	0,4	27	< 0,15	2,54	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHpA	Eau du robinet	Norvège	3	0,32	0,4	67	< 0,12	0,76	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	10	0,41	0,89	40	< 0,10	3,3	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,87	0	< 0,87		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxA	Eau du robinet	Chine	43		?	86	< 0,02	1,7	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFHxA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	185	< 10		49	< 10	40	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	20		66	< 10	43	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Etats-Unis	66		4	47	< 1	23	Quinones et Snyder (2009)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	7	< 2	9	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	26	2		23	< 1	6,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		2,3	100	2,2	2,4	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	5	0,7	0,9	80	< 0,23	1,8	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	84	3	4,7	18	< 0,23	11	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Europe	7	2,86	2,48	86	< 0,38	5,15	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxA	Eau du robinet	Australie	61	0,13	0,59	13	< 0,13	5,53	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHxA	Eau du robinet	Norvège	3	0,31	0,4	67	< 0,11	0,78	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	9	0,23	0,63	44	< 0,10	2,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Chine	43		0,72	< 50	< 0,4	1,8	Mak <i>et al.</i> (2009)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFPeA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	181	10		57	< 10	36	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFPeA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	20		67	< 10	55	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	7	< 2	4	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	26	2		19	< 1	5,2	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFPeA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		2,4	100	1,7	2,8	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	5		1,2	20	< 0,76	1,2	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Espagne	84	1,7	3,8	38	< 0,76	17	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Europe	7	0,53	0,99	43	< 0,53	2,69	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFPeA	Eau du robinet	Australie	61	0,13	0,62	18	< 0,13	4,23	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFPeA	Eau du robinet	Espagne	10	0,19	0,39	40	< 0,10	1,7	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Chine	43		?	60	< 0,4	10	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFBA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	19		79	< 10	66	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	75		91	< 10	150	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	0	< 2		Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFBA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		15	100	9,3	18	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFBA	Eau du robinet	Allemagne	5		0,4	20	-	0,4	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Espagne	84	10	10	52	< 2,4	27	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Espagne	10	0,33	0,89	70	< 0,33	4,3	Domingo <i>et al.</i> (2012)
FOSA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,19	0	< 0,19		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFTTrA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFTTrA	Eau du robinet	Espagne	8	0,10	0,14	12,5	< 0,10	0,5	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 1,2	0	< 1,2	< 1,2	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Espagne	84	4,5	8	6	< 1,2	25	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,32	0	< 0,32	< 0,32	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDPa	Eau du robinet	Allemagne	5		10	20	< 1,7	10	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDPa	Eau du robinet	Espagne	84	11	14	6	< 1,7	23	Llorca <i>et al.</i> (2012)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDDPA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,52	0	< 0,52	< 0,52	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxPA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,52	0	< 0,52	< 0,52	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFTDA	Eau du robinet	Espagne	8	0,29	0,34	0	< 0,29	< 0,50	Domingo <i>et al.</i> (2012)

Même si les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule, diffèrent selon les études, les plus souvent recherchées dans les EDCH de réseaux étant le PFOS et le PFOA, il apparaît que la teneur moyenne en PFAS dans ce type d'eau est de l'ordre du nanogramme voire de la dizaine de nanogrammes par litre et que les plus fortes teneurs peuvent atteindre la centaine de nanogrammes par litre.

Tableau VI : Concentration en PFAS mesurées dans différentes eaux de consommation humaine conditionnées (en ng/L)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 1	0	< 1		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,24	0	< 0,24		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,5		9	< 1	6	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau conditionnée	Allemagne	2	1	1	50	< 0,04	1	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,04	0	< 0,04	< 0,04	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,18	0	< 0,18		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxS	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,4		1	< 1	1,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,27	0	< 0,27		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFBS	Eau conditionnée	Allemagne	26	2,7		42	< 1	5,8	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFDoA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,34	0	< 0,34		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDoA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFUnA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,43	0	< 0,43		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,82	0	< 0,82		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFNA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,42	0	< 0,42		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFNA	Eau conditionnée	Allemagne	119	3		2	< 1	3,3	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,39	25	< 0,39	0,67	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOA	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,6		26	< 1	3,7	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,61	0	< 0,61		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHpA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau conditionnée	Allemagne	2	12	12	100	-	17	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,23	0	< 0,23	< 0,23	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,87	0	< 0,87		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau conditionnée	Allemagne	2	0,17	0,17	50	-	0,17	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,23	0	< 0,23	< 0,23	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,7		28	< 1	7,8	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
FOSA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,19	0	< 0,19		Ericson <i>et al.</i> (2008)

Même si les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule, diffèrent selon les études, il apparaît que la contamination moyenne des eaux conditionnées est plus faible que celle des eaux distribuées en réseaux, les plus fortes teneurs étant de l'ordre du nanogramme par litre.

