



EHESP



Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2011 - 2012**

Date du Jury : **Octobre 2012**

**Evaluation de l'exposition alimentaire
aux perfluoroalkyles de populations
spécifiques : cas des forts
consommateurs des produits de la mer**

Ami Yamada

**Référente pédagogique :
Nathalie Bonvallot**

**Référente professionnelle :
Nawel Bemrah**

**Lieu de stage :
ANSES, Maisons-Alfort**

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à Nawel Bemrah pour sa disponibilité (même pendant les congés !), son encadrement et son soutien tout au long de ce mémoire.

Je remercie Nathalie Bonvallot pour ses conseils pendant la préparation du mémoire.

Je remercie Jean-Charles Leblanc pour m'avoir accueillie au sein du département « évaluation des risques liés aux aliments », sa bonne humeur bretonne, et pour m'avoir offert l'opportunité de continuer ce projet par le biais d'un CDD.

Je remercie toutes les personnes de l'ANSES avec qui j'ai pu échanger professionnellement, Véronique Sirot, Virginie Desvignes, et celles qui ont contribué à mon intégration au sein de la direction de l'évaluation des risques... Vous êtes bien trop nombreux pour que je puisse vous citer ici, mais je ne doute pas que vous vous reconnaîtrez.

Enfin, je remercie le « comité des fêtes IGS », qui lui aussi se reconnaîtra, pour cette année passée ensemble et les discussions à propos du mémoire.

Sommaire

1	Introduction	1
2	Intégration du mémoire dans le projet CONTREPERF	3
2.1	Généralités sur les composés perfluorés	3
2.1.1	Terminologie et classification des perfluoroalkyles	3
2.1.2	Propriétés physico-chimiques	3
2.1.3	Usage, sources et transport des perfluoroalkyles	4
2.1.4	Toxicité des composés perfluorés	5
2.1.5	Réglementation en vigueur	8
2.2	Le projet CONTREPERF : métabolisme, toxicité et exposition	9
2.2.1	Vue d'ensemble du projet CONTREPERF	9
2.2.2	Organisation du projet et tâches de l'ANSES	10
3	Méthodologie	12
3.1	Données de consommation alimentaire	13
3.2	Données de contamination alimentaire	14
3.2.1	Données de contamination de l'étude CALIPSO	15
3.2.2	Données de contamination de l'EAT2	16
3.2.3	Comparaison des niveaux de contamination en composés perfluorés des échantillons des études Calipso et EAT2	17
3.3	Les hypothèses de travail	18
3.3.1	Taux de censure des données	18
3.3.2	Traitement des données aberrantes ou manquantes	18
3.4	Tests statistiques	22
4	Résultats	22
4.1	Description de la contamination en composés perfluorés des produits de la mer	22
4.1.1	Description de la contamination en PFC par type de produits de la mer	23
4.1.2	Description de la contamination en PFC par espèce	24
4.1.3	Description de la contamination en PFC par site	27

4.2	Description de l'exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs des produits de la mer	28
4.2.1	Exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs de produits de la mer de l'étude CALIPSO	28
4.2.2	Comparaison de l'exposition alimentaire aux PFC hommes/femmes.....	34
4.2.3	Comparaison de l'exposition alimentaire aux PFC des 4 sites de l'étude CALIPSO	36
4.3	Comparaison de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés des forts consommateurs de produits de la mer à la population générale	37
5	Discussion.....	37
5.1	Contamination des produits de la mer	37
5.2	Exposition alimentaire aux composés perfluorés.....	39
6	Conclusion.....	40
7	Retour d'expérience	41
8	Perspectives.....	43
	Bibliographie	44
	Liste des annexes	47
	Liste des illustrations	47

Liste des sigles utilisés

AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANR	Agence Nationale de la Recherche
CALIPSO	Consommations Alimentaires de poissons et produits de la mer et Imprégnation aux éléments traces, Polluants et Omega 3
CIQUAL	Centre d'Information sur la QUalité des ALiments
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
DER	Direction de l'Evaluation des Risques
DERA	Département Evaluation des Risques liés aux Aliments
DJT	Dose Journalière Tolérée
EAT	Etude de l'Alimentation Totale française
EFSA	European Food Safety Authority
INCA	Etude Individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires
ICAR	Imprégnation et Consommation Alimentaire de produits de Rivière
IRCM	Institut de Recherche en Cancérologie de Montpellier
INRA	Institut de Recherche Agronomique
INSERM	Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
InVS	Institut de Veille Sanitaire
LABERCA	LABoratoire d'Etude des Résidus et Contaminants dans les Aliments
LB	Lower Bound
LOD	Limit Of Detection
LOQ	Limit of Quantification
ONIRIS	Ecole nationale vétérinaire, agro-alimentaire et de l'alimentation Nantes Atlantique
PCB	Polychlorobiphényle
PE	Perturbateur Endocrinien
PFAS	PerFluoroAlkyl and polyfluoroalkyl Substances
PFBA	Acide perfluorobutanoïque (PerFluoroButanoic Acid)
PFBS	Perfluorobutane sulfonate
PFC	PerFluorinated Compounds
PFCA	Carboxylate d'alkyl perfluoré (PerFluorinated Carboxylic Acid)
PFDA	Acide perfluorodécanoïque (PerFluoroDecanoic Acid)
PFDS	Perfluorodécane sulfonate

PFHpA	Acide perfluoroheptanoïque (PerFluoroHeptanoic Acid)
PFHpS	Perfluoroheptane sulfonate
PFHxA	Acide perfluorohexanoïque (PerFluoroHexanoic Acid)
PFHxS	Perfluorohexane sulfonate
PFNA	Acide perfluorononanoïque (PerFluoroNonanoic Acid)
PFOA	Acide perfluorooctanoïque (PerFluoroOctanoic Acid)
PFOS	Sulfonate de perfluorooctane (PerFluoroOctane Sulfonate)
PFPA	Acide perfluoropentanoïque (PerFluoroPentanoic Acid)
PFTeDA	Acide perfluorotétradécanoïque (PerFluoroTetradecanoic Acid)
PFTrDA	Acide perfluorotridécanoïque (PerFluoroTridecanoic Acid)
PFUnA	Acide perfluoroundécanoïque (PerFluoroUndecanoic Acid)
POP	Polluant Organique Persistant
POSF	Fluorure de perfluorooctanesulfonyl (PerfluoroOctaneSulfonyl Fluoride)
SU.VI.MAX	SUpplémentation en Vitamines et Minéraux Anti-oXydants
UB	Upper Bound
UMR	Unité Mixte de Recherche
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1 Introduction

Les composés perfluorés représentent une famille de plus de 800 molécules anthropiques, utilisées dans de nombreuses applications industrielles et produits de consommation courante, comme les imperméabilisants textiles, les mousses anti-incendie ou encore les emballages alimentaires (Prevedouros et al., 2006). Leur production et leur utilisation a débuté dans les années 50, avec la commercialisation de la gamme de produit Scotchgard™ par la compagnie 3M. Dès les années 80, la toxicité du sulfonate de perfluorooctane (PFOS : perfluorooctane sulfonate) a été suspectée sur la base de travaux chez l'animal (Olson and Andersen, 1983), et une publication américaine a révélé en 1993 la présence d'acide perfluorooctanoïque (PFOA : perfluorooctanoic acid) dans le *serum* de la population générale aux Etats-Unis (Gilliland and Mandel, 1993). Suite à cette étude et aux travaux de l'agence de protection de l'environnement américain (US EPA : United States Environmental Protection Agency), 3M, le principal producteur de composés perfluorés, a déclaré en mai 2000 l'arrêt progressif de la production de PFOA et de dérivés de PFOS, totale en 2002 (3M). Depuis, de nombreuses études ont révélé la présence ubiquitaire des composés perfluorés dans le monde, notamment du PFOS et du PFOA qui sont les produits de dégradation ultime des composés perfluorés, ainsi qu'une toxicité avérée chez l'animal, dont un effet perturbateur endocrinien (Stahl et al., 2011). En 2009, le PFOS et ses sels ont été inscrits à l'annexe B de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, 2009).

Le PFOS étant persistant dans l'environnement, bioaccumulatif, et retrouvé de manière ubiquitaire dans les aliments, l'eau et le sol, la question de la sécurité sanitaire a rapidement été posée pour cette molécule et les composés perfluorés dans leur globalité. Plusieurs études ont déjà été menées pour évaluer le risque sanitaire des composés perfluorés chez la population générale, dont l'étude sur l'alimentation totale 2 (EAT2) de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) (ANSES, 2011) menée sur la population française métropolitaine. Au regard des valeurs toxicologiques de référence disponibles et établies par l'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA : European Food Safety Authority (EFSA, 2008)) pour le PFOS et le PFOA, l'ANSES a conclu que le risque lié à ces substances peut être écarté pour la population générale compte tenu des faibles niveaux d'exposition observées mais qu'il convenait néanmoins de poursuivre les recherches sur la toxicité de ces composés, en particulier sur leur potentiel cancérigène et perturbateur endocrinien. L'ANSES a conclu également qu'il convenait de mener les études toxicologiques ad hoc à long terme par voie orale pour les autres composés perfluorés, permettant l'établissement de VTR.

Or, des études suggèrent que les forts consommateurs de produits de la mer subissent une exposition plus élevée aux composés perfluorés que la population générale, ces denrées alimentaires présentant une contamination plus élevée (Clarke et al., 2010; Tittlemier et al., 2007). Les femmes enceintes, quant à elles, représentent une population plus sensible aux effets perturbateurs endocriniens suspectés de ces molécules. Une récente étude montre un lien entre le niveau d'exposition aux PFOS, PFOA, PFHxS et la croissante pré- et postnatale (Maisonet et al., 2012), suggérant un risque d'obésité pour l'enfant. Ce mémoire, à travers le projet CONTREPERF, s'attache alors à évaluer l'exposition aux composés perfluorés pour les populations les plus à risque, ici les forts consommateurs de produits de la mer, car plus exposés, et les couples jeunes mères et leur nouveau-né dans un deuxième temps, ultérieurement au mémoire.

Le mémoire s'articulera en plusieurs parties. Tout d'abord, une première partie généraliste aura pour but de présenter les composés perfluorés et d'avoir une vue d'ensemble sur le projet CONTREPERF dans lequel s'inscrit ce mémoire, puis la méthodologie utilisée pour décrire la contamination des denrées alimentaires étudiées et pour évaluer l'exposition aux composés perfluorés des forts consommateurs des produits de la mer sera décrite avant d'exposer les résultats. Une partie discussion sera ensuite développée intégrant une comparaison des résultats obtenus dans ce mémoire à ceux décrits dans la littérature par d'autres pays avant de présenter la conclusion de ce mémoire. Une analyse du travail réalisé au regard de la note de cadrage rendue en début de période du mémoire sera suivie d'un retour d'expérience ainsi que des éléments de perspectives quant à la poursuite de ce projet.

2 Intégration du mémoire dans le projet CONTREPERF

2.1 Généralités sur les composés perfluorés

2.1.1 Terminologie et classification des perfluoroalkyles

Les **polyfluoroalkyles** (ou alkyles polyfluorés) sont des composés fluorés qui possèdent au moins un carbone de la chaîne carbonée complètement substitué par des atomes de fluor. Si tous les carbones de la chaîne alkyle sont substitués par des atomes de fluor, ils sont alors appelés **perfluoroalkyles** (ou alkyls perfluorés) (Buck et al., 2011). Ces deux groupes constituent une famille de plus de 800 molécules, toutes anthropogéniques.

Les perfluoroalkyles peuvent être de différente nature, selon le groupement fonctionnel auquel ils sont rattachés. Parmi eux, on compte les acides perfluoroalkylés, dont les sous-familles les plus connues sont :

- Les **carboxylates d'alkyles perfluorés** (PFCA PerFluorinated Carboxylic Acid), qui possèdent une fonction acide carboxylique en bout de chaîne carbonée. Le PFOA, ou acide perfluorooctanoïque, en fait partie.
- Les **sulfonates d'alkyles perfluorés**, qui possèdent une fonction sulfonate en bout de chaîne carbonée. Le PFOS, ou sulfonate de perfluorooctane, en fait partie.

Parmi les polyfluoroalkyles, le cas des **fluorotélomères** sera abordé. Cette dénomination désigne autant des oligomères servant à la synthèse d'autres molécules que des polymères de perfluoroalkyles.

Les perfluoroalkyles sont communément appelés composés perfluorés (PFC=Perfluorinated Compounds). L'acronyme PFAS (perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances) est utilisé pour l'ensemble des poly- et perfluoroalkyles.

2.1.2 Propriétés physico-chimiques

La stabilité des PFAS est due au caractère hautement électronégatif du fluor, attribuant une forte polarité aux liaisons carbone-fluor de ces molécules. En effet, la liaison carbone-fluor possède une énergie de liaison parmi les plus élevées dans la nature. (Key et al., 1997)

Leur caractère amphiphile provient quant à lui de l'association de leur chaîne carbonée hydrophobe et de leur groupement fonctionnel hydrophile en bout de chaîne.

Ces deux propriétés physico-chimiques, la haute stabilité chimique ainsi que le caractère amphiphile, font des PFAS des molécules tensioactives extrêmement résistantes à la dégradation biotique et abiotique, y compris aux hautes températures, aux

attaques chimiques, à l'hydrolyse, à la photolyse, ou à la dégradation microbienne, d'où leur persistance dans l'environnement. (Giesy et al., 2010)

2.1.3 Usage, sources et transport des perfluoroalkyles

Les propriétés physico-chimiques des PFAS ont été exploitées dès 1947 dans diverses applications telles que les mousses anti-incendie, la production de polyuréthane, les encres, les vernis, la polymérisation de vinyle, les lubrifiants, les imperméabilisants pour cuir, papier et textiles, les revêtements d'ustensile de cuisine ou encore dans les emballages alimentaires. (Prevedouros et al., 2006) Les applications les plus connues des PFAS sont le Teflon® et le Gore-Tex®.

Il existe à l'heure actuelle quatre principaux procédés de synthèse des PFAS : la fluoration électrochimique, l'oxydation des iodures fluorotélomériques et des oléfines fluorotélomériques et enfin la carboxylation d'iodures fluorotélomériques.

En 2000, 80 à 90% du perfluorooctanoate d'ammonium, un sel de PFOS, était synthétisé par fluoration électrochimique (Prevedouros et al., 2006). Elle a été progressivement abandonnée au profit de la télomérisation, augmentant la production d'homologues d'iodure de perfluoroalkyle de 4,5 tonnes à 4500 tonnes en quelques années. (Ruan et al., 2010)

Les PFAS sont émis dans l'environnement tout au long du cycle de vie des produits, de leur synthèse à leur élimination. Les sources, directes ou indirectes, sont résumées dans le tableau 1.

Les composés perfluorés (PFC) sont retrouvés de façon quasi-ubiquitaire dans l'environnement. Ils ont notamment été détectés dans les eaux marines, y compris en Arctique (Giesy and Kannan, 2001), dans les eaux douces (Prevedouros et al., 2006) dont les eaux souterraines (Suja et al., 2009), adsorbés sur les sédiments (Prevedouros et al., 2006), mais également chez de nombreuses espèces animales (Giesy and Kannan, 2001). Une étude allemande (Stahl et al., 2009) a montré l'existence d'un transfert sol-plante dose-dépendant pour le PFOS et le PFOA, mettant en lumière une des voies d'entrée des PFC dans la chaîne alimentaire.

Tableau 1: Sources et volumes de production et de rejet dans l'environnement des carboxylates et sulfonates d'alkyles perfluorés (Armitage et al., 2009; Paul et al., 2009; Prevedouros et al., 2006)

Sources de contamination	Carboxylates d'alkyles perfluorés	Sulfonates d'alkyles perfluorés
Directes	<ul style="list-style-type: none"> - Usines de synthèse de PFCA - Usines de synthèse de fluoropolymères - Usines utilisatrices de fluoropolymères - Mousses anti-incendie - Autres usages industriels et domestiques (encres, imperméabilisants textiles...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Usines de synthèse de sulfonates d'alkyles perfluorés - Usines utilisatrices de sulfonates d'alkyles perfluorés - Mousses anti-incendie - Autres usages industriels et domestiques (impermeabilisants pour tapis, emballages alimentaires...)
Rejets directs (t)	3200 – 6900 (entre 1951 et 2004)	PFOS : 280 – 2340 (entre 1957 et 2002)
Indirectes	<ul style="list-style-type: none"> - Impuretés dans les produits à base de fluorotélomères et leur dégradation - Impuretés dans les produits à base de fluorure de perfluorooctane sulfonyle et leur dégradation 	<ul style="list-style-type: none"> - Impuretés dans les produits industriels et grand public et leur dégradation
Rejets indirects (t)	30 – 350 (entre 1951 et 2004)	PFOS : 5 – 225 (entre 1957 et 2002)
Production (t)	4400 – 8000	96 000 (entre 1970 et 2002)
Rejets totaux (t)	3200 – 7300 (entre 1951 et 2004)	6800 – 45250 (entre 1957 et 2002) PFOS : 450 – 2700 (entre 1957 et 2002)

2.1.4 Toxicité des composés perfluorés

Le PFOS et le PFOA sont généralement considérés comme étant les références du groupe des acides perfluoroalkylés. De ce fait, les données sur la toxicité de ces 2 molécules font l'objet d'une littérature abondante, tandis que peu de données sont disponibles pour les autres PFC (Stahl et al., 2011).

Les voies d'exposition aux PFC sont multiples : par ingestion, par inhalation et par contact cutané. La biodisponibilité du PFOS et du PFOA par ingestion est proche de 1 chez le rat, tandis qu'elle est beaucoup plus faible pour les autres voies.

Les PFC ne sont pas lipophiles contrairement aux polluants organiques persistants habituels tels que les PCB ou les dioxines, mais sont qualifiés de « protéinophiles ». Les acides perfluoroalkylés se lient préférentiellement à l'albumine, protéine majoritaire du plasma, mais également à des protéines de liaison aux acides gras présents dans le foie et à des lipoprotéines. Le PFOS et le PFOA s'accumulent dans le compartiment

extracellulaire, principalement dans le foie, le *serum* et les reins, et traversent la barrière placentaire, mais peuvent également être retrouvés dans le lait maternel.

Tableau 2: Toxicité du PFOS et du PFOA (Grandjean et al., 2012; Maisonet et al., 2012; Stahl et al., 2011)

Exposition	Effets sur l'animal	Effets sur l'homme
Aigüe	Irritation de la peau	
Subaigüe	<p>Diminution du poids corporel (PFOS)</p> <p>Hépatomégalie (PFOS, PFOA)</p> <p>Altération du métabolisme des acides gras dans le foie (PFOS)</p> <p>Diminution des taux d'hormones thyroïdiennes (PFOS)</p> <p>Vacuolisation des cellules hépatiques (PFOS)</p> <p>Augmentation du taux de TSH (PFOS)</p> <p>Diminution du taux de HDL (PFOS)</p> <p>Diminution du taux de bilirubine (PFOS)</p> <p>Diminution du taux de cholestérol sérique (PFOS)</p> <p>Augmentation de l'activité de l'acyl-CoA-oxydase péroxisomal (PFOA)</p> <p>Inhibition de l'activité catalase (PFOA)</p> <p>Augmentation de la concentration d'ARNm de cytokines proinflammatoires (PFOA)</p> <p>Nécrose hépatique (PFOA)</p> <p>Altération dans l'expression des apolipoprotéines et des gènes en amont (PFOA)</p> <p>Diminution de la prise de poids des nouveaux-nés et augmentation de la mortalité neonatale (PFOS, PFOA)</p>	
Chronique	<p>Hépatomégalie (PFOS)</p> <p>Granulome éosinophile (PFOS)</p> <p>Vacuolisation des cellules hépatiques (PFOS)</p> <p>Hyperplasie du reticulum endoplasmique lisse (PFOS)</p> <p>Adénome et carcinome hépatiques (PFOS)</p> <p>Adénome folliculaire et carcinome thyroïdiens (PFOS)</p> <p>(Fibro)adénome et carcinome mammaires (PFOS)</p> <p>Adénome des cellules de Leydig (PFOS, PFOA)</p> <p>Hyperplasie des cellules pancréatiques (PFOS, PFOA)</p>	<p>Cancer de la vessie (POSF)</p> <p>Cancer de la prostate (PFOA)</p> <p>Cancer du pancréas (PFOA)</p> <p>Cancer de la peau (PFOA)</p> <p>Cancer du foie (PFOA)</p> <p>Cancer du côlon (PFOA)</p> <p>Maladies cardiovasculaires : angor, infarctus du myocarde (PFOA)</p> <p>Diabète de type 2 (PFOA)</p> <p>Augmentation du taux d'œstradiol chez les hommes (PFOA)</p> <p>Augmentation du taux de lipide sanguin (PFOS, PFOA)</p> <p>Bronchite chronique, essoufflement, asthme (PFOA)</p> <p>Maladies de la thyroïde (PFOA)</p> <p>Effets sur croissance pré et postnatal (PFOS)</p> <p>Diminution de la réponse immunitaire humorale</p>

A l'heure actuelle, il n'existe aucune voie de métabolisation connue pour le PFOS et le PFOA, qui sont généralement considérés comme étant les métabolites ultimes des PFC. L'excrétion urinaire et fécale sont donc les seules voies d'élimination de ces deux molécules de l'organisme. La forte affinité des PFC pour l'albumine contribue à leur faible clairance rénale, ce qui explique entre autre la longue demi-vie de ces substances dans l'organisme : 5,4 ans pour le PFOS, 3,8 ans pour le PFOA, 8,5 ans pour le PFHxS et entre 25,8 jours et 30 jours pour le PFBS d'après une étude sur une cohorte professionnelle (Olsen et al., 2007).

La toxicité du PFOS et du PFOA sont décrites dans le tableau 2, pour différents types d'exposition.

La toxicité du PFOS et du PFOA pour une exposition chronique est essentiellement hépatique, thyroïdienne et sur le développement fœtal. Il a notamment été reporté chez l'animal :

- un faible poids à la naissance et une diminution de la prise de poids (PFOS et PFOA)
- une augmentation de la mortalité neonatale (PFOS, PFOA)
- un retard de l'ossification chez l'animal et des anomalies squelettiques (PFOS)
- un retard du développement physique et du développement des réflexes (PFOS)
- un retard de la puberté (PFOA, PFBS, PFBA)
- altération de la mémoire et de l'orientation spatiale (PFOS)

Aucune étude n'a à ce jour démontré de génotoxicité ni d'effet épigénétique pour le PFOS et le PFOA. Toutefois, une neurotoxicité et une immunotoxicité ont été remarquées dans certaines études chez l'animal.

Des études se sont intéressées à l'effet de mélange des PFC, et pas seulement aux effets des PFC pris individuellement. Il s'est avéré que le mélange PFOA-PFNA-PFDA-PFDoA-8 :2 FTOH (un fluorotélomère) altérait l'expression de certains gènes impliqués dans le métabolisme des acides gras, des xénobiotiques dans la réponse immunitaire et au stress oxydatif, alors que leur expression était inchangée lorsqu'ils étaient exposés aux mêmes doses à chaque substance individuellement.

Des études épidémiologiques sur des cohortes de travailleurs ont été menées. Chez les 2083 employés d'une usine de POSF (fluorure de perfluorooctanesulfonyl) en Alabama, le risque de développer un cancer de la vessie a été estimée 13 fois supérieure par rapport aux autres habitants de cet Etat (Alexander et al., 2003). Toutefois, ces personnes n'étaient pas exposées uniquement au POSF au sein de l'usine, et la

contribution des autres substances n'a pas été prise en compte dans cette étude. Un risque accru de développer un cancer de la prostate a également été suggéré par une étude sur les anciens employés d'une usine de production de PFOA (Gilliland and Mandel, 1993), de même qu'un cancer du pancréas, de la peau et du côlon (Alexander, 2001). Une étude plus récente menée sur cette même cohorte a suspecté un lien entre exposition au PFOA, maladies cardiovasculaires et diabète (Lundin et al., 2009). Le même type d'étude a été menée par l'entreprise DuPont, montrant également un risque accru de développer un cancer de la prostate, mais également des reins et du foie. D'un point de vue hormonal, le PFOA a été associé à une légère augmentation du taux d'œstradiol chez les hommes (Olsen et al., 1998). D'autres effets sur l'homme sont résumés dans le tableau 2.

Les effets sur la reproduction chez l'homme sont contradictoires. La revue toxicologique sur les PFC de Stahl (Stahl et al., 2011) résume les conclusions des études menées sur les effets reprotoxiques des PFC chez l'homme. Il s'avère que certaines études mettent en lumière une corrélation entre l'exposition *in utero* aux PFOS et PFOA et une diminution du poids corporel à la naissance, tandis que d'autres ne trouvent pas d'association significative. De même pour les autres effets sur le fœtus, tels que les fausses couches ou la valeur de la circonférence crânienne. Des publications de 2012 ont mis en lien exposition *in utero* aux PFC et baisse de la réponse immunitaire humorale chez les enfants (Grandjean et al., 2012) ou un effet sur la croissance du nouveau-né (Maisonet et al., 2012). A la naissance, les nouveau-nés les plus exposés *in utero* au PFOS, PFOA ou PFHxS auraient un poids corporel moindre à la naissance, mais plus élevé au bout de 20 mois pour les plus exposés au PFOS.

2.1.5 Réglementation en vigueur

En France, la réglementation ne prévoit qu'une restriction d'usage, et ce uniquement pour le PFOS et ses sels, par la directive européenne 2006/122/EC retranscrite en droit français via le décret 2007-1496 du 18 octobre 2007 et entrée en vigueur le 27 juin 2008. Elle limite la présence de PFOS à hauteur de 0,005% en masse en tant que substances ou constituants de préparation, 0,1% en masse dans les produits semi-finis, articles ou parties de ces derniers et 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ pour les matériaux enduits. Font exception à cette réglementation les résines photosensibles ou les revêtements antireflet pour les procédés photolithographiques, les revêtements appliqués dans la photographie aux films, aux papiers, ou aux clichés d'impression, les fluides hydrauliques pour l'aviation, les traitements antibuée pour le chromage dur (VI) non décoratif et les agents tensioactifs utilisés dans des systèmes contrôlés de dépôt électrolytique où la quantité de PFOS rejetée dans l'environnement est minimisée suivant la directive en vigueur (96/61/CE).

