

# Eau potable, aliments, air intérieur : comparaison de la contribution à l'exposition aux micropolluants de l'environnement

■ J. ENAULT<sup>1</sup>, S. ROBERT<sup>1</sup>, O. SCHLOSSER<sup>1</sup>, C. DE THÉ<sup>2</sup>, J.-F. LORET<sup>1</sup>

Mots-clés : micropolluants, voie d'exposition, eau potable, aliments, air intérieur

Keywords: micropollutants, exposure pathways, drinking water, food, indoor air

## Introduction

L'exposition de l'homme aux micropolluants de l'environnement intervient à travers de multiples voies, notamment l'ingestion d'eau ou d'aliments, la respiration ou le contact avec les produits et les matériaux. Face à la multiplicité des micropolluants détectés dans tous les milieux environnementaux et à la diversité des voies d'exposition possibles, il est important d'identifier leurs voies principales de transmission vers l'homme, afin de pouvoir hiérarchiser les actions de prévention à mener pour limiter ces expositions. Dans ce contexte, l'objectif de cette étude était d'identifier, à partir des données de surveillance de différents milieux disponibles aujourd'hui, les contaminants qui pourraient être transmis de façon significative par l'eau potable, en comparaison d'autres voies de transmission possibles. Il s'agit ainsi de contribuer à identifier les micropolluants sur lesquels les opérateurs de systèmes d'eau potable devraient concentrer leurs efforts pour mieux protéger les consommateurs.

Dans tous les pays développés, la qualité de l'eau potable fait l'objet d'une surveillance intense, et les opérateurs de services de l'eau disposent aujourd'hui de quantités considérables de résultats de surveillance de contaminants, réglementés ou non, exploitables pour une évaluation de l'exposition par l'eau de boisson.

En dehors de l'eau de boisson, peu de milieux font l'objet d'une telle surveillance sur une telle diversité

de contaminants. Pour l'évaluation des expositions par la voie alimentaire, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande depuis le début des années 1980 une approche par « étude de l'alimentation totale » (EAT) [WHO, 1979]. Des conseils pratiques pour la réalisation de ce type d'études ont été donnés de façon conjointe par l'OMS et la Food and Agriculture Organization (FAO) [WHO, 1985] et, à la suite de ces recommandations, de nombreux pays ont approuvé et suivi cette approche pour évaluer l'exposition de leur population. Historiquement, les premiers pays à s'être engagés dans ce processus sont les États-Unis à partir de 1961, par le biais de la Food and Drug Administration [FDA, online], l'Australie, dont la 24<sup>e</sup> EAT vient d'être menée [FSANZ, 2014] et le Canada, avec une première étude entre 1969 et 1973 [HEALTH CANADA, online]. En Europe, la première étude de ce type a été menée en 1966 au Royaume-Uni et est régulièrement mise à jour par la Food Standards Agency [FSA, 2009]. Depuis les années 1990, de plus en plus de pays européens ont commencé à mener des études de l'alimentation totale. C'est le cas de la France, dont la première étude a été conduite de 2001 à 2004 [AFSSA, 2004] avec comme objectif de l'actualiser tous les 5 ans. La deuxième étude, nommée EAT 2, a été menée de 2006 à 2011 [ANSES, 2011].

Cette étude se veut la plus complète possible, avec environ 450 contaminants recherchés dans plus de 200 aliments. Les résultats, directement accessibles, ainsi que la méthodologie utilisée en font une étude de choix pour comparer des contaminations et des expositions à l'échelle de la population française. Elle est basée sur l'étude individuelle nationale des

<sup>1</sup> Suez, Cirsee – 38, rue du Président-Wilson – 78230 Le Pecq.

<sup>2</sup> Suez Eau France – CB21 – 16, place de l'Iris – 92040 Paris La Défense.

consommations alimentaires « INCA 2 » [AFSSA, 2009], étudiant les habitudes alimentaires de plus de 2 500 Français. Les concentrations en contaminants mesurées dans les aliments sont donc directement mises en relation avec les habitudes alimentaires et le poids corporel des participants pour calculer l'exposition moyenne de l'échantillon de la population.

Si la qualité de l'air extérieur fait l'objet de nombreuses études depuis les années 1970, celle de la qualité de l'air intérieur constitue une préoccupation plus récente, bien que les populations des pays développés passent l'essentiel de leur temps dans des lieux fermés tels que logements, bureaux, écoles ou transports [ZEGHNOUN, 2010]. Depuis la création de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) en 2001 en France, des résultats de mesures d'un certain nombre de micropolluants sont mis à la disposition du public et permettent d'estimer une exposition *via* l'air intérieur [OQAI, 2002 et 2005]. Compte tenu des données disponibles sur la surveillance de l'eau, des aliments et de l'air intérieur en France, cette étude a été focalisée sur la population adulte française et sur les micropolluants dont la présence était documentée pour au moins deux de ces trois modes d'exposition.