6 – Données nationales d'exposition hydrique aux PFAS

Début 2008, la DGS a mandaté le LHN pour réaliser une campagne nationale d'occurrence de ces substances (Anses, 2011a). Celle-ci a été menée en deux temps sur des eaux brutes et traitées. Une première campagne réalisée pendant l'été 2009, avait pour objectif de caractériser la présence de ces substances au plan national. La seconde campagne, menée en juin 2010, avait pour objectif de vérifier la contamination observée sur les sites choisis pour la première campagne et d'étudier de possibles fluctuations temporelles.

Les concentrations en PFAS ont été déterminées en utilisant un automate d'extraction en phase solide (SPE) et une chromatographie liquide couplée à une spectrométrie de masse en tandem (CL-SM/SM). La méthode d'analyse est inspirée de la norme ISO 25101²⁴ et a été validée suivant la norme NF T 90-210²⁵ dans les trois types de matrices (eau de surface, eau souterraine et EDCH).

La méthode analytique développée a permis de quantifier 3 PFSA (PFOS, PFHxS et PFBS) et 7 PFCA (PFDA, PFNA, PFOA, PFHpA, PFHxA, PFPeA et PFBA) avec une limite de détection (LD) de 1 ng/L et une LQ de 4 ng/L.

Niveaux de contamination des EDCH prélevées lors de la première campagne d'analyse

Les objectifs de la première campagne étaient :

- de réaliser une couverture nationale homogène en prenant en compte au moins deux prélèvements dans tous les départements, y compris les départements d'Outre-Mer ;
- de choisir des sites de prélèvements, dont les débits cumulés représentaient au moins 20 % de la production nationale. Ainsi l'ouvrage produisant le débit le plus important a été retenu dans chaque département ;
- de réduire le biais entre les sites potentiellement contaminés et ceux pour lesquels l'occurrence de ces composés étaient improbables. Un site de prélèvement a été choisi aléatoirement dans chaque département et un autre a été laissé à l'appréciation de chaque Direction Territoriale des ARS en fonction de leurs connaissances sur la vulnérabilité de la ressource.

Pour la première campagne d'analyse, 262 échantillons d'eaux brutes et 190 échantillons d'EDCH ont été réceptionnés. 66 échantillons d'eau brute présentaient une concentration supérieure à la LQ (4 ng/L) pour au moins un composé perfluoré. 41 échantillons d'EDCH appariés à 41 échantillons d'eau brute parmi les 66 pré-cités ont été analysés.

Le tableau VII présente le nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne d'analyse.

²⁴ Norme ISO 25101 (2009) Qualité de l'eau - Détermination du sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et de l'octanoate perfluoré (PFOA) - Méthode par extraction en phase solide et chromatographie liquide/spectrométrie de masse pour des échantillons non filtrés

²⁵ Norme NF T 90-210 (2009) Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire

Tableau VII : Nombre de résultats par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne nationale d'analyse réalisée par le LHN.

Sigles	Type eau brute	Classes de concentration (ng/L)									
		< LoD	> LoD - < LoQ	> LoQ - < 10	> 10 - < 20	> 20 - < 30	> 30 - < 40	> 40 - < 50	> 50 - < 60	> 60 - < 70	> 70
PFBS	ESU ^a	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO ^b	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
PFHxS	ESU	3	21	2	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	0	11	3	1	0	0	0	0	0	0
PFOS	ESU	4	12	10	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	2	4	6	3	0	0	0	0	0	0
PFBA	ESU	24	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0
PFPeA	ESU	12	12	1	0	0	1	0	0	0	0
	ESO	7	6	1	1	0	0	0	0	0	0
PFHxA	ESU	3	18	4	0	1	0	0	0	0	0
	ESO	6	3	4	2	0	0	0	0	0	0
PFHpA	ESU	17	8	0	1	0	0	0	0	0	0
	ESO	8	5	2	0	0	0	0	0	0	0
PFOA	ESU	17	6	3	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	5	6	4	0	0	0	0	0	0	0
PFNA	ESU	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	12	1	1	1	0	0	0	0	0	0
PFDA	ESU	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ESO	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Eau de surface^b Eau souterraine