A ce jour, peu d'Etats ont imposé des valeurs réglementaires ou proposé des recommandations quant aux limites de concentration en PFC à ne pas dépasser. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'Allemagne a limité la concentration en somme de PFOS et PFOA à $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$, la Health Protection Agency britannique a recommandé de ne pas dépasser $0,3 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour le PFOS et $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour le PFOA tandis que l'US EPA a respectivement recommandé les limites de $0,2 \mu\text{g.L}^{-1}$ et $0,4 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Aucune recommandation n'a été proposée pour les autres PFC, faute de données toxicologiques.

2.2 Le projet CONTREPERF : métabolisme, toxicité et exposition

2.2.1 Vue d'ensemble du projet CONTREPERF

La persistance des PFC dans l'environnement, leur présence quasi-ubiquitaire dans de nombreux milieux biotiques et abiotiques ainsi que les données toxicologiques existantes ont encouragé la mise en place d'évaluation de risque sanitaire sur la population générale pour le PFOS et le PFOA dans différents pays tels qu'au Canada (Tittlemier et al., 2007), en Norvège (Haug et al., 2010a), en Grande Bretagne (Clarke et al., 2010) ou encore en Allemagne (Fromme et al., 2007). Les expositions calculées étaient pour chacune des études largement inférieures aux doses journalières tolérées établies par l'EFSA de $150 \text{ ng.kg poids corporel}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour le PFOS et de $1500 \text{ ng.kg pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour le PFOA (EFSA, 2008), amenant à la conclusion qu'il n'existait pas, vu l'état des connaissances actuelles, de risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire au PFOS et au PFOA pour la population générale. Toutefois, des études sur l'alimentation totale ont mis en évidence une contamination accrue des poissons, coquillages et crustacés ainsi que des abats, et en particulier le foie (Clarke et al., 2010; Tittlemier et al., 2007). Les différents partenaires du projet de l'agence nationale de la recherche (ANR) CONTREPERF (contaminants émergents perfluorés : contribution à l'évaluation de l'exposition de l'homme et de sa descendance, à l'étude de leur métabolisme et à la caractérisation de leur impact toxicologique) se sont donc intéressés aux forts consommateurs des produits de la mer (poissons, crustacés, coquillages), en émettant l'hypothèse que cette population était particulièrement exposée aux PFC. Cette hypothèse est confortée notamment par une publication norvégienne (Haug et al., 2010b). Les couples mère/nouveau-né ont constitué une deuxième population d'intérêt puisque plus vulnérables aux effets des perturbateurs endocriniens (effets sur périmètre crânien, croissance pré et postnatal, diminution de la réponse immunitaire humorale...).

Les buts du projet CONTREPERF sont multiples. Il s'agit de :

- Améliorer les connaissances relatives à l'exposition humaine aux PFC

- Etude sur 2 populations : les forts consommateurs de produits de la mer et les couples mère/nouveau-né, pour qui l'exposition pré- et postnatal sera évaluée
- Elaboration d'un modèle de transfert mère-enfant
- Améliorer les connaissances sur l'impact toxicologique sur l'homme : études *in vitro* sur des cellules hépatiques
 - Etude *in vitro* sur le métabolisme du PFOS et du PFOA
 - Etude *in vitro* sur la génotoxicité du PFOS et du PFOA
 - Approche métabolomique de l'exposition au PFOS et au PFOA
 - Essais de liaison à des récepteurs nucléaires ou de transactivation de ces derniers. Tests sur une vingtaine de PFC afin d'améliorer les connaissances sur leur mécanisme d'action
- Disséminer et valoriser les résultats obtenus

Ce projet, prévu sur 36 mois, a débuté le 15 novembre 2010 et implique 5 partenaires qui sont :

- Le laboratoire d'étude des résidus et contaminants dans les aliments (LABERCA), unité de recherche de l'école nationale vétérinaire, agro-alimentaire et de l'alimentation Nantes Atlantique (ONIRIS), à Nantes
- L'équipe « métabolisme des xénobiotiques », unité mixte de recherche (UMR) 1331 UX du centre de toxicologie « Toxalim » de l'institut national de la recherche agronomique (INRA), à Toulouse
- L'équipe « signalisation hormonale et cancer » de l'institut de recherche en cancérologie de Montpellier (IRCM), unité U 896 de l'institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), à Montpellier
- L'unité gynécologie obstétrique du centre hospitalier universitaire (CHU) de Toulouse, à Toulouse
- Le département « évaluation des risques liés aux aliments » de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), à Maisons-Alfort

2.2.2 Organisation du projet et tâches de l'ANSES

Le projet CONTREPERF a été découpé en 4 tâches techniques et 2 tâches supports qui sont la coordination de projet ainsi que la dissémination et la valorisation des résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Un schéma de synthèse est présenté dans la figure 1.

L'ANSES intervient dans les tâches 1 et 4, qui correspondent respectivement à l'évaluation de la contamination alimentaire et à l'évaluation de l'exposition.

Les 2 objectifs de la tâche 1 sont d'une part d'obtenir une vue représentative de la contamination en PFC des produits de la mer en France Métropolitaine et d'autre part obtenir la contamination en PFC du lait maternel de 100 femmes ayant accouché par césarienne au CHU de Toulouse et de la comparer avec des échantillons de lait infantiles. Le rôle de l'ANSES a été de fournir au LABERCA les échantillons de produits de la mer pour analyse.

Les 3 objectifs de la tâche 4 sont d'évaluer l'exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs des produits de la pêche ainsi que des nouveau-nés allaités et d'analyser le taux d'imprégnation aux PFC des jeunes mères au regard de toutes les voies d'exposition (ingestion, inhalation, contact). L'ANSES intervient pour ces 3 étapes, un rapport technique ou une publication étant attendus au terme de chaque objectif atteint.

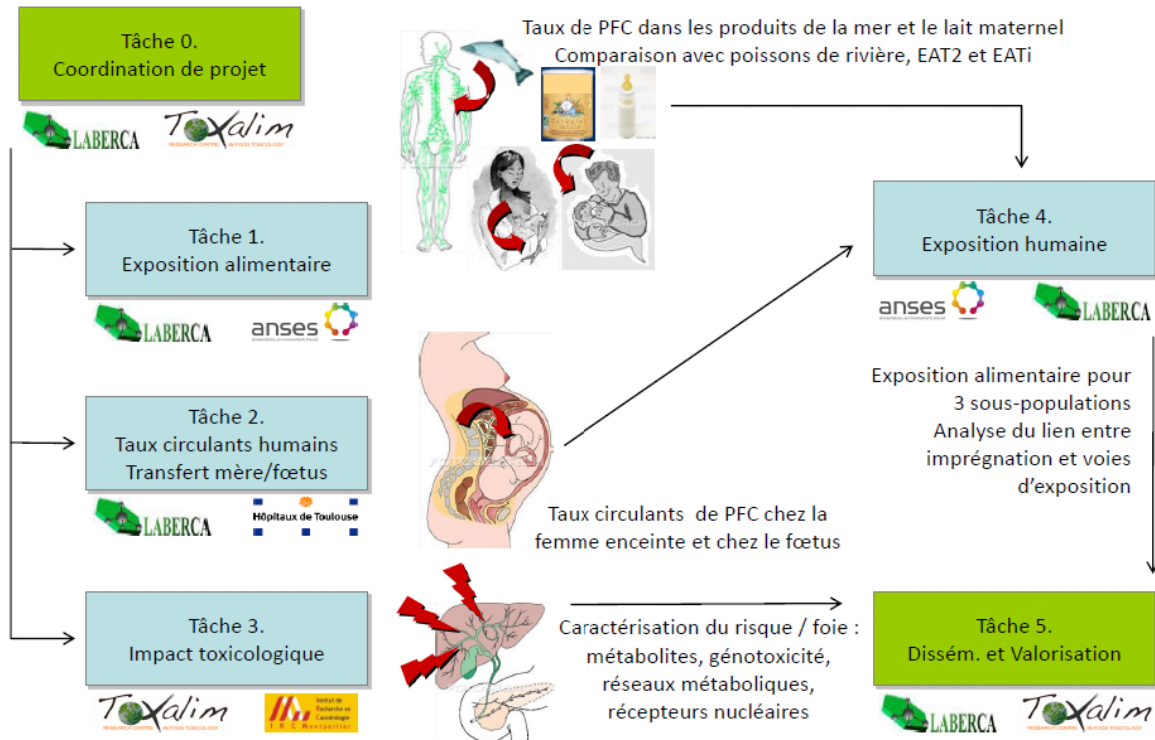
Dans le cadre de ce mémoire, seules les parties concernant la description de la contamination des produits de la mer et l'évaluation de l'exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs des produits de la mer ont été réalisées.

Le mémoire s'attachera à répondre à 4 questions:

- L'exposition aux PFC des forts consommateurs des produits de la mer est-elle homogène sur les 4 sites côtiers?
- Y a-t-il une différence d'exposition entre les hommes et les femmes ?
- S'il y a des différences, à quoi sont-elles dues ?
- Y a-t-il une différence d'exposition aux PFC entre la population générale et les forts consommateurs de produits de la mer ?

Elles aideront à répondre à la problématique du mémoire, à savoir s'il est nécessaire d'évaluer spécifiquement le risque sanitaire pour les populations les plus à risque.

Figure 1: Synthèse des tâches dans le cadre du projet CONTREPERF



3 Méthodologie

Trois types de jeux de données sont essentiels pour pouvoir calculer une exposition alimentaire individuelle $E_{i,j}$ à un contaminant j via un aliment k : la consommation de l'aliment k par l'individu i , la teneur en contaminant j de l'aliment k et le poids corporel de l'individu i . Le calcul de l'exposition d'un individu i à un contaminant j via les n aliments de son régime alimentaire se fait donc selon la formule suivante :

$$E_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^n C_{i,k} \times T_{k,j}}{PC_i}$$

- Avec :
- $E_{i,j}$ l'exposition au contaminant j de l'individu i
 - n le nombre d'aliments dans le régime alimentaire
 - $C_{i,k}$ la consommation de l'aliment k par l'individu i
 - $T_{k,j}$ la teneur en contaminant j de l'aliment k
 - PC_i le poids corporel de l'individu i

La biodisponibilité des contaminants, c'est-à-dire la proportion de la dose du contaminant effectivement absorbé par l'organisme et passant dans la circulation sanguine dans le cas d'une ingestion, n'est pas prise en compte ici. Par défaut, elle est considérée comme étant égale à 1 (100% de la dose ingérée est absorbée par l'organisme).

L'exposition alimentaire est calculée pour chaque individu et chaque contaminant. Le calcul de la distribution et les tests statistiques idoines permettront par la suite d'extrapoler un profil d'exposition aux PFC d'intérêt des forts consommateurs de produits de la mer en France Métropolitaine.

3.1 Données de consommation alimentaire

Les données de consommation alimentaire proviennent de l'étude CALIPSO (Consommations Alimentaires de produits de la mer et Imprégnation aux éléments traces, PolluantS et Oméga 3), dont le rapport (AFSSA, 2006), publié en 2006, traitait des apports en acides gras et de l'exposition aux éléments traces (mercure, cadmium, plomb, arsenic, organoétains) et aux polluants organiques persistants (dioxines et polychlorobiphényles dioxin-like, polychlorobiphényles indicateurs et polybromodiphényléthers). Elle regroupe les consommations alimentaires de 996 individus recrutés entre octobre et décembre 2004 sur 4 sites côtiers en France Métropolitaine, correspondant aux régions où l'on observe une plus forte consommation de produits de la mer (OCA-CREDOC, 1996). Un port permettant un approvisionnement direct à proximité de zones de pêche à pied autorisées a été sélectionné pour chaque site : il s'agit de Toulon pour la région Méditerranée-Var, du Havre pour la Normandie-Baie de Seine, de Lorient pour la Bretagne Sud et de La Rochelle pour la Gironde-Charente Maritime Sud.

Pour être incluses dans l'étude, les personnes interrogées devaient :

- Avoir plus de 18 ans
- Consommer au moins 2 fois par semaine des produits de la mer, fréquence correspondant à la médiane de consommation de produit de la mer calculée d'après les données de l'étude INCA1 (étude individuelle nationale sur les consommations alimentaires)
- Résider sur le site depuis un certain nombre d'années
- Ne pas souffrir de pathologie pouvant avoir des répercussions sur le taux d'imprégnation aux omégas 3, plomb, mercure, arsenic ou cadmium, comme du diabète, une maladie des reins, une hypertension artérielle ou encore de l'incontinence urinaire

Un questionnaire de fréquence de consommation sur l'alimentation générale et sur les produits de la mer en particulier a été proposé plutôt qu'un carnet de consommation, plus lourd à mettre en place et à exploiter. Ce questionnaire a été validé lors d'une étude pilote par carnet de consommation sur 7 jours, permettant d'appliquer un correctif sur les données de consommation recueillies par le questionnaire de fréquence, palliant la surestimation de la consommation propre à ce type de questionnaire (Bemrah et al.,

2009). Les proportions alimentaires ont été estimées par un cahier photographique issu de l'étude SU.VI.MAX (Hercberg et al., 1994). Les espèces de produit de la mer et les catégories alimentaires considérées sont disponibles en annexe 1. Les produits de la mer ont été répartis en 3 catégories :

- Les poissons frais ou surgelés
- Les mollusques, crustacés et coquillages frais ou surgelés
- Les poissons et crustacés sous forme de conserve, fumés ou dans des plats préparés

La population d'étude et leur consommation alimentaire sont décrites en détail dans le rapport de l'étude CALIPSO (AFSSA, 2006).

3.2 Données de contamination alimentaire

Il existe plusieurs jeux de données de contamination des denrées alimentaires aux PFC, toutes issues d'analyses réalisées par le même laboratoire, le LABERCA, assurant une fiabilité et une comparabilité des données obtenues. Les données de contamination des produits de la mer sont issues de l'étude CALIPSO, celles de poissons de rivière, qui seront intégrées ultérieurement à ce mémoire, proviennent de l'étude ICAR-PCB (Imprégnation et consommation alimentaire de produits de rivière – polychlorobiphényles) de l'ANSES (ANSES and InVS, 2011) et enfin les données d'EAT2 (étude de l'alimentation totale française) pour les autres denrées alimentaires (ANSES, 2011).

Les PFC recherchés dans les denrées alimentaires des 3 études sont listés dans le tableau 3. Ces molécules sont parmi les plus cités dans la littérature, mais ils sont également ceux pour lesquels le LABERCA possède les capacités analytiques. Seuls les 15 PFC en commun parmi les 3 études ont été considérés pour l'évaluation de l'exposition, à savoir le PFBA, le PFPA, le PFHxA, le PFHpA, le PFOA, le PFNA, le PFDA, le PFUnA, le PFTrDA, le PFTeDA, le PFBS, le PFHxS, le PFHpS, le PFOS et le PFDS.

Tableau 3: Composés perfluorés recherchés pour les études CALIPSO, EAT2 et ICAR-PCB

Composés perfluoroalkylés	Acronyme	CALIPSO	EAT2	ICAR-PCB
Carboxylates d'alkyls perfluorés				
Acide perfluorobutanoïque	PFBA	X	X	X
Acide perfluoropentanoïque	PFPA	X	X	X
Acide perfluorohexanoïque	PFHxA	X	X	X
Acide perfluoroheptanoïque	PFHpA	X	X	X
Acide perfluorooctanoïque	PFOA	X	X	X
Acide perfluorononanoïque	PFNA	X	X	X
Acide perfluorodécanoïque	PFDA	X	X	X
Acide perfluoroundécanoïque	PFUnA	X	X	X
Acide perfluorotridécanoïque	PFTTrDA	X	X	X
Acide perfluorotétradécanoïque	PFTeDA	X	X	X
Acide perfluorododécanoïque	PFDoA		X	X
Sulfonates d'alkyls perfluorés				
Sulfonate de perfluorobutane	PFBS	X	X	X
Sulfonate de perfluorohexane	PFHxS	X	X	X
Sulfonate de perfluoroheptane	PFHpS	X	X	X
Sulfonate de perfluorooctane	PFOS	X	X	X
Sulfonate de perfluorodécane	PFDS	X	X	X
Sulfinate d'alkyl perfluoré				
Acide perfluorooctylsulfinate	PFOSi	X		X
Sulfonamide d'alkyl perfluoré				
Perfluorooctanesulfonamide	PFOSA			X

3.2.1 Données de contamination de l'étude CALIPSO

L'échantillonnage des produits de la mer a été effectué entre janvier et avril 2005. En tout, 159 échantillons composites ont été constitués, couvrant 88 à 100% de la part de la consommation totale de produits de la mer. Parmi les 159 échantillons, 138 étaient des produits frais et surgelés, 21 des produits en conserve, fumés ou des plats préparés. La liste des produits échantillonnés est disponible en annexe 2. Chaque échantillon composite était constitué de 5 produits, sélectionnés selon les critères suivants (Sirot et al., 2007):

- Quantités consommées :

- Couverture des poissons de mer, des crustacés, coquillages et mollusques : consommation moyenne supérieure ou égale à 1 g.j⁻¹ par personne
- Couverture de tous les poissons prédateurs
- Couverture de tous les autres produits de la mer en conserve, fumés ou aliments à base de produits de la mer
- Fréquence de consommation
- Mode d'achat (produit frais, semi-frais, congelé, en conserve...)
- Lieux d'approvisionnement (pêche à pied, achat au port, au marché, chez le poissonnier, dans un autre type de commerce ou consommation hors domicile)
- Origine des produits (locale, régionale...)

Les produits susceptibles de présenter des variations régionales de contamination ont été échantillonnés sur plusieurs sites, suivant les critères énoncés précédemment.

Les analyses sur les différentes matrices alimentaires ont été menées par le LABERCA. La contamination était soit en-dessous de la limite de détection (LOD), soit au-dessus de cette dernière, et était alors quantifiée. La LOD était égale à la limite de quantification (LOQ). Les valeurs de la LOD sont différentes selon les matrices alimentaires considérées, et parfois même au sein d'un même type de matrice. Ceci s'explique par le fait que les limites sont calculées pour chaque échantillon à partir de son poids sec, puis extrapolées en poids frais par le biais du facteur de lyophilisation, mais également par le fait que la LOD dépend de la sensibilité de l'appareil à l'instant t. Les valeurs minimales et maximales de la LOD par PFC et par étude sont disponibles en annexe 3. Elles étaient comprises entre 0,004 ng.g⁻¹ de poids frais et 0,421 ng.g⁻¹ de poids frais pour les 15 PFC recherchés dans les 159 échantillons composites.

3.2.2 Données de contamination de l'EAT2

L'EAT2 s'appuie sur les données de consommations alimentaires de l'étude INCA 2 (AFSSA, 2009). Cette dernière décrit les habitudes alimentaires des enfants et des adultes de 3 à 79 ans en France Métropolitaine. L'étude INCA 2 a été menée entre décembre 2005 et avril 2007, sur un échantillon représentatif de la population française métropolitaine de 4079 individus, dont 1455 enfants de 3 à 17 ans. Les consommations alimentaires ont été recueillies à l'aide de carnet sur 7 jours et les proportions ont été évaluées à l'aide du cahier photographique de SU.VI.MAX (Hercberg et al., 1994). Les consommations alimentaires et les apports ont été calculés uniquement pour les individus normo-évaluants soit pour 1444 enfants et 1918 adultes. En considérant les aliments les plus consommés en termes de quantité mais également les aliments moins consommés

mais suspectés d'être fortement contaminés, une liste de 212 types d'aliments couvrant environ 90% de la consommation alimentaire des 3-79 ans a été établie pour l'échantillonnage de l'EAT2. Les échantillons ont été achetés entre juin 2007 et janvier 2009 (n=599), puis préparés « tels que consommés » (lavés, épluchés, parties non comestibles écartées, etc...) (Sirot et al., 2009). Pour chacun des 212 types d'aliment, 15 produits ont été sélectionnés pour composer l'échantillon composite, selon les critères suivants :

- Lieu d'achat (grande ou moyenne surface, commerces de détail, marchés...)
- Mode de conservation (frais, surgelé, conserve...)
- Parts de marché des différentes marques
- Variétés (pour les fruits par exemple)
- Arôme
- Caractéristiques alléguées (bio, allégé...)

Les LOD sont égales aux LOQ. Les LOD propres à chaque matrice et à chaque composé étaient comprises entre 0,2 pg.g⁻¹ et 3,73 ng.g⁻¹ de poids frais. Les valeurs minimales et maximales de la LOD par PFC sont disponibles en annexe 3.

Les différences selon les études s'expliquent par l'amélioration des méthodes analytiques du LABERCA.

3.2.3 Comparaison des niveaux de contamination en composés perfluorés des échantillons des études Calipso et EAT2

Le règlement 199/2006 du 3 février 2006 (règlement (CE) n° 199/2006) a imposé des teneurs maximales en dioxines et PCB dioxin-like dans les denrées alimentaires. L'étude CALIPSO étant antérieure à ce règlement et l'EAT2 y étant postérieure, il a été nécessaire de vérifier qu'une diminution de la contamination en dioxines et PCB dioxin-like n'était pas associée à un changement du niveau de contamination de ces mêmes denrées alimentaires en PFC. Les niveaux de contamination des échantillons semblables entre les deux études ont été comparés, l'échantillonnage s'étant déroulé respectivement en 2005 et entre 2007 et 2009. Pour le groupe « crustacés, mollusques, coquillages », il s'agit des coquilles Saint-Jacques, huîtres, moules et crevettes. Pour le groupe « poissons », les échantillons comparés ont été le lieu, le poisson pané frit, le saumon frais et le thon frais. Le saumon fumé et le thon en conserve ont servi à comparer le groupe « conserves, produits fumés et plats préparés ». Le LABERCA, qui a procédé à cette vérification, a conclu que l'application de ce règlement n'avait pas influencé significativement la contamination en PFC des produits de la mer, rendant alors les données de l'étude CALIPSO et celles de l'EAT2 exploitables pour la même évaluation de l'exposition.

3.3 Les hypothèses de travail

3.3.1 Taux de censure des données

Le taux de censure des données correspond à la proportion de non-détection ou de non-quantification des substances. Selon les recommandations de l'OMS (WHO, 1995), lorsque le taux de censure total est supérieur à 60%, deux hypothèses de concentration peuvent être définies :

- L'hypothèse « lower bound » (LB) : pour toutes les données inférieures à la LOD, la contamination est considérée comme étant nulle
- L'hypothèse « upper bound » (UB) : pour toutes les données inférieures à la LOD, la contamination est considérée comme étant égale à la LOD

L'hypothèse LB minore la contamination des denrées alimentaires et donc l'exposition aux PFC tandis que l'hypothèse UB majore ces dernières. Le taux de censure global pour l'étude CALIPSO est de 69,9%, celui d'EAT2 (hors produits de la mer) est de 99,25%. Le taux de censure pour chaque PFC pour l'étude CALIPSO et l'EAT2 est présenté dans le tableau 4 suivant.

Tableau 4: Taux de censure des données par composé perfluoré des études CALIPSO et EAT2

PFC	Taux de censure (%)	
	CALIPSO	EAT2
PFBS	100,0	99,6
PFHxS	95,0	99,4
PFHpS	99,4	100,0
PFOS	15,1	98,3
PFDS	97,5	100,0
PFBA	54,1	100,0
PFPA	67,9	100,0
PFHxA	61,0	99,6
PFHpA	60,4	99,2
PFOA	54,7	97,3
PFNA	58,5	99,0
PFDA	53,5	97,1
PFUnA	45,3	99,2
PFTTrDA	88,1	100,0
PFTeDA	98,7	100,0
Moyenne	69,9	99,3

Les données de contamination et d'exposition seront exposées selon ces deux hypothèses, LB et UB.

3.3.2 Traitement des données aberrantes ou manquantes

a) *Données de contamination*

Deux échantillons de l'étude CALIPSO (anguille, oursin) et un échantillon de l'EAT2 (eau du robinet) ont été écartés. L'anguille et l'oursin ont présenté des taux anormalement élevés en PFC par rapport aux autres espèces analysées.

L'échantillon d'anguille provient d'un seul lot importé des Pays-Bas et acheté à Rungis. Ces données de contamination ont été remplacées par la moyenne des données de contamination des 137 anguilles échantillonnées en France Métropolitaine pour l'étude ICAR-PCB (ANSES and InVS, 2011). Ce choix a été dicté par 2 critères :

- L'anguille est une espèce diadrome, c'est-à-dire vivant alternativement en eau douce et en mer
- Le plan d'échantillonnage a été réfléchi de telle sorte que les échantillons proviennent de 4 sites fortement contaminés en PCB (Seine, Somme, Rhône, Rhin ou leurs affluents) et de 2 sites peu contaminés (Garonne, Loire ou leurs affluents). Or, compte tenu des profils différents de bioaccumulation connus entre PCB et PFC au sein des mêmes espèces, la contamination en PCB n'est vraisemblablement pas liée à celle en PFC, permettant *a priori* d'obtenir des données plus représentatives de la contamination réelle en PFC des anguilles en utilisant la moyenne des 137 anguilles de l'étude ICAR-PCB au lieu de l'unique échantillon composite de l'étude CALIPSO

Le tableau 5 indique les contaminations minimales et maximales quantifiées, les LOD minimales et maximales ainsi que le taux de censure des données.

Les limites analytiques sont basses, assurant un encadrement de la contamination réaliste par les hypothèses LB et UB. Le tableau 6 compare les données de contamination de l'échantillon d'anguille de l'étude CALIPSO et celles de l'étude ICAR-PCB.