## 1. Méthodologie

### 1.1. Exposition par l'alimentation

Dans cette étude, les résultats utilisés ont été ceux de la deuxième étude de l'alimentation totale française EAT 2 [ANSES, 2011]. Les familles chimiques considérées incluent 445 contaminants potentiels de l'alimentation appartenant aux familles suivantes : composés inorganiques et minéraux, mycotoxines, phytoestrogènes, polychlorodibenzo-*p*-dioxines et furanes (PCDD/F), polychlorobiphényles *dioxin-like* (PCB DL) et *non dioxin-like* (NDL), composés perfluorés, retardateurs de flamme bromés, pesticides, additifs alimentaires, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et acrylamide.

L'étude INCA 2 a été utilisée pour déterminer les aliments analysés au cours de l'EAT 2. En résumé, neuf listes d'aliments (une nationale et huit régionales) ont été établies pour un total de 212 types d'aliments. Ces produits ont été collectés dans toute la France au cours de deux saisons différentes (printemps/été et automne/hiver). Ils ont ensuite été

préparés « tels que consommés » (épluchage, lavage, cuisson...). Seuls les composés inorganiques ont été recherchés dans la totalité des aliments étudiés, les autres n'ayant été recherchés que dans les aliments les plus susceptibles de présenter une contamination au micropolluant considéré.

L'exposition alimentaire de la population à chaque contaminant d'intérêt a été calculée individuellement en utilisant l'équation 1.

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

Équation 1. Calcul de l'exposition alimentaire de la population à chaque contaminant [Anses, 2011]

Avec :

$E_{i,j}$  l'exposition au contaminant  $j$  de l'individu  $i$  ( $\text{ng}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ;

$n$  le nombre d'aliments dans le régime ;

$C_{i,k}$  la consommation de l'aliment  $k$  par l'individu  $i$  ( $\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ ) ;

$T_{k,j}$  la teneur en contaminant  $j$  de l'aliment  $k$  ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) ;

$PC_i$  le poids corporel de l'individu  $i$  (kg).

Cette formule a été appliquée individuellement à l'ensemble des participants de l'étude INCA 2 en utilisant leur consommation alimentaire déclarée et leur poids mesuré. Les résultats de dosage des contaminants sous la limite de détection ou de quantification ont été pris en compte par les auteurs selon deux méthodes :

- si moins de 60 % des résultats de dosage étaient inférieurs à la limite de détection (LD), les concentrations inférieures à la LD ont été considérées égales à 1/2 de LD et les concentrations inférieures à la limite de quantification (LQ) à 1/2 de LQ (hypothèse moyenne) ;

- si 60 % ou plus des résultats du dosage étaient inférieurs à la LD, deux hypothèses ont été considérées : une hypothèse basse avec les concentrations inférieures à la LD égales à 0 et les concentrations inférieures à la LQ égales à la LD, et une hypothèse haute avec les concentrations inférieures à la LD considérées égales à la LD et les concentrations inférieures à la LQ considérées égales à la LQ.

Les expositions calculées ont ensuite été interprétées par comparaison avec des valeurs toxicologiques de référence (VTR) établies par des instances scientifiques nationales (ANSES, ATSDR, RIVM, USEPA),

européennes (EFSA) ou internationales (JECFA, JMPR, OMS).

L'exposition alimentaire évaluée dans le cadre de l'EAT 2 inclut l'eau de boisson. Toutefois, les données d'exposition dues spécifiquement à l'eau de boisson n'ont pas été publiées.

## 1.2. Exposition par l'eau

Afin d'évaluer l'exposition spécifiquement due à l'eau de boisson, les concentrations en contaminants utilisées ont été celles mesurées dans le cadre de l'autosurveillance effectuée par Suez et des contrôles qualité des autorités sanitaires françaises. Ces analyses portent sur les eaux produites et distribuées par Suez en France métropolitaine entre 2009 et 2012 inclus. Pour quelques contaminants (cadmium, COV, BDE), des résultats obtenus de 2002 à 2012 ont été utilisés pour augmenter la quantité de données disponibles. L'entreprise exploite environ 1 400 unités de production en France et alimente en eau potable 12 millions de personnes, ce qui représente près de 20 % de la population française. Environ 65 % des volumes produits (et donc des échantillons collectés pour analyse) proviennent d'eaux souterraines et les

35 % restants d'eaux de surface. Les procédés de traitement utilisés vont donc d'une simple chloration dans le cas d'eaux souterraines protégées, à un traitement conventionnel complet pour les eaux de surface (coagulation généralement avec des sels d'aluminium, floculation, sédimentation, filtration sur sable, ozonation, filtration sur charbon activé en grain et chloration). Des étapes d'ultrafiltration et de traitement UV peuvent également être présentes dans certains cas. Une très faible fraction des volumes distribués, et par conséquent des résultats d'analyses pris en compte dans cette étude, provient d'achats d'eau potable non produite par le groupe Suez.

Les échantillons destinés à évaluer la qualité de l'eau de production sont prélevés à la sortie de l'usine, et ceux destinés à évaluer la qualité de l'eau de distribution sont prélevés soit dans des réservoirs, soit au robinet du consommateur. Ces échantillons sont prélevés après avoir fait couler l'eau au moins 30 s, en accord avec les normes ISO 5667-3 [2003] et ISO 5667-5 [2006]. Les méthodes analytiques utilisées pour rechercher les micropolluants sélectionnés dans cette étude sont résumées dans le *tableau I*.