Niveaux de contamination des EDCH prélevées lors de la seconde campagne d'analyse

Les objectifs de la seconde campagne étaient :

- de confirmer les résultats positifs observés lors de la première campagne,
- d'étudier sur les eaux superficielles la répartition des PFAS qui a priori, pourrait être fonction des propriétés physico-chimiques de ces molécules dans la colonne d'eau ;
- d'établir une description des ressources en fonction de leur niveau de contamination afin de mener ultérieurement des études permettant d'identifier l'origine de la contamination sur les ressources les plus contaminées.

Au total, lors de la seconde campagne d'analyse, 69 échantillons d'eau brute et 69 échantillons d'EDCH ont été réceptionnés et analysés.

Le tableau VIII présente le nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse.

Tableau VIII : Nombre de résultats de contamination par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse réalisée par le LHN

Sigles	Type eau brute	Classes de concentration (ng/L)									
		< LoD	> LoD - < LoQ	> LoQ - < 10	> 10 - < 20	> 20 - < 30	> 30 - < 40	> 40 - < 50	> 50 - < 60	> 60 - < 70	> 70
PFBS	ES	21	16	1	0	0	0	0	0	0	0
	U										
PFHxS	ES	15	19	3	1	0	0	0	0	0	0
	U										
PFOS	ES	9	21	6	2	0	0	0	0	0	0
	U										
PFBA	ES	25	11	2	0	0	0	0	0	0	0
	U										
PFPeA	ES	19	13	5	0	1	0	0	0	0	0
	U										
PFHxA	ES	12	14	10	0	0	1	0	0	0	1
	U										
PFHpA	ES	22	13	2	1	0	0	0	0	0	0
	U										
PFOA	ES	10	23	4	1	0	0	0	0	0	0
	U										
PFNA	ES	36	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	U										
PFDA	ES	25	4	1	1	0	0	0	0	0	0
	U										
PFDA	ES	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	U										

ES	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O											

Niveaux de contamination des eaux et d'exposition aux PFAS prélevés lors de la seconde étude nationale de l'alimentation totale (EAT2, Anses, 2011b)

Six échantillons d'eau ont été constitués dans plusieurs régions de France et lors de plusieurs saisons afin de tenir compte d'une variabilité spatiale (régionalisation de l'échantillonnage) et temporelle (saisonnalité de l'échantillonnage) de la contamination des eaux par les PFAS. Trois échantillons étaient chacun constitués de 15 sous-échantillons d'EDCH et les trois autres étaient constitués de 15 sous-échantillons d'eaux de sources conditionnées, choisis en fonction des niveaux de consommation renseignés par l'étude INCA2 (2006-2007).

Les autres aliments ont été échantillonnés selon un protocole décrit dans le rapport de la seconde étude de l'alimentation totale (EAT2, juin 2011).

Les performances analytiques peuvent être variables selon les matrices analysées (eau et autres aliments), ce qui peut induire des conséquences sur l'estimation de la contribution de l'exposition hydrique à l'exposition alimentaire totale.

La méthode de dosage de seize PFAS (cinq PFSA dont le PFOS et 11 PFCA dont le PFOA) dans les aliments solides est basée sur une extraction solide / liquide avec du méthanol. Les extraits sont purifiés sur une colonne de support polymérique en phase inverse et une colonne de charbon puis centrifugés. Ils sont analysés par CL-SM/SM et quantifiés après ionisation par électrospray en mode négatif.

Pour les eaux, 100 mL de chaque échantillon sont déposés sur une colonne SPE en phase inverse avant d'être élués puis concentrés avant injection en CL-SM/SM.

Les échantillons de lait et les produits laitiers sont extraits avec de l'acétone. Le protocole de purification pour les échantillons de poissons consiste à purifier les échantillons par SPE dispersive (mélange de la phase de purification avec l'extrait) avec de la phase charbon. Les extraits sont ensuite centrifugés avant d'être concentrés sous courant d'azote.