Tableau 5: Valeurs minimales et maximales de la contamination quantifiée et du LOD (ng.g⁻¹ de poids frais) et taux de censure (%) des échantillons d'anguille de l'étude ICAR-PCB par composé perfluoré

PFC	Contamination quantifiée (min-max)	LOD (min-max)	Taux de censure (%)
PFBA	0,48 – 4,24	<0,02 - <0,57	94,2
PFBS	0,06 – 0,09	<0,02 - <0,44	97,1
PFDA	0,19 – 41,93	<0,16 - <0,96	13,9
PFDS	0,09 – 1,3	<0,03 – <0,4	75,9
PFHpA	0,2 – 0,46	<0,02 - <0,4	98,5
PFHpS	0,03 – 1,74	<0,04 – <0,38	76,6
PFHxA	0,51 – 5,16	<0,03 - <0,58	97,8
PFHxS	0,14 – 7,18	<0,04 - <0,83	30,7
PFNA	0,06 – 4,95	<0,04 – <0,52	63,5
PFOA	0,03 – 2,78	<0,04 - <0,37	67,9
PFOS	2,34 – 395,89		0
PFPA		<0,02 - <0,55	100
PFUnA	0,11 – 28,33	<0,05 - <0,24	5,1
PFTTrDA	0,01 – 9,25	<0,01 - <0,5	51,8
PFTeDA	0,01 – 3,32	<0,02 – <0,5	78,8

Tableau 6: Comparaison de la contamination en composés perfluorés de l'échantillon d'anguille de l'étude CALIPSO et des 137 échantillons d'anguille de l'étude ICAR-PCB (ng.g⁻¹ de poids frais)

PFC	CALIPSO (LB-UB)	ICAR-PCB (LB-UB)
PFBA	0 – 0,133	0,065 – 0,36
PFBS	0 – 0,033	0,002 – 0,16
PFDA	1,25 – 1,25	1,83 – 1,89
PFDS	0,34 – 0,34	0,099 – 0,25
PFHpA	0 – 0,064	0,0048 – 0,18
PFHpS	0,25 – 0,25	0,068 – 0,2
PFHxA	0 – 0,044	0,05 – 0,34
PFHxS	1,06 – 1,06	0,67 – 0,77
PFNA	0 – 0,17	0,12 – 0,26
PFOA	0 – 0,073	0,085 – 0,2
PFOS	64,72 – 64,72	39,3 – 39,3
PFPA	0 – 0,06	0 – 0,27
PFUnA	1,15 – 1,15	1,74 – 1,75
PFTrDA	0 – 0,079	0,22 – 0,33
PFTeDA	0 – 0,079	0,088 – 0,18

L'échantillon d'oursin anormalement contaminé provenait de Toulon. Un rééchantillonnage avec un effectif plus important serait souhaitable afin d'obtenir des données de contamination plus représentatives. Toutefois, pour des raisons logistiques et pratiques, le rééchantillonnage n'a pas pu être réalisé, mais la consommation d'oursin étant faible, les données de contamination dont on dispose influent peu sur l'évaluation de l'exposition aux PFC de la population étudiée. Néanmoins, les données de contamination de l'oursin ont été remplacées par la moyenne de la contamination en PFC du groupe « coquillages/crustacés/mollusques » de l'étude CALIPSO, calculée en excluant les données de l'oursin.

L'échantillon d'eau du robinet de l'EAT2 présentait des valeurs de LOD 100 fois supérieures aux autres échantillons d'eau du robinet qui présentaient une contamination homogène en PFC. Afin de ne pas surestimer la contamination en hypothèse UB, cet échantillon a donc été exclu.

Toutes les espèces et tous les types de produits de la mer pour lesquels on dispose des données de consommation via le questionnaire de fréquence de l'étude CALIPSO n'ont pas été échantillonnés, comme le montrent les annexes 1 et 2. Pour rappel de la stratégie d'échantillonnage présentée dans la partie 2.2.1, seuls les produits les plus consommés ont été effectivement échantillonnés. Pour les espèces et produits non échantillonnés, la contamination qui a été utilisée est celle de la moyenne du même groupe. Par exemple, la moyenne de la contamination en PFC du groupe « poissons » a été utilisée pour le turbot, celle du groupe « coquillages/mollusques/crustacés » pour l'écrevisse et celle du groupe « conserves/plats préparés/produits fumés » pour le maquereau en conserve. Il a été fait de même pour les données manquantes ou non-interprétables : pour une espèce ou un produit donné, la donnée de contamination en un PFC a été remplacée par la moyenne de son groupe si elle était manquante ou non-interprétable.

b) Données de consommation

15 individus ont été exclus de l'étude CALIPSO parmi les 1011 qui étaient éligibles selon les critères d'inclusion cités précédemment après examen de leur consommation alimentaire en produits de la mer. Ces individus ont déclaré dans leur questionnaire de fréquence consommer moins de 200 g ou plus de 5 kg de produits de la mer en moyenne par semaine. L'analyse de la consommation d'oursin a également permis d'exclure 3 individus supplémentaires, dont la consommation d'oursin excédait 1000 g de partie comestible par semaine en moyenne. Hormis ces 3 individus, la consommation maximale en oursin s'élève à 450 g de partie comestible par semaine en moyenne, indiquant clairement la nature aberrante des déclarations des 3 individus exclus. L'évaluation de l'exposition aux PFC a donc été menée sur 993 individus forts consommateurs de produits de la mer.

c) Poids corporel

Le poids corporel était manquant pour 18 des 993 individus de l'étude CALIPSO. Pour ces individus, le poids corporel a été remplacé par le poids corporel moyen des individus du même âge et du même sexe de l'étude INCA 2. Il en a été fait de même pour un individu ayant déclaré peser 5 kg pour 1,73 m.

d) Correspondance entre les groupes d'aliments de l'EAT2 et de CALIPSO

L'exposition doit être calculée à l'aide de la consommation alimentaire recueillie auprès des forts consommateurs des produits de la mer de l'étude CALIPSO et de la contamination alimentaire en PFC issue de l'EAT2. Or, compte tenu du recueil de consommations alimentaires réalisé dans ces deux études (questionnaire de fréquence pour l'étude CALIPSO vs questionnaire semainier pour INCA2), la nomenclature des aliments ou groupes d'aliments de ces deux études ne sont pas identiques. Une correspondance entre les aliments ou groupes d'aliments de l'EAT2 et de ceux de CALIPSO (annexe 4) était donc nécessaire pour obtenir les données de contamination des groupes d'aliments définis dans l'étude CALIPSO. Trois cas de figures pouvaient alors se présenter :

- L'aliment ou le groupe d'aliments EAT2 correspondait à un aliment ou groupe d'aliments CALIPSO
- Plusieurs aliments ou groupes d'aliments EAT2 correspondaient à un aliment ou groupe d'aliments CALIPSO : la contamination a consisté en la moyenne de la contamination des aliments de l'EAT2 pondérée sur la consommation de chacun de ses aliments dans l'étude INCA 2
- Un aliment ou groupe d'aliments EAT2 correspondait à plusieurs aliments ou groupes d'aliments CALIPSO (cas des plats préparés par exemple) : la

consommation de l'aliment EAT2 a été divisée par le nombre d'aliments ou groupes d'aliments CALIPSO correspondants

3.4 Tests statistiques

Afin de pouvoir appliquer les tests statistiques idoines à l'aide du logiciel de statistiques SAS[®], les paramètres suivants ont été considérés :

- Test sur la normalité de la distribution
- Test de l'homoscédasticité
- Taille des échantillons
- Nombre d'échantillons à comparer
- Indépendances des échantillons à comparer

Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour tester la normalité des distributions, et celui de Bartlett pour tester l'homoscédasticité.

La comparaison de l'exposition aux PFC sur les 4 sites côtiers a été réalisée à l'aide du test de Kruskal-Wallis. Il s'agit d'un test non-paramétrique équivalent à l'analyse de la variance (ANOVA), utilisé pour comparer la distribution de n échantillons lorsque les conditions nécessaires à cette dernière ne sont pas réunies, à savoir la normalité de la distribution, l'homoscédasticité et l'indépendance des échantillons à comparer. Dans ce cas, les 4 échantillons étaient indépendants, mais leur distribution ne suivait pas une loi normale.

La comparaison de l'exposition aux PFC par sexe a été réalisée à l'aide du test de Wilcoxon. Il s'agit d'un test non-paramétrique équivalent au test de Student, utilisé pour comparer 2 distributions lorsque les conditions nécessaires à ce dernier ne sont pas réunies, à savoir la normalité de la distribution et l'homoscédasticité. Dans ce cas, les distributions ne suivaient pas une loi normale et l'homoscédasticité n'était pas vérifiée.

4 Résultats

4.1 Description de la contamination en composés perfluorés des produits de la mer

La moyenne de la somme des 15 PFC recherchés a été calculée pour chaque type de produits de la mer. Les conclusions du comité d'experts spécialisé « résidus contaminants chimiques et physique » rappellent que les valeurs toxicologiques de référence (VTR) n'existent actuellement que pour le PFOS et le PFOA, et que les données toxicologiques existantes sont insuffisantes pour le moment pour en établir pour les autres PFC, de même que pour établir un équivalent toxique pour les 13 composés autres que le PFOS et le PFOA, à la manière des dioxines. Néanmoins, il a tout de même

été considéré que la somme des 15 PFC, même si elle ne représente pas un indicateur exploitable en tant que tel pour l'évaluation des risques, renseignait en tant qu'indicateur de la contamination et de l'exposition environnementale à ces substances. C'est dans cette optique que les résultats ci-après traitent de la moyenne de la somme des 15 PFC, pour plus de lisibilité et de concision. Le détail des résultats par PFC est toutefois disponible en annexe.

4.1.1 Description de la contamination en PFC par type de produits de la mer

La moyenne de la contamination de la somme des 15 PFC a été calculée pour chaque type de produits de la mer issus de l'étude CALIPSO, à savoir :

- Les poissons (n=94)
- Les coquillages/mollusques/crustacés (n=42)
- Les conserves (n=12)
- Les plats préparés (n=5)
- Les produits fumés (n=4)

La représentation graphique de ces moyennes est visible dans la figure 2, et la distribution de la somme de la contamination des 15 PFC dans le tableau 7.

Les LOD des PFC dans ces matrices étant relativement basses, les hypothèses LB et UB diffèrent peu entre elles. Le détail de la contamination par type de produits de la mer échantillonnés et analysés pour l'étude CALIPSO par PFC est présenté en annexe 5.

Les poissons semblent être le type de produits de la mer le plus contaminé par les 15 PFC en moyenne, avec $2,98 \text{ ng.g}^{-1}$ de poids frais sous l'hypothèse LB et $3,32 \text{ ng.g}^{-1}$ de poids frais sous l'hypothèse UB. Le 95^{ème} percentile est 1,4 à 4 fois plus élevé que la moyenne. La contamination des coquillages/mollusques/crustacés, dont la moyenne est en deuxième position, semble être plus hétérogène, avec des espèces particulièrement bioaccumulatrices de PFC puisque la moitié des espèces échantillonnées ont une contamination quasiment deux fois moins élevée que la moyenne de la contamination en somme des 15 PFC, et que l'écart-type est 25% plus important pour ce type de produit de la mer que pour les poissons. Les autres produits de la mer, conserves, plats préparés et produits fumés, ont globalement une contamination assez faible en PFC.

Figure 2: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par type de produits de la mer issus de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

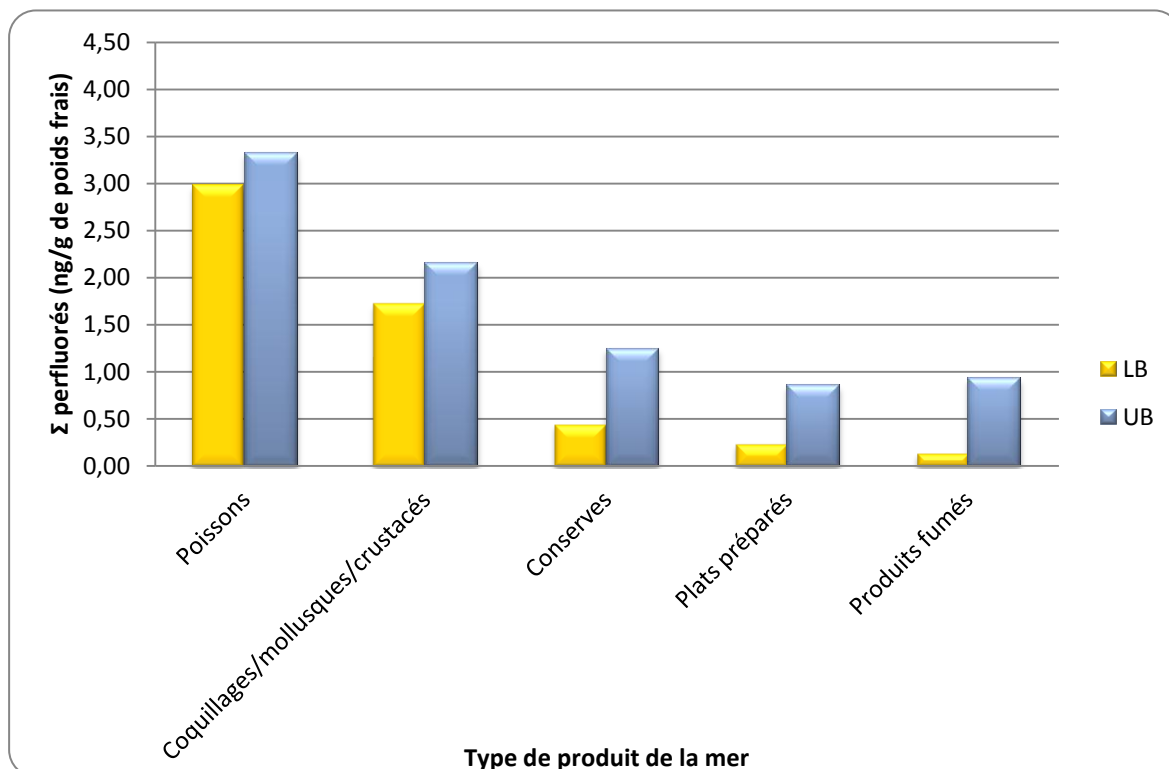


Tableau 7: Distribution de la contamination en somme des 15 PFC par type de produit de la mer issu de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

	n	Moyenne		Médiane		Ecart-type		P95	
		LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Poissons	94	2,98	3,32	2,82	3,26	1,62	1,54	5,23	5,45
Coquillages/mollusques/crustacés	42	1,72	2,15	0,89	1,30	2,10	2,13	7,01	7,54
Conserves	12	0,45	1,24	0,27	1,22	0,56	0,52	1,85	2,18
Plats préparés	5	0,24	0,85	0,24	0,60	0,25	0,74	0,58	2,13
Produits fumés	4	0,14	0,93	0,12	0,82	0,16	0,23	0,32	1,28

Lorsque l'on considère les données de l'oursin anormalement contaminé, l'écart-type est multiplié par 7. En effet, l'oursin était 50 à 100 fois plus contaminé en somme des 15 PFC que les autres espèces de coquillages/mollusques/crustacés, raison pour laquelle l'échantillon n'a pas été considéré dans le calcul de l'exposition aux PFC. Une recherche bibliographique n'a pas révélé de publication faisant part des niveaux de contamination en PFC chez l'oursin, ne permettant donc pas de confronter nos données avec des données existantes. L'hypothèse d'une capacité de bioaccumulation élevée chez l'oursin devra donc être confirmée ou infirmée ultérieurement.

4.1.2 Description de la contamination en PFC par espèce

Les moyennes de la contamination en somme des 15 PFC par espèce ou par produit sont présentées dans les figures 3 pour les poissons, 4 pour les coquillages/mollusques/crustacés et 5 pour les conserves, plats préparés et produits fumés. Le détail par espèce et par PFC est disponible en annexe 6.

Tous types de produits de la mer confondus, les espèces ou produits les plus contaminés sont :

- Le crabe tourteau (n=3): 7 ng.g⁻¹ de poids frais en LB et 7,54 ng.g⁻¹ de poids frais en UB pour la somme des 15 PFC
- Le bar (n=4): 6,79 ng.g⁻¹ de poids frais en LB et 7,13 ng.g⁻¹ de poids frais en UB pour la somme des 15 PFC
- L'empereur (n=3): 5,23 ng.g⁻¹ de poids frais en LB et 5,45 ng.g⁻¹ de poids frais en UB pour la somme des 15 PFC

Les crustacés (araignée de mer, crabe tourteau, crevette gambas, étrille, homard, langoustine) paraissent graphiquement plus contaminés que les coquillages et mollusques. Un test statistique de Wilcoxon a donc été réalisé pour tester la différence de contamination entre le groupe crustacés (n=6) et le groupe mollusques/coquillages (n=10). La différence était significative au risque $\alpha=5\%$ pour la moyenne de la contamination en somme des 15 PFC, pour l'hypothèse LB (p=0,0055) et pour l'hypothèse UB (p=0,0037). Cette différence est expliquée par une différence significative au risque $\alpha=5\%$ pour la moyenne de la contamination en PFBS (hypothèse UB), PFHxS (hypothèses LB et UB), PFOS (hypothèse LB et UB), PFOA (hypothèses LB et UB), PFNA (hypothèses LB et UB) et PFUnA (hypothèses LB et UB). Toutefois, la littérature n'explique pas cette différence de bioaccumulation selon les espèces.

Figure 3: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par espèce de poisson issu de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

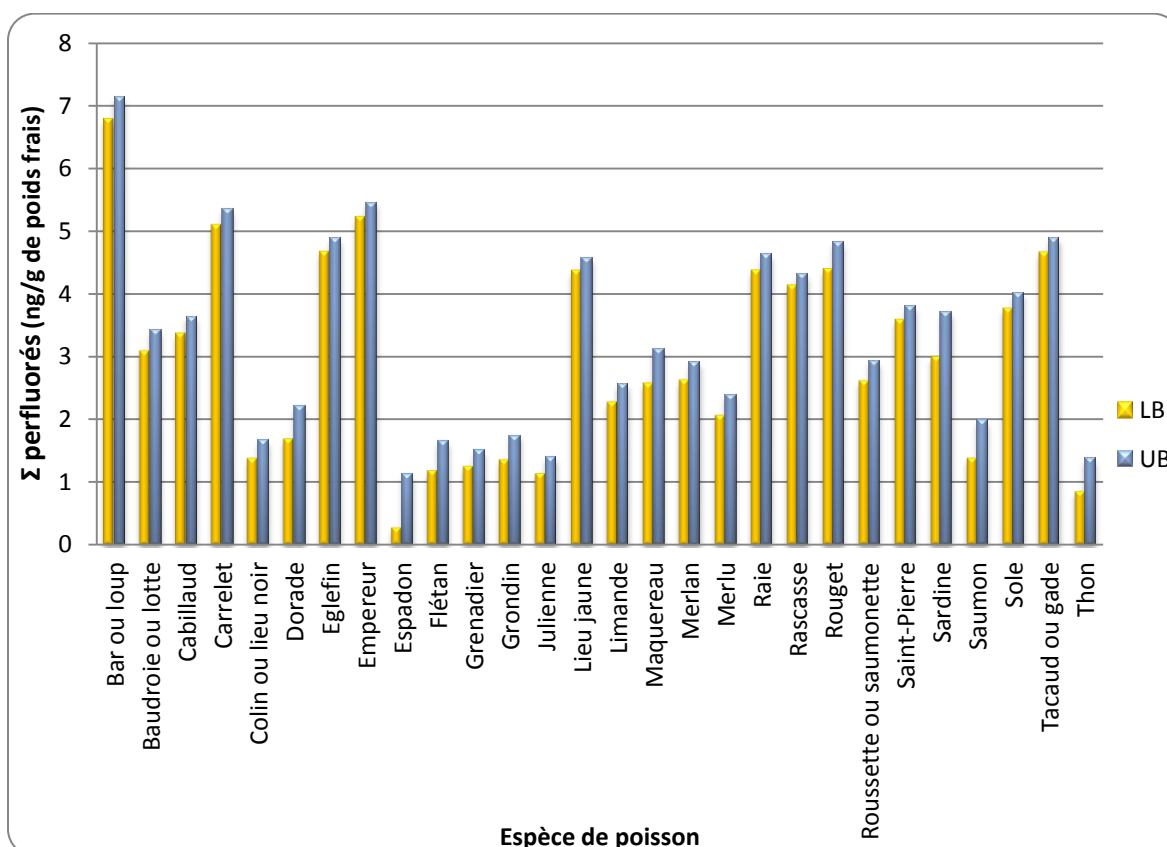


Figure 4: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par espèce de coquillage, mollusque et crustacé issu de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

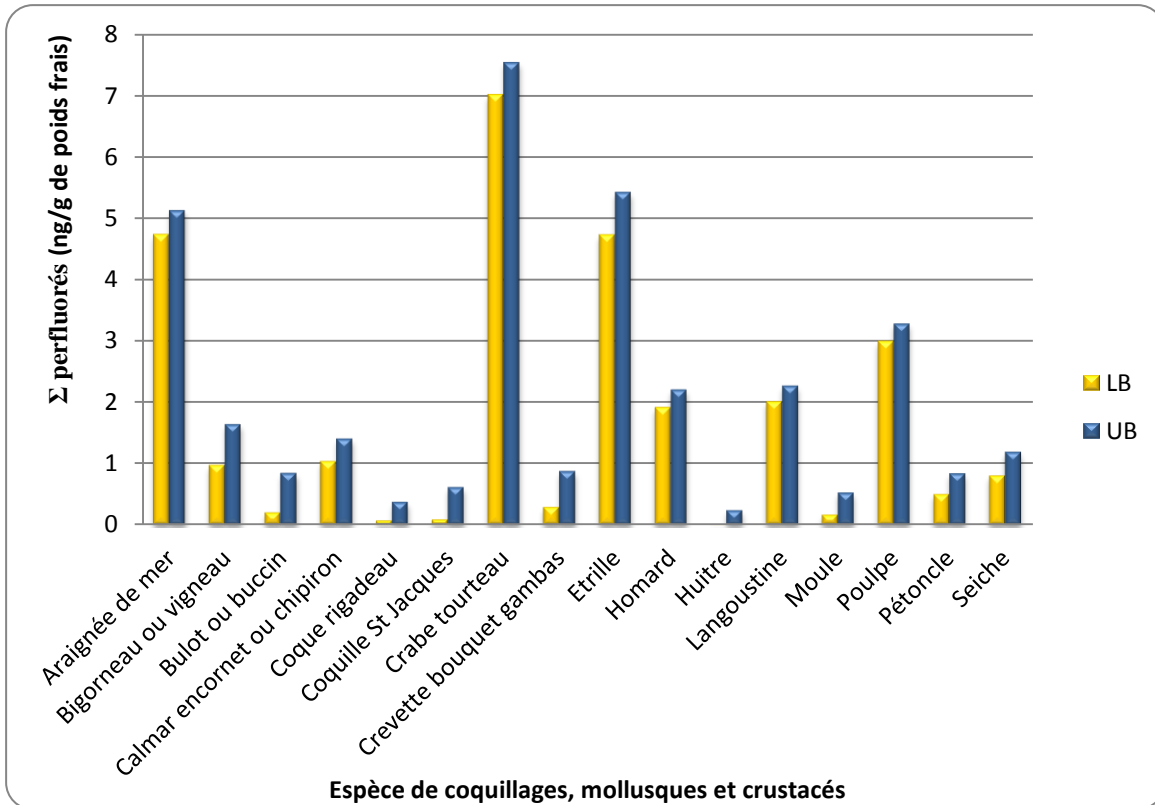
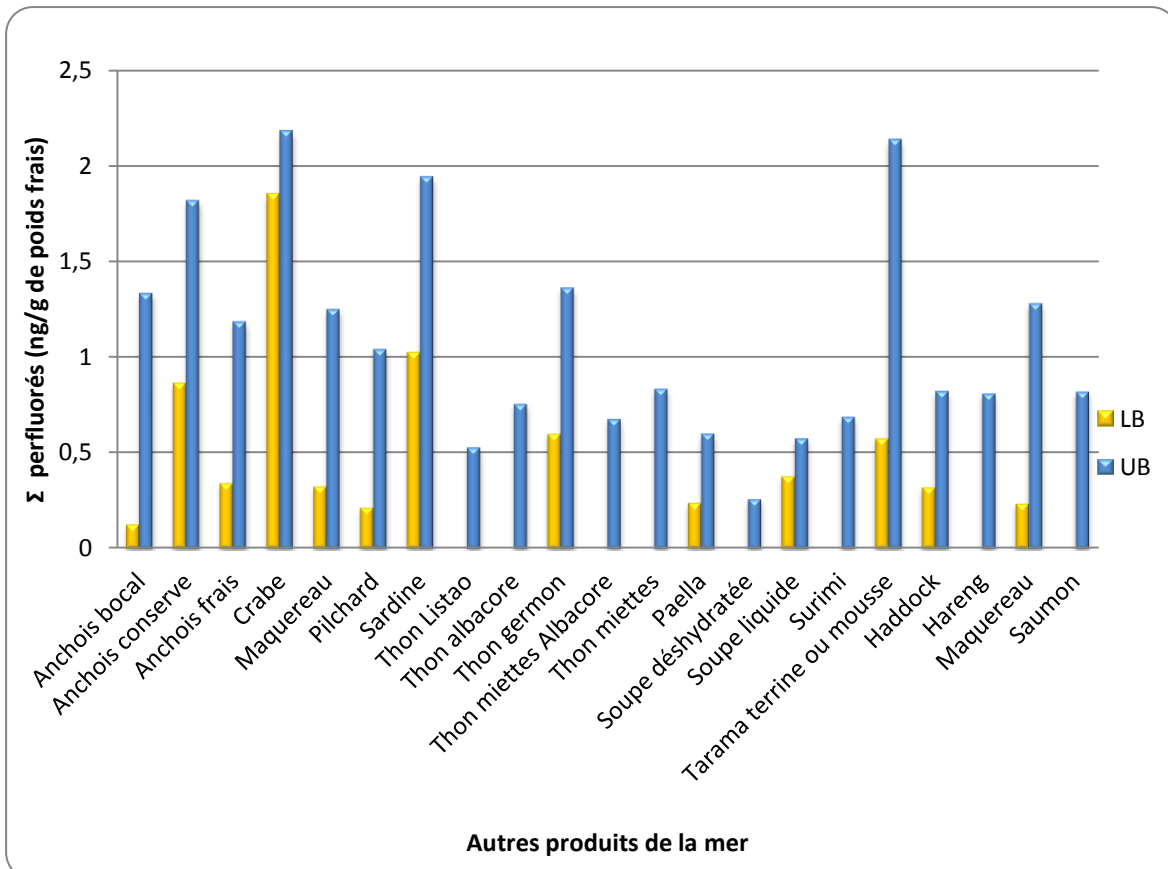


Figure 5: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par conserve, produit fumé ou plat préparé issu de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

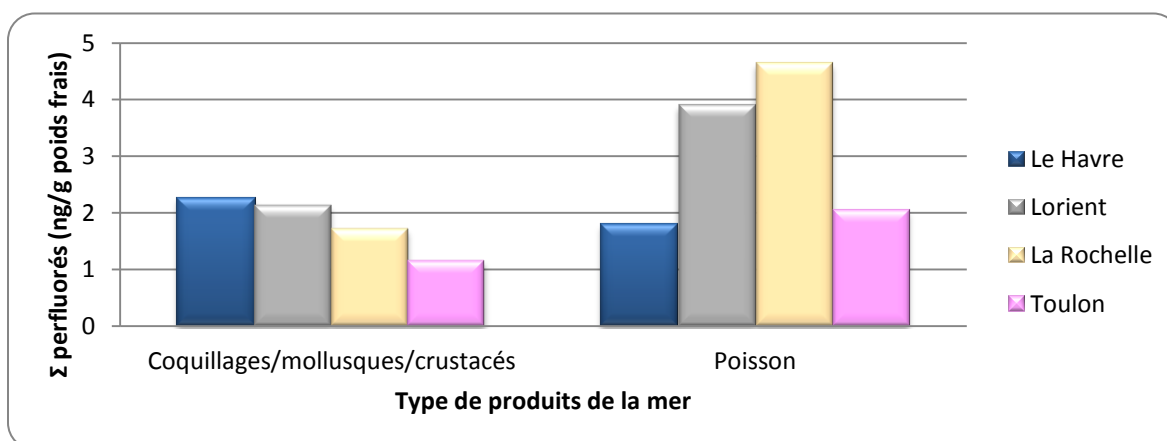


4.1.3 Description de la contamination en PFC par site

Les poissons, coquillages, crustacés et mollusques frais et surgelés susceptibles de variations interrégionales ont été échantillonnés spécifiquement sur les 4 sites de l'étude CALIPSO. Toutefois, l'échantillonnage ayant été réalisé selon la quantité du produit consommé, la liste des produits échantillonnés n'est pas identique pour les 4 sites. Un test statistique pour comparer la moyenne de la contamination en PFC des 4 sites aurait donc peu de signification, puisqu'il ne comparerait pas les mêmes produits. Néanmoins, la moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par type de produit de la mer et par site est présenté en figure 6, ainsi que la distribution de ces échantillons dans le tableau 8, ces données nous donnant une indication sur la contamination environnementale des sites sélectionnés. L'allure du graphique en hypothèse LB et UB différant peu, seul le graphique de l'hypothèse UB est présenté.

