

Maisons-Alfort, le 17 janvier 2014

Le directeur général

NOTE
d'appui scientifique et technique
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

relative aux composés perfluorés présents dans les eaux destinées à la consommation humaine

L'Anses a été saisie le 7 novembre 2011 par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (AE RMC) notamment pour évaluer les risques sanitaires associés à la présence de composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine (EDCH).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE

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

Par ailleurs, par courrier du 4 juin 2009, la Direction générale de la santé (DGS) avait saisi l'Agence en vue de demander une expertise sur les risques sanitaires pour le consommateur liés à des substances reprotoxiques de catégorie 3 ou perturbateurs endocriniens présents dans des produits ou articles mis sur le marché, dont le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA).

D'autres composés perfluorés peuvent en outre être présents dans des articles ou produits de consommation et détectés dans différents compartiments de l'environnement. Aussi l'agence a considéré nécessaire de considérer non seulement le PFOS et le PFOA mais aussi plusieurs autres composés alkyls perfluorés afin de fournir aux ministères de tutelle des éléments d'information utiles sur leurs effets sanitaires et pour une meilleure connaissance des expositions.

La présente note d'appui scientifique et technique s'appuie sur l'expertise du CES « Eaux » et concerne la caractérisation des composés alkyls perfluorés présents dans l'eau, les procédés de traitements permettant de réduire leurs teneurs dans les eaux et la description des teneurs dans les eaux du robinet et les eaux conditionnées disponibles au niveau national et international.

2. ORGANISATION DES TRAVAUX

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

Elle a été instruite par l'Unité d'évaluation des risques liés à l'eau et par le Laboratoire d'hydrologie de Nancy (LHN).

Par la suite, l'analyse et les conclusions de la présente note relative aux composés alkyls perfluorés dans les EDCH ont été présentées puis validées par le CES « Eaux » les 3 septembre et 1^{er} octobre 2013.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS

3.1. Définition des composés perfluorés

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

Les molécules les plus souvent citées dans les publications sont l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et le sulfonate de perfluorooctane (PFOS).

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

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

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

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

- les composés alkyls polyfluorés non polymérisés dont tous les atomes d'hydrogène sur au moins un atome de carbone ont été remplacés par un atome de fluor ;
- les fluoropolymères dont les atomes de fluor sont directement liés à une ossature polymérique carbonée ;
- les perfluoropolyéthers dont les atomes de fluor sont directement liés aux atomes de carbone d'une ossature polymérique d'atomes de carbone et d'oxygène ;
- d'autres polymères comportant des chaînes carbonées fluorées.

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

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

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

Par ailleurs, le PFOS a été identifié comme substance dangereuse prioritaire dans l'annexe X de la Directive du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013¹. Aujourd'hui, la présence de PFOS dans l'environnement résulte davantage des activités et usages antérieurs que de foyers de production actuels. En effet, le principal fabricant de cette molécule (Société 3M) a arrêté sa synthèse en 2002. Il n'existerait plus de production de PFOS en Europe et en Amérique du Nord. Cette production subsiste néanmoins en Chine.

¹ Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

Une dérogation d'usage existe aujourd'hui en Europe pour certaines applications (Directive 2006/122/ECOF du 12 décembre 2006²).

3.2. Propriétés physico-chimiques des composés alkyls perfluorés (PFAS)

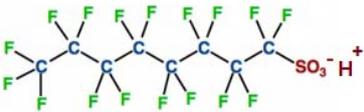
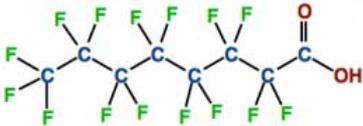
La liaison covalente carbone – fluor étant très forte et très stable, les PFAS présentent une grande stabilité thermique et chimique.

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

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

En raison des propriétés tensioactives des sulfonates de perfluoroalcanes (PFSA) et des carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA), il est difficile, voire impossible, de déterminer certaines de leurs propriétés comme le coefficient de partage octanol-eau (K_{OW}). Les propriétés physico-chimiques du PFOS et du PFOA sont décrites dans le tableau III.

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

Nom	Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)	Acide perfluorooctanoïque (PFOA)
Numéro CAS	1763-23-1	335-67-1
Formule brute	$C_8F_{17}SO_3H$	$C_8HF_{15}O_2$
Formule développée		
Masse molaire	500 g/mol	414 g/mol
Point de fusion	> 400°C	45-50°C
Point d'ébullition	Non mesurable	189-192°C (736 mm Hg)
Coefficient de partage octanol / eau	Non mesurable	Non mesurable
Solubilité dans l'eau	680 mg/L à 25°C	9,5 g/L à 25°C
Pression de vapeur	$3,31 \cdot 10^{-4}$ Pa (à 20°C)	100 Pa (à 20°C)
Constante de Henry	$3,05 \cdot 10^{-9}$ atm.m ³ /mol	Non déterminée

3.3. Origines et sources de contamination de l'eau

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

Les PFAS sont produits selon deux procédés : la fluoration électrochimique (ECF)³ et la télomérisation⁴.