Les LD et LQ, dépendantes de la matrice et du composé recherché, étaient comprises entre 0,2 pg/g de poids frais et 3,73 ng/g poids de frais.

Le tableau IX présente les résultats des concentrations moyennes de l'eau en PFAS retenues dans l'EAT2 pour les six échantillons composites d'eau de source et d'eau du réseau prélevées aux robinets.

Tableau IX : Niveaux de contamination moyens de l'eau de consommation humaine en PFAS d'après l'EAT2

	Contamination hydrique (ng/L) (n=6)	
	LB*	UB**
PFBA	0	5
PFBS	1	2
PFDA	0	1
PFDS	0	1
PFDoA	0	1
PFHpA	3	28
PFHpS	0	16

PFHxA	2	8
PFHxS	2	2
PFNA	0	1
PFOA	1	16
PFOS	1	2
PFPeA	0	4
PFUnA	0	8

* LB (lower bound) : l'hypothèse basse correspond à un scénario pour lequel les valeurs non détectées sont estimées égales à zéro et les valeurs détectées mais non quantifiées sont estimées égales à la LD.

** UB (upper bound) : l'hypothèse haute correspond à un scénario pour lequel les valeurs non détectées sont estimées égales à la LD et les valeurs détectées mais non quantifiées sont estimées égales à la LQ.

Les données de contamination de l'alimentation ont été couplées aux données de consommation individuelles de l'étude INCA2 (2006-2007) afin d'estimer des expositions journalières par ingestion, en particulier les expositions hydriques, les expositions alimentaires totales et la contribution de l'exposition hydrique à l'exposition alimentaire totale pour les adultes et les enfants de 3 à 17 ans.

Le tableau X résume les expositions hydriques et alimentaires totales en moyenne et au 95^e percentile ainsi que la contribution hydrique moyenne pour les adultes et les enfants pour les différents PFAS intégrés dans l'étude EAT2.

Tableau X : Expositions hydriques et alimentaires (borne haute – UB) en moyenne et au 95^e percentile ainsi que la contribution hydrique moyenne pour les adultes et les enfants concernant les composés perfluorés (données EAT2 2006-2010)

	Exposition hydrique adulte (ng.kg p.c. ⁻¹ .j. ¹)		Exposition totale adulte (ng.kg p.c. ⁻¹ .j. ¹)		Contribution hydrique adulte (%)	Exposition hydrique enfant (ng.kg p.c. ⁻¹ .j. ¹)		Exposition totale enfant (ng.kg p.c. ⁻¹ .j. ¹)		Contribution hydrique enfant (%)
	Moy	P95	Moy	P95		Moy	P95	Moy	P95	
PFBA	0,03	0,11	2,57	4,39	1,3	0,05	0,15	5,29	10,92	1,0
PFBS	0,02	0,05	1,16	2,08	1,36	0,02	0,06	2,34	4,72	1,0
PFDA	0,01	0,02	0,34	0,64	1,6	0,01	0,02	0,81	1,85	1,0
PFDS	0,01	0,04	0,40	0,85	2,3	0,01	0,05	1,03	2,56	1,3
PFDoA	0,01	0,02	0,81	1,95	0,74	0,01	0,03	2,19	6,00	0,4
PFHpA	0,17	0,78	0,76	1,54	22,9	0,26	1,07	1,73	3,99	15,2
PFHpS	0,17	0,69	0,70	1,45	23,9	0,25	0,96	1,52	3,18	16,7
PFHxA	0,08	0,31	0,86	1,67	9,4	0,12	0,38	2,02	4,43	6,0
PFHxS	0,02	0,07	0,38	0,70	4,8	0,03	0,08	0,86	1,88	3,1
PFNA	0,01	0,02	0,49	0,97	1,5	0,01	0,03	1,14	2,48	1,0
PFOA	0,17	0,71	0,74	1,50	23,2	0,26	0,96	1,55	3,24	16,7
PFOS	0,02	0,06	0,66	1,15	2,6	0,03	0,07	1,38	2,88	1,9
PFPeA	0,03	0,12	1,50	2,60	2,3	0,05	0,15	3,23	6,67	1,5
PFUnA	0,06	0,20	3,23	6,19	1,8	0,09	0,27	7,21	15,99	1,2

Il apparaît que la contribution de l'exposition hydrique par rapport à l'exposition alimentaire totale varie entre 1,3 et 24 % chez les adultes et entre 0,4 et 17 % chez les enfants (estimation en borne supérieure de la contamination alimentaire ou scénario UB).