Lorient et La Rochelle semblent être les sites les plus contaminés en PFC, avec une contamination moyenne en somme des 15 PFC 2 à 3 fois plus élevée qu'au Havre ou à Toulon. La médiane, 4 fois plus élevée à Lorient et à la Rochelle indique que la valeur de la moyenne n'est pas due à quelques valeurs de contamination anormalement hautes, mais bien à une contamination globalement élevée sur ces 2 sites.

Figure 6: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC, par site et par type de produit de la mer de l'étude CALIPSO, hypothèse UB (ng.g⁻¹ de poids frais)



Le détail de la contamination en PFC par site des espèces échantillonnées, disponible en annexe 7 indique que la contamination est essentiellement due au PFOA, PFHxA et PFHpA à la Rochelle et à Lorient, lorsque la contamination des espèces en commun sur plusieurs sites est comparée. Il serait intéressant d'investiguer l'origine de cette contamination plus importante dans ces régions. A l'exception du Havre, les poissons paraissent globalement plus contaminés que les coquillages, mollusques et crustacés, comme constaté précédemment.

Tableau 8: Distribution de la contamination en somme des 15 PFC par site et par type de produit de la mer de l'étude CALIPSO (ng.g⁻¹ de poids frais)

		n	Moyenne		Médiane		Ecart-type		P95	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Le Havre	Poissons	21	1,38	1,79	1,01	1,44	1,06	1,01	3,40	3,66
	Coquillages, mollusques, crustacés	10	1,78	2,26	0,44	0,87	2,88	2,99	7,22	8,04
Lorient	Poissons	27	3,61	3,90	4,10	4,37	2,44	2,34	6,89	7,11
	Coquillages, mollusques, crustacés	11	1,76	2,14	0,91	1,08	2,30	2,33	6,82	7,33
La Rochelle	Poissons	23	4,32	4,63	4,78	4,96	2,01	1,93	6,84	7,18
	Coquillages, mollusques, crustacés	12	1,23	1,72	0,36	0,87	2,02	2,06	6,98	7,54
Toulon	Poissons	23	1,58	2,04	0,94	1,16	2,47	2,42	4,14	4,32
	Coquillages, mollusques, crustacés	9	0,72	1,15	0,19	0,70	1,08	1,01	3,00	3,28
Tous sites	Poissons	94	2,98	3,32	2,82	3,26	1,62	1,54	5,23	5,45
	Coquillages, mollusques, crustacés	42	1,72	2,15	0,89	1,30	2,10	2,13	7,01	7,54

4.2 Description de l'exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs des produits de la mer

La méthodologie du calcul d'exposition est décrite dans la partie 3.

4.2.1 Exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs de produits de la mer de l'étude CALIPSO

L'exposition alimentaire a été calculée pour les 993 individus de l'étude CALIPSO. Le détail de l'exposition par PFC et par groupe d'aliment est disponible dans le tableau 10 pour l'hypothèse LB, 11 pour l'hypothèse UB.

Sous l'hypothèse LB, les contributeurs majeurs à l'exposition aux PFC sont les poissons, coquillages, mollusques et crustacés frais, qui contribuent à plus de 80% de l'exposition alimentaire totale, mis à part pour le PFBS, PFHxS, PFHxA et PFHpA, pour lesquels l'eau contribue à hauteur de 99,94%, 68,1%, 13,54% et 8,81% respectivement.

Le tableau 12 regroupe les contributeurs majoritaires par PFC sous l'hypothèse LB. On notera que sous l'hypothèse LB, seuls les PFC quantifiés sont pris en compte. Ils le sont d'ailleurs pour peu de produits : produits de la mer, eau, viande, charcuterie et abats.

Sous l'hypothèse UB, le contributeur majeur semble plutôt être le lait et les produits laitiers, pour lesquels les PFC n'avaient pourtant pas été détectés et quantifiés. Ils sont parmi les deux contributeurs majoritaires pour les 15 PFC étudiés, leur pourcentage de contribution oscillant entre 14,76% et 67,64% selon le PFC considéré. Or, l'hypothèse UB est dépendante des limites de détection, qui sont relativement élevées pour cette catégorie alimentaire, entre 0,007 ng.g⁻¹ et 1,013 ng.g⁻¹ de poids frais, expliquant ainsi l'apport important en PFC attribué à ces produits. Toutefois, ne sachant pas si la concentration réelle des PFC dans les denrées alimentaires se rapproche davantage de 0 ou de la limite de détection, il n'est pas possible de savoir si l'exposition réelle des forts consommateurs des produits de la mer est mieux reflétée par l'hypothèse LB ou l'hypothèse UB.

Tableau 9: Estimation de l'exposition des forts consommateurs de produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse LB

Groupe d'aliments	PFBA			PFBS			PFDA			PFDS			PFHpA			PFHpS			PFHxA			PFHxS		
	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib
Poissons	0,43	1,43	98,11	0,00	0,00	0,06	0,14	0,42	85,27	0,01	0,07	77,74	0,40	1,34	89,34	0,00	0,00	100,00	0,52	1,78	82,24	0,01	0,03	11,07
Coquillages/mollusques/crustacés	0,01	0,03	1,89	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	11,62	0,00	0,02	22,26	0,01	0,04	1,73	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	4,23	0,01	0,05	20,83
Autres produits de la mer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pain, produits céréaliers	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Viennoiseries, biscuits, pâtisseries et sucreries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lait et produits laitiers	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Graisses, sauces et condiments	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Viandes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abats	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Charcuterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Légumes (hors pomme de terre)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eau	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	99,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,19	8,81	0,00	0,00	0,00	0,09	0,41	13,54	0,04	0,19	68,10
Pizzas, quiches, sandwiches et pâtes fourrées	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	0,43	1,46	100,00	0,02	0,11	100,00	0,16	0,51	100,00	0,02	0,09	100,00	0,45	1,56	100,00	0,00	0,00	100,00	0,64	2,32	100,00	0,06	0,27	100,00

Tableau 10: Estimation de l'exposition des forts consommateurs de produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse LB

Groupe d'aliments	PFNA			PFOA			PFOS			PFPA			PFUnA			PFTeDA			PFTrDA		
	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib
Poissons	0,14	0,39	79,06	1,03	3,38	88,37	1,10	3,06	72,03	0,20	0,74	97,39	0,33	1,22	77,81	0,00	0,01	100,00	0,02	0,07	34,54
Coquillages/mollusques/crustacés	0,03	0,12	17,82	0,10	0,33	8,69	0,27	0,90	17,99	0,01	0,03	2,61	0,07	0,25	17,27	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	41,94
Autres produits de la mer	0,00	0,01	2,02	0,00	0,00	0,00	0,12	0,34	8,18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	4,80	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	23,52
Pain, produits céréaliers	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.		.	.
Viennoiseries, biscuits, pâtisseries et sucreries	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lait et produits laitiers	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Graisses, sauces et condiments	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.		.	.
Viandes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,01	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abats	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	.	.		0,00	0,00	0,00
Charcuterie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Légumes (hors pomme de terre)	0,00	0,00	0,62	0,00	0,01	0,39	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pomme de terre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.		0,00	0,00	0,00
Eau	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	2,40	0,02	0,11	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.		.	.
Pizzas, quiches, sandwiches et pâtes fourrées	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.		.	.
TOTAL	0,18	0,53	100,00	1,16	3,83	100,00	1,53	4,42	100,00	0,21	0,76	100,00	0,43	1,54	100,00	0,00	0,01	100,00	0,05	0,20	100,00

Tableau 11: Estimation de l'exposition des forts consommateurs des produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse UB

Groupe d'aliments	PFBA			PFBS			PFDA			PFDS			PFHpA			PFHpS			PFHxA			PFHxS		
	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib
Poissons	0,47	1,45	10,82	0,03	0,08	1,86	0,16	0,46	21,45	0,05	0,14	6,54	0,42	1,34	15,37	0,04	0,09	4,43	0,54	1,79	29,04	0,04	0,11	6,19
Coquillages/mollusques/crustacés	0,04	0,10	0,87	0,01	0,03	0,60	0,03	0,09	4,47	0,01	0,04	1,87	0,02	0,06	0,75	0,01	0,03	1,29	0,04	0,15	2,08	0,02	0,08	3,42
Autres produits de la mer	0,04	0,10	0,90	0,01	0,03	0,73	0,03	0,09	4,62	0,02	0,05	2,41	0,02	0,05	0,75	0,02	0,05	2,11	0,02	0,05	0,99	0,01	0,04	2,16
Pain, produits céréaliers	0,55	0,98	12,73	0,41	0,75	23,75	0,06	0,11	8,06	0,05	0,09	6,56	0,11	0,20	4,02	0,11	0,20	13,34	0,15	0,26	7,84	0,07	0,13	10,53
Viennoiseries, biscuits, pâtisseries et sucreries	0,31	0,98	7,10	0,16	0,56	9,48	0,03	0,11	4,31	0,03	0,09	3,54	0,07	0,23	2,43	0,06	0,18	6,73	0,08	0,26	4,32	0,04	0,15	6,70
Lait et produits laitiers	1,18	2,60	27,40	0,56	1,20	32,20	0,27	0,60	37,52	0,37	0,82	50,47	0,45	1,01	16,65	0,34	0,75	39,95	0,60	1,33	31,89	0,25	0,56	37,90
Graisses, sauces et condiments	0,10	0,33	2,26	0,02	0,05	0,94	0,01	0,03	1,06	0,02	0,07	2,71	0,02	0,06	0,63	0,02	0,07	2,37	0,02	0,08	1,33	0,02	0,05	2,41
Viandes	0,61	1,25	14,13	0,14	0,29	8,12	0,05	0,09	6,29	0,05	0,11	7,29	0,07	0,14	2,47	0,06	0,13	7,31	0,10	0,21	5,54	0,05	0,10	6,97
Abats	0,01	0,06	0,24	0,02	0,13	1,34	0,00	0,03	0,63	0,01	0,07	1,64	0,00	0,02	0,11	0,02	0,14	2,82	0,01	0,03	0,31	0,01	0,07	1,78
Charcuterie	0,26	0,71	6,06	0,05	0,15	3,02	0,01	0,04	2,02	0,02	0,06	2,81	0,03	0,08	1,02	0,03	0,09	3,58	0,03	0,10	1,86	0,02	0,06	3,12
Légumes (hors pomme de terre)	0,42	0,96	9,88	0,18	0,42	10,56	0,03	0,07	4,12	0,03	0,06	3,93	0,06	0,15	2,31	0,07	0,16	8,29	0,10	0,22	5,19	0,04	0,10	6,60
Pomme de terre	0,09	0,28	2,20	0,04	0,10	2,14	0,01	0,04	1,76	0,01	0,03	1,49	0,02	0,05	0,66	0,03	0,08	3,43	0,03	0,08	1,44	0,01	0,03	1,78
Eau	0,18	0,38	4,10	0,07	0,17	4,06	0,02	0,05	2,93	0,06	0,14	8,32	1,44	3,21	52,61	0,03	0,06	3,09	0,14	0,49	7,26	0,06	0,22	9,18
Pizzas, quiches, sandwiches et pâtes fourrées	0,06	0,24	1,30	0,02	0,09	1,20	0,01	0,02	0,77	0,00	0,01	0,44	0,01	0,02	0,21	0,01	0,05	1,26	0,02	0,07	0,90	0,01	0,04	1,28
TOTAL	4,30	10,40	100,00	1,74	4,05	100,00	0,73	1,82	100,00	0,74	1,78	100,00	2,73	6,61	100,00	0,85	2,07	100,00	1,87	5,13	100,00	0,67	1,72	100,00

Tableau 12: Estimation de l'exposition des forts consommateurs des produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse UB

Groupe d'aliments	PFNA			PFOA			PFOS			PFPA			PFUnA			PFTeDA			PFTrDA		
	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib	Moy	P95	Contrib
Poissons	0,17	0,44	16,89	1,05	3,38	51,06	1,10	3,06	45,13	0,24	0,76	9,92	0,37	1,30	7,09	0,07	0,16	1,80	0,11	0,26	4,71
Coquillages/mollusques/crustacés	0,04	0,14	4,42	0,12	0,35	5,76	0,28	0,90	11,36	0,02	0,06	0,93	0,10	0,29	1,88	0,03	0,08	0,79	0,05	0,14	2,17
Autres produits de la mer	0,03	0,07	2,59	0,03	0,08	1,42	0,13	0,35	5,37	0,03	0,07	1,18	0,06	0,15	1,08	0,03	0,07	0,76	0,04	0,12	1,94
Pain, produits céréaliers	0,09	0,17	9,41	0,12	0,21	5,77	0,18	0,33	7,55	0,46	0,81	19,19	0,87	1,53	16,60	.	.		.	.
Viennoiseries, biscuits, pâtisseries et sucreries	0,05	0,18	5,41	0,06	0,19	2,85	0,09	0,32	3,87	0,25	0,83	10,31	0,42	1,38	8,05	0,14	0,76	3,78	0,09	0,51	4,14
Lait et produits laitiers	0,41	0,89	41,01	0,38	0,82	18,26	0,36	0,79	14,76	0,78	1,71	32,66	2,10	4,64	39,88	2,48	5,68	67,64	1,30	3,05	57,98
Graisses, sauces et condiments	0,01	0,03	0,77	0,02	0,09	1,17	0,02	0,07	0,91	0,03	0,11	1,42	0,03	0,09	0,52	.	.		.	.
Viandes	0,05	0,11	5,41	0,07	0,15	3,52	0,07	0,14	2,77	0,15	0,32	6,45	0,46	0,96	8,77	0,62	1,30	16,86	0,44	0,91	19,48
Abats	0,00	0,01	0,21	0,00	0,01	0,06	0,01	0,07	0,49	0,01	0,04	0,27	0,00	0,01	0,03	.	.		0,00	0,01	0,06
Charcuterie	0,02	0,06	2,09	0,03	0,08	1,40	0,03	0,07	1,03	0,06	0,18	2,70	0,12	0,31	2,24	0,19	0,54	5,08	0,11	0,34	5,12
Légumes (hors pomme de terre)	0,06	0,13	5,53	0,12	0,29	5,68	0,05	0,13	2,22	0,16	0,35	6,50	0,29	0,71	5,44	0,12	0,27	3,29	0,09	0,21	4,18
Pomme de terre	0,01	0,04	1,34	0,01	0,04	0,64	0,01	0,04	0,54	0,03	0,09	1,26	0,12	0,42	2,20	.	.		0,00	0,02	0,22
Eau	0,04	0,09	4,01	0,04	0,14	2,04	0,09	0,20	3,56	0,15	0,53	6,26	0,29	0,67	5,59	.	.		.	.
Pizzas, quiches, sandwiches et pâtes fourrées	0,01	0,04	0,89	0,01	0,03	0,39	0,01	0,05	0,44	0,02	0,09	0,94	0,03	0,14	0,64	.	.		.	.
TOTAL	1,00	2,40	100,00	2,06	5,86	100,00	2,45	6,50	100,00	2,39	5,95	100,00	5,27	12,60	100,00	3,67	8,87	100,00	2,24	5,56	100,00

Tableau 13: Synthèse des contributeurs majoritaires et pourcentage de contribution des groupes d'aliment par PFC

	Lower bound		Upper bound	
PFC	Contributeurs majoritaires	Contrib. (%)	Contributeurs majoritaires	Contrib. (%)
PFBA	Poissons	98,11	Lait et produits laitiers	27,4
	Coquillages/mollusques/crustacés	1,89	Viandes	14,13
PFBS	Eau	99,94	Lait et produits laitiers	32,2
	Poissons	0,06	Pain, produits céréaliers	23,75
PFDA	Poissons	85,27	Lait et produits laitiers	37,52
	Coquillages/mollusques/crustacés	11,62	Poissons	21,45
PFDS	Poissons	77,74	Lait et produits laitiers	50,47
	Coquillages/mollusques/crustacés	22,26	Eau	8,32
PFHpA	Poissons	89,34	Eau	52,61
	Eau	8,81	Lait et produits laitiers	16,65
PFHpS	Poissons	100	Lait et produits laitiers	39,95
			Pain, produits céréaliers	13,34
PFHxA	Poissons	82,24	Lait et produits laitiers	31,89
	Eau	13,54	Poissons	29,04
PFHxS	Eau	68,1	Lait et produits laitiers	37,9
	Coquillages/crustacés/mollusques	20,83	Pain, produits céréaliers	10,53
	Poissons	11,07	Eau	9,18
PFNA	Poissons	79,06	Lait et produits laitiers	41,01
	Coquillages/mollusques/crustacés	17,82	Poissons	16,89
PFOA	Poissons	88,37	Poissons	51,06
	Coquillages/mollusques/crustacés	8,69	Lait et produits laitiers	18,26
PFOS	Poissons	72,03	Poissons	45,13
	Coquillages/mollusques/crustacés	17,99	Lait et produits laitiers	14,76
PFPA	Poissons	97,39	Lait et produits laitiers	32,66
	Coquillages/mollusques/crustacés	2,61	Pain, produits céréaliers	19,19
PFUnA	Poissons	77,81	Lait et produits laitiers	39,88
	Coquillages/mollusques/crustacés	17,27	Pain, produits céréaliers	16,6
PFTeDA	Poissons	100	Lait et produits laitiers	67,64
PFTrDA	Coquillages/mollusques/crustacés	41,94	Lait et produits laitiers	57,98
	Poissons	34,54	Viandes	19,48
	Autres produits de la mer	23,52	Charcuterie	5,12

Certaines espèces paraissent particulièrement contributrices à l'exposition alimentaire aux PFC. Sous l'hypothèse LB, il s'agit de :

- L'anguille : 100% de contribution pour le PFBS et le PFHpS, 25,9% pour le PFHxS, 19,2% pour le PFOS
- La raie : 69,65% de contribution pour le PFDS
- Le colin : 47,92% de contribution pour le PFTeDA
- Le crabe tourteau : 37,16% de contribution pour le PFHxS
- Le bar : 28,13% de contribution pour le PFUnA
- Le crabe en conserve : 23,52% de contribution pour le PFTrDA
- La sardine : 22,38% de contribution pour le PFTeDA
- L'étrille : 20,05% de contribution pour le PFDS

Ces espèces correspondent soit à des espèces fortement contaminées (crustacés, anguille, raie, sardine), soit à des espèces fortement consommées (colin, bar).

4.2.2 Comparaison de l'exposition alimentaire aux PFC hommes/femmes

Le test de Wilcoxon a été utilisé afin de déterminer s'il existait une différence d'exposition alimentaire aux PFC entre les hommes et les femmes, puis entre les hommes et les femmes en âge en procréer, c'est-à-dire âgées entre 18 et 44 ans (n=343). Pour les 15 PFC, une différence significative a été mise en évidence avec un risque d'erreur $\alpha=5\%$, avec une exposition supérieure pour les femmes adultes et en âge de procréer que pour les hommes sous l'hypothèse UB. Sous l'hypothèse LB, une différence significative a été mise en évidence avec un risque d'erreur $\alpha=5\%$ pour :

- Le PFBA, PFDA, PFNA, PFOA, PFPA : exposition alimentaire significativement moins élevée chez les femmes en âge de procréer
- Le PFUnA, le PFTrDA : exposition alimentaire significativement plus élevée chez les femmes adultes
- Le PFHpS : exposition alimentaire significativement moins élevée chez les femmes adultes et en âge en procréer

Le tableau 13 reprend les moyennes des expositions alimentaires aux PFC des hommes adultes, des femmes adultes et des femmes en âge de procréer, ainsi que la p-value issue des tests de Wilcoxon comparant l'exposition des hommes adultes à celle des femmes adultes, et ceux comparant l'exposition des hommes adultes à celle des femmes en âge de procréer.

Tableau 14 : Moyenne des expositions alimentaires aux 15 PFC par sexe (* différence homme femme significative)

PFC	Hypothèse	Moyenne (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹)			p-value	
		Homme	Femme	Femme en âge de procréer	♂ vs ♀	♂ vs ♀ en âge de procréer
PFBA	LB	0,43	0,43	0,37*	0,49	0,0045
	UB	3,76	4,51*	4,79*	<0,0001	<0,0001
PFBS	LB	0,02	0,025	0,031	0,29	0,14
	UB	1,48	1,84*	1,98*	<0,0001	<0,0001
PFDA	LB	0,27	0,16	0,14*	0,43	0,017
	UB	0,65	0,76*	0,79*	<0,0001	<0,0001
PFDS	LB	0,013	0,018	0,015	0,14	0,16
	UB	0,61	0,79*	0,82*	<0,0001	<0,0001
PFHpA	LB	0,46	0,44	0,4	0,46	0,09
	UB	2,4	2,86*	2,93*	<0,0001	<0,0001
PFHpS	LB	0,0008	0,0004*	0,0004*	0,0014	0,005
	UB	0,72	0,89*	0,96*	<0,0001	<0,0001
PFHxA	LB	0,64	0,64	0,58	0,44	0,087
	UB	1,67	1,95*	2*	<0,0001	<0,0001
PFHxS	LB	0,05	0,06	0,068	0,34	0,26
	UB	0,57	0,7*	0,76*	<0,0001	<0,0001
PFNA	LB	0,18	0,18	0,16*	0,47	0,023
	UB	0,87	1,06*	1,1*	<0,0001	<0,0001
PFOA	LB	1,26	1,12	1,03*	0,17	0,017
	UB	2	2,08*	2,05	0,04	0,097
PFOS	LB	1,56	1,51	1,38	0,16	0,11
	UB	2,35	2,48*	2,44*	0,0005	0,02
PFPA	LB	0,22	0,2	0,17*	0,11	0,0019
	UB	2,1	2,51*	2,7*	<0,0001	<0,0001
PFUnA	LB	0,4	0,44*	0,38	0,045	0,48
	UB	4,47	5,58*	5,97*	<0,0001	<0,0001
PFTeDA	LB	0,0025	0,003	0,003	0,31	0,14
	UB	2,88	3,99*	4,28*	<0,0001	<0,0001
PFTrDA	LB	0,043	0,05*	0,05	0,03	0,27
	UB	1,77	2,42*	2,57*	<0,0001	<0,0001

Sous l'hypothèse LB, l'exposition alimentaire aux PFC est essentiellement due à la consommation de produits de la mer et la forte contribution des autres groupes de produits sous l'hypothèse UB est due aux limites de sensibilité élevées pour ces derniers. La différence d'exposition homme/femme est expliquée par la différence de profil de consommation alimentaire. Aucune étude n'explique aujourd'hui la différence de contamination constatée parmi ces denrées alimentaires. Elle peut être due soit à un mécanisme de bioaccumulation particulier à certains organismes, soit à une pollution

élevée dans l'environnement des organismes et produits échantillonnés, contaminant alors le produit.

4.2.3 Comparaison de l'exposition alimentaire aux PFC des 4 sites de l'étude CALIPSO

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence significative de la moyenne de l'exposition alimentaire aux PFC sur les 4 sites de l'étude, avec un risque $\alpha=5\%$, excepté pour le PFOS ainsi que le PFNA et le PFPA sous l'hypothèse UB. Graphiquement, Lorient et La Rochelle paraissent être les sites où les individus sont les plus exposés aux PFC via l'alimentation, par le biais des produits de la mer et de l'alimentation générale. Ce sont également les sites où les produits de la mer échantillonnés apparaissaient comme étant les plus contaminés. Comme expliqué dans la partie 4.1.3, la liste des espèces échantillonnées diffère entre les 4 sites. Un test statistique pour comparer la contamination des espèces échantillonnées sur les sites ne serait donc pas pertinent. La moyenne d'exposition par PFC et par site, ainsi que la valeur de la p-value du test de Kruskal-Wallis testant l'égalité de ces moyennes sont reportées dans le tableau 14 suivant.