Familles de contaminants	Méthode analytique	Contaminants	LQ (µg/L)	% < LQ	Concentrations (µg/L)	
					Médiane	95 %
Pesticides	Interne (1)	Atrazine	0,02	81,1	(2)	0,05
		Dithiocarbamates somme	0,3	92,9	(2)	0,3
Mercuré	ISO 17852 [2006]	(3)				
Autres éléments inorganiques	ISO 11885 [2007]	Aluminium	10,0	31,6	33,0	109,9
		Baryum	10,0	19,4	10,0	86,1
		Nickel	5,0	75,9	(2)	10,9
		Plomb	5,0	72,9	(2)	17,0
HAP	ISO 17993 [2002]	Fluoranthène	0,005	74,1	(2)	0,0007
PCB-NDL	ISO 6468 [1996]	(3)				
BDE	EPA Method 1614 [2003, mise à jour en 2007 et 2010]	(3)				
Composés perfluorés	ISO 25101 [2009]	PFOA	0,01	90,9	(2)	0,01
		PFOS	0,01	90,9	(2)	0,01
COV	ISO 15680 [2003]	Tétrachloréthylène	1,0	94,2	(2)	1,0
Phtalates	ISO 18856 [2004]	(3)				

(1) Extraction liquide-liquide ou en ligne suivie d'une chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ; (2) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (3) > 95 % des valeurs sous la LQ.

**Tableau I. Méthodes d'analyse appliquées et concentrations pour les contaminants ou familles de contaminants les plus régulièrement détectés dans les échantillons d'eau potable**

L'équation 1 a été appliquée pour évaluer l'exposition de la population adulte par l'eau potable. Une estimation d'exposition pour chaque individu étant impossible, une hypothèse de consommation journalière de 1 L/j et de masse corporelle de 70 kg a été appliquée dans ce cas, afin de se rapprocher des valeurs moyennes observées dans le cadre de l'EAT 2, qui sont respectivement de 788 mL/j et 70 kg. Dans l'objectif d'appliquer une approche sécuritaire, les données de mesurage inférieures à la LQ ont été traitées selon l'hypothèse haute utilisée par l'Anses (concentrations inférieures à la LQ considérées égales à la LQ). La plus haute LQ a été retenue pour les calculs dans le cas où celle-ci aurait changé au cours de la période d'étude.

### 1.3. Exposition par l'air

Les données publiées par l'OQAI sur neuf composés organiques volatils (COV) dans l'air intérieur [OQAI, 2002] et trois phtalates dans les poussières de neuf écoles et 90 logements français [OQAI, 2005] ont été utilisées pour estimer l'exposition par voie aérienne, en utilisant les équations 2 et 3 respectivement. Pour les calculs, les hypothèses de 15 m<sup>3</sup>/j de volume d'air inhalé, de 30 mg/j de poussières ingérées [EPA, 2011], et d'une masse corporelle de 70 kg ont été retenues pour la population adulte.

$$E = C_A \times V/PC$$

Équation 2. Calcul de l'exposition aux COV par l'air intérieur

Avec :

E l'exposition à un contaminant ( $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ;

$C_A$  la concentration du contaminant dans l'air ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ;

V le volume d'air inhalé par jour ( $\text{m}^3/\text{j}$ ) ;

PC le poids corporel de l'individu (kg).

$$E = C_p \times M/PC$$

Équation 3. Calcul de l'exposition aux phtalates par les poussières de l'air intérieur

Avec :

E l'exposition à un contaminant ( $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ;

$C_p$  la concentration du contaminant dans les poussières ( $\mu\text{g}/\text{g}$ ) ;

M la masse de poussière ingérée par jour (g/j) ;

PC le poids corporel de l'individu (kg).

## 2. Résultats

La comparaison de l'exposition de la population adulte par ces différentes voies a pu être menée pour huit familles de contaminants : pesticides, éléments inorganiques, HAP, PCB-NDL, composés bromés et perfluorés, composés organiques volatils et phtalates. L'exposition à la somme des HAP a été évaluée à l'aide des facteurs d'équivalence toxique, qui sont des facteurs de pondération permettant d'exprimer la toxicité de l'ensemble des congénères de même activité toxicologique dans une même unité, les équivalents toxiques (TEQ), selon la méthode décrite par l'Anses [ANSES, 2011]. Pour les autres familles de contaminants, l'exposition par l'eau, par l'alimentation, et la VTR retenue par l'Anses sont exprimées en  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ .

Pour l'exposition par l'eau, les étendues des concentrations mesurées pour les contaminants les plus fréquemment détectés sont présentées dans le tableau I. Les paramètres présentés dans les tableaux II à IX sont le nombre d'analyses réalisées pour chaque contaminant (N), la limite de quantification (LQ), le pourcentage de résultats inférieurs à la limite de quantification (% < LQ) et le niveau d'exposition correspondant à la limite de quantification ( $E_{LQ}$ ). Ce dernier paramètre a été préféré à la moyenne de l'exposition, en raison du très faible nombre de détections dans l'eau. La valeur médiane d'exposition et le 95<sup>e</sup> percentile (95 %) ne sont indiqués que pour les quelques contaminants présentant respectivement moins de 50 % et moins de 95 % de valeurs inférieures à la LQ. Ces données ont été comparées à celles publiées pour les autres voies : moyenne arithmétique (calculée sur la base de l'hypothèse haute de l'étude EAT 2) et 95<sup>e</sup> percentile pour l'alimentation, moyenne arithmétique, médiane et 95<sup>e</sup> percentile pour l'air. À l'exception des COV et des phtalates (non étudiés dans l'EAT 2), toutes les VTR présentées dans les résultats sont celles retenues par l'Anses pour interpréter les expositions calculées au cours de l'EAT 2.