7 – Valeur de référence dans l'eau destinée à la consommation humaine

Seuls quelques états Nord-américains, l'agence américaine pour la protection de l'environnement (US EPA) et l'Allemagne ont proposé des valeurs guides (VG) dans les EDCH pour le PFOS, le PFOA, le PFBA ou le PFBS. Ces valeurs sont présentées dans le tableau XI.

Tableau XI : Valeurs guides en composés perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine.

	Désignation de la valeur guide par les différentes instances	PFOA	PFOS	PFBA	PFBS
Amérique du Nord					
<i>Minnesota</i>	Chronic non-cancer health risk limit	300 ng/L	300 ng/L	7 µg/L	7 µg/L
<i>New Jersey</i>	Health-based drinking water concentration protective for lifetime exposure	40 ng/L		-	-
<i>Caroline du Nord</i>	Acceptable water level	630 ng/L		-	-
<i>US EPA</i>	Provisional health advisory value	400 ng/L	200 ng/L	-	-
Europe					
<i>Allemagne</i>	Health-based guidance value for safe lifelong exposure for all population groups	[PFOA] + [PFOS] < 300 ng/L		-	-

UK	Maximum acceptable concentration	10 µg/L	0,3 µg/L	-	-
-----------	----------------------------------	---------	----------	---	---

Wilhem *et al.* (2010) ont proposé des valeurs indicatives basées sur des critères sanitaires (Health-related indication values ou HRIV) pour différents PFAS (autres que PFBA, PFOA et PFOS). La méthodologie adoptée par ces auteurs s'appuie sur une démarche validée par l'agence fédérale allemande pour l'environnement (UBA) qui propose des valeurs indicatives dans l'eau de boisson pour des contaminants chimiques dont les données toxicologiques sont fragmentaires (UBA, 2003). Cette méthode est une adaptation pragmatique de la démarche du seuil de préoccupation toxicologique (Threshold of toxicological concern ou TTC) appliquée à l'élaboration de VG dans l'eau de boisson. Les HRIV ainsi proposés par l'UBA peuvent varier entre 0,01 et 3 µg/L. Dans le cas des PFAS, Wilhem *et al.* ont hiérarchisé les HRIV de ces molécules en fonction de la demi-vie d'élimination estimée chez l'animal d'une part (singe et rat) et chez l'Homme ainsi qu'en fonction de l'appartenance de ces molécules à la famille des acides carboxyliques alkyls perfluorés (PFCA) d'une part ou à celle des acides sulfoniques perfluoroalcanes (PFSA).

Le tableau XII résume les HRIV proposés par Wilhem *et al.* pour différents PFAS.

Tableau XII : Valeurs limites indicatives (HRIV) pour différents PFAS (Wilhem *et al.*, 2010).

Famille	Composé perfluoré	HRIV (µg/L)
PFCA	PFPA	3
	PFHxA	1
	PFHpA	0,3
PFSA	PFBS	3
	PFPS	1
	PFHxS	0,3
	PFHpS	0,3

8 – Synthèse et perspectives

Les PFAS ne sont pas inclus dans le contrôle sanitaire des EDCH. A ce jour, les données nationales connues sont issues des travaux du LHN, publiés dans le rapport de mai 2011 relatif aux campagnes nationales d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux brutes et distribuées. D'autres campagnes de prélèvement et d'analyse, dites « exceptionnelles », ont été réalisées à la demande de la direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) :

- en 2011 sur les eaux souterraines en métropole par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ;
- en 2012 sur les eaux de surface dans les DOM et en métropole et sur les eaux souterraines dans les DOM (Onema pour la maîtrise d'ouvrage ; INERIS, BRGM et IFREMER pour la mise en œuvre technique).

Les résultats de ces campagnes d'analyse ne sont pas connus. Les molécules de la famille des composés perfluorés analysées sont citées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Liste des molécules de composés perfluorés recherchées dans les eaux prélevées au cours des campagnes dites « exceptionnelles » d'échantillonnage de 2011 et 2012 à la demande de la DEB du MEDDE.