² Directive 2006/122/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2006 portant trentième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (sulfonates de perfluorooctane).

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

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

- la protection des papiers notamment ceux utilisés pour le conditionnement des aliments (emballages alimentaires) ;
- les applications spécialisées :
 - le traitement des surfaces (usages : détergents, traitements antiadhésifs),
 - les aides à la polymérisation de fluoropolymères (polyfluorure de vinylidène (PVDF), polytétrafluoroéthylène (PTFE), ...),
 - les mousses anti-incendie,
 - les agents tensio-actifs pour les puits de pétrole et les mines,
 - les fluides hydrauliques dans l'aviation,
 - les placages de métaux (chrome),
 - la photolithographie et les semi-conducteurs,
 - la photographie...

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

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

Certains composés perfluorés figurant dans le règlement (UE) n° 10/2011⁵ entrent dans la composition de polymères fluorés (PF) utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'EDCH (MCDE). Le sel d'ammonium de l'acide perfluorooctanoïque (n° CAS : 3825-26-1) et l'éther perfluoropropyl perfluorovinyle (n° CAS : 1623-05-8) sont utilisés dans le polytétrafluoroéthylène (PTFE) à des concentrations inférieures à quelques pourcents (< 10 %). Le PTFE étant utilisé dans les vannes et accessoires dont la surface mouillée est faible, les MCDE ne sont pas une source importante de composés perfluorés dans l'EDCH. Par ailleurs, l'utilisation du polyfluorure de vinylidène (PVDF) devrait se développer comme barrière protectrice à l'intérieur notamment de tubes en polyéthylène (FNCCR, 2007 ; Gaudichet-Maurin *et al.*, 2009).

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

³ La fluoration électrochimique permet la substitution des atomes d'hydrogène d'un hydrocarbure par des atomes de fluor en présence d'un courant électrique et de fluorure d'hydrogène. Le produit initial de cette réaction est le fluorure de perfluorooctane sulfonyle.

⁴ Processus au cours duquel le tétrafluoroéthylène réagit avec un intermédiaire perfluoré alkylé iodé pour former des fluorotélomères (polymérisation par réaction en chaîne).

⁵ Règlement (UE) n°10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.

3.4. Traitements permettant de réduire la teneur en PFAS dans les eaux

Résultats présents dans la littérature.

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

Tableau IV : Description schématique des filières de traitement des eaux (Takagi *et al.* 2011)

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

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

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

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

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

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

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

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

Études en cours au Laboratoire d'hydrologie de Nancy.

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

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

Le premier objectif de cette étude est de quantifier les PFCA et leurs précurseurs en différents points d'un système partant du rejet industriel brut et se terminant à la sortie de

filières de potabilisation. Les différents points d'échantillonnage incluent les étapes de traitement des rejets industriels, le transport des composés par le fleuve jusqu'aux points de captage et enfin les étapes de potabilisation.

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

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

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

3.5. Synthèse bibliographique des teneurs en PFAS dans les eaux distribuées en réseaux ou conditionnées

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

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

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

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDS	Eau du robinet	Espagne	4		< 1	0	< 1		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDS	Eau du robinet	Chine	43		< 0,02	0	< 0,02		Mak <i>et al.</i> (2009)
PFDS	Eau du robinet	Europe	7	0,05	0,07	43	< 0,045	0,195	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDS	Eau du robinet	Espagne	4	0,4	0,33	0	< 0,13	< 0,40	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	4		0,61	100	0,39	0,87	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau du robinet	Japon	26		2,9	96	< 0,1	22	Takagi <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau du robinet	Chine	43		3,9	86	< 0,02	11	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFOS	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	692	15		63	< 10	100	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	111	< 10		0	< 10		Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Italie	6		8,1		6,2	9,7	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	7		0,8	57	< 0,4	2	Quinete <i>et al.</i> (2009)
PFOS	Eau du robinet	États-Unis	66		13	68	< 1	57	Quinones et Snyder (2009)
PFOS	Eau du robinet	Japon	6		3	67	< 0,1	12	Saito <i>et al.</i> (2004)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	14	< 2	6	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	26	1,3		35	< 1	4,7	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		< 0,30	0	< 0,30	< 0,30	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau du robinet	Allemagne	5		0,4	20	< 0,04	0,4	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	84	7	46	51	< 0,04	258	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Europe	7	0,86	3,02	100	0,397	8,81	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Australie	61	0,76	1,64	38	< 0,13	15,1	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Corée	15		1,2		< 0,33	3,6	Kim <i>et al.</i> (2011)
PFOS	Eau du robinet	Norvège	3	0,23	0,2	100	0,071	0,31	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFOS	Eau du robinet	Espagne	10	0,55	1,98	70	< 0,05	6,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau du robinet	Royaume-Uni	80	< 11	11	23	< 11	205	McLaughlin <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,18	50	< 0,18	0,28	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		0	< 10		Wilhem <i>et al.</i> (2010)

PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFHxS	Eau du robinet	États-Unis	66		3,1	32	< 1	12	Quinones et Snyder (2009)
PFHxS	Eau du robinet	Allemagne	26	1,1		12	< 1	12,1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		0,55	100	0,5	0,6	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHxS	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,06	0	< 0,06	< 0,06	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	84	0,4	3,8	36	< 0,06	28	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau du robinet	Europe	7	0,91	0,97	71	< 0,16	2,5	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Australie	61	0,92	1,71	21	< 0,18	14,4	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHxS	Eau du robinet	Norvège	3	0,12	0,11	100	0,045	0,15	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHxS	Eau du robinet	Espagne	10	0,5	0,4	40	< 0,1	0,73	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,27	0	< 0,27		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFBS	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	< 10		49	< 10	65	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		3	< 10	11	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Norvège	3	0,05	0,05	0	< 0,05	0,05	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	14		2,9	21	< 2	20	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	119	2,6		16	< 1	13,3	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau du robinet	Pays-Bas	4		16	100	14	17	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,11	0	< 0,11	< 0,11	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	84	2,4	8,3	35	< 0,11	36	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBS	Eau du robinet	Europe	7	0,96	4,43	86	< 0,09	18,8	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFBS	Eau du robinet	Australie	61	0,14	0,54	11	< 0,14	2,52	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFBS	Eau du robinet	Espagne	10	0,18	1,56	50	< 0,10	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFDoA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,34	0	< 0,34		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDoA	Eau du robinet	Italie	6		1		0,1	2,8	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFDoA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	0	< 1		Quinones et Snyder (2009)
PFDoA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFDoA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,45	0	< 0,45	< 0,45	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDoA	Eau du robinet	Norvège	3	0,22	0,26	33	0,13	0,43	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFDoA	Eau du robinet	Espagne	8	0,10	0,10	0	< 0,10	< 0,10	Domingo <i>et al.</i> (2012)



PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFUnA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,43	0	< 0,43		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFUnA	Eau du robinet	Italie	6		0,2		0,1	0,4	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFUnA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	9	< 1	1,6	Quinones et Snyder (2009)
PFUnA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFUnA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,43	0	< 0,43	< 0,43	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFUnA	Eau du robinet	Norvège	3	0,2	0,21	67	0,07	0,35	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFUnA	Eau du robinet	Espagne	9	0,10	0,56	11	< 0,10	3,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,82	0	< 0,82		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau du robinet	Italie	6		0,2		0,1	0,3	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFDA	Eau du robinet	États-Unis	66		< 1	18	< 1	3,3	Quinones et Snyder (2009)
PFDA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFDA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		< 0,04	0	< 0,04	< 0,04	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFDA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,19	0	< 0,19	< 0,19	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	84	2,3	2,2	8	< 0,19	4,7	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDA	Eau du robinet	Europe	7	0,09	0,24	57	< 0,09	0,612	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDA	Eau du robinet	Norvège	3	0,52	0,58	67	0,22	1	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFDA	Eau du robinet	Espagne	9	0,13	0,56	22	< 0,13	3,7	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFNA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,42	25	< 0,42	0,52	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFNA	Eau du robinet	Italie	6		0,5		0,3	0,7	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFNA	Eau du robinet	États-Unis	66		2,2	27	< 1	9,7	Quinones et Snyder (2009)
PFNA	Eau du robinet	Allemagne	26	1,4		4	< 1	1,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFNA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		0,08	-	< 0,04	0,2	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFNA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 0,03	0	< 0,03	< 0,03	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFNA	Eau du robinet	Espagne	84	0,8	4,4	32	< 0,03	22	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFNA	Eau du robinet	Europe	7	0,13	0,26	43	< 0,13	0,52	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFNA	Eau du robinet	Norvège	3	0,22	0,22	0	< 0,22	0,22	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFNA	Eau du robinet	Espagne	9	0,22	1,28	33	< 0,10	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	4		2,2	100	0,32	6,3	Ericson <i>et al.</i> (2008)



PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFOA	Eau du robinet	Japon	26		22	100	2,3	84	Takagi <i>et al.</i> (2008)
PFOA	Eau du robinet	Chine	43		10	100	0,02	78	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFOA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	692	23		93	< 10	83	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	113	< 10		27	< 10	68	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Italie	6		2,4		1	2,9	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	7		0,9	86	< 0,4	1,3	Quinete <i>et al.</i> (2009)
PFOA	Eau du robinet	Etats-Unis	66		8,4	27	< 1	30	Quinones et Snyder (2009)
PFOA	Eau du robinet	Japon	6		9,9	100	0,12	40	Saito <i>et al.</i> (2004)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	21	< 2	4	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	26	2,6		19	< 1	6,1	Gellich <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		3,7	100	3,2	4,3	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau du robinet	Allemagne	5	1,3	1,3	40	< 0,16	1,9	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	84	2,9	6,7	37	< 0,16	35	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOA	Eau du robinet	Europe	7	4,92	4,36	100	0,30	8,56	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Australie	61	0,5	1,08	49	< 0,13	9,66	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Corée	15		5,4		< 0,33	33	Kim <i>et al.</i> (2011)
PFOA	Eau du robinet	Norvège	3	1,2	1,45	100	1,2	2,5	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFOA	Eau du robinet	Espagne	10	0,78	2,54	50	< 0,40	9,6	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	4		0,9	50	< 0,61	3	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHpA	Eau du robinet	Chine	43		?	83	< 0,02	?	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFHpA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	< 10		2	< 10	12	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHpA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	< 10		14	< 10	25	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHpA	Eau du robinet	Italie	6		0,5		0,3	0,8	Loos <i>et al.</i> (2007)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	0	< 2		Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	26	1,5		12	< 1	1,5	Gellich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		1,2	100	0,9	1,4	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau du robinet	Allemagne	5	7,6	9,2	100	0,23	24	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	84	10,8	8,1	13	< 0,23	16	Llorca <i>et al.</i> (2012)



PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFHpA	Eau du robinet	Europe	7	1,09	1,03	86	< 0,12	1,91	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHpA	Eau du robinet	Australie	61	0,15	0,4	27	< 0,15	2,54	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHpA	Eau du robinet	Norvège	3	0,32	0,4	67	< 0,12	0,76	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHpA	Eau du robinet	Espagne	10	0,41	0,89	40	< 0,10	3,3	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,87	0	< 0,87		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxA	Eau du robinet	Chine	43		?	86	< 0,02	1,7	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFHxA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	185	< 10		49	< 10	40	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	20		66	< 10	43	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Etats-Unis	66		4	47	< 1	23	Quinones et Snyder (2009)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	7	< 2	9	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	26	2		23	< 1	6,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		2,3	100	2,2	2,4	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau du robinet	Allemagne	5	0,7	0,9	80	< 0,23	1,8	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	84	3	4,7	18	< 0,23	11	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau du robinet	Europe	7	2,86	2,48	86	< 0,38	5,15	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxA	Eau du robinet	Australie	61	0,13	0,59	13	< 0,13	5,53	Thompson <i>et al.</i> (2011)
PFHxA	Eau du robinet	Norvège	3	0,31	0,4	67	< 0,11	0,78	Haug <i>et al.</i> (2010)
PFHxA	Eau du robinet	Espagne	9	0,23	0,63	44	< 0,10	2,2	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Chine	43		0,72	< 50	< 0,4	1,8	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFPeA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	181	10		57	< 10	36	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFPeA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	20		67	< 10	55	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	7	< 2	4	Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	26	2		19	< 1	5,2	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFPeA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		2,4	100	1,7	2,8	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFPeA	Eau du robinet	Allemagne	5		1,2	20	< 0,76	1,2	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Espagne	84	1,7	3,8	38	< 0,76	17	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau du robinet	Europe	7	0,53	0,99	43	< 0,53	2,69	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFPeA	Eau du robinet	Australie	61	0,13	0,62	18	< 0,13	4,23	Thompson <i>et al.</i> (2011)



PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFPeA	Eau du robinet	Espagne	10	0,19	0,39	40	< 0,10	1,7	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Chine	43		?	60	< 0,4	10	Mak <i>et al.</i> (2009)
PFBA	Eau du robinet	Ruhr - Allemagne	184	19		79	< 10	66	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBA	Eau du robinet	Möhne - Allemagne	70	75		91	< 10	150	Wilhem <i>et al.</i> (2010)
PFBA	Eau du robinet	Allemagne	14		< 2	0	< 2		Skutlarek <i>et al.</i> (2006)
PFBA	Eau du robinet	Pays-Bas	4		15	100	9,3	18	Eschauzier <i>et al.</i> (2013)
PFBA	Eau du robinet	Allemagne	5		0,4	20	-	0,4	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Espagne	84	10	10	52	< 2,4	27	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFBA	Eau du robinet	Espagne	10	0,33	0,89	70	< 0,33	4,3	Domingo <i>et al.</i> (2012)
FOSA	Eau du robinet	Espagne	4		< 0,19	0	< 0,19		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFTrA	Eau du robinet	Allemagne	26	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFTrA	Eau du robinet	Espagne	8	0,10	0,14	12,5	< 0,10	0,5	Domingo <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Allemagne	5		< 1,2	0	< 1,2	< 1,2	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Espagne	84	4,5	8	6	< 1,2	25	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOPA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,32	0	< 0,32	< 0,32	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFDPa	Eau du robinet	Allemagne	5		10	20	< 1,7	10	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDPa	Eau du robinet	Espagne	84	11	14	6	< 1,7	23	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFDPa	Eau du robinet	Europe	7		< 0,52	0	< 0,52	< 0,52	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFHxPA	Eau du robinet	Europe	7		< 0,52	0	< 0,52	< 0,52	Ullah <i>et al.</i> (2011)
PFTDA	Eau du robinet	Espagne	8	0,29	0,34	0	< 0,29	< 0,50	Domingo <i>et al.</i> (2012)

Même si les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule, diffèrent selon les études, les plus souvent recherchées dans les EDCH de réseaux étant le PFOS et le PFOA, il apparaît que la teneur moyenne en PFAS dans les différentes eaux de distribution, dans les études publiées depuis 2004, varie selon les pays de l'ordre du nanogramme à la dizaine de nanogrammes par litre et que les plus fortes teneurs peuvent atteindre la centaine de nanogrammes par litre.

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

PFAS	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFDS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 1	0	< 1		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,24	0	< 0,24		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOS	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,5		9	< 1	6	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOS	Eau conditionnée	Allemagne	2	1	1	50	< 0,04	1	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFOS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,04	0	< 0,04	< 0,04	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,18	0	< 0,18		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxS	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,4		1	< 1	1,4	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFBS	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,27	0	< 0,27		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFBS	Eau conditionnée	Allemagne	26	2,7		42	< 1	5,8	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFDoA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,34	0	< 0,34		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDoA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFUnA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,43	0	< 0,43		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,82	0	< 0,82		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFDA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFNA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,42	0	< 0,42		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFNA	Eau conditionnée	Allemagne	119	3		2	< 1	3,3	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFOA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,39	25	< 0,39	0,67	Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFOA	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,6		26	< 1	3,7	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,61	0	< 0,61		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHpA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHpA	Eau conditionnée	Allemagne	2	12	12	100	-	17	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHpA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,23	0	< 0,23	< 0,23	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFHxA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,87	0	< 0,87		Ericson <i>et al.</i> (2008)
PFHxA	Eau conditionnée	Allemagne	119	na		0	< 1	< 1	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
PFHxA	Eau conditionnée	Allemagne	2	0,17	0,17	50	-	0,17	Llorca <i>et al.</i> (2012)



PFC	Type d'eau	Site-Pays	n	médiane (ng/L)	moyenne (ng/L)	% > LoQ	Min (ng/L)	Max (ng/L)	Référence
PFHxA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,23	0	< 0,23	< 0,23	Llorca <i>et al.</i> (2012)
PFPeA	Eau conditionnée	Allemagne	119	1,7		28	< 1	7,8	Gellrich <i>et al.</i> (2013)
FOSA	Eau conditionnée	Espagne	4		< 0,19	0	< 0,19		Ericson <i>et al.</i> (2008)

Même si les fréquences de recherche de PFAS, pour chaque molécule et selon les différents pays, diffèrent selon les études publiées depuis 2008, il apparaît que la contamination moyenne des eaux conditionnées est plus faible que celle des eaux distribuées en réseaux, les plus fortes teneurs étant de l'ordre du nanogramme par litre.



3.6. Données récentes de contamination des EDCH par les PFAS en France

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

Les concentrations en PFAS ont été déterminées en utilisant un automate d'extraction en phase solide (SPE) et une chromatographie liquide couplée à une spectrométrie de masse en tandem (CL-SM/SM). La méthode d'analyse est inspirée de la norme ISO 25101⁶ et a été validée suivant la norme NF T 90-210⁷ dans les trois types de matrices (eau de surface, eau souterraine et EDCH).