### 2.1. Exposition aux pesticides

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les aliments pour 37 molécules (tableau II). Compte tenu du grand nombre

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N (nombre d'analyses réalisées)	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
4,4'-DDT	4 177	1,00E-02	100	1,43E-04	(1)	(2)	2,90E-01	5,10E-01	1,00E+01
Aldrine	6 598	1,00E-02	100	1,43E-04	(1)	(2)	2,80E-02	5,20E-01	1,00E-01
Alpha-HCH	7 954	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	2,07E-01	3,67E-01	6,00E-01
Atrazine	10 566	2,00E-02	81,1	2,86E-04	(1)	7,69E-04	5,50E-02	1,05E-01	5,00E+00
Carbaryl	8 319	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	1,35E-01	2,25E-01	7,50E+00
Carbofurane	8 812	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	1,34E-01	2,28E-01	5,00E-01
Chlordane	3 427	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	8,10E-02	1,43E-01	5,00E-01
Diazinon	6 004	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	1,33E-01	2,25E-01	2,00E-01
Dichlorvos	3 828	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	3,00E-01	5,32E-01	4,00E+00
Dieldrine	6 972	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	2,84E-01	5,23E-01	1,00E-01
Diméthoate	5 494	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	1,24E+00	2,35E+00	1,00E+00
Disulfoton	626	1,00E-02	100	1,43E-04	(1)	(2)	1,74E-01	3,38E-01	3,00E-01
Dithiocarbamates somme	14	3,00E-01	92,9	4,29E-03	(1)	4,29E-03	1,62E+00	2,95E+00	7,00E+00
Diuron	12 177	2,00E-02	98,4	2,86E-04	(1)	(2)	2,10E-02	6,30E-02	7,00E+00
Endosulfan alpha	6 764	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	4,14E-01	7,14E-01	6,00E+00
Endrine	3 888	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	1,12E-01	2,03E-01	2,00E-01
Éthoprophos	3 589	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	2,04E-01	3,76E-01	4,00E-01
Folpel	3 357	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	2,90E-01	5,10E-01	1,00E+02
HCH isomère	4 291	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	2,07E-01	3,62E-01	6,00E-01
Heptachlore	6 830	2,00E-02	99,9	2,86E-04	(1)	(2)	2,65E-01	4,68E-01	1,00E-01
Heptachlore époxyde	5 985	1,00E-02	99,9	1,43E-04	(1)	(2)	2,65E-01	4,68E-01	1,00E-01
Iodofenphos	1 051	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	8,02E-02	1,62E-01	2,00E-01
Malathion	2 588	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	2,10E-01	3,60E-01	3,00E+01
Méthamidophos	565	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	3,62E-01	6,87E-01	1,00E+00
Méthidathion	607	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	2,43E-01	4,27E-01	1,00E+00
Métolachlore	4 199	2,00E-02	98	2,86E-04	(1)	(2)	1,00E+01	1,00E+01	1,00E+02
Mévinphos	3 038	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	1,91E-01	3,54E-01	2,50E-01
Mirex	47	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	4,06E-02	8,46E-02	2,00E-01
Monocrotophos	37	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	3,29E-01	6,36E-01	6,00E-01
Oxydéméthion-méthyl	3 131	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	4,95E-02	9,36E-02	3,00E-01
Perméthrine	2 327	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	4,00E-01	7,00E-01	5,00E+01
Phorate	867	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	7,32E-01	1,20E+00	7,00E-01
Phosphamidon	1 770	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	1,94E-01	3,61E-01	5,00E-01
Propoxur	1 849	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	2,80E-01	5,60E-01	2,00E+01
Prothiofos	36	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	3,35E-02	7,99E-02	1,00E-01
Quinalphos	872	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	2,68E-01	4,54E-01	5,00E-01
Trifluraline	2 580	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	9,00E-02	9,00E-02	1,50E+01

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ.

Tableau II. Comparaison de l'exposition aux pesticides (valeurs d'exposition et VTR en µg.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>)

de données non quantifiables, l'exposition par l'eau est essentiellement basée sur les limites de quantification ( $E_{LQ}$ ). Malgré cette hypothèse pessimiste, on constate que, pour chaque pesticide étudié, l'exposition par l'eau reste nettement inférieure à l'exposition par l'alimentation totale. Les ratios les plus élevés sont observés pour deux herbicides, l'atrazine et le diuron, pour lesquels l'exposition par l'eau ( $E_{LQ}$ ) représente respectivement 0,8 % et 1,4 % de l'exposition moyenne par l'alimentation totale. Aucune

exposition par l'eau ne dépasse 1 % des VTR, même pour le 95<sup>e</sup> percentile.