Campagnes	Campagne eaux souterraines - Métropole	Campagne eaux surface - Métropole et DOM	Campagne eaux souterraines - DOM
-----------	--	--	----------------------------------

Molécules	EtFOSA	EtFOSA	PFHpA
	PFDS	MeFOSA	PFUnA
	PFDA	PFDA	PFOS
	PFDoA	PFDoA	PFOA
	PFHpA	PFUnA	
	PFHS	FOSA	
	PFHxA		
	PFNA		
	PFUnA		
	FOSA		
	PFOS		
	PFOA		
	PFTDA		

Par ailleurs, le PFOS a été identifiée comme substance dangereuse prioritaire dans l'annexe X de la directive du parlement européen et du conseil du 12 août 2013²⁶. Aujourd'hui, la présence de PFOS dans l'environnement résulte davantage des activités et usages antérieurs que de foyers de production actuels. En effet, le principal fabricant de cette molécule (Société 3M) a arrêté sa synthèse en 2002. Il n'existerait plus de production de PFOS en Europe et en Amérique du Nord. Cette production subsiste néanmoins en Chine. Une dérogation d'usage existe aujourd'hui en Europe pour certaines applications (Directive 2006/122/ECOF du 12 décembre 2006²⁷).

Les résultats des campagnes nationales d'analyse réalisées par le LHN dans des eaux conduisent à recommander le suivi d'au moins quatre PFAS dans les eaux brutes et traitées (PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS) pour disposer d'une information suffisamment robuste sur la contamination des eaux par les PFAS. En effet, dans ces conditions, sur 45 échantillons d'eau brute, seuls 2 échantillons (4 %) sont caractérisés par le fait que le calcul de la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS. Sur 35 échantillons d'EDCH, 5 (14 %) sont tels que la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS.

Des PFAS peuvent se former au cours des processus de traitement de l'eau (par exemple PFHpA ou PFPeA), par décomposition de précurseurs dans les filières de potabilisation.

Les propriétés physico-chimiques des PFAS sont suffisamment hétérogènes pour induire des conséquences sur :

- leur comportement et leur devenir dans l'environnement avec, par exemple, une plus grande mobilité dans les sols des PFCA à chaîne perfluoroalcane courte, l'adsorption dans les sédiments des PFAS à chaîne carbonée longue, la décomposition de précurseurs en PFCA, etc ;
- leur comportement et leur devenir au cours des processus de production de l'EDCH avec, par exemple, une meilleure rétention des PFAS à longue chaîne carbonée par filtration sur charbon actif en grains ;

²⁶ Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

²⁷ Directive 2006/122/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 portant trentième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (sulfonates de perfluorooctane).

- la contribution hydrique par rapport à l'apport alimentaire total qui varie de 1 à 20 % selon la molécule envisagée d'après les résultats de l'EAT2.

La question de la caractérisation des dangers des PFAS se pose, compte tenu de l'hétérogénéité de leurs propriétés physico-chimiques. Les données toxicologiques les mieux renseignées concernent le PFOS et le PFOA, ce qui explique pourquoi des valeurs guides dans l'EDCH sont le plus souvent proposées pour ces deux molécules seulement.

Conclusions et remarques

Considérant que les PFAS ne figurent pas dans la liste des paramètres du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) ;

Le CES « Eaux » :

- constate que des PFAS peuvent être détectés dans des eaux brutes et des EDCH et recommande, lors d'étude d'occurrence de ces molécules dans les EDCH, de rechercher au moins le PFOS, le PFOA, le PFHxA et le PFHxS afin de caractériser la contamination des eaux par les PFAS ;
- observe que, parmi les procédés de traitement qui présentent une efficacité pour diminuer les teneurs en PFAS dans les EDCH, seules la nanofiltration et l'osmose inverse présentent une efficacité supérieure à 70 % (99 % pour l'osmose inverse) et constate que les oxydants, y compris l'ozone, n'ont aucun effet sur ces molécules ;
- constate la transformation éventuelle de certains PFAS en PFAS à chaînes perfluorées courtes (typiquement C3 à C6) au cours de la filtration sur charbon actif en grain ;
- observe que la part hydrique des PFAS à l'exposition alimentaire totale nationale est minoritaire puisque, selon les données issues de l'EAT2 et en fonction du PFAS considéré, cette contribution peut être estimée entre 1 et 20 % chez les enfants et les adultes ;
- rappelle que la toxicité des PFAS sera décrite par le CES « Chimie » et publiée, dans un premier temps, dans un rapport intermédiaire en cours de rédaction au sein de la Direction de l'évaluation des risques de l'Anses.