Tableau 15: Moyenne de l'exposition alimentaire par site et par PFC en ng.kg^{-1} de poids corporel.j⁻¹ et p-value du test de Kruskal-Wallis

PFC	Hypothèse	Le Havre	Lorient	La Rochelle	Toulon	p
PFBA	LB	0,22	0,77	0,61	0,15	<0,0001 *
	UB	4,37	4,49	4,22	4,12	0,024 *
PFBS	LB	0,019	0,014	0,023	0,039	<0,0001 *
	UB	1,88	1,69	1,59	1,79	<0,0001 *
PFDA	LB	0,086	0,16	0,29	0,11	<0,0001 *
	UB	0,7	0,7	0,81	0,7	0,0011 *
PFDS	LB	0,034	0,026	0,005	0,002	<0,0001 *
	UB	0,82	0,75	0,67	0,72	<0,0001 *
PFHpA	LB	0,21	0,7	0,77	0,12	<0,0001 *
	UB	2,4	3,69	2,71	2,13	<0,0001 *
PFHpS	LB	0,0002	0,0002	0,0013	0,0002	<0,0001 *
	UB	0,93	0,81	0,78	0,86	<0,0001 *
PFHxA	LB	0,26	1,06	0,98	0,25	<0,0001 *
	UB	1,61	2,25	2,1	1,51	<0,0001 *
PFHxS	LB	0,046	0,052	0,06	0,076	<0,0001 *
	UB	0,71	0,65	0,62	0,69	0,0012 *
PFNA	LB	0,09	0,21	0,28	0,14	<0,0001 *
	UB	0,98	1	1,04	1	0,54
PFOA	LB	0,42	1,53	2,46	0,25	<0,0001 *
	UB	1,39	2,37	3,27	1,2	<0,0001 *
PFOS	LB	1,4	1,4	1,85	1,45	0,36
	UB	2,4	2,31	2,68	2,4	0,8
PFPA	LB	0,05	0,44	0,31	0,03	<0,0001 *
	UB	2,4	2,5	2,31	2,34	0,08
PFUnA	LB	0,25	0,29	0,32	0,84	<0,0001 *
	UB	5,56	5	4,73	5,76	<0,0001 *
PFTeDA	LB	0,008	0,0004	0,002	0,0005	<0,0001 *
	UB	4,25	3,47	3,31	3,66	<0,0001 *
PFTrDA	LB	0,024	0,065	0,03	0,075	<0,0001 *
	UB	2,55	2,12	1,98	2,28	<0,0001 *

4.3 Comparaison de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés des forts consommateurs de produits de la mer à la population générale

Le tableau 15 ci-dessous compare l'exposition alimentaire aux PFC des forts consommateurs de produits de la mer issus de l'étude CALIPSO avec la population générale dont les données proviennent de l'EAT2.

Tableau 16: Comparaison de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés entre les études EAT2 et CALIPSO sous l'hypothèse UB (ng.kg⁻¹ poids corporel.j⁻¹)

PFC	EAT2	CALIPSO
PFBA	2,57	4,3
PFBS	1,16	1,74
PFDA	0,34	0,73
PFDS	0,4	0,74
PFHpA	0,76	2,73
PFHpS	0,7	0,85
PFHxA	0,86	1,87
PFHxS	0,38	0,67
PFNA	0,49	1
PFOA	0,74	2,06
PFOS	0,66	2,45
PFPA	1,5	2,39
PFUnA	3,23	5,27

On constate que l'exposition alimentaire aux PFC est supérieure chez les forts consommateurs de produits de la mer que chez la population générale pour tous les composés étudiés, confortant notre hypothèse de départ. Pour le PFOA et le PFOS, elle est respectivement 2,8 et 3,7 fois plus élevée. Les forts consommateurs de produits de la mer constituent bien une des franges de la population française métropolitaine parmi les plus exposées aux PFC.

5 Discussion

5.1 Contamination des produits de la mer

Les produits échantillonnés à Lorient et à la Rochelle semblent être plus contaminés qu'au Havre et à Toulon, exception faite des crustacés, mollusques et coquillages qui montrent une contamination plus élevée au Havre. La liste des produits échantillonnés diffère pour les 4 sites. La moyenne de la contamination en somme des 15 PFC n'est donc qu'un indicateur de la contamination globale. Il est plausible qu'une activité humaine

ou autre rejetant des PFC dans l'environnement soit à l'origine de la plus forte contamination retrouvée dans les produits de la mer des régions de Lorient et de la Rochelle. Si cela s'avérait nécessaire, il serait alors utile de répertorier les activités/sources susceptibles de contribuer à cette augmentation du niveau « bruit de fond » de contamination quant au rejet de substances persistantes et bioaccumulatrices dans l'environnement.

Toutefois, une faiblesse au niveau de l'échantillonnage peut être relevée. En effet, chaque échantillon composite étant composé de 5 produits, un produit anormalement surcontaminé suffit à biaiser les données de contamination qui sont utilisées pour la description de la contamination des espèces et pour le calcul de l'exposition alimentaire. C'est pourquoi pour l'échantillon d'oursin, le doute persiste quant à la plausibilité d'une contamination plus de 50 fois supérieure à la moyenne du groupe « crustacés/mollusques/coquillages ».

En juin 2012, l'EFSA a publié un rapport sur l'occurrence des composés perfluoroalkylés dans les aliments et sur l'exposition alimentaire aux PFAS, en se basant sur les données transmises par 13 Etats européens. L'EFSA retrouve bien une plus forte contamination en PFAS dans les poissons et produits de la mer, comme c'est le cas dans notre étude pour l'hypothèse LB, avec des taux de détection les plus élevés pour le PFOS et le PFOA. L'analyse plus fine de ces données a également révélé une contamination plus importante chez les poissons d'eau douce que chez les poissons de mer ou diadromes. Ce point pourra être étudié ultérieurement lors de l'intégration des données de l'étude ICAR-PCB qui se focalise sur les poissons de rivière.

Dans ce même rapport de l'EFSA, lorsque l'on examine les valeurs de la contamination de chair de poisson par PFC, 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 16 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 PFC du rapport de l'EFSA est inférieure à celle de CONTREPERF 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 du projet CONTREPERF pour les hypothèses LB et UB, suggérant une consommation d'espèces de poisson plus contaminées ou bioaccumulatrices en PFOA en France que celles consommées dans le reste de l'Europe. Comme relevé précédemment, les niveaux de contamination faibles dans l'EAT2 proviennent de l'échantillonnage d'espèces peu contaminées pour cette étude, mettant en

valeur l'importance de la méthodologie d'échantillonnage afin d'avoir des données les plus représentatives possible.

Tableau 17: Comparaison entre la moyenne de contamination des poissons du rapport de l'EFSA, l'EAT2 et le projet CONTREPERF (ng.g⁻¹ de poids frais)

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

Il est toutefois assez difficile de comparer ces données, puisqu'elles ne sont pas issues d'études avec une méthodologie identique, mais elles donnent une indication sur le niveau de contamination à l'échelle européenne, du même ordre qu'à l'échelle française.

Les données de l'EFSA seront mises à jour régulièrement. En effet, la commission européenne, via la recommandation 2010/161/EU, a encouragé les pays membres à suivre la contamination en PFAS dans une large gamme de denrées alimentaires. Ces données sont collectées et analysées par l'EFSA. Une baisse des limites de quantification est attendue avec l'amélioration des techniques analytiques, réduisant d'autant l'incertitude analytique observée entre les hypothèses LB et UB due à la prise en compte des données censurées dans la méthodologie de calcul des niveaux de contaminations.

5.2 Exposition alimentaire aux composés perfluorés

Dans le rapport de l'EFSA, l'exposition alimentaire de la population adulte sous l'hypothèse UB a été évaluée à 5,2 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ pour le PFOS et à 4,3 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ pour le PFOA, tandis qu'elle a été évaluée à 0,66 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ et à 0,74 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ pour l'EAT2 et à 2,06 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ et à 2,45 ng.kg⁻¹ pc.j⁻¹ pour les forts consommateurs de produits de la mer. La différence entre l'EAT2 et les forts consommateurs de produits de

la mer s'explique par la prise en considération de données de contamination et de consommation plus élevée chez les forts consommateurs de produits de la mer. En effet, les forts consommateurs de produits de la mer consomment 2,5 à 3 fois plus de produits de la mer que la population générale, et les données de contamination étaient, pour le cas du PFOS dans les poissons frais sous l'hypothèse UB par exemple, 6 fois supérieures pour les échantillons de l'étude CALIPSO que pour l'EAT2. Les différences avec l'étude de l'EFSA proviennent des limites de détection élevées et des données censurées nombreuses pour les données dont ils disposent, ce qui a pour effet d'augmenter de façon importante l'incertitude analytique.

L'utilisation des hypothèses LB et UB permet d'encadrer l'exposition réelle aux PFC, puisque l'hypothèse LB représente la valeur minimale plausible et l'hypothèse UB celle maximale de l'exposition au regard des analyses effectuées. Toutefois, rien ne permet d'indiquer si l'exposition réelle est plus proche de l'une ou l'autre hypothèse. Certaines études utilisent également l'hypothèse « medium bound », qui consiste à remplacer les données en-dessous de la limite de détection par la moitié de la limite de détection (LOD/2). Cependant, les valeurs de l'exposition alimentaire au PFOS et PFOA sont largement en-dessous des DJA dans ces études, même sous l'hypothèse UB. Un encadrement de la valeur d'exposition par les hypothèses LB et UB est donc suffisant, d'autant plus que les limites de quantification sont assez basses, ce qui permet d'obtenir une fourchette relativement étroite de la valeur de l'exposition.

6 Conclusion

Chez les forts consommateurs de produits de la mer, une différence significative de l'exposition alimentaire aux PFC a été mise en évidence entre les 4 sites, Lorient et La Rochelle étant les sites où l'exposition alimentaire est la plus forte. L'origine de cette différence peut être due à une activité humaine ou autre rejetant des PFC dans l'environnement. Une différence de l'exposition alimentaire aux PFC a également été mise en évidence entre sexe, les femmes étant généralement plus exposées. Elle s'explique par une différence au niveau de la consommation alimentaire. Néanmoins, à l'heure actuelle, aucune étude n'a réussi à expliquer pourquoi les PFC s'accumulaient préférentiellement dans certains organismes, animaux ou végétaux. Dans le cas des produits de la mer, les poissons dits prédateurs et les crustacés détritivores semblent être plus bioaccumulateurs que les autres espèces, alors que la biomagnification des PFC est controversée.

Comme attendu, les forts consommateurs de produits de la mer sont plus exposés aux PFC que la population générale, d'après les données françaises de consommation et de contamination. Toutefois, même pour cette frange plus exposée de la population, les

valeurs du 95^{ème} percentile de l'exposition sous l'hypothèse UB restent en deçà des DJT actuellement disponibles et établies pour le PFOS et le PFOA par l'EFSA, confortant ainsi les conclusions de l'EAT2 quant à l'absence de risque sanitaire identifiée à ce jour pour ces substances via les aliments.

Néanmoins, pour des populations plus sensibles aux effets sanitaires, comme par exemple les femmes enceintes dans le cas de l'exposition à des perturbateurs endocriniens dont le mécanisme d'action est encore mal connu, il est nécessaire d'évaluer leur exposition par toutes les voies (orale, cutanée et respiratoire), même si de nombreuses études suggèrent que la voie alimentaire est celle majoritaire. L'ANSES a également évalué la contribution de la cuisson des denrées alimentaires dans des poêles avec des revêtements anti-adhésifs type Téflon®, qui s'est avérée négligeable au regard de l'exposition alimentaire.

De nombreux projets ont pour but aujourd'hui de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les effets toxicologiques des PFC, PFOS et PFOA inclus, qui serviront ensuite de base à l'élaboration de VTR individuelle ou de groupe, indispensables à l'évaluation de risques sanitaires de ces substances.

Avec la diminution du volume de production de PFOS, notamment depuis l'arrêt de sa production par 3M en 2003, la question de la diminution des rejets environnementaux et donc de la contamination environnementale est posée. Toutefois, des molécules de substitution ont été utilisées, comme le PFNA, lui aussi un PFC. Or, nombre de PFC ont pour métabolites ultimes le PFOS ou le PFOA, ce qui rend difficile la détermination de la part de PFOS et PFOA rejetés directement dans l'environnement et celle issue de la dégradation des PFC. A l'heure actuelle, les données de la littérature ne permettent pas de conclure sur la diminution de la contamination environnementale en PFC. L'amélioration des techniques analytiques, abaissant la limite de quantification, et le suivi de la contamination d'une large gamme de denrées alimentaires par plusieurs pays européens permettront de répondre à cette question dans un futur proche.

7 Retour d'expérience

Les objectifs établis au départ du mémoire, au moment de la rédaction de la note de cadrage, étaient les suivants :

- Recherche bibliographique pour caractériser la nature et les dangers associés aux composés perfluorés
- Sélection des composés perfluorés à prendre en compte dans l'étude
- Calcul de l'exposition alimentaire aux PFC en intégrant les données :
 - De l'EAT2
 - De l'étude CALIPSO. Population étudiée : les forts consommateurs de produits de la mer

- De l'étude ICAR-PCB. Population étudiée : les forts consommateurs de poissons de rivière
- Création d'une base de données pour les questionnaires remplies par les jeunes mères pour la poursuite du projet CONTREPERF
- Développement d'une interface de saisie afin de faciliter le remplissage de la base de données

Le tableau 17 ci-dessous synthétise l'avancement de chacun de ces objectifs.

Tableau 18: Tableau d'avancement des objectifs établis dans la note de cadrage

Objectif	Avancement	Remarques
Recherche bibliographique	Terminé	
Sélection des composés perfluorés	Terminé	
Calcul de l'exposition alimentaire aux PFC	66%	Prise en compte des données de l'EAT2 et de l'étude CALIPSO. Données de l'étude ICAR-PCB non prises en compte
Création d'une base de données	0%	Retard sur le recrutement des jeunes mères
Développement d'une interface de saisie	0%	Retard sur le recrutement des jeunes mères

Ce sujet de mémoire devait initialement être réalisé en 6 mois et traiter uniquement des forts consommateurs de produits de la mer, c'est-à-dire prendre en compte les données de l'EAT2 et de l'étude CALIPSO. Suite à un point de cadrage du sujet après le début du mémoire, il a été proposé d'une part de remplacer les données de contamination de l'eau destinée à la consommation humaine (dite « eau du robinet ») par les données issues de la campagne nationale d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine menée par le laboratoire d'hydrologie de Nancy, et d'autre part de réaliser une étude similaire sur les forts consommateurs de produits de rivière en se basant sur les données de l'étude ICAR-PCB. Peu de données étaient cependant disponibles concernant la contamination de l'eau pour les départements correspondants aux 4 sites sélectionnés pour l'étude CALIPSO. Les données de contamination de l'eau de l'EAT2 ont donc été gardées.

Plusieurs facteurs ont contribué au retard dans l'avancement du mémoire:

- Le sujet du mémoire était initialement prévu pour être réalisé en 6 mois et devait porter uniquement sur les forts consommateurs de produits de la mer

- 3 semaines ont été nécessaires sur le lieu du mémoire pour l'acquisition du logiciel de statistiques SAS[®], indispensable pour la manipulation des données qui étaient déjà disponibles
- Ayant les bases pour utiliser le logiciel SAS[®] mais n'étant pas experte, j'ai souhaité écrire moi-même les programmes afin de renforcer mes compétences. Toutefois, ce qui a pu être une perte de temps lors de ce mémoire se transformera en un gain de temps lors de la poursuite de ce projet au cours du CDD qui m'a été proposé
- La base de données sur les consommations alimentaires issue de l'étude CALIPSO a dû être nettoyée (correction des poids corporels absents ou aberrants, exclusion des consommations alimentaires aberrantes...), suite à la mise en évidence d'outliers après calcul de l'exposition alimentaire aux PFC

8 Perspectives

Dans un premier temps, la priorité sera de poursuivre les objectifs du mémoire, c'est-à-dire d'évaluer l'exposition alimentaire aux 15 composés perfluorés des forts consommateurs de poissons de rivière. En effet, ils constituent, au même titre que les forts consommateurs de produits de la mer, une population décrite comme étant particulièrement exposée aux composés perfluorés via l'alimentation. La base de données sur les habitudes alimentaires et l'environnement des jeunes mères sera ensuite créée puis remplie suite au développement d'une interface de saisie.

Suite à ces étapes, le lien entre exposition totale et imprégnation pourra être mis en évidence chez les femmes enceintes recrutées pour l'étude CONTREPERF. Un modèle de transfert mère-enfant des PFC sera également élaboré à partir de l'évaluation de l'exposition aux PFC chez ces femmes, le dosage des PFC dans le sang de cordon ombilical et dans le lait maternel.

Selon les résultats obtenus, le projet CONTREPERF peut amener à l'élaboration de nouvelles recommandations à destination des femmes enceintes, afin de minimiser le risque dû à l'exposition aux composés perfluorés.

L'évaluation des risques sanitaires, comparant les valeurs d'exposition aux VTR, devra être revue avec la fixation de VTR pour les PFC autres que le PFOS et le PFOA, et de la révision possible pour ces deux dernières molécules au regard de leurs nouveaux questionnements toxicologiques (potentiel génotoxique et effet perturbateur endocrinien).

Bibliographie

(2009). Rapport de la conférence des parties à la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants sur les travaux de sa quatrième réunion (Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants).

3M. 3M United States: PFOS PFOA: What is 3M doing?

AFSSA (2006). CALIPSO: Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3.

AFSSA (2009). Etude individuelle nationale des consommations alimentaires 2 (INCA 2).

Alexander, B.H. (2001). Mortality study of workers employed at the 3 M cottage grove facility. Final report (Division of environmental and occupational health, school of public health, university of Minnesota).

Alexander, B.H., Olsen, G.W., Burris, J.M., Mandel, J.H., and Mandel, J.S. (2003). Mortality of employees of a perfluorooctanesulphonyl fluoride manufacturing facility. *Occupational and environmental medicine* 60, 722-729.

ANSES (2011). Etude de l'alimentation totale française 2.

ANSES, and InVS (2011). Etude nationale d'imprégnation aux polychlorobiphényles des consommateurs de poissons d'eau douce.

Armitage, J.M., MacLeod, M., and Cousins, I.T. (2009). Modeling the global fate and transport of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanoate (PFO) emitted from direct sources using a multispecies mass balance model. *Environmental science & technology* 43, 1134-1140.

Bemrah, N., Sirot, V., Leblanc, J.C., and Volatier, J.L. (2009). Fish and seafood consumption and omega 3 intake in French coastal populations: CALIPSO survey. *Public health nutrition* 12, 599-608.

Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., de Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., and van Leeuwen, S.P. (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management* 7, 513-541.

Clarke, D.B., Bailey, V.A., Routledge, A., Lloyd, A.S., Hird, S., Mortimer, D.N., and Gem, M. (2010). Dietary intake estimate for perfluorooctanesulphonic acid (PFOS) and other perfluorocompounds (PFCs) in UK retail foods following determination using standard addition LC-MS/MS. *Food additives & contaminants Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 27, 530-545.

EFSA (2008). Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts - Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain.

Fromme, H., Schlummer, M., Moller, A., Gruber, L., Wolz, G., Ungewiss, J., Bohmer, S., Dekant, W., Mayer, R., Liebl, B., *et al.* (2007). Exposure of an adult population to perfluorinated substances using duplicate diet portions and biomonitoring data. *Environmental science & technology* 41, 7928-7933.

- Giesy, J.P., and Kannan, K. (2001). Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. *Environmental science & technology* 35, 1339-1342.
- Giesy, J.P., Naile, J.E., Khim, J.S., Jones, P.D., and Newsted, J.L. (2010). Aquatic toxicology of perfluorinated chemicals. *Reviews of environmental contamination and toxicology* 202, 1-52.
- Gilliland, F.D., and Mandel, J.S. (1993). Mortality among employees of a perfluorooctanoic acid production plant. *Journal of occupational medicine : official publication of the Industrial Medical Association* 35, 950-954.
- Grandjean, P., Andersen, E.W., Budtz-Jorgensen, E., Nielsen, F., Molbak, K., Weihe, P., and Heilmann, C. (2012). Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. *JAMA : the journal of the American Medical Association* 307, 391-397.
- Haug, L.S., Salihovic, S., Jogsten, I.E., Thomsen, C., van Bavel, B., Lindstrom, G., and Becher, G. (2010a). Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway. *Chemosphere* 80, 1137-1143.
- Haug, L.S., Thomsen, C., Brantsaeter, A.L., Kvalem, H.E., Haugen, M., Becher, G., Alexander, J., Meltzer, H.M., and Knutsen, H.K. (2010b). Diet and particularly seafood are major sources of perfluorinated compounds in humans. *Environment international* 36, 772-778.
- Hercberg, S., Deheeger, M., and Preziosi, P. (1994). *Portions alimentaires: manuel photos pour l'estimation des quantités* (Paris: PolyTechnica).
- Key, B.D., Howell, R.D., and Criddle, C.S. (1997). Fluorinated organics in the biosphere. *Environmental Science and Technology* 31, 2445-2454.
- Lundin, J.I., Alexander, B.H., Olsen, G.W., and Church, T.R. (2009). Ammonium perfluorooctanoate production and occupational mortality. *Epidemiology* 20, 921-928.
- Maisonet, M., Terrell, M.L., McGeehin, M.A., Christensen, K.Y., Holmes, A., Calafat, A.M., and Marcus, M. (2012). Maternal Concentrations of Polyfluoroalkyl Compounds during Pregnancy and Fetal and Postnatal Growth in British Girls. *Environmental health perspectives*.
- OCA-CREDOC (1996). *Les disparités régionales de la consommation alimentaire des ménages français. (OCA-CREDOC)*.
- Olsen, G.W., Burris, J.M., Ehresman, D.J., Froehlich, J.W., Seacat, A.M., Butenhoff, J.L., and Zobel, L.R. (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environmental health perspectives* 115, 1298-1305.
- Olsen, G.W., Gilliland, F.D., Burlew, M.M., Burris, J.M., Mandel, J.S., and Mandel, J.H. (1998). An epidemiologic investigation of reproductive hormones in men with occupational exposure to perfluorooctanoic acid. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine* 40, 614-622.
- Olson, C.T., and Andersen, M.E. (1983). The acute toxicity of perfluorooctanoic and perfluorodecanoic acids in male rats and effects on tissue fatty acids. *Toxicology and applied pharmacology* 70, 362-372.

Paul, A.G., Jones, K.C., and Sweetman, A.J. (2009). A first global production, emission, and environmental inventory for perfluorooctane sulfonate. *Environmental science & technology* *43*, 386-392.

Prevedouros, K., Cousins, I.T., Buck, R.C., and Korzeniowski, S.H. (2006). Sources, fate and transport of perfluorocarboxylates. *Environmental science & technology* *40*, 32-44.

Ruan, T., Wang, Y., Wang, T., Zhang, Q., Ding, L., Liu, J., Wang, C., Qu, G., and Jiang, G. (2010). Presence and partitioning behavior of polyfluorinated iodine alkanes in environmental matrices around a fluorochemical manufacturing plant: another possible source for perfluorinated carboxylic acids? *Environmental science & technology* *44*, 5755-5761.

Sirost, V., Oseredczuk, M., Bemrah, N., Volatier, J.L., and Leblanc, J.C. (2007). Lipid and fatty acid composition of fish and seafood consumed in France: CALIPSO study. *Journal of food composition and analysis* *21*, 8-16.

Sirost, V., Volatier, J.L., Calamassi-Tran, G., Dubuisson, C., Menard, C., Dufour, A., and Leblanc, J.C. (2009). Core food of the French food supply: second Total Diet Study. *Food additives & contaminants Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* *26*, 623-639.

Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Huther, J., Failing, K., Georgii, S., and Brunn, H. (2009). Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Archives of environmental contamination and toxicology* *57*, 289-298.

Stahl, T., Mattern, D., and Brunn, H. (2011). Toxicology of perfluorinated compounds. *Environmental Sciences Europe* *23*.

Suja, F., Pramanik, B.K., and Zain, S.M. (2009). Contamination, bioaccumulation and toxic effects of perfluorinated chemicals (PFCs) in the water environment: a review paper. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* *60*, 1533-1544.

Tittlemier, S.A., Pepper, K., Seymour, C., Moisey, J., Bronson, R., Cao, X.L., and Dabeka, R.W. (2007). Dietary exposure of Canadians to perfluorinated carboxylates and perfluorooctane sulfonate via consumption of meat, fish, fast foods, and food items prepared in their packaging. *Journal of agricultural and food chemistry* *55*, 3203-3210.

WHO (1995). GEMS/Food-EURO Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food (World health organisation).