## 2.2. Exposition aux éléments inorganiques

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les aliments à 11 éléments (tableau III). L'exposition par l'eau est très inférieure à celle par l'alimentation totale, sauf dans deux cas : l'antimoine et le plomb, pour lesquels l'exposition par l'eau, estimée sur la base des limites de quantification ( $E_{LQ}$ ), représente dans les deux cas 36 % de l'exposition

Éléments inorganiques	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	$E_{LQ}$	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
Aluminium	3 660	1,00E+01	31,6	1,43E-01	4,71E-01	1,57E+00	4,03E+01	6,97E+01	1,40E+02
Antimoine	4 198	1,00E+00	94,2	1,43E-02	(1)	1,43E-02	4,00E-02	7,00E-02	6,00E+00
Argent	177	1,00E+00	100	1,43E-02	(1)	(2)	2,65E+00	4,78E+00	1,40E+01
Arsenic	4 296	1,00E+00	81,8	1,43E-02	(1)	8,09E-02	7,80E-01	1,79E+00	3,00E+00
Baryum	9 444	1,00E+01	19,4	1,43E-01	1,43E-01	1,23E+00	6,40E+00	1,05E+01	2,00E+02
Cadmium	1 123	1,00E+00	99,4	1,43E-02	(1)	(2)	1,60E-01	2,70E-01	3,60E-01
Chrome (total)	1 869	1,00E+00	92,2	1,43E-02	(1)	1,57E-02	2,77E+02	4,13E+02	ND
Cobalt	33	1,00E-02	66,7	1,43E-04	(1)	6,14E-04	1,80E-01	3,10E-01	1,60E+00
Mercure	3 573	5,00E-01	99,4	7,14E-03	(1)	(2)	2,80E-01	5,30E-01	5,70E-01
Nickel	4 191	5,00E+00	75,9	7,14E-02	(1)	1,55E-01	2,33E+00	3,76E+00	2,20E+01
Plomb	4 703	5,00E+00	72,9	7,14E-02	(1)	2,43E-01	2,00E-01	3,50E-01	6,30E-01

ND : non disponible ; (1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ.

Tableau III. Comparaison de l'exposition aux éléments inorganiques (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	$E_{LQ}$	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
Anthracène (AN)	1 262	1,00E-02	93,5	1,43E-04	(1)	1,43E-04			
Benzo[a]anthracène (BaA)	1 324	1,00E-02	98,7	1,43E-04	(1)	(2)			
Benzo[a]pyrène (BaP)	4 115	5,00E-03	99,4	7,14E-05	(1)	(2)			
Benzo[b]fluoranthène (BbF)	3 699	5,00E-03	94,9	7,14E-05	(1)	7,14E-05			
Benzo[g,h,i]pérylène (BghiP)	4 181	5,00E-03	99,3	7,14E-05	(1)	(2)			
Benzo[j]fluoranthène (BjF)	600	5,00E-03	98,8	7,14E-05	(1)	(2)			
Benzo[k]fluoranthène (BkF)	3 829	5,00E-03	98,8	7,14E-05	(1)	(2)			
Chrysène (CHR)	1 256	5,00E-03	95,9	7,14E-05	(1)	(2)			
Dibenzo[a,h]anthracène (DBahA)	747	5,00E-03	99,2	7,14E-05	(1)	(2)			
Fluoranthène (FA)	2 646	5,00E-03	74,1	7,14E-05	(1)	6,86E-04			
Indéno[1,2,3-cd]pyrène (IP)	4 101	1,00E-02	99,4	1,43E-04	(1)	(2)			
Somme HAP 4 (BaA, BaP, BbF, CHR)				3,57E-04			1,50E-03	3,00E-03	3,40E+02
Somme HAP 11 (en µg TEQ·kg <sup>-1</sup> ·j <sup>-1</sup> )				1,89E-04			4,30E-04	7,70E-04	5,00E-03

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ.

Tableau IV. Comparaison de l'exposition aux HAP (valeurs d'exposition par l'eau et somme HAP 4 en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>, somme HAP 11 en µg TEQ·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
PCB 28	1 858	4,00E-03	100	5,71E-05	(1)	(2)			
PCB 52	1 859	8,00E-03	100	1,14E-04	(1)	(2)			
PCB 101	1 868	8,00E-03	99,7	1,14E-04	(1)	(2)			
PCB 138	1 859	4,00E-03	99,9	5,71E-05	(1)	(2)			
PCB 153	1 859	4,00E-03	99,7	5,71E-05	(1)	(2)			
PCB 180	1 860	4,00E-03	99,9	5,71E-05	(1)	(2)			
<b>Total</b>				<b>4,57E-04</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>2,71E-03</b>	<b>7,90E-03</b>	<b>1,00E-02</b>

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ.

Tableau V. Comparaison de l'exposition aux PCB NDL (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

par l'alimentation. Dans le cas de l'antimoine, l'exposition par l'eau ne représente que 0,2 % de la VTR. En revanche, pour le plomb, l'exposition par l'eau (E<sub>LQ</sub>) représente jusqu'à 11,3 % de la VTR. Aux 95<sup>es</sup> percentiles, les estimations d'exposition au plomb par l'eau et l'alimentation totale sont équivalentes. Elles représentent respectivement 39 % et 56 % de la VTR.