Références bibliographiques

Anses (2011a) Campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. ISBN 978-2-11-128592-7. 117 p.

Anses (2011b) Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT2). Tome 1. Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-œstrogènes. ISBN 978-2-11-128112-7. 305 p.

Borg, D., Lund, B.-O., Lindquist, N.-G., Håkansson, H. (2013) Cumulative health risk assessment of 17 perfluoroalkylated and polyfluoroalkylated substances (PFASs) in the Swedish population. *Environment International*, 59, pp. 112-123.

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., Voogt, P.D., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., van Leeuwen, S.P.J. (2011) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7 (4), pp. 513-541.

Domingo, J.L., Ericson-Jogsten, I., Perelló, G., Nadal, M., Van Bavel, B., Kärman, A. (2012) Human exposure to perfluorinated compounds in Catalonia, Spain: Contribution of drinking water and fish and shellfish. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (17), pp. 4408-4415.

Efsa (2008) Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts, *The EFSA Journal* (2008). Journal number, 653, 1-131.

Ericson, I., Nadal, M., Van Bavel, B., Lindström, G., Domingo, J.L. (2008) Levels of perfluorochemicals in water samples from Catalonia, Spain: Is drinking water a significant contribution to human exposure? *Environmental Science and Pollution Research*, 15 (7), pp. 614-619.

Eschauzier, C., Beerendonk, E., Scholte-Veenendaal, P., De Voogt, P. (2012) Impact of treatment processes on the removal of perfluoroalkyl acids from the drinking water production chain. *Environmental Science and Technology*, 46 (3), pp. 1708-1715.

Eschauzier, C., Hoppe, M., Schlummer, M., de Voogt, P. (2013) Presence and sources of anthropogenic perfluoroalkyl acids in high-consumption tap-water based beverages. *Chemosphere*, 90 (1), pp. 36-41.

Flores, C., Ventura, F., Martin-Alonso, J., Caixach, J. (2013) Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in N.E. Spanish surface waters and their removal in a drinking water treatment plant that combines conventional and advanced treatments in parallel lines. *Science of the Total Environment*, 461-462, pp. 618-626.

Gellrich, V., Brunn, H., Stahl, T. (2013) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in mineral water and tap water. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 48 (2), pp. 129-135.

Haug, L.S., Salihovic, S., Jogsten, I.E., Thomsen, C., van Bavel, B., Lindström, G., Becher, G. (2010) Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere*, 80 (10), pp. 1137-1143.

Kim, S.-K., Kho, Y.L., Shoeib, M., Kim, K.-S., Kim, K.-R., Park, J.-E., Shin, Y.-S. (2011) Occurrence of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate in the Korean water system: Implication to water intake exposure. *Environmental Pollution*, 159 (5), pp. 1167-1173.

Leider PH, SC Chang, RG York, JL Butenhoff (2009) Toxicological evaluation of potassium perfluorobutanesulfonate in a 90-day oral gavage study with Sprague-Dawley rats. *Toxicology* 255:45-52.