Liste des annexes

Annexe 1: Liste des items du questionnaire de consommation de l'étude CALIPSO.....	I
Annexe 2: Liste des produits échantillonnés pour l'étude CALIPSO.....	III
Annexe 3: Valeurs minimales et maximales des limites de détection par composé perfluoré pour l'étude CALIPSO et l'EAT2 en ng.g ⁻¹ de poids frais.....	VII
Annexe 4: Correspondance entre les catégories alimentaires de l'EAT2 et de l'étude CALIPSO.....	VIII
Annexe 5: Moyenne de la contamination des produits de la mer échantillonnés pour l'étude CALIPSO par composé perfluoré et par type de produit de la mer en ng.g ⁻¹ de poids frais.....	XI
Annexe 6: Contamination en composés perfluorés des produits de la mer de l'étude CALIPSO et de l'étude ICAR-PCB pour l'anguille (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	XII
Annexe 7: Contamination des produits de la mer (poissons, coquillages/mollusques/crustacés) de l'étude CALIPSO par site et par composé perfluoré (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	XVIII

Liste des illustrations

Figure 1: Synthèse des tâches dans le cadre du projet CONTREPERF.....	12
Figure 2: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par type de produits de la mer issus de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	24
Figure 3: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par espèce de poisson issu de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	25
Figure 4: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par espèce de coquillage, mollusque et crustacé issu de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	26
Figure 5: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC par conserve, produit fumé ou plat préparé issu de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	26
Figure 6: Moyenne de la contamination en somme des 15 PFC, par site et par type de produit de la mer de l'étude CALIPSO, hypothèse UB (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	27
Tableau 1: Sources et volumes de production et de rejet dans l'environnement des carboxylates et sulfonates d'alkyles perfluorés (Armitage et al., 2009; Paul et al., 2009; Prevedouros et al., 2006).....	5

Tableau 2: Toxicité du PFOS et du PFOA	6
Tableau 3: Composés perfluorés recherchés pour les études CALIPSO, EAT2 et ICAR-PCB.....	15
Tableau 4: Taux de censure des données par composé perfluoré des études CALIPSO et EAT2	18
Tableau 5: Valeurs minimales et maximales de la contamination quantifiée et du LOD (ng.g ⁻¹ de poids frais) et taux de censure (%) des échantillons d'anguille de l'étude ICAR-PCB par composé perfluoré	19
Tableau 6: Comparaison de la contamination en composés perfluorés de l'échantillon d'anguille de l'étude CALIPSO et des 137 échantillons d'anguille de l'étude ICAR-PCB (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	20
Tableau 7: Distribution de la contamination en somme des 15 PFC par type de produit de la mer issu de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais)	24
Tableau 8: Distribution de la contamination en somme des 15 PFC par site et par type de produit de la mer de l'étude CALIPSO (ng.g ⁻¹ de poids frais).....	28
Tableau 9: Estimation de l'exposition des forts consommateurs de produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse LB.....	29
Tableau 10: Estimation de l'exposition des forts consommateurs de produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse LB.....	30
Tableau 11: Estimation de l'exposition des forts consommateurs des produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse UB	31
Tableau 12: Estimation de l'exposition des forts consommateurs des produits de la mer aux composés perfluorés (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹) et pourcentage de contribution des aliments à l'exposition totale (%) : hypothèse UB	32
Tableau 13: Synthèse des contributeurs majoritaires et pourcentage de contribution des groupes d'aliment par PFC	33
Tableau 14 : Moyenne des expositions alimentaires aux 15 PFC par sexe (* différence homme femme significative)	35
Tableau 15: Moyenne de l'exposition alimentaire par site et par PFC en ng.kg ⁻¹ de poids corporel.j ⁻¹ et p-value du test de Kruskal-Wallis	36
Tableau 16: Comparaison de l'exposition alimentaire aux composés perfluorés entre les études EAT2 et CALIPSO sous l'hypothèse UB (ng.kg ⁻¹ poids corporel.j ⁻¹)	37
Tableau 17: Comparaison entre la moyenne de contamination des poissons du rapport de l'EFSA, l'EAT2 et le projet CONTREPERF (ng.g ⁻¹ de poids frais)	39
Tableau 18: Tableau d'avancement des objectifs établis dans la note de cadrage	42

Annexe 1: Liste des items du questionnaire de consommation de l'étude CALIPSO

Poissons frais

- Anguille
- Bar ou loup
- Baudroie ou lotte
- Cabillaud
- Carrelet
- Colin ou lieu noir
- Dorade
- Eglefin
- Empereur
- Eperlan
- Espadon
- Flétan
- Grenadier
- Grondin
- Hareng (hors fumé)
- Hoki
- Julienne
- Lieu jaune
- Limande
- Maquereau (hors fumé ou conserve)
- Merlan
- Merlu
- Mérou
- Morue
- Mulet
- Plie
- Raie
- Rascasse
- Rouget
- Roussette ou saumonette
- Saint Pierre
- Sardine (hors conserve)
- Saumon (hors fumé)
- Sébaste
- Sole
- Sprat
- Tacaud ou gade
- Thon (hors conserve)
- Turbot
- Anchois (hors conserve)

Pain, produits céréaliers

- Pain
- Pain complet, pain aux céréales
- Biscottes, pain grillé
- Céréales pour petit déjeuner
- Pâtes non fourrées
- Semoule
- Riz

Crustacés, mollusques et coquillages frais

- Bigorneau ou vigneau
- Calmar ou encornet ou chipiron
- Coque, rigadeaux
- Crevette bouquet, gambas
- Moule
- Poulpe
- Seiche
- Araignée de mer
- Bulot ou buccin
- Cigale de mer, squille, chambris
- Clam
- Coquille Saint Jacques
- Couteau
- Crabe ou tourteau
- Ecrevisse
- Etrille
- Homard
- Huître
- Langouste
- Langoustine
- Ormeau ou oreille de mer ou ormier
- Oursin
- Palourde ou clovisse
- Patelle
- Pétoncle
- Praire
- Telline ou Olive
- Vanneau
- Violet ou janthine

Viennoiseries, biscuits, pâtisseries et sucreries

- Viennoiseries
- Gâteaux type cake
- Gâteaux et tartes à la crème, gâteaux à la mousse de fruits ou de chocolat
- Tartes et tartelettes aux fruits
- Biscuits au chocolat
- Biscuits secs

Produits de la mer en conserve

- Anchois
- Maquereau
- Pilchard
- Sardine
- Thon
- Crabe

Produits de la mer fumés

- Haddock
- Hareng
- Maquereau
- Saumon

Plats préparés à base de produits de la mer

- Tarama, terrine ou mousse
- Surimi
- Soupe de poisson
- Paella

Lait et produits laitiers

- Lait
- Fromage blanc ou yaourt 0% ou allégé
- Fromage blanc ou yaourt
- Crème fraîche, crème chantilly
- Glaces et sorbets
- Desserts lactés
- Desserts type liégeois,

Graisses, sauces, condiments

- Huile d'olive en assaisonnement
- Huile de tournesol en assaisonnement
- Huile de mélange en assaisonnement
- Huile de tournesol ajoutée en cuisson
- Huile de mélange ajoutée en cuisson
- Beurre allégé en tartines, dans l'assiette ou dans les plats
- Beurre en tartine ou dans l'assiette
- Margarine
- Margarine allégée
- Condiments divers (moutarde, ketchup...)
- Vinaigrette allégée
- Vinaigrette
- Mayonnaise
- Sauces (béarnaise, béchamel...)
- Tomate en conserve, coulis
- Sel

Charcuterie

- Jambon, coppa
- Rillettes, pâté, foie gras, fromage de tête, galantine
- Saucisson, salami, rosette, chorizo, saucisse sèche
- Saucisses, chipolata, merguez, boudin, mortadelle
- Andouille, andouillette
- Lard, poitrine, bacon, lardons

Eaux

- Eau de source ou minérale plate
- Eau de robinet
- Eau de source ou minérale gazeuse

Soupes

- Soupe de légumes
- Bouillons tous types

- Biscuits à la confiture
- Chocolat, pâte à tartiner
- Barres chocolatées
- Barres céréalières
- Chocolat ou cacao en poudre
- Miel, confiture
- Bonbons
- Sucre ajouté
- Biscuits apéritifs

Viandes

- Viande de bœuf
- Viande de veau
- Viande de mouton ou d'agneau
- Viande de porc (hors charcuterie)
- Viande de poulet ou de dinde
- Autre (lapin, canard...)

Légumes

- Légumes secs
- Salade, endive, épinards
- Haricots verts, petits pois
- Carottes, navets, radis, betteraves
- Courgettes, aubergines, poivrons
- Chou, brocoli, artichaut
- Champignons
- Cardon, cardon, échalote, poireau, oignon, asperge
- Tomates

Boissons

- Jus de fruits
- Boissons gazeuses
- Sirop
- Bière
- Alcools forts
- Vin rouge ou blanc
- Champagne, mousseux
- Apéritifs
- Digestifs
- Café noir
- Café soluble ou chicorée
- Thé, tisane, infusion

viennois, mousses

- Fromage à pâte molle
- Fromage à pâte pressée non cuite
- Fromage à pâte pressée cuite
- Fromage frais
- Bleu
- Fromage de chèvre
- Fromage fondu

Abats

- Cervelle
- Foie
- Rognons
- Langue
- Cœur
- Tripes

Pomme de terre

- Pomme de terre au four
- Pommes de terre sautées, frites, pommes dauphine ou noisettes
- Purée de pomme de terre
- Pomme de terre vapeur ou à l'eau

Fruits

- Fruits secs
- Fruits rouges
- Orange, mandarine, clémentine, pamplemousse
- Abricot, pêche, brugnion, nectarine
- Melon, pastèque
- Raisin, prune, cerise
- Banane
- Pomme, poire
- Ananas, kiwi
- Compotes de fruits
- Fruits au sirop

Pizzas, quiches, sandwiches, pâtes fourrées

- Pizzas
- Quiches
- Feuilletés, friands, hot-dog, croque-monsieur, croque-madame
- Sandwiches
- Pâtes fourrées

Annexe 2: Liste des produits échantillonnés pour l'étude CALIPSO

Espece	Lieu	Type	n
Anguille	Le Havre	Poisson	1
Bar ou loup	Le Havre	Poisson	1
Baudroie ou lotte	Le Havre	Poisson	1
Cabillaud	Le Havre	Poisson	1
Carrelet	Le Havre	Poisson	1
Colin ou lieu noir	Le Havre	Poisson	1
Dorade	Le Havre	Poisson	1
Espadon	Le Havre	Poisson	1
Flétan	Le Havre	Poisson	1
Grenadier	Le Havre	Poisson	1
Julienne	Le Havre	Poisson	1
Lieu jaune	Le Havre	Poisson	1
Limande	Le Havre	Poisson	1
Maquereau	Le Havre	Poisson	1
Merlan	Le Havre	Poisson	1
Merlu	Le Havre	Poisson	1
Raie	Le Havre	Poisson	1
Roussette ou saumonette	Le Havre	Poisson	1
Sardine	Le Havre	Poisson	1
Saumon	Le Havre	Poisson	1
Sole	Le Havre	Poisson	1
Thon	Le Havre	Poisson	1
Bar ou loup	Lorient	Poisson	1
Baudroie ou lotte	Lorient	Poisson	1
Cabillaud	Lorient	Poisson	1
Carrelet	Lorient	Poisson	1
Colin ou lieu noir	Lorient	Poisson	1
Dorade	Lorient	Poisson	1
Eglefin	Lorient	Poisson	1
Empereur	Lorient	Poisson	1
Espadon	Lorient	Poisson	1
Flétan	Lorient	Poisson	1
Grenadier	Lorient	Poisson	1
Grondin	Lorient	Poisson	1
Julienne	Lorient	Poisson	1
Lieu jaune	Lorient	Poisson	1
Limande	Lorient	Poisson	1
Maquereau	Lorient	Poisson	1
Merlan	Lorient	Poisson	1
Merlu	Lorient	Poisson	1
Raie	Lorient	Poisson	1
Rouget	Lorient	Poisson	1
Roussette ou saumonette	Lorient	Poisson	1
Saint-Pierre	Lorient	Poisson	1
Sardine	Lorient	Poisson	1
Saumon	Lorient	Poisson	1
Sole	Lorient	Poisson	1
Tacaud ou gade	Lorient	Poisson	1

Espece	Lieu	Type	n
Thon	Lorient	Poisson	1
Bar ou loup	La Rochelle	Poisson	1
Baudroie ou lotte	La Rochelle	Poisson	1
Cabillaud	La Rochelle	Poisson	1
Colin ou lieu noir	La Rochelle	Poisson	1
Dorade	La Rochelle	Poisson	1
Eglefin	La Rochelle	Poisson	1
Empereur	La Rochelle	Poisson	1
Espadon	La Rochelle	Poisson	1
Flétan	La Rochelle	Poisson	1
Grenadier	La Rochelle	Poisson	1
Julienne	La Rochelle	Poisson	1
Lieu jaune	La Rochelle	Poisson	1
Limande	La Rochelle	Poisson	1
Maquereau	La Rochelle	Poisson	1
Merlan	La Rochelle	Poisson	1
Merlu	La Rochelle	Poisson	1
Raie	La Rochelle	Poisson	1
Rouget	La Rochelle	Poisson	1
Roussette ou saumonette	La Rochelle	Poisson	1
Sardine	La Rochelle	Poisson	1
Saumon	La Rochelle	Poisson	1
Sole	La Rochelle	Poisson	1
Thon	La Rochelle	Poisson	1
Bar ou loup	Toulon	Poisson	1
Baudroie ou lotte	Toulon	Poisson	1
Cabillaud	Toulon	Poisson	1
Colin ou lieu noir	Toulon	Poisson	1
Dorade	Toulon	Poisson	1
Empereur	Toulon	Poisson	1
Espadon	Toulon	Poisson	1
Flétan	Toulon	Poisson	1
Grenadier	Toulon	Poisson	1
Julienne	Toulon	Poisson	1
Limande	Toulon	Poisson	1
Maquereau	Toulon	Poisson	1
Merlan	Toulon	Poisson	1
Merlu	Toulon	Poisson	1
Raie	Toulon	Poisson	1
Rascasse	Toulon	Poisson	1
Rouget	Toulon	Poisson	1
Roussette ou saumonette	Toulon	Poisson	1
Saint-Pierre	Toulon	Poisson	1
Sardine	Toulon	Poisson	1
Saumon	Toulon	Poisson	1
Sole	Toulon	Poisson	1
Thon	Toulon	Poisson	1
Bigorneau ou vigneau	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Bulot ou buccin	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Calmar, encornet ou chipiron	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1

Espece	Lieu	Type	n
Coquille St Jacques	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crabe, tourteau	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crevette, bouquet, gambas	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Etrille	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Huitre	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Langoustine	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Moule	Le Havre	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Araignée de mer	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Bigorneau ou vigneau	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Calmar, encornet ou chipiron	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Coque, rigadeau	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Coquille St Jacques	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crabe, tourteau	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crevette, bouquet, gambas	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Etrille	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Huitre	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Langoustine	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Moule	Lorient	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Bigorneau ou vigneau	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Bulot ou buccin	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Calmar, encornet ou chipiron	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Coque, rigadeau	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Coquille St Jacques	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crabe, tourteau	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crevette, bouquet, gambas	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Huitre	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Langoustine	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Moule	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Pétoncle	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Seiche	La Rochelle	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Bulot ou buccin	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Calmar, encornet ou chipiron	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Coquille St Jacques	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Crevette, bouquet, gambas	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Homard	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Huitre	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Moule	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Oursin	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Poulpe	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Seiche	Toulon	Coquillages/mollusques/crustacés	1
Anchois bocal		Conserve	1
Anchois conserve		Conserve	1
Anchois frais		Conserve	1
Crabe		Conserve	1
Maquereau		Conserve	1
Pilchard		Conserve	1
Sardine		Conserve	1
Thon albacore		Conserve	1
Thon germon		Conserve	1
Thon Listao		Conserve	1

Espece	Lieu	Type	n
Thon miettes Albacore		Conserve	1
Thon miettes SP1		Conserve	1
Paella		Plat préparé	1
Soupe déshydratée		Plat préparé	1
Soupe liquide		Plat préparé	1
Surimi		Plat préparé	1
Tarama, terrine ou mousse		Plat préparé	1
Haddock		Produit fumé	1
Hareng		Produit fumé	1
Maquereau		Produit fumé	1
Saumon		Produit fumé	1

Annexe 3: Valeurs minimales et maximales des limites de détection par composé perfluoré pour l'étude CALISPO et l'EAT2 en ng.g⁻¹ de poids frais

	CALISPO		EAT2	
	min	max	min	max
PFBS	0,007	0,055	0,012	1,199
PFHxS	0,008	0,063	0,0005	0,61
PFHpS	0,004	0,093	0,0005	1,228
PFOS	0,007	0,07	0,0006	0,617
PFDS	0,003	0,094	0,0002	0,622
PFBA	0,019	0,15	0,0004	3,732
PFPA	0,01	0,24	0,0007	0,508
PFHxA	0,01	0,205	0,0015	0,37
PFHpA	0,004	0,163	0,0009	0,22
PFOA	0,006	0,129	0,001	0,4
PFNA	0,01	0,142	0,0005	0,253
PFDA	0,01	0,172	0,0003	0,115
PFUnA	0,01	0,421	0,0005	1,207
PFTTrDA	0,017	0,15	0,004	1,103
PFTeDA	0,005	0,331	0,006	1,372

Annexe 4: Correspondance entre les catégories alimentaires de l'EAT2 et de l'étude CALIPSO

Groupe d'aliment EAT2	Groupe d'aliment CALIPSO correspondant
Pain de mie	Pain
Baguette	Pain
Pain complet ou intégral	Pain complet, pain aux céréales
Pain aux céréales	Pain complet, pain aux céréales
Pain de campagne	Pain complet, pain aux céréales
Pain grillé	Biscottes, pain grillé
Biscotte	Biscottes, pain grillé
Céréales au chocolat	Céréales pour petit déjeuner
Muesli	Céréales pour petit déjeuner
Pétales de maïs	Céréales pour petit déjeuner
Pain au chocolat	Viennoiseries
Croissant	Viennoiseries
Brioche et pain brioché	Viennoiseries
Gâteau au chocolat	Gâteaux type cake
Cake aux fruits confits	Gâteaux type cake
Moelleux au chocolat	Gâteaux type cake
Gâteau	Gâteaux type cake
Clafoutis aux fruits	Gâteaux et tartes à la crème, gâteaux à la mousse de fruits ou de chocolat
Chou, chouquette	Gâteaux et tartes à la crème, gâteaux à la mousse de fruits ou de chocolat
Tarte ou tartelette	Tartes et tartelettes aux fruits
Biscuit sec au chocolat	Biscuits au chocolat
Biscuit sec	Biscuits sec
Barquette à la pulpe de fruit	Biscuits à la confiture
Pâte à tartiner chocolatée	Chocolat, pâte à tartiner
Biscuit apéritif	Biscuits apéritifs
Lait demi-écrémé	Lait
Lait écrémé	Lait
Lait entier	Lait
Yaourt 0%	Fromage blanc ou yaourt 0% MG ou allégé
Lait fermenté et yaourt à boire	Fromage blanc ou yaourt
Fromage blanc non allégé	Fromage blanc ou yaourt
Yaourt au lait entier	Fromage blanc ou yaourt
Yaourt au lait partiellement écrémé	Fromage blanc ou yaourt
Crème fraîche	Crème fraîche, crème chantilly
Crème caramel	Desserts lactés
Flan aux œufs	Desserts lactés
Crème dessert	Desserts lactés
Mousse au chocolat rayon frais	Desserts type liégeois, viennois, mousses
Chocolat viennois ou liégeois	Desserts type liégeois, viennois, mousses
Camembert et apparenté	Fromage à pâte molle
Cantal, morbier et apparenté	Fromage à pâte pressée non cuite
Edam et apparenté	Fromage à pâte pressée non cuite
Fromage à pâte ferme enrobé de cire	Fromage à pâte pressée cuite

Groupe d'aliment EAT2	Groupe d'aliment CALIPSO correspondant
Gruyère	Fromage à pâte pressée cuite
Roquefort	Bleu
Chèvre	Fromage de chèvre
Fromage fondu	Fromage fondu
Beurre salé	Beurre en tartine ou dans l'assiette
Mayonnaise	Mayonnaise
Sauce tomate à la viande	Tomate en conserve, coulis Viande de boeuf
Bœuf steak	Viande de boeuf
Veau	Viande de veau
Mouton	Viande de mouton ou d'agneau
Côte de porc	Viande de porc (hors charcuterie)
Rôti de porc	Viande de porc (hors charcuterie)
Cordon bleu de volaille	Viande de poulet ou de dinde
Dinde rôtie	Viande de poulet ou de dinde
Dinde escalope	Viande de poulet ou de dinde
Poulet	Viande de poulet ou de dinde
Canard	Autre (lapin, pigeon, canard...)
Foie	Foie
Jambon cuit	Jambon, coppa
Jambon cru	Jambon, coppa
Foie gras	Rillettes, pâté, foie gras, fromage de tête, galantine
Pâté	Rillettes, pâté, foie gras, fromage de tête, galantine
Saucisson sec	Saucisson, salami, rosette, chorizo, saucisse sèche
Merguez	Saucisses, chipolata, merguez, boudin, mortadelle
Saucisse de Strasbourg	Saucisses, chipolata, merguez, boudin, mortadelle
Chipolata	Saucisses, chipolata, merguez, boudin, mortadelle
Lard, bacon	Lard, poitrine, bacon, lardons
Haricot	Légumes secs
Lentille	Légumes secs
Endive	Salade, endives, épinards
Epinard	Salade, endives, épinards
Salade	Salade, endives, épinards
Petit pois	Haricots verts, petits pois
Radis	Carottes, navets, radis, betteraves
Carotte	Carottes, navets, radis, betteraves
Navet	Carottes, navets, radis, betteraves
Concombre	Courgettes, aubergines, poivrons
Courgette	Courgettes, aubergines, poivrons
Maïs	Courgettes, aubergines, poivrons
Poivron	Courgettes, aubergines, poivrons
Chou-fleur	Chou, brocoli, artichaut
Artichaut	Chou, brocoli, artichaut
Oignon	Carde, cardon, échalote, poireau, oignon, asperge
Poireau	Carde, cardon, échalote, poireau, oignon, asperge
Céleri	Carde, cardon, échalote, poireau, oignon, asperge Carottes, navets, radis, betteraves
Tomate	Tomates

Groupe d'aliment EAT2	Groupe d'aliment CALIPSO
Pomme de terre sautée ou frite	Pommes de terre sautées, frites, pommes dauphine ou noisettes
Hachis parmentier	Purée de pomme de terre Viande de bœuf
Eau de source	Eau de source ou minérale plate
Eau du robinet	Eau du robinet
Hamburger	Burgers
Sandwich	Sandwiches

Annexe 5: Moyenne de la contamination des produits de la mer échantillonnés pour l'étude CALIPSO par composé perfluoré et par type de produit de la mer en ng.g⁻¹ de poids frais

PFC	LB/UB	Poissons frais	Coquillages/crustacés/coquillages frais	Autres
PFBS	LB	0	0	0
	UB	0,22	0,019	0,026
PFHxS	LB	0,0025	0,048	0
	UB	0,026	0,066	0,031
PFHpS	LB	0	0	0
	UB	0,03	0,026	0,38
PFOS	LB	0,59	0,82	0,22
	UB	0,59	0,82	0,24
PFDS	LB	0,006	0,011	0
	UB	0,036	0,035	0,037
PFBA	LB	0,32	0,011	0
	UB	0,34	0,065	0,085
PFPA	LB	0,17	0,007	0
	UB	0,19	0,043	0,06
PFHxA	LB	0,46	0,054	0
	UB	0,47	0,079	0,04
PFHpA	LB	0,31	0,012	0
	UB	0,32	0,042	0,043
PFOA	LB	0,73	0,3	0
	UB	0,74	0,32	0,063
PFNA	LB	0,09	0,1	0,012
	UB	0,11	0,13	0,059
PFDA	LB	0,1	0,045	0,002
	UB	0,12	0,075	0,07
PFUnA	LB	0,19	0,26	0,055
	UB	0,21	0,29	0,13
PFTTrDA	LB	0,013	0,05	0,046
	UB	0,065	0,088	0,115
PFTeDA	LB	0,0015	0	0
	UB	0,043	0,052	0,05
Somme des	LB	2,98	1,72	0,34
	UB	3,32	2,15	1,09
15 PFC				

Annexe 6: Contamination en composés perfluorés des produits de la mer de l'étude CALIPSO et de l'étude ICAR-PCB pour l'anguille (ng.g⁻¹ de poids frais)

Espece	Type	n	PFBS		PFHxS		PFHpS		PFOS		PFDS		PFBA		PFPA		PFHxA	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Anguille	Poisson	137	0	0,16	0,67	0,77	0,07	0,2	39,3	39,3	0,1	0,25	0,07	0,36	0	0,27	0,05	0,34
Bar ou loup	Poisson	4	0	0,02	0	0,03	0	0,04	2,60	2,60	0	0,04	0,44	0,44	0,25	0,28	0,42	0,44
Baudroie ou lotte	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,43	0,43	0	0,03	0,45	0,46	0,14	0,16	0,40	0,43
Cabillaud	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,01	0,63	0,63	0	0,01	0,34	0,38	0,11	0,13	0,43	0,43
Carrelet	Poisson	2	0	0,02	0	0,02	0	0,03	1,15	1,15	0	0,03	0,48	0,48	0,46	0,46	0,87	0,87
Colin ou lieu noir	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,01	0,18	0,18	0	0,01	0,11	0,14	0,07	0,09	0,16	0,17
Dorade	Poisson	4	0	0,02	0	0,03	0	0,04	0,03	0,03	0	0,04	0,23	0,25	0,25	0,29	0,35	0,37
Eglefin	Poisson	2	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,60	0,60	0	0,03	0,60	0,60	0,23	0,23	1,01	1,01
Empereur	Poisson	3	0	0,02	0	0,03	0	0,03	0,18	0,18	0	0,03	0,44	0,44	0,32	0,33	1,20	1,20
Espadon	Poisson	4	0	0,03	0	0,03	0	0,05	0	0,03	0	0,05	0,06	0,14	0	0,07	0	0,08
Flétan	Poisson	4	0	0,02	0	0,03	0	0,04	0,33	0,33	0	0,04	0,08	0,12	0,05	0,09	0,13	0,15
Grenadier	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,05	0,05	0	0,03	0,26	0,26	0,07	0,08	0,19	0,19
Grondin	Poisson	1	0	0,03	0,03	0,03	0	0,04	0,97	0,97	0	0,04	0,27	0,27	0,03	0,03	0	0,05
Julienne	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,14	0,14	0	0,03	0,21	0,21	0,04	0,05	0,13	0,13
Lieu jaune	Poisson	3	0	0,02	0	0,02	0	0,01	0,71	0,71	0	0,01	0,19	0,19	0,21	0,21	0,67	0,67
Limande	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,37	0,37	0	0,03	0,17	0,17	0,12	0,13	0,33	0,34
Maquereau	Poisson	4	0	0,02	0	0,03	0	0,04	1,01	1,01	0	0,04	0,12	0,17	0,32	0,38	0,34	0,38
Merlan	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,32	0,32	0	0,03	0,34	0,35	0,13	0,14	0,41	0,42
Merlu	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,08	0,08	0	0,03	0,41	0,41	0,14	0,15	0,33	0,34
Raie	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	1,24	1,24	0,17	0,19	0,14	0,16	0,11	0,12	0,36	0,37
Rascasse	Poisson	1	0	0,02	0	0,03	0	0,04	0,10	0,10	0	0,04	0,29	0,29	0,23	0,23	1,60	1,60
Rouget	Poisson	3	0	0,03	0	0,03	0	0,04	0,96	0,96	0	0,04	0,74	0,77	0,48	0,50	0,65	0,66
Roussette ou saumonette	Poisson	4	0	0,02	0,02	0,04	0	0,03	1,01	1,01	0	0,03	0,17	0,17	0,14	0,16	0,25	0,27
Saint-Pierre	Poisson	2	0	0,02	0,02	0,04	0	0,03	1,04	1,04	0	0,03	0,37	0,37	0,25	0,25	0,53	0,53
Sardine	Poisson	4	0	0,02	0	0,03	0	0,04	1,40	1,40	0	0,04	0,67	0,71	0	0,09	0,11	0,14
Saumon	Poisson	4	0	0,03	0	0,03	0	0,02	0,05	0,07	0	0,01	0,06	0,13	0,09	0,12	0,26	0,27
Sole	Poisson	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,62	0,62	0	0,03	0,80	0,80	0,12	0,13	0,50	0,50