### 2.3. Exposition aux HAP

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les aliments à 11 molécules (tableau IV). Les résultats par molécule n'étant pas disponibles pour la voie alimentaire, seules les sommes pour 4 ou 11 molécules ont pu être comparées. L'exposition par l'eau à la somme des 4 et 11 HAP, estimée sur la base des limites de quantification (E<sub>LQ</sub>), représente respectivement 23,8 et 44,0 % de l'exposition alimentaire totale. Cette exposition par l'eau ne représente cependant que 3,8 % de la

VTR pour le groupe des 11 HAP.

### 2.4. Exposition aux PCB NDL

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les aliments à six congénères (tableau V). Seule la somme des expositions alimentaires à ces six PCB est présentée dans l'étude EAT 2. Estimée sur la base des limites de quantification (E<sub>LQ</sub>), l'exposition par l'eau représente 16,9 % de l'exposition alimentaire totale et 4,6 % de la VTR.

### 2.5. Exposition aux composés bromés

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les aliments à cinq congénères de polybromodiphényléthers (BDE). Les résultats sont présentés dans le tableau VI pour les cinq molécules ainsi que pour la somme de leurs expositions (appelée penta-BDE). On remarque une absence totale de détection de ces composés dans l'eau. Toutefois, l'estimation basée sur les limites de

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
BDE 47	439	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	9,48E-05	2,87E-04	
BDE 99	442	5,00E-02	100	7,14E-04	(1)	(2)	3,77E-05	1,14E-04	
BDE 100	442	2,00E-02	100	2,86E-04	(1)	(2)	2,29E-05	6,94E-05	
BDE 153	442	1,00E-01	100	1,43E-03	(1)	(2)	1,27E-05	3,86E-05	
BDE 154	267	2,00E-01	100	2,86E-03	(1)	(2)	1,29E-05	3,92E-05	
Somme (penta-BDE)				5,57E-03	(1)	(2)	1,81E-04	5,48E-04	1,00E-02

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ.

Tableau VI. Comparaison de l'exposition aux composés bromés (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition alimentaire		VTR
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	
Acide perfluorooctanoïque (PFOA)	11	1,00E-02	90,9	1,43E-04	(1)	1,43E-04	7,40E-04	1,50E-03	1,50E+00
Sulfonate de perfluorooctane (PFOS)	11	1,00E-02	90,9	1,43E-04	(1)	1,43E-04	6,60E-04	1,15E-03	1,50E-01

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ.

Tableau VII. Comparaison de l'exposition aux composés perfluorés (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

quantification (E<sub>LQ</sub>) conduit à une exposition pour l'eau plus élevée que celle par l'alimentation totale. Ce résultat est surprenant puisque l'exposition alimentaire inclut l'eau de boisson. Il est expliqué par les valeurs relativement élevées des limites de quantification. L'application d'une méthode d'analyse plus sensible pour le contrôle des eaux serait nécessaire dans ce cas pour pouvoir comparer l'exposition par l'eau à celle par l'alimentation, et mieux estimer la marge de sécurité vis-à-vis de la VTR.

## 2.6. Exposition aux composés perfluorés

Les quelques données disponibles pour deux molécules sont présentées dans le *tableau VII*. Compte tenu du faible nombre de résultats disponibles pour l'eau (11 analyses réalisées seulement), ces données ne sont présentées qu'à titre indicatif. Elles suggèrent que l'eau pourrait contribuer à l'exposition en PFOA et PFOS dans une proportion significative (ici de l'ordre de 20 %) par rapport aux aliments, tout en restant très largement en dessous des VTR établies en 2008 par l'European Food Safety Agency, prises

pour référence [ANSES, 2011]. Des données supplémentaires seraient nécessaires pour confirmer ces résultats.

## 2.7. Exposition aux composés organiques volatils

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par l'air intérieur à neuf molécules (*tableau VIII*). Ces molécules ont rarement été détectées dans l'eau de boisson. L'exposition par l'eau, estimée essentiellement sur la base des limites de quantification (E<sub>LQ</sub>), est dans tous les cas inférieure à celle par l'air intérieur (maximum : 6,9 % de l'exposition moyenne par l'air, dans le cas du styrène), et reste dans tous les cas très inférieure aux VTR (maximum : 2 % de la VTR, dans le cas du benzène).