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

Niveaux de contamination des EDCH prélevés lors de la première campagne d'analyse (2009)

Les objectifs de la première campagne (2009) étaient :

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

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

Le tableau VII présente les résultats analytiques par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH.

⁶ Norme ISO 25101 (2009) Qualité de l'eau - Détermination du sulfonate de perfluorooctane (PFOS) et de l'octanoate perfluoré (PFOA) - Méthode par extraction en phase solide et chromatographie liquide/spectrométrie de masse pour des échantillons non filtrés

⁷ Norme NF T 90-210 (2009) Protocole d'évaluation initiale des performances d'une méthode dans un laboratoire

Tableau VII : Nombre de résultats analytiques par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la première campagne nationale d'analyses réalisée par le LHN (2009).

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

^a Eau de surface

^b Eau souterraine

Niveaux de contamination des EDCH prélevés lors de la seconde campagne d'analyse (2010)

Les objectifs de la seconde campagne étaient :

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

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

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

Tableau VIII : Nombre de résultats analytiques par classe de concentration pour chaque composé perfluoré analysé dans les EDCH lors de la seconde campagne d'analyse réalisée par le LHN (2010)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	Contamination hydrique (ng/L) (n=6)	
	LB*	UB**
PFBA	0	5
PFBS	1	2
PFDA	0	1
PFDS	0	1
PFDoA	0	1
PFHpA	3	28
PFHpS	0	16
PFHxA	2	8
PFHxS	2	2
PFNA	0	1
PFOA	1	16
PFOS	1	2
PFPeA	0	4
PFUnA	0	8

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

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

Estimation des expositions alimentaires journalières aux PFAS dont la part hydrique de cette exposition (EAT2)

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

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

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

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

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

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

Plusieurs composés alkyls perfluorés ont fait l'objet de valeurs guides (VG) dans les EDCH : PFOS, PFOA, PFBA ou PFBS. Ces valeurs sont présentées dans le tableau XI.

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

	Désignation de la valeur guide par les différentes instances	PFOA	PFOS	PFBA	PFBS
Amérique du Nord					
<i>Minnesota</i>	Chronic non-cancer health risk limit	300 ng/L	300 ng/L	7 µg/L	7 µg/L
<i>New Jersey</i>	Health-based drinking water concentration protective for lifetime exposure	40 ng/L		-	-
<i>Caroline du Nord</i>	Acceptable water level	630 ng/L		-	-
<i>US EPA⁽¹⁾</i>	Provisional health advisory value	400 ng/L	200 ng/L	-	-
Europe					
<i>Allemagne (UBA⁽²⁾)</i>	Health-based guidance value for safe lifelong exposure for all population groups	[PFOA] + [PFOS] < 300 ng/L		-	-
<i>Royaume-Uni (HPA⁽³⁾)</i>	Maximum acceptable concentration	10 µg/L	0,3 µg/L	-	-

⁽¹⁾ United States Environmental Protection Agency

⁽²⁾ Umweltbundesamt

⁽³⁾ Health Protection Agency

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

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

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

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

3.8. Synthèse et perspectives

Il n'existe pas de limite de qualité ou de valeur de référence des PFAS dans la réglementation nationale. Les données nationales de contamination de l'EDCH connues sont issues des travaux du LHN, publiés dans le rapport de mai 2011 relatif aux campagnes nationales d'occurrence des composés alkyls perfluorés dans les eaux brutes et distribuées. D'autres campagnes de prélèvement et d'analyse, dites « exceptionnelles », ont été réalisées à la demande de la Direction de l'eau et de la biodiversité (DEB) du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) :

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

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

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

Campagnes	Campagne eaux souterraines - Métropole	Campagne eaux surface - Métropole et DOM	Campagne eaux souterraines - DOM
Molécules	EtFOSA	EtFOSA	PFHpA
	PFDS	MeFOSA	PFUnA
	PFDA	PFDA	PFOS
	PFDoA	PFDoA	PFOA
	PFHpA	PFUnA	
	PFHS	FOSA	
	PFHxA		
	PFNA		
	PFUnA		
	FOSA		
	PFOS		
	PFOA		
	PFTDA		

Les résultats des campagnes nationales d'analyse réalisées par le LHN conduisent à recommander la surveillance d'au moins quatre PFAS dans les eaux brutes et traitées (PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS) pour disposer d'une information suffisamment robuste sur la contamination des eaux par les PFAS. En effet, lors de la seconde campagne réalisée en 2010, sur 45 échantillons d'eau brute présentant au moins un PFAS à une concentration quantifiable, seuls 2 échantillons (4 %) sont caractérisés par le fait que le calcul de la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS. Sur 35 échantillons d'eau traitée présentant au moins un PFAS à une concentration quantifiable, 5 (14 %) sont tels que la somme des concentrations en PFOA, PFOS, PFHxA et PFHxS sous-estime de plus de 50 % la teneur cumulée en PFAS.