Espece	Type	n	PFBS		PFHxS		PFHpS		PFOS		PFDS		PFBA		PFPA		PFHxA	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Tacaud ou gade	Poisson	1	0	0,03	0	0,03	0	0,04	0,25	0,25	0	0,04	0,5	0,51	0,3	0,32	1,06	1,06
Thon	Poisson	4	0	0,03	0	0,03	0	0,01	0,15	0,16	0	0,01	0	0,09	0	0,04	0,08	0,10
Araignée de mer	Coq/moll/crust	1	0	0,03	0,39	0,39	0	0,03	2,45	2,45	0	0,03	0	0,04	0	0,04	0	0,05
Bigorneau ou vigneau	Coq/moll/crust	3	0	0,03	0	0,03	0	0,04	0,18	0,18	0	0,04	0	0,08	0	0,11	0,44	0,48
Bulot ou buccin	Coq/moll/crust	3	0	0,02	0	0,03	0	0,04	0,21	0,21	0	0,04	0	0,07	0	0,05	0	0,03
Calmar encornet chipiron	Coq/moll/crust	4	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,31	0,32	0	0,03	0,0	0,10	0,0	0,09	0,15	0,16
Coque rigadeau	Coq/moll/crust	2	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0,08	0,08	0	0,02	0	0,03	0	0,02	0	0,02
Coquille St Jacques	Coq/moll/crust	4	0	0,02	0	0,02	0	0,01	0,09	0,10	0	0,01	0	0,07	0	0,03	0	0,02
Crabe tourteau	Coq/moll/crust	3	0	0,03	0,38	0,38	0	0,05	3,13	3,13	0	0,04	0	0,07	0	0,05	0	0,05
Crevette bouquet gambas	Coq/moll/crust	4	0	0,03	0	0,03	0	0,01	0,20	0,21	0	0,01	0	0,08	0	0,04	0	0,03
Etrille	Coq/moll/crust	2	0	0,02	0	0,03	0	0,04	4,22	4,22	0,17	0,19	0	0,07	0	0,04	0	0,03
Homard	Coq/moll/crust	1	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,60	0,60	0	0,03	0	0,05	0	0,04	0	0,03
Huitre	Coq/moll/crust	4	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0,01	0,02	0	0,00	0	0,03	0	0,01	0	0,01
Langoustine	Coq/moll/crust	3	0	0,02	0	0,03	0	0,03	0,22	0,22	0	0,03	0,0	0,07	0,0	0,06	0,27	0,28
Moule	Coq/moll/crust	4	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0,09	0,11	0	0,00	0,0	0,11	0	0,02	0	0,02
Pétoncle	Coq/moll/crust	1	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0,27	0,27	0	0,02	0	0,04	0	0,03	0	0,02
Poulpe	Coq/moll/crust	1	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,71	0,71	0	0,03	0	0,07	0	0,03	0	0,02
Seiche	Coq/moll/crust	2	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,40	0,40	0	0,03	0	0,07	0	0,03	0	0,02
Anchois bocal	Conserve	1	0	0,04	0	0,05	0	0,07	0,13	0,13	0	0,07	0	0,11	0	0,10	0	0,07
Anchois conserve	Conserve	1	0	0,03	0	0,04	0	0,06	0,87	0,87	0	0,06	0	0,09	0	0,08	0	0,05
Anchois frais	Conserve	1	0	0,03	0	0,03	0	0,05	0,34	0,34	0	0,05	0	0,08	0	0,07	0	0,05
Crabe	Conserve	1	0	0,02	0	0,02	0	0,03	0,11	0,11	0	0,03	0	0,04	0	0,04	0	0,02
Maquereau	Conserve	1	0	0,03	0	0,04	0	0,05	0,33	0,33	0	0,06	0	0,09	0	0,08	0	0,05
Pilchard	Conserve	1	0	0,03	0	0,03	0	0,05	0,22	0,22	0	0,05	0	0,08	0	0,07	0	0,04
Sardine	Conserve	1	0	0,03	0	0,04	0	0,05	1,03	1,03	0	0,06	0	0,09	0	0,08	0	0,05
Thon albacore	Conserve	1	0	0,03	0	0,03	0	0,01	0	0,04	0	0,01	0	0,12	0	0,04	0	0,03
Thon germon	Conserve	1	0	0,03	0	0,03	0	0,05	0,16	0,16	0	0,05	0	0,08	0	0,07	0	0,05
Thon Listao	Conserve	1	0	0,02	0	0,02	0	0,01	0	0,03	0	0,01	0	0,09	0	0,04	0	0,02

Espece	Type	n	PFBS		PFHxS		PFHpS		PFOS		PFDS		PFBA		PFPA		PFHxA	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Thon miettes Albacore	Conserve	1	0	0,03	0	0,03	0	0,01	0	0,04	0	0,01	0	0,12	0	0,04	0	0,03
Thon miettes SP1	Conserve	1	0	0,04	0	0,04	0	0,02	0	0,05	0	0,01	0	0,15	0	0,06	0	0,04
Paella	Plat préparé	1	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0,24	0,24	0	0,02	0	0,03	0	0,03	0	0,02
Soupe déshydratée	Plat préparé	1	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0,01
Soupe liquide	Plat préparé	1	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0,28	0,28	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0,01
Surimi	Plat préparé	1	0	0,02	0	0,03	0	0,04	0	0,02	0	0,04	0	0,06	0	0,06	0	0,04
Tarama terrine ou mousse	Plat préparé	1	0	0,06	0	0,06	0	0,09	0,58	0,58	0	0,09	0	0,15	0	0,13	0	0,09
Haddock	Produit fumé	1	0	0,02	0	0,02	0	0,04	0,18	0,18	0	0,04	0	0,06	0	0,05	0	0,03
Hareng	Produit fumé	1	0	0,03	0	0,03	0	0,05	0	0,04	0	0,05	0	0,07	0	0,07	0	0,04
Maquereau	Produit fumé	1	0	0,04	0	0,04	0	0,06	0,24	0,24	0	0,06	0	0,10	0	0,09	0	0,06
Saumon	Produit fumé	1	0	0,03	0	0,04	0	0,02	0	0,05	0	0,01	0	0,15	0	0,06	0	0,04

Espece	Type	n	PFHpA		PFOA		PFNA		PFDA		PFUnA		PFTrDA		PFTeDA		Somme des 15 PFC	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Anguille	Poisson	137	0,01	0,18	0,09	0,2	0,12	0,26	1,83	1,89	1,74	1,75	0,22	0,33	0,09	0,18	44,36	46,44
Bar ou loup	Poisson	4	0,35	0,38	0,76	0,79	0,21	0,24	0,13	0,14	1,56	1,56	0,06	0,10	0	0,04	6,79	7,13
Baudroie ou lotte	Poisson	4	0,36	0,39	0,98	0,99	0,09	0,11	0,06	0,08	0,16	0,16	0,02	0,05	0	0,06	3,10	3,41
Cabillaud	Poisson	4	0,36	0,36	1,05	1,06	0,15	0,15	0,13	0,13	0,19	0,19	0	0,08	0	0,04	3,38	3,63
Carrelet	Poisson	2	0,60	0,60	1,21	1,21	0,16	0,16	0,17	0,17	0,01	0,04	0	0,04	0	0,07	5,10	5,34
Colin ou lieu noir	Poisson	4	0,15	0,15	0,47	0,48	0,04	0,06	0,05	0,05	0,15	0,15	0	0,08	0,01	0,07	1,38	1,67
Dorade	Poisson	4	0,30	0,35	0,41	0,44	0,07	0,09	0,05	0,08	0	0,07	0	0,06	0	0,03	1,70	2,20
Eglefin	Poisson	2	0,40	0,40	1,30	1,30	0,17	0,17	0,30	0,30	0,07	0,07	0	0,04	0	0,06	4,68	4,88
Empereur	Poisson	3	0,73	0,73	1,69	1,69	0,19	0,19	0,35	0,35	0,13	0,15	0	0,05	0	0,04	5,23	5,45
Espadon	Poisson	4	0,04	0,08	0,18	0,22	0	0,06	0	0,08	0	0,08	0	0,07	0	0,05	0,28	1,11
Flétan	Poisson	4	0,10	0,13	0,29	0,33	0,03	0,06	0,03	0,06	0,14	0,14	0	0,06	0	0,05	1,19	1,64
Grenadier	Poisson	4	0,22	0,22	0,30	0,31	0,05	0,07	0,03	0,05	0,07	0,07	0,02	0,05	0	0,03	1,26	1,50
Grondin	Poisson	1	0	0,06	0	0,01	0	0,04	0	0,05	0,07	0,07	0	0,05	0	0,01	1,37	1,73
Julienne	Poisson	4	0,17	0,17	0,29	0,30	0,03	0,07	0,03	0,05	0,09	0,09	0,01	0,05	0	0,04	1,15	1,40
Lieu jaune	Poisson	3	0,55	0,55	1,58	1,58	0,19	0,19	0,15	0,15	0,13	0,13	0	0,08	0	0,05	4,38	4,56
Limande	Poisson	4	0,28	0,29	0,80	0,81	0,09	0,10	0,09	0,09	0,03	0,06	0	0,04	0	0,04	2,29	2,55
Maquereau	Poisson	4	0,22	0,26	0,31	0,34	0,03	0,06	0,02	0,05	0,21	0,23	0	0,05	0	0,05	2,58	3,12
Merlan	Poisson	4	0,32	0,33	0,92	0,93	0,07	0,10	0,07	0,09	0,05	0,05	0	0,04	0	0,05	2,64	2,90
Merlu	Poisson	4	0,26	0,28	0,74	0,76	0,05	0,06	0,07	0,07	0	0,05	0	0,04	0	0,03	2,07	2,39
Raie	Poisson	4	0,28	0,30	0,88	0,91	0,13	0,13	0,22	0,22	0,74	0,74	0,12	0,14	0	0,05	4,38	4,63
Rascasse	Poisson	1	0,16	0,16	0,92	0,92	0,12	0,12	0,55	0,55	0,18	0,18	0	0,05	0	0,01	4,14	4,32
Rouget	Poisson	3	0,43	0,45	0,87	0,89	0,15	0,19	0,10	0,10	0,02	0,07	0	0,05	0	0,04	4,40	4,81
Roussette ou saumonette	Poisson	4	0,26	0,28	0,41	0,43	0,06	0,08	0,04	0,07	0,14	0,15	0,12	0,13	0	0,05	2,62	2,92
Saint-Pierre	Poisson	2	0,51	0,51	0,48	0,48	0,08	0,10	0,08	0,08	0,24	0,24	0	0,05	0	0,04	3,59	3,80
Sardine	Poisson	4	0,10	0,13	0,26	0,29	0	0,07	0,02	0,09	0,42	0,54	0	0,05	0,03	0,07	3,01	3,71
Saumon	Poisson	4	0,18	0,19	0,66	0,68	0,05	0,07	0,05	0,06	0	0,14	0	0,13	0	0,04	1,39	1,98
Sole	Poisson	4	0,39	0,40	0,92	0,92	0,27	0,27	0,11	0,11	0,04	0,06	0	0,04	0	0,04	3,77	4,01
Tacaud ou gade	Poisson	1	0,88	0,88	1,44	1,44	0,12	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0	0,05	0	0,04	4,67	4,89
Thon	Poisson	4	0,06	0,07	0,21	0,24	0	0,04	0,01	0,03	0,35	0,40	0	0,10	0	0,05	0,86	1,38
Araignée de mer	Coq/moll/crust	1			0,88	0,88	0,65	0,65	0	0,09	0,36	0,36	0	0,05	0	0,05	4,73	5,13
Bigorneau ou vigneau	Coq/moll/crust	3	0	0,04	0,28	0,29	0	0,06	0,07	0,11	0	0,06	0	0,06	0	0,05	0,98	1,65

Espece	Type	n	PFHpA		PFOA		PFNA		PFDA		PFUnA		PFTrDA		PFTeDA		Somme des 15 PFC	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Bulot ou buccin	Coq/moll/crust	3	0	0,04	0	0,05	0	0,04	0	0,06	0	0,07	0	0,05	0	0,04	0,21	0,85
Calmar encornet ou chipiron	Coq/moll/crust	4	0,15	0,16	0,19	0,21	0	0,04	0	0,05	0,03	0,06	0,07	0,09	0	0,03	1,04	1,41
Coque rigadeau	Coq/moll/crust	2	0	0,02	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,07	0,08	0,38
Coquille St Jacques	Coq/moll/crust	4	0	0,02	0	0,05	0	0,03	0	0,02	0	0,09	0	0,08	0	0,06	0,09	0,62
Crabe tourteau	Coq/moll/crust	3	0	0,09	2,35	2,35	0,68	0,68	0,05	0,08	0,36	0,36	0,08	0,12	0	0,07	7,01	7,54
Crevette bouquet gambas	Coq/moll/crust	4	0	0,02	0	0,05	0,01	0,04	0,02	0,04	0,06	0,14	0	0,09	0	0,08	0,30	0,88
Etrille	Coq/moll/crust	2	0	0,04	0	0,05	0	0,03	0	0,07	0,35	0,35	0	0,07	0	0,19	4,73	5,42
Homard	Coq/moll/crust	1	0	0,03	0,38	0,38	0,13	0,13	0,13	0,13	0,62	0,62	0,07	0,07	0	0,05	1,92	2,21
Huitre	Coq/moll/crust	4	0	0,01	0	0,02	0	0,01	0	0,01	0	0,02	0	0,04	0	0,04	0,01	0,24
Langoustine	Coq/moll/crust	3	0,04	0,06	0,70	0,70	0,16	0,16	0,07	0,09	0,34	0,34	0,15	0,16	0	0,02	2,02	2,27
Moule	Coq/moll/crust	4	0	0,02	0	0,03	0	0,02	0	0,02	0	0,08	0	0,05	0	0,03	0,17	0,53
Pétoncle	Coq/moll/crust	1	0	0,03	0	0,03	0	0,03	0,23	0,23	0	0,04	0	0,03	0	0,01	0,50	0,85
Poulpe	Coq/moll/crust	1	0	0,03	0	0,04	0,05	0,05	0,13	0,13	1,81	1,81	0,31	0,31	0	0,01	3,00	3,28
Seiche	Coq/moll/crust	2	0	0,03	0	0,04	0	0,03	0,02	0,05	0,27	0,27	0,12	0,12	0	0,04	0,81	1,20
Anchois bocal	Conserve	1	0	0,08	0	0,10	0	0,09	0	0,13	0	0,13	0	0,10	0	0,08	0,13	1,33
Anchois conserve	Conserve	1	0	0,06	0	0,08	0	0,07	0	0,10	0	0,11	0	0,08	0	0,05	0,87	1,82
Anchois frais	Conserve	1	0	0,06	0	0,07	0	0,06	0	0,09	0	0,09	0	0,07	0	0,07	0,34	1,19
Crabe	Conserve	1	0	0,03	0	0,04	0,17	0,17	0,05	0,05	0,56	0,56	0,97	0,97	0	0,08	1,85	2,18
Maquereau	Conserve	1	0	0,06	0	0,08	0	0,07	0	0,10	0	0,10	0	0,07	0	0,05	0,33	1,25
Pilchard	Conserve	1	0	0,05	0	0,07	0	0,06	0	0,09	0	0,09	0	0,07	0	0,06	0,22	1,04
Sardine	Conserve	1	0	0,06	0	0,08	0	0,07	0	0,10	0	0,10	0	0,07	0	0,04	1,03	1,94
Thon albacore	Conserve	1	0	0,01	0	0,06	0	0,03	0	0,03	0	0,18	0	0,09	0	0,05	0	0,76
Thon germon	Conserve	1	0	0,06	0	0,07	0	0,06	0	0,09	0,44	0,44	0	0,07	0	0,05	0,6	1,36
Thon Listao	Conserve	1	0	0,01	0	0,05	0	0,02	0	0,02	0	0,07	0	0,07	0	0,05	0	0,53
Thon miettes Albacore	Conserve	1	0	0,01	0	0,06	0	0,03	0	0,03	0	0,09	0	0,09	0	0,06	0	0,68
Thon miettes SP1	Conserve	1	0	0,02	0	0,08	0	0,04	0	0,04	0	0,08	0	0,12	0	0,05	0	0,84
Paella	Plat préparé	1	0	0,02	0	0,03	0	0,03	0	0,04	0	0,04	0	0,03	0	0,05	0,24	0,60
Soupe déshydratée	Plat préparé	1	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,02	0	0,06	0	0,26
Soupe liquide	Plat préparé	1	0	0,02	0	0,02	0,02	0,02	0	0,03	0,08	0,08	0	0,02	0	0,02	0,38	0,58
Surimi	Plat préparé	1	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,07	0	0,07	0	0,05	0	0,04	0	0,69
Tarama terrine ou mousse	Plat préparé	1	0	0,11	0	0,13	0	0,12	0	0,17	0	0,17	0	0,13	0	0,06	0,58	2,13

Espece	Type	n	PFHpA		PFOA		PFNA		PFDA		PFUnA		PFTrDA		PFTeDA		Somme des 15 PFC	
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Haddock	Produit fumé	1	0	0,04	0	0,05	0,06	0,06	0	0,07	0,08	0,08	0	0,05	0	0,04	0,32	0,82
Hareng	Produit fumé	1	0	0,05	0	0,07	0	0,06	0	0,09	0	0,09	0	0,07	0	0,01	0	0,81
Maquereau	Produit fumé	1	0	0,07	0	0,09	0	0,08	0	0,12	0	0,12	0	0,09	0	0,05	0,24	1,28
Saumon	Produit fumé	1	0	0,02	0	0,07	0	0,04	0	0,04	0	0,07	0	0,11	0	0,07	0	0,82

Annexe 7: Contamination des produits de la mer (poissons, coquillages/mollusques/crustacés) de l'étude CALIPSO par site et par composé perfluoré (ng.g⁻¹ de poids frais)

Espece	Lieu	Type	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFBA	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFTTrDA	PFTeDA	Σ LB	Σ UB
Bigorneau ou vigneau	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.023	<0.032	<0.043	0.151	<0.045	<0.068	<0.050	<0.035	<0.050	0.119	<0.026	<0.051	<0.067	<0.058	<0.037	0,27	0,855
Bulot ou buccin	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.020	<0.027	<0.037	0.193	<0.038	<0.058	<0.043	<0.030	<0.042	<0.049	<0.022	<0.044	<0.058	<0.050	<0.045	0,193	0,756
Calmar encornet ou chipiron	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.015	<0.019	<0.026	0.702	<0.026	<0.061	<0.027	<0.020	<0.029	<0.034	<0.031	<0.044	<0.045	<0.036	<0.02	0,702	1,135
Coquille St Jacques	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	0.23	<0.01	<0.05	<0.04	<0.02	<0.02	<0.05	<0.04	<0.02	<0.04	<0.1	<0.071	0,23	0,741
Crabe tourteau	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.024	0.369	<0.059	3.491	<0.046	<0.069	<0.051	<0.036	<0.082	2.565	0.544	<0.052	0.252	<0.060	<0.051	7,221	7,751
Crevette bouquet gambas	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	0.09	<0.01	<0.05	<0.04	<0.02	<0.02	<0.05	<0.04	<0.02	0.09	<0.1	<0.058	0,18	0,638
Etrille	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.021	<0.029	<0.039	6.426	0.163	<0.062	<0.046	<0.032	<0.045	<0.052	<0.024	<0.075	0.43	<0.082	<0.331	7,197	8,035
Huitre	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.003	<0.02	<0.02	<0.01	<0.01	<0.02	<0.02	<0.01	<0.02	<0.05	<0.063	0,02	0,296
Langoustine	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.014	<0.020	<0.027	0.184	<0.028	<0.042	<0.031	<0.022	<0.031	0.527	0.146	<0.032	0.348	<0.046	<0.01	1,205	1,508
Moule	Le Havre	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.01	0.3	<0.004	0.31	<0.02	<0.02	<0.02	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.06	<0.030	0,61	0,884
Bar ou loup	Le Havre	Poisson	<0.020	<0.027	<0.037	3.604	<0.038	0.231	<0.043	<0.030	<0.069	<0.049	<0.022	<0.044	0.152	<0.050	<0.045	3,987	4,461
Baudroie ou lotte	Le Havre	Poisson	<0.014	<0.019	<0.027	0.455	<0.028	0.223	<0.040	<0.060	<0.107	<0.035	<0.064	<0.032	0.243	0.091	<0.070	1,012	1,508
Cabillaud	Le Havre	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.63	<0.01	<0.04	<0.03	0.09	0.18	0.11	0.08	0.05	0.2	<0.09	<0.05	1,34	1,61
Carrelet	Le Havre	Poisson	<0.017	<0.023	<0.031	1.566	<0.033	0.328	0.092	0.255	0.285	0.615	0.141	0.114	<0.049	<0.043	<0.067	3,396	3,659
Colin ou lieu noir	Le Havre	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.09	<0.01	<0.04	<0.03	0.08	0.13	0.07	0.05	0.02	0.18	<0.08	0.048	0,668	0,878
Dorade	Le Havre	Poisson	<0.022	<0.030	<0.040	0.009	<0.042	0.236	<0.134	<0.033	<0.163	<0.054	<0.024	<0.048	<0.063	<0.055	<0.017	0,245	0,97
Espadon	Le Havre	Poisson	<0.025	<0.031	<0.042	<0.026	<0.042	<0.099	<0.044	<0.033	<0.047	<0.054	<0.050	<0.071	<0.073	<0.059	<0.039	0	0,735
Flétan	Le Havre	Poisson	<0.022	<0.029	<0.040	0.349	<0.042	0.077	<0.047	<0.033	<0.046	<0.053	<0.024	<0.048	0.116	<0.055	<0.048	0,542	1,029
Grenadier	Le Havre	Poisson	<0.015	<0.021	<0.028	0.031	<0.029	0.332	<0.033	0.064	0.126	<0.038	<0.068	<0.034	0.064	<0.038	<0.062	0,617	0,983
Julienne	Le Havre	Poisson	<0.016	<0.022	<0.030	0.093	<0.031	0.311	0.054	0.099	0.129	<0.040	<0.073	<0.036	0.102	0.057	<0.01	0,845	1,103
Lieu jaune	Le Havre	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.94	<0.01	0.06	0.08	0.26	0.27	0.52	0.09	0.07	0.14	<0.09	<0.059	2,43	2,639
Limande	Le Havre	Poisson	<0.016	<0.021	<0.028	0.303	<0.028	0.074	0.068	0.163	0.131	0.37	0.062	0.047	0.049	<0.039	<0.041	1,267	1,44
Maquereau	Le Havre	Poisson	<0.023	<0.031	<0.042	1.597	<0.044	<0.067	<0.050	<0.034	<0.049	<0.056	<0.026	<0.051	<0.066	<0.058	<0.048	1,597	2,242
Merlan	Le Havre	Poisson	<0.015	<0.021	<0.029	0.226	<0.030	0.669	0.063	0.222	0.189	0.518	<0.069	0.056	0.035	<0.039	<0.046	1,978	2,227
Merlu	Le Havre	Poisson	<0.014	<0.019	<0.026	0.011	<0.027	0.326	<0.030	<0.021	<0.030	<0.034	<0.016	<0.031	<0.040	<0.035	<0.044	0,337	0,704
Raie	Le Havre	Poisson	<0.017	<0.022	<0.029	0.952	0.063	<0.069	<0.031	<0.023	<0.033	<0.058	0.08	0.187	0.866	<0.041	<0.058	2,426	2,807
Roussette ou saumonette	Le Havre	Poisson	<0.018	0.078	<0.033	1.095	<0.035	0.193	0.099	0.218	0.189	0.642	0.085	0.05	<0.052	<0.045	<0.042	2,649	2,874
Sardine	Le Havre	Poisson	<0.024	<0.031	<0.041	0.886	<0.042	<0.097	<0.044	<0.032	<0.047	<0.054	<0.049	<0.070	<0.421	<0.058	0.125	1,011	2,021
Saumon	Le Havre	Poisson	<0.03	<0.03	<0.02	0.05	<0.01	0.07	<0.05	0.15	0.1	0.33	<0.05	0.03	<0.05	<0.14	<0.050	0,73	1,16
Sole	Le Havre	Poisson	<0.017	<0.023	<0.032	0.456	<0.033	0.3	<0.037	0.068	0.12	0.002	0.124	0.03	<0.050	<0.043	<0.039	1,1	1,374