## 2.8. Exposition aux phtalates

Les données disponibles ont permis de comparer l'exposition par l'eau et par les poussières de l'air intérieur à trois molécules (*tableau IX*). Comme pour

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition aérienne			VTR voie orale
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	95 %	Médiane	
Triméthylbenzène	150	1,00E+00	100	1,43E-02	(1)	(2)	9,56E-01	2,06E+00	5,14E-01	1,43E+05 (3)
Benzène	9 576	1,00E+00	99,9	1,43E-02	(1)	(2)	5,31E-01	1,18E+00	3,86E-01	7,14E-01 (4)
Éthylbenzène	1 057	1,00E+00	99,9	1,43E-02	(1)	(2)	6,04E-01	1,50E+00	4,29E-01	9,71E+01 (5)
Styrène	748	1,00E+00	100	1,43E-02	(1)	(2)	2,08E-01	4,29E-01	1,50E-01	7,70E+00 (5)
Toluène	1 059	1,00E+00	99,8	1,43E-02	(1)	(2)	5,04E+00	1,26E+01	3,34E+00	2,23E+02 (5)
Xylène	278	1,00E+00	99,6	1,43E-02	(1)	(2)	1,58E+00	3,84E+00	1,01E+00	1,79E+02 (5)
1,4-dichlorobenzène	1 180	1,00E+00	100	1,43E-02	(1)	(2)	3,31E+00	1,78E+01	2,91E-01	1,07E+02 (5)
Tétrachloréthylène	11 240	1,00E+00	94,2	1,43E-02	(1)	1,43E-02	7,41E-01	1,29E+00	2,96E-01	1,40E+01 (5)
Trichloréthylène	4 635	1,00E+00	97,8	1,43E-02	(1)	(2)	5,31E-01	1,95E+00	1,84E-01	1,46E+00 (5)

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ ; (3) <http://oehha.ca.gov/water/pals/124135tmb.html> ; (4) Valeur dérivée de la valeur guide de l'OMS pour l'eau de boisson de 10 µg/L, en prenant les hypothèses de 20 % de part attribuable à l'eau, une consommation de 1 L/j, et une masse corporelle de 70 kg [WHO, 2011] ; (5) [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en)

Tableau VIII. Comparaison de l'exposition aux COV (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

Molécules	Exposition par l'eau						Exposition par la poussière			VTR (3)
	N	LQ (µg/L)	% < LQ	E <sub>LQ</sub>	Médiane	95 %	Moyenne	Médiane	95 %	
Butyle benzyle phtalate (BBzP)	442	1,00E-01	99,8	1,43E-03	(1)	(2)		1,34E-02		2,00E+02
Di-2-éthylhexyl phtalate (DEHP)	453	1,00E-01	99,3	1,43E-03	(1)	(2)		2,40E-01		2,00E+01
Diéthyle phtalate (DEP)	143	4,00E-02	100	5,71E-04	(1)	(2)		3,27E-03		6,00E+02

(1) > 50 % des valeurs sous la LQ ; (2) > 95 % des valeurs sous la LQ ; (3) [http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document\\_13.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document_13.pdf)

Tableau IX. Comparaison de l'exposition aux phtalates (valeurs d'exposition et VTR en µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>)

Contaminants organiques	Pourcentage de l'exposition <i>via</i> l'eau potable sur l'exposition <i>via</i> l'alimentation	Pourcentage de l'exposition <i>via</i> l'eau potable sur l'exposition <i>via</i> l'air	Pourcentage de la VTR atteint par l'exposition <i>via</i> l'eau potable
Pesticides (37 molécules)	< 1,5		< 1
Total HAP (11 molécules)	44,0		3,8
Total PCB NDL (6 molécules)	16,9		4,6
Total BDE (5 molécules)	*		*
Acide perfluorooctanoïque (PFOA)	19,3**		< 0,1**
Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)	21,7**		< 0,1**
Triméthylbenzène		1,5	< 0,1
Benzène		2,7	2,0
Éthylbenzène		2,4	< 0,1
Styrène		6,9	0,2
Toluène		0,3	< 0,1
Xylène		0,9	< 0,1
1,4-Dichlorobenzène		0,4	< 0,1
Tétrachloréthylène		1,9	0,1
Trichloréthylène		2,7	1,0
Butyl benzyl phtalate (BBzP)		10,7	< 0,1
Di-2-éthylhexyl phtalate (DEHP)		0,6	< 0,1
Diéthyl phtalate (DEP)		17,5	< 0,1

\* Limite de quantification trop élevée – non détecté dans l'eau potable ; \*\* données insuffisantes.

Tableau X. Part de l'exposition aux contaminants organiques *via* l'eau potable par rapport à l'exposition *via* l'alimentation et l'air, et par rapport à la VTR

Les COV, ces molécules ont rarement été détectées dans l'eau de boisson, et l'exposition par l'eau a donc été estimée uniquement sur la base des limites de quantification (E<sub>LQ</sub>). Elle est dans tous les cas inférieure à celle liée à l'ingestion de poussières dans l'air intérieur (maximum : 17,5 % de l'exposition médiane par l'air, dans le cas du diéthyl phtalate [DEP]), et reste dans tous les cas très inférieure aux VTR.

## 2.9. Comparaison des voies d'exposition

La comparaison de l'exposition par l'eau potable à celle par l'alimentation totale et par l'air intérieur est résumée dans les *tableaux X* et *XI* pour les contaminants organiques et inorganiques respectivement.

## 3. Discussion

L'objectif de cette étude était de comparer différentes sources d'exposition aux micropolluants, à savoir l'eau potable, l'alimentation et l'air intérieur. Cepen-

Contaminants inorganiques	Pourcentage de l'exposition <i>via</i> l'eau potable sur l'exposition <i>via</i> l'alimentation	Pourcentage de la VTR atteint par l'exposition <i>via</i> l'eau potable
Aluminium	1,2*	0,3
Antimoine	35,8	0,2
Argent	0,5	0,1
Arsenic	1,8	0,5
Baryum	2,2*	< 0,1
Cadmium	8,9	4,0
Chrome (total)	< 0,1	ND
Cobalt	< 0,1	< 0,1
Mercure	2,6	< 0,1
Nickel	3,1	0,3
Plomb	35,7	11,3

\* Basé sur la valeur médiane ; ND : non disponible.