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

De plus, les propriétés physico-chimiques des PFAS sont suffisamment hétérogènes pour induire des conséquences sur :

- leur comportement et leur devenir dans l'environnement avec, par exemple, une plus grande mobilité, dans les sols, des PFCA à chaîne perfluoroalcane courte, l'adsorption dans les sédiments des PFAS à chaîne carbonée longue, la décomposition de précurseurs en PFCA, etc ;
- leur comportement et leur devenir au cours des processus de production de l'EDCH avec, par exemple, une meilleure rétention des PFAS à longue chaîne carbonée par filtration sur charbon actif en grains ;
- la contribution de l'exposition hydrique par rapport à l'exposition alimentaire totale qui varie entre 1,3 et 24 % chez les adultes et entre 0,4 et 17 % chez les enfants (estimation en borne supérieure de la contamination alimentaire ou scénario UB, les valeurs les plus hautes chez l'adulte et chez l'enfant étant retrouvées parmi les substances suivantes : PFHpA, PFHpS, PFOA).

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

4. CONCLUSIONS ET REMARQUES

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

Le CES « Eaux » :

- constate que des PFAS peuvent être détectés dans des eaux brutes et des EDCH et recommande, lors d'étude d'occurrence de ces molécules dans les EDCH, de rechercher au moins le PFOS, le PFOA, le PFHxA et le PFHxS afin de caractériser la contamination des eaux par les PFAS ;
- observe que, parmi les procédés de traitement qui présentent une efficacité pour diminuer les teneurs en PFAS dans les EDCH, seules la nanofiltration et l'osmose inverse présentent une efficacité supérieure à 70 % (99 % pour l'osmose inverse) et constate que les oxydants, y compris l'ozone, n'ont aucun effet sur ces molécules ;
- constate la transformation éventuelle de certains PFAS en PFAS à chaînes perfluorées courtes (typiquement C3 à C6) au cours de la filtration sur charbon actif en grain ;
- observe que la contribution de l'exposition hydrique par rapport à l'exposition alimentaire totale varie entre 1,3 et 24 % chez les adultes et entre 0,4 et 17 % chez les enfants (estimation en borne supérieure de la contamination alimentaire ou scénario UB), les valeurs les plus hautes chez l'adulte et chez l'enfant étant retrouvées parmi les substances suivantes : PFHpA, PFHpS, PFOA.

Le directeur général

Marc Mortureux

MOTS-CLES

Composés alkyls perfluorés, eau, alimentation

BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

FNCCR (2007) L'action des désinfectants sur le polyéthylène : risques et solutions. Note d'information de la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies. http://internuntia.fr/pdf/fnccr_information_polyethylene_111207.pdf

Gaudichet-Maurin E., Oberti S., Carmier J., Brulé B., Labour T., Bonnet A. (2009). Étude de la durabilité d'un tube plastique multicouches résistant au dioxyde de chlore. Présentation au congrès ASTEE de Nice en 2009.