Espece	Lieu	Type	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFBA	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFTrDA	PFTeDA	Σ LB	ΣUB
Thon	Le Havre	Poisson	<0.03	<0.03	<0.01	0.22	<0.01	<0.06	<0.04	0.09	0.07	0.19	<0.04	0.03	0.29	<0.11	<0.044	0,89	1,264
Araignée de mer	Lorient	Coq/moll/crust	<0.025	0.388	<0.033	2.452	<0.034	<0.038	<0.035	<0.045	N.I	0.879	0.653	<0.092	0.362	<0.046	<0.045	4,734	5,127
Bigorneau ou vigneau	Lorient	Coq/moll/crust	<0.031	<0.032	<0.041	0.187	<0.042	<0.047	<0.043	<0.056	<0.036	<0.014	<0.049	<0.057	<0.050	<0.058	<0.041	0,187	0,784
Calmar encornet ou chipiron	Lorient	Coq/moll/crust	<0.016	<0.017	<0.022	0.203	<0.022	0.072	0.069	0.119	0.133	0.061	<0.026	<0.030	0.044	0.21	<0.040	0,911	1,084
Coque rigadeau	Lorient	Coq/moll/crust	<0.013	<0.014	<0.018	0.078	<0.018	<0.021	<0.019	<0.024	<0.016	<0.006	<0.021	<0.025	<0.022	<0.025	<0.041	0,078	0,361
Coquille St Jacques	Lorient	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	<0.02	<0.01	<0.04	<0.03	<0.02	<0.02	<0.04	<0.03	<0.02	<0.03	<0.08	<0.05	0	0,44
Crabe tourteau	Lorient	Coq/moll/crust	<0.033	0.565	<0.044	3.867	<0.045	<0.050	<0.047	<0.060	<0.038	1.382	0.693	<0.061	0.313	<0.062	<0.067	6,82	7,327
Crevette bouquet gambas	Lorient	Coq/moll/crust	<0.03	<0.03	<0.01	0.65	<0.01	<0.05	<0.04	<0.03	<0.03	<0.05	0.05	0.09	0.14	<0.11	<0.132	0,93	1,452
Etrille	Lorient	Coq/moll/crust	<0.020	<0.026	<0.035	2.007	<0.035	<0.082	<0.037	<0.027	<0.039	<0.045	<0.041	<0.059	0.26	<0.049	<0.05	2,267	2,812
Huitre	Lorient	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.005	0.03	<0.003	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.04	<0.057	0,03	0,255
Langoustine	Lorient	Coq/moll/crust	<0.025	<0.026	<0.033	0.313	<0.034	0.109	0.125	0.797	0.107	0.649	0.232	0.202	0.421	0.386	<0.041	3,341	3,5
Moule	Lorient	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	0.04	<0.005	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.07	<0.025	0,04	0,37
Bar ou loup	Lorient	Poisson	<0.019	<0.026	<0.036	1.549	<0.037	0.545	0.489	0.68	0.528	0.621	<0.085	0.044	0.061	<0.048	<0.06	4,517	4,828
Baudroie ou lotte	Lorient	Poisson	<0.015	<0.020	<0.028	0.462	<0.029	1.206	0.322	0.868	0.674	1.781	0.136	0.125	0.103	<0.038	<0.059	5,677	5,866
Cabillaud	Lorient	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.33	<0.01	1.1	0.26	0.97	0.71	1.93	0.16	0.17	0.15	<0.09	<0.05	5,78	5,98
Carrelet	Lorient	Poisson	<0.015	<0.021	<0.029	0.74	<0.030	0.629	0.822	1.487	0.907	1.811	0.173	0.217	0.023	<0.039	<0.077	6,809	7,02
Colin ou lieu noir	Lorient	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.4	<0.01	0.24	<0.03	0.07	0.06	0.14	<0.03	0.03	0.11	<0.08	<0.077	1,05	1,327
Dorade	Lorient	Poisson	<0.022	<0.030	<0.041	0.033	<0.043	0.401	0.693	0.98	0.752	1.026	0.129	0.081	<0.065	<0.056	<0.019	4,095	4,371
Eglefin	Lorient	Poisson	<0.017	<0.024	<0.032	0.624	<0.034	0.449	0.204	0.697	0.513	1.126	0.194	0.089	0.03	<0.044	<0.069	3,926	4,146
Empereur	Lorient	Poisson	<0.025	<0.027	<0.034	0.316	<0.034	0.444	0.231	1.914	0.473	1.887	0.2	0.72	0.261	<0.048	<0.042	6,446	6,656
Espadon	Lorient	Poisson	<0.029	<0.037	<0.049	<0.030	<0.050	0.258	<0.052	<0.039	<0.056	<0.064	<0.058	<0.083	<0.086	<0.069	<0.042	0,258	1,002
Flétan	Lorient	Poisson	<0.020	<0.025	<0.034	0.378	<0.034	<0.080	<0.036	<0.027	<0.038	<0.044	<0.040	0.029	0.178	<0.048	<0.037	0,585	1,048
Grenadier	Lorient	Poisson	<0.022	<0.023	<0.029	0.069	<0.030	0.095	<0.031	<0.039	<0.025	<0.010	<0.034	<0.040	0.058	0.099	<0.046	0,321	0,65
Grondin	Lorient	Poisson	<0.027	0.029	<0.036	0.966	<0.036	0.274	0.029	<0.049	<0.056	<0.012	<0.042	<0.050	0.068	<0.050	<0.01	1,366	1,734
Julienne	Lorient	Poisson	<0.024	<0.025	<0.032	0.154	<0.032	0.17	0.053	0.117	0.186	0.419	0.065	<0.044	0.075	<0.045	<0.051	1,239	1,492
Lieu jaune	Lorient	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.7	<0.01	0.2	0.24	0.78	0.53	1.36	0.13	0.14	0.11	<0.08	<0.046	4,19	4,376
Limande	Lorient	Poisson	<0.022	<0.023	<0.030	0.29	<0.030	0.213	0.082	0.287	0.276	0.634	0.094	0.02	0.07	<0.042	<0.050	1,966	2,163
Maquereau	Lorient	Poisson	<0.028	<0.030	<0.038	0.648	<0.038	0.497	1.271	1.357	0.887	0.949	0.113	0.023	0.142	<0.053	<0.051	5,887	6,125
Merlan	Lorient	Poisson	<0.024	<0.025	<0.032	0.634	<0.032	0.416	0.32	1.038	0.781	2.078	0.199	0.124	0.064	<0.045	<0.069	5,654	5,881
Merlu	Lorient	Poisson	<0.025	<0.027	<0.034	0.143	<0.034	0.31	0.205	0.475	0.359	0.558	0.054	0.031	<0.042	<0.048	<0.049	2,135	2,394
Raie	Lorient	Poisson	<0.018	<0.023	<0.030	1.786	0.058	0.268	0.174	0.62	0.453	1.189	0.177	0.269	0.944	0.136	<0.047	6,357	6,475
Rouget	Lorient	Poisson	<0.027	<0.029	<0.037	0.764	<0.037	0.638	1.237	1.575	0.99	1.786	0.254	0.064	0.069	<0.051	<0.01	7,377	7,568
Roussette ou saumonette	Lorient	Poisson	<0.027	<0.029	<0.037	0.637	<0.037	0.06	<0.039	<0.050	<0.032	<0.012	<0.043	<0.051	0.12	0.143	<0.058	0,96	1,375

Espece	Lieu	Type	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFBA	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFTrDA	PFTeDA	Σ LB	ΣUB
Saint-Pierre	Lorient	Poisson	<0.025	0.046	<0.033	1.42	<0.033	0.314	0.454	0.975	0.924	0.88	0.168	0.068	0.237	<0.046	<0.04	5,486	5,663
Sardine	Lorient	Poisson	<0.036	<0.038	<0.049	1.611	<0.050	0.388	<0.052	<0.066	<0.042	<0.017	<0.058	<0.067	<0.060	<0.069	<0.056	1,999	2,659
Saumon	Lorient	Poisson	<0.03	<0.03	<0.02	<0.04	<0.01	0.15	0.17	0.39	0.22	0.68	0.06	0.04	<0.06	<0.15	<0.041	1,71	2,091
Sole	Lorient	Poisson	<0.023	<0.025	<0.032	0.582	<0.032	2.139	0.295	1.238	0.79	1.541	0.189	0.073	0.046	<0.044	<0.057	6,893	7,106
Tacaud ou gade	Lorient	Poisson	<0.026	<0.027	<0.035	0.253	<0.035	0.513	0.317	1.064	0.884	1.441	0.119	0.041	0.037	<0.049	<0.044	4,669	4,885
Thon	Lorient	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	<0.02	<0.01	<0.05	<0.04	<0.03	<0.03	<0.05	<0.04	<0.03	<0.04	<0.1	<0.044	0	0,534
Bigorneau ou vigneau	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.021	<0.027	<0.036	0.189	<0.036	<0.135	<0.240	1.334	<0.041	0.732	<0.106	0.224	<0.062	<0.050	<0.065	2,479	3,298
Bulot ou buccin	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.024	<0.031	<0.041	0.232	<0.041	<0.096	<0.043	<0.032	<0.046	<0.053	<0.048	<0.069	<0.071	<0.057	<0.044	0,232	0,928
Calmar encornet ou chipiron	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.017	<0.022	<0.029	0.34	<0.029	<0.088	0.224	0.485	0.459	0.688	<0.085	<0.069	0.081	0.084	<0.02	2,361	2,72
Coque rigadeau	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.008	<0.010	<0.014	0.078	<0.014	<0.032	<0.015	<0.011	<0.015	<0.018	<0.016	<0.023	<0.024	<0.019	<0.099	0,078	0,396
Coquille St Jacques	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	0.13	<0.01	<0.09	<0.03	<0.02	<0.01	<0.05	<0.02	<0.02	<0.14	<0.07	<0.06	0,13	0,7
Crabe tourteau	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.024	0.193	<0.041	2.02	<0.042	<0.096	<0.044	<0.061	<0.162	3.093	0.795	0.136	0.509	0.235	<0.088	6,981	7,539
Crevette bouquet gambas	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.03	<0.03	<0.01	0.07	<0.01	<0.11	<0.04	<0.03	<0.01	<0.06	<0.03	<0.03	<0.17	<0.09	<0.055	0,07	0,775
Huitre	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.004	<0.01	<0.003	<0.04	<0.01	<0.01	<0.004	<0.02	<0.01	<0.01	<0.05	<0.03	<0.01	0	0,231
Langoustine	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.016	<0.029	<0.027	0.167	<0.027	<0.064	<0.029	<0.021	<0.031	0.918	0.108	<0.046	0.255	0.054	<0.01	1,502	1,802
Moule	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.01	<0.07	<0.004	<0.06	<0.02	<0.02	<0.01	<0.03	<0.02	<0.02	<0.15	<0.05	<0.01	0	0,494
Pétoncle	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.014	<0.016	<0.023	0.269	<0.024	<0.037	<0.033	<0.022	<0.027	<0.032	<0.030	0.233	<0.044	<0.032	<0.01	0,502	0,846
Seiche	La Rochelle	Coq/moll/crust	<0.016	<0.021	<0.028	0.291	<0.028	<0.065	<0.029	<0.022	<0.031	<0.036	<0.033	<0.047	0.109	0.08	<0.06	0,48	0,896
Bar ou loup	La Rochelle	Poisson	<0.025	<0.026	<0.033	1.255	<0.034	0.348	0.525	1.00	0.865	2.436	0.165	0.183	0.067	<0.047	<0.033	6,844	7,042
Baudroie ou lotte	La Rochelle	Poisson	<0.021	<0.022	<0.028	0.327	<0.028	0.357	0.226	0.751	0.768	2.143	0.206	0.129	0.108	<0.039	<0.056	5,015	5,209
Cabillaud	La Rochelle	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.44	<0.01	0.27	0.18	0.65	0.54	2.16	0.21	0.21	0.12	<0.08	<0.039	4,78	4,959
Colin ou lieu noir	La Rochelle	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.08	<0.01	0.21	0.26	0.5	0.41	1.65	0.12	0.14	0.1	<0.1	<0.068	3,47	3,698
Dorade	La Rochelle	Poisson	<0.023	<0.029	<0.038	0.037	<0.039	0.265	0.305	0.424	0.444	0.628	0.156	0.129	<0.067	<0.054	<0.028	2,388	2,666
Eglefin	La Rochelle	Poisson	<0.018	<0.023	<0.030	0.572	<0.031	0.741	0.256	1.325	0.291	1.469	0.146	0.514	0.117	<0.042	<0.048	5,431	5,623
Empereur	La Rochelle	Poisson	<0.020	<0.026	<0.034	0.145	<0.034	0.741	0.72	1.61	1.618	3.089	0.33	0.271	0.131	<0.048	<0.053	8,655	8,87
Espadon	La Rochelle	Poisson	<0.028	<0.036	<0.048	<0.029	<0.048	<0.112	<0.118	<0.205	0.157	0.703	<0.057	<0.081	<0.083	<0.067	<0.08	0,86	1,852
Flétan	La Rochelle	Poisson	<0.026	<0.033	<0.045	0.359	<0.045	0.259	0.219	0.504	0.395	1.162	0.112	0.11	0.154	<0.063	<0.061	3,274	3,547
Grenadier	La Rochelle	Poisson	<0.016	<0.021	<0.027	0.059	<0.028	0.555	0.226	0.521	0.621	0.639	0.11	0.049	0.059	<0.038	<0.01	2,839	2,979
Julienne	La Rochelle	Poisson	<0.018	<0.023	<0.030	0.123	<0.031	0.108	0.067	0.229	0.184	0.7	<0.089	0.092	0.06	<0.042	<0.040	1,563	1,836
Lieu jaune	La Rochelle	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.48	<0.01	0.3	0.31	0.98	0.86	2.86	0.35	0.24	0.13	<0.06	<0.048	6,51	6,678
Limande	La Rochelle	Poisson	<0.020	<0.025	<0.033	0.512	<0.034	0.303	0.336	0.871	0.719	2.176	0.193	0.223	<0.058	<0.047	<0.045	5,333	5,595
Maquereau	La Rochelle	Poisson	<0.019	<0.022	<0.032	0.661	<0.032	<0.050	<0.135	<0.097	<0.036	0.303	<0.040	0.043	0.161	<0.044	<0.042	1,168	1,717
Merlan	La Rochelle	Poisson	<0.016	<0.021	<0.028	0.185	<0.028	0.284	0.126	0.385	0.301	1.067	0.086	0.113	0.055	<0.039	<0.02	2,602	2,754

Espece	Lieu	Type	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFBA	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFTrDA	PFTeDA	Σ LB	ΣUB
Merlu	La Rochelle	Poisson	<0.019	<0.024	<0.032	0.156	<0.032	0.761	0.338	0.834	0.695	2.388	0.142	0.183	<0.055	<0.044	<0.01	5,497	5,713
Raie	La Rochelle	Poisson	< 0.01	< 0.02	< 0.03	0.535	<0.03	0.214	0.252	0.801	0.673	2.313	0.209	0.294	0.26	< 0.04	<0.047	5,551	5,746
Rouget	La Rochelle	Poisson	<0.024	<0.030	<0.040	1.081	<0.040	1.585	0.205	0.371	0.31	0.814	0.204	0.142	<0.069	<0.056	<0.054	4,712	5,025
Roussette ou saumonette	La Rochelle	Poisson	<0.019	<0.022	<0.032	0.956	<0.032	0.156	0.463	0.789	0.87	1.005	0.154	0.107	0.21	0.067	<0.048	4,777	4,93
Sardine	La Rochelle	Poisson	<0.019	<0.025	<0.033	1.965	<0.033	2.297	<0.219	0.424	0.407	1.043	<0.142	<0.147	0.337	<0.046	<0.046	6,473	7,183
Saumon	La Rochelle	Poisson	<0.03	<0.03	<0.02	0.13	<0.01	<0.14	0.19	0.51	0.4	1.63	0.12	0.13	<0.2	<0.1	<0.040	3,11	3,68
Sole	La Rochelle	Poisson	<0.017	<0.022	<0.030	0.758	<0.030	0.659	0.165	0.68	0.646	2.123	0.646	0.28	0.072	<0.041	<0.05	6,029	6,219
Thon	La Rochelle	Poisson	<0.03	<0.03	<0.01	0.36	<0.01	<0.12	<0.05	0.24	0.18	0.66	<0.03	<0.03	1.11	<0.09	<0.04	2,55	2,99
Bulot ou buccin	Toulon	Coq/moll/crust	<0.023	<0.027	<0.039	0.191	<0.040	<0.063	<0.056	<0.037	<0.045	<0.055	<0.050	<0.073	<0.074	<0.054	<0.038	0,191	0,865
Calmar encornet ou chipiron	Toulon	Coq/moll/crust	<0.019	<0.024	<0.032	<0.019	<0.032	0.188	<0.034	<0.025	<0.036	<0.041	<0.037	<0.053	<0.055	<0.044	<0.056	0,188	0,695
Coquille St Jacques	Toulon	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	<0.03	<0.01	<0.09	<0.03	<0.02	<0.01	<0.05	<0.02	<0.02	<0.14	<0.07	<0.06	0	0,6
Crevette bouquet gambas	Toulon	Coq/moll/crust	<0.02	<0.02	<0.01	<0.04	<0.01	<0.1	<0.04	<0.02	<0.01	<0.05	<0.02	<0.02	<0.15	<0.07	<0.07	0	0,65
Homard	Toulon	Coq/moll/crust	<0.017	<0.019	<0.028	0.595	<0.029	<0.045	<0.040	<0.026	<0.032	0.376	0.13	0.127	0.621	0.072	<0.053	1,921	2,21
Huitre	Toulon	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.005	<0.01	<0.003	<0.04	<0.01	<0.01	<0.005	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.03	<0.01	0	0,193
Moule	Toulon	Coq/moll/crust	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.003	<0.04	<0.02	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.11	<0.03	<0.058	0,03	0,381
Poulpe	Toulon	Coq/moll/crust	<0.017	<0.021	<0.028	0.705	<0.028	<0.066	<0.030	<0.022	<0.032	<0.036	0.052	0.127	1.808	0.306	<0.005	2,998	3,283
Seiche	Toulon	Coq/moll/crust	<0.018	<0.023	<0.030	0.508	<0.031	<0.071	<0.032	<0.024	<0.034	<0.039	<0.036	0.048	0.43	0.153	<0.019	1,139	1,496
Bar ou loup	Toulon	Poisson	<0.026	<0.033	<0.044	3.996	<0.045	0.629	<0.047	<0.035	<0.050	<0.057	0.69	0.274	5.966	0.251	<0.037	11,806	12,18
Baudroie ou lotte	Toulon	Poisson	<0.015	<0.018	<0.026	0.478	<0.026	<0.041	<0.037	<0.024	<0.030	0.006	<0.033	<0.048	0.2	<0.036	<0.04	0,684	1,058
Cabillaud	Toulon	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	1.1	<0.01	<0.09	<0.03	<0.02	<0.01	<0.04	0.15	0.07	0.29	<0.07	<0.040	1,61	1,97
Colin ou lieu noir	Toulon	Poisson	<0.02	<0.02	<0.01	0.13	<0.01	<0.08	<0.03	<0.02	<0.01	<0.04	<0.02	<0.02	0.22	<0.06	<0.079	0,35	0,769
Dorade	Toulon	Poisson	<0.026	<0.033	<0.044	0.054	<0.044	<0.102	<0.046	<0.034	<0.049	<0.057	<0.052	<0.074	<0.076	<0.061	<0.036	0,054	0,788
Empereur	Toulon	Poisson	<0.019	<0.024	<0.032	0.069	<0.032	0.145	<0.034	0.083	0.096	0.107	0.035	0.047	<0.055	<0.044	<0.01	0,582	0,832
Espadon	Toulon	Poisson	<0.029	<0.034	<0.049	<0.028	<0.050	<0.078	<0.070	<0.046	<0.057	<0.069	<0.062	<0.091	<0.093	<0.068	<0.044	0	0,868
Flétan	Toulon	Poisson	<0.023	<0.027	<0.039	0.242	<0.040	<0.062	<0.056	<0.036	<0.045	<0.054	<0.049	<0.072	0.114	<0.054	<0.041	0,356	0,954
Grenadier	Toulon	Poisson	<0.016	<0.018	<0.026	0.06	<0.027	0.054	0.047	0.155	0.123	0.545	0.072	0.082	0.115	<0.036	<0.02	1,253	1,396
Julienne	Toulon	Poisson	<0.017	<0.020	<0.029	0.19	<0.030	0.232	<0.041	0.083	0.177	0.043	0.063	0.041	0.111	<0.040	<0.039	0,94	1,156
Limande	Toulon	Poisson	<0.019	<0.024	<0.032	0.386	<0.032	0.1	<0.033	<0.047	<0.036	<0.063	<0.037	0.088	<0.055	<0.044	<0.01	0,574	1,006
Maquereau	Toulon	Poisson	<0.027	<0.031	<0.046	1.141	<0.047	<0.073	<0.065	<0.043	<0.053	<0.064	<0.058	<0.085	0.537	<0.063	<0.045	1,678	2,378
Merlan	Toulon	Poisson	<0.016	<0.018	<0.026	0.25	<0.027	<0.042	<0.038	<0.025	<0.030	<0.037	<0.033	<0.049	0.062	<0.036	<0.051	0,312	0,74
Merlu	Toulon	Poisson	<0.019	<0.024	<0.032	<0.019	<0.032	0.259	<0.034	<0.025	<0.036	<0.064	<0.038	0.048	<0.056	<0.045	<0.01	0,307	0,741
Raie	Toulon	Poisson	<0.020	<0.025	<0.034	1.682	<0.034	0.083	<0.036	<0.027	<0.038	<0.068	0.053	0.123	0.888	0.356	<0.039	3,185	3,506
Rascasse	Toulon	Poisson	<0.021	<0.026	<0.035	0.1	<0.036	0.289	0.23	1.6	0.158	0.918	0.117	0.548	0.181	<0.049	<0.01	4,141	4,318

Espece	Lieu	Type	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	PFBA	PFPA	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFTTrDA	PFTeDA	Σ LB	ΣUB
Rouget	Toulon	Poisson	<0.024	<0.031	<0.041	1.02	<0.041	<0.096	<0.043	<0.032	<0.046	<0.081	<0.119	0.105	<0.071	<0.057	<0.042	1,125	1,849
Roussette ou saumonette	Toulon	Poisson	<0.019	<0.022	<0.032	1.353	<0.032	0.263	<0.045	<0.029	<0.036	<0.044	<0.040	<0.059	0.225	0.252	<0.038	2,093	2,489
Saint-Pierre	Toulon	Poisson	<0.019	<0.024	<0.032	0.651	<0.032	0.424	0.036	0.093	0.088	0.086	<0.038	0.092	0.233	<0.045	<0.047	1,703	1,94
Sardine	Toulon	Poisson	<0.018	<0.021	<0.031	1.124	<0.031	<0.049	<0.044	<0.029	<0.035	<0.043	<0.039	0.063	1.352	<0.043	<0.039	2,539	2,961
Saumon	Toulon	Poisson	<0.04	<0.04	<0.02	<0.06	<0.01	<0.15	<0.06	<0.04	<0.02	<0.08	<0.04	<0.04	<0.23	<0.12	<0.041	0	0,991
Sole	Toulon	Poisson	<0.017	<0.019	<0.028	0.699	<0.028	0.103	<0.040	<0.026	<0.032	0.024	0.131	0.062	0.057	<0.039	<0.03	1,076	1,335
Thon	Toulon	Poisson	<0.03	<0.03	<0.01	<0.04	<0.01	<0.11	<0.04	<0.03	<0.01	<0.05	<0.03	<0.03	<0.16	<0.08	<0.061	0	0,721

Yamada

Ami

09 Octobre 2012

Ingénieur du génie sanitaire

Promotion 2012

Perfluoroalkyl substances exposure assessment for specific populations: cases of high seafood consumers

Abstract :

Perfluoroalkyl substances are surfactants with high thermal and chemical stability. They are used in number of industrial applications and consumer products as stain repellents for textiles, fire-fighting foams as well as nonstick coatings for cooking utensils. Their persistence in the environment, their global distribution in human serum and their suspected toxicity (endocrine disruption, cancer...) led to the CONTREPERF project constitution. This memoir is part of this project which focus first on high seafood consumers with higher exposure to perfluoroalkyl substances and later on pregnant women who are more sensitive to their toxic effects. The aim of this work is to assess the necessity of focusing on populations with higher risk than general population. Food exposure of high seafood consumers was estimated for 15 perfluoroalkyl substances (PFOS, PFOA, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFTeDA, PFTeDA, PFUnA, PFPA, PFDA, PFDS) with data from CALIPSO study for food consumption (n=993) and seafood contamination from 4 coastal regions (n=159), and from French total diet study 2 for other types of food (n= 599). Seafood contamination differences and exposure differences were found for these 4 regions. Nevertheless, estimated food exposure of 1,53 ng.kg⁻¹ bw per day and 1,16 ng.kg⁻¹ bw per day for lower bound and 2,45 ng.kg⁻¹ bw per day and 2,06 ng.kg⁻¹ bw per day for upper bound, respectively for PFOS and PFOA, are far below the tolerable daily intake of 150 ng.kg⁻¹ bw per day and 1500 ng.kg⁻¹ bw per day established by the EFSA. Nonetheless, ad hoc long-term studies on oral toxicity for the other perfluorinated compounds have to be led to establish TDI. Research on PFOS and PFOA must continue on their carcinogenic and endocrine disrupting potency.

Mots clés :

Perfluoroalkyl substances, fish, seafood, exposure

L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Yamada

Ami

09 Octobre 2012

Ingénieur du génie sanitaire

Promotion 2012

Evaluation de l'exposition aux perfluoroalkyles de populations spécifiques : cas des forts consommateurs des produits de la mer

Résumé :

Les perfluoroalkyles sont des composés tensioactifs extrêmement stables et résistants à la chaleur. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles et produits de consommation courante, tels que les imperméabilisants textiles, les mousses anti-incendie ou encore les revêtements antiadhésifs utilisés pour les ustensiles de cuisine. La persistance de ces substances dans l'environnement, leur présence ubiquitaire dans le *serum* humain et leur toxicité suspectée (perturbation endocrinienne, cancer...) a donné naissance au projet CONTREPERF. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de ce projet, en faisant le point dans un premier temps sur la population des forts consommateurs de produits de la mer, plus exposés aux perfluoroalkyles, et dans un deuxième temps sur les couples femme enceinte/nouveau-né, plus sensibles aux effets délétères. L'exposition alimentaire des forts consommateurs des produits de la mer a été évaluée pour 15 perfluoroalkyles (PFOS, PFOA, PFBA, PFBS, PFHpA, PFHpS, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFTrDA, PFTeDA, PFUnA, PFPA, PFDA, PFDS) à l'aide des données issues de l'étude CALIPSO pour la consommation alimentaire (n=993) et la contamination des produits de la mer sur 4 sites côtiers français (n=159), et de l'étude sur l'alimentation totale 2 pour la contamination des autres denrées alimentaires (n= 599). Ces données ont révélé une différence de contamination des produits de la mer et de l'exposition alimentaire sur les 4 sites étudiés. Les expositions alimentaires de 1,53 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹ et de 1,16 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹ sous l'hypothèse basse de contamination et de 2,45 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹ et de 2,06 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹ sous l'hypothèse haute, de contamination respectivement pour le PFOS et le PFOA, sont toutefois inférieures aux DJT actuellement disponibles et établies par l'EFSA de 150 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹ et de 1500 ng.kg⁻¹pc.j⁻¹. Néanmoins, il convient de mener les études toxicologiques ad hoc à long terme par voie orale pour les autres composés perfluorés permettant l'établissement de VTR et de poursuivre les recherches sur le potentiel cancérigène et perturbateur endocrinien du PFOS et du PFOA.

Mots clés :

Perfluoroalkyles, poisson, fruits de mer, exposition

L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.