- Llorca, M., Farré, M., Picó, Y., Müller, J., Knepper, T.P., Barceló, D. (2012) Analysis of perfluoroalkyl substances in waters from Germany and Spain. *Science of the Total Environment*, 431, pp. 139-150.
- Loos, R., Wollgast, J., Huber, T., Hanke, G. (2007) Polar herbicides, pharmaceutical products, perfluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and nonylphenol and its carboxylates and ethoxylates in surface and tap waters around Lake Maggiore in Northern Italy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387 (4), pp. 1469-1478.
- McLaughlin, C.L., Blake, S., Hall, T., Harman, M., Kanda, R., Foster, J., Rumsby, P.C. (2011) Perfluorooctane sulphonate in raw and drinking water sources in the United Kingdom. *Water and Environment Journal*, 25 (1), pp. 13-21.
- Mak YL, Taniyasu S, Yeung LW, Lu G, Jin L, Yang Y, Lam PK, Kannan K, Yamashita N (2009) Perfluorinated compounds in tap water from China and several other countries. *Environmental Science and Technology*. 43(13):4824-9.
- Minnesota Department of Health (2011a) Chemical Name: Perfluorobutyrate. CAS: 375-22-4. Synonyms: PFBA, Perfluorobutyric acid, Heptafluorobutyric acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- Minnesota Department of Health (2011b) Chemical Name: Perfluorobutane sulfonate. CAS: 375-73-5. Synonyms: PFBS, Nonfluorobutanesulphonic acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- NOTOX (2007) Project 470677 Final Report. Repeated dose 28-day oral toxicity study with MTDID-8391 by daily gavage in the rat, followed by a 21-day recovery period. 21 Juin 2007.
- Phillips, M.M., Dinglasan-Panlilio, M.J.A., Mabury, S.A., Solomon, K.R., Sibley, P.K. (2007) Fluorotelomer acids are more toxic than perfluorinated acids. *Environmental Science and Technology*, 41 (20), pp. 7159-7163.
- Post, G.B., Cohn, P.D., Cooper, K.R. (2012) Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: A critical review of recent literature. *Environmental Research*, 116, pp. 93-117.
- Quinete, N., Orara, F., Werres, F., Moreira, I., Wilken, R.-D. (2009) Determination of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid in the rhine river, Germany. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (7 B), pp. 1356-1362.
- Quiñones, O., Snyder, S.A. (2009) Occurrence of perfluoroalkyl carboxylates and sulfonates in drinking water utilities and related waters from the United States. *Environmental Science and Technology*, 43 (24), pp. 9089-9095.
- Saito, N., Harada, K., Inoue, K., Sasaki, K., Yoshinaga, T., Koizumi, A. (2004) Perfluorooctanoate and Perfluorooctane Sulfonate Concentrations in Surface Water in Japan. *Journal of Occupational Health*, 46 (1), pp. 49-59.
- Skutlarek, D., Exner, M., Färber, H. (2006) Perfluorinated surfactants in surface and drinking waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 13 (5), pp. 299-307.
- Steinle-Darling, E., Reinhard, M. (2008) Nanofiltration for trace organic contaminant removal: Structure, solution, and membrane fouling effects on the rejection of perfluorochemicals. *Environmental Science and Technology*, 42 (14), pp. 5292-5297.

- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Mimura, M., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2008) Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in raw and treated tap water from Osaka, Japan. *Chemosphere*, 72 (10), pp. 1409-1412.
- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2011) Fate of Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in drinking water treatment processes. *Water Research*, 45 (13), pp. 3925-3932.
- Tang, C.Y., Fu, Q.S., Robertson, A.P., Criddle, C.S., Leckie, J.O. (2006) Use of reverse osmosis membranes to remove perfluorooctane sulfonate (PFOS) from semiconductor wastewater. *Environmental Science and Technology*, 40 (23), pp. 7343-7349.
- Thompson, J., Eaglesham, G., Mueller, J. (2011) Concentrations of PFOS, PFOA and other perfluorinated alkyl acids in Australian drinking water. *Chemosphere*, 83 (10), pp. 1320-1325.
- UBA (German Federal Environment Agency) (2003) Evaluation from the point of view of health of the presence in drinking water of substances that are not (yet) possible or only partially possible to evaluate. Recommendation of the Federal Environmental Agency after consultation with the Drinking Water Commission at the Federal Environmental Agency <http://www.umweltdaten.de/wassere/empfnichtbewertstoffe-english.pdf>.
- Ullah, S., Alsberg, T., Berger, U. (2011) Simultaneous determination of perfluoroalkyl phosphonates, carboxylates, and sulfonates in drinking water. *Journal of Chromatography A*, 1218 (37), pp. 6388-6395.
- Wilhelm, M., Bergmann, S., Dieter, H.H. (2010) Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213 (3), pp. 224-232.
- Xiao, F., Simcik, M.F., Gulliver, J.S. (2013) Mechanisms for removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation. *Water Research*, 47 (1), pp. 49-56.
- York RG (2003) Oral (Gavage) Repeated Dose 90-Day Toxicity Study of Potassium Perfluorobutane Sulfonate (PFBS) in Rats. Argus Research Protocol Number 418-026.



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)