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

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

- Kim, S.-K., Kho, Y.L., Shoeib, M., Kim, K.-S., Kim, K.-R., Park, J.-E., Shin, Y.-S. (2011) Occurrence of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate in the Korean water system: Implication to water intake exposure. *Environmental Pollution*, 159 (5), pp. 1167-1173.
- Leider PH, SC Chang, RG York, JL Butenhoff (2009) Toxicological evaluation of potassium perfluorobutanesulfonate in a 90-day oral gavage study with Sprague-Dawley rats. *Toxicology* 255:45-52.
- Llorca, M., Farré, M., Picó, Y., Müller, J., Knepper, T.P., Barceló, D. (2012) Analysis of perfluoroalkyl substances in waters from Germany and Spain. *Science of the Total Environment*, 431, pp. 139-150.
- Loos, R., Wollgast, J., Huber, T., Hanke, G. (2007) Polar herbicides, pharmaceutical products, perfluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and nonylphenol and its carboxylates and ethoxylates in surface and tap waters around Lake Maggiore in Northern Italy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387 (4), pp. 1469-1478.
- McLaughlin, C.L., Blake, S., Hall, T., Harman, M., Kanda, R., Foster, J., Rumsby, P.C. (2011) Perfluorooctane sulphonate in raw and drinking water sources in the United Kingdom. *Water and Environment Journal*, 25 (1), pp. 13-21.
- Mak YL, Taniyasu S, Yeung LW, Lu G, Jin L, Yang Y, Lam PK, Kannan K, Yamashita N (2009) Perfluorinated compounds in tap water from China and several other countries. *Environmental Science and Technology*. 43(13):4824-9.
- Minnesota Department of Health (2011a) Chemical Name: Perfluorobutyrate. CAS: 375-22-4. Synonyms: PFBA, Perfluorobutyric acid , Heptafluorobutyric acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- Minnesota Department of Health (2011b) Chemical Name: Perfluorobutane sulfonate. CAS: 375-73-5. Synonyms: PFBS, Nonfluorobutanesulphonic acid. Health Risk Limits for Groundwater. Health Risk Assessment Unit, Environmental Health Division. <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>
- NOTOX (2007) Project 470677 Final Report. Repeated dose 28-day oral toxicity study with MTDID-8391 by daily gavage in the rat, followed by a 21-day recovery period. 21 Juin 2007.
- Phillips, M.M., Dinglasan-Panlilio, M.J.A., Mabury, S.A., Solomon, K.R., Sibley, P.K. (2007) Fluorotelomer acids are more toxic than perfluorinated acids. *Environmental Science and Technology*, 41 (20), pp. 7159-7163.
- Post, G.B., Cohn, P.D., Cooper, K.R. (2012) Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: A critical review of recent literature. *Environmental Research*, 116, pp. 93-117.
- Quinete, N., Orara, F., Werres, F., Moreira, I., Wilken, R.-D. (2009) Determination of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid in the rhine river, Germany. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18 (7 B), pp. 1356-1362.
- Quiñones, O., Snyder, S.A. (2009) Occurrence of perfluoroalkyl carboxylates and sulfonates in drinking water utilities and related waters from the United States. *Environmental Science and Technology*, 43 (24), pp. 9089-9095.
- Saito, N., Harada, K., Inoue, K., Sasaki, K., Yoshinaga, T., Koizumi, A. (2004) Perfluorooctanoate and Perfluorooctane Sulfonate Concentrations in Surface Water in Japan. *Journal of Occupational Health*, 46 (1), pp. 49-59.
- Skutlarek, D., Exner, M., Färber, H. (2006) Perfluorinated surfactants in surface and drinking waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 13 (5), pp. 299-307.
- Steinle-Darling, E., Reinhard, M. (2008) Nanofiltration for trace organic contaminant removal: Structure, solution, and membrane fouling effects on the rejection of perfluorochemicals. *Environmental Science and Technology*, 42 (14), pp. 5292-5297.
- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Mimura, M., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2008) Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in raw and treated tap water from Osaka, Japan. *Chemosphere*, 72 (10), pp. 1409-1412.
- Takagi, S., Adachi, F., Miyano, K., Koizumi, Y., Tanaka, H., Watanabe, I., Tanabe, S., Kannan, K. (2011) Fate of Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoate in drinking water treatment processes. *Water Research*, 45 (13), pp. 3925-3932.
- Tang, C.Y., Fu, Q.S., Robertson, A.P., Criddle, C.S., Leckie, J.O. (2006) Use of reverse osmosis membranes to remove perfluorooctane sulfonate (PFOS) from semiconductor wastewater. *Environmental Science and Technology*, 40 (23), pp. 7343-7349.

Thompson, J., Eaglesham, G., Mueller, J. (2011) Concentrations of PFOS, PFOA and other perfluorinated alkyl acids in Australian drinking water. *Chemosphere*, 83 (10), pp. 1320-1325.

UBA (German Federal Environment Agency) (2003) Evaluation from the point of view of health of the presence in drinking water of substances that are not (yet) possible or only partially possible to evaluate. Recommendation of the Federal Environmental Agency after consultation with the Drinking Water Commission at the Federal Environmental Agency <http://www.umweltdaten.de/wassere/empfnichtbewertbstoffe-english.pdf>.

Ullah, S., Alsberg, T., Berger, U. (2011) Simultaneous determination of perfluoroalkyl phosphonates, carboxylates, and sulfonates in drinking water. *Journal of Chromatography A*, 1218 (37), pp. 6388-6395.

Wilhelm, M., Bergmann, S., Dieter, H.H. (2010) Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213 (3), pp. 224-232.

Xiao, F., Simcik, M.F., Gulliver, J.S. (2013) Mechanisms for removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) from drinking water by conventional and enhanced coagulation. *Water Research*, 47 (1), pp. 49-56.

York RG (2003) Oral (Gavage) Repeated Dose 90-Day Toxicity Study of Potassium Perfluorobutane Sulfonate (PFBS) in Rats. Argus Research Protocol Number 418-026.