Tableau XI. Part de l'exposition aux contaminants inorganiques *via* l'eau potable par rapport à l'exposition *via* l'alimentation, et par rapport à la VTR

dant, une source d'exposition peut être associée à différentes voies d'exposition, c'est-à-dire différentes voies d'entrée dans l'organisme. Si l'exposition par l'alimentation est clairement associée à la seule ingestion, ce n'est pas le cas de l'eau potable qui peut également être associée à l'inhalation (sous forme d'aérosols) et à l'absorption cutanée. La biodisponibilité des micropolluants est en général variable en fonction de ces voies d'exposition. La dose interne résultant de ces expositions et qui sera responsable des effets biologiques dépendra donc à la fois des propriétés du micropolluant considéré et des différentes voies impliquées dans l'exposition à ce micropolluant. La simple comparaison des sources d'exposition considérées dans cette étude ne fournit donc qu'une information partielle pour l'évaluation des risques sanitaires. Elle contribue néanmoins à l'évaluation de la part des différentes sources à l'exposition environnementale de la population.

Les données utilisées pour cette étude comparative des voies d'exposition proviennent de sources très différentes, présentant soit des résultats issus d'enquêtes de consommation et directement exprimés en dose d'exposition par jour et par unité de masse corporelle (cas de l'étude alimentaire EAT 2), soit exprimés en concentrations dans le milieu (eau

et air), qu'il a fallu transformer en dose d'exposition selon des hypothèses de scénarios d'exposition. Les valeurs de consommation d'eau et de masse corporelle retenues pour ces calculs (respectivement 1 L/j et 70 kg) sont différentes et moins sécuritaires que celles appliquées habituellement par l'OMS pour la fixation des valeurs guides pour l'eau de boisson, qui sont respectivement de 2 L/j et 60 kg pour les adultes [WHO, 2011]. Elles se justifient cependant ici puisque l'objectif de cette étude était de comparer l'exposition par l'eau et par l'alimentation totale (incluant l'eau). Il était donc nécessaire dans notre cas de retenir des hypothèses de consommation d'eau et de masse corporelle cohérentes avec les données de l'étude EAT 2.

Les données utilisées dans cette étude pour estimer l'exposition par l'eau proviennent exclusivement de la surveillance de la qualité des eaux produites et distribuées en France par Suez. Même si cette entreprise alimente une proportion significative de la population française (près de 20 %), ces résultats ne reflètent pas complètement la diversité des situations possibles en France. En effet, cette entreprise gère essentiellement des grands systèmes alimentant plus de 5 000 habitants, alors qu'il est reconnu que les problèmes de qualité d'eau sont essentiellement imputables aux petites unités, comme cela a été démontré pour les contaminations en pesticides [ANSES, 2013]. Il est donc possible que des niveaux d'exposition par l'eau de boisson plus élevés que ceux présentés dans cette étude soient observés localement en France. Toutefois, dans l'objectif d'identifier les principaux micropolluants d'intérêt pour l'eau potable, en comparaison d'autres voies d'exposition, la prise en compte de ces cas particuliers n'était pas nécessaire dans cette étude. De même, les valeurs maximales de concentration qui reflétaient des situations locales exceptionnelles n'ont pas été prises en compte ici.

La grande majorité des résultats observés pour l'eau de boisson sont inférieurs à la limite de quantification des méthodes d'analyses. Cette comparaison a donc été menée essentiellement sur la base d'une hypothèse sécuritaire, consistant à substituer les résultats de mesure inférieurs à la limite de quantifi-

cation par la valeur de la limite de quantification. Malgré cette hypothèse sécuritaire, on constate que, mis à part les composés bromés pour lesquels la limite de quantification élevée conduit à des résultats de comparaison non fiables, l'exposition par l'eau de boisson est inférieure aux expositions par les autres voies (alimentation ou air). La part de l'eau dans l'exposition alimentaire, calculée dans ces conditions, n'est cependant pas négligeable, puisqu'elle atteint 44 % pour les HAP, 36 % pour l'antimoine et le plomb, environ 20 % pour PFOS et PFOA, et environ 17 % pour les PCB NDL. La part de l'eau atteint également 17,5 % de l'exposition aérienne au DEP, 10,7 % de l'exposition aérienne au BBzP, et 7 % de l'exposition aérienne au styrène. Pour les pesticides, l'antimoine, les perfluorés, les COV et les phtalates, ces expositions représentent en revanche une part très faible des VTR, et ne suggèrent donc pas une menace pour la santé. L'exposition par l'eau potable ne dépasse 10 % de la VTR que pour le plomb.

Pour les pesticides, l'exposition par l'eau représente pour toutes les molécules analysées moins de 1,5 % de l'exposition alimentaire totale et moins de 1 % des VTR. Ce résultat est confirmé par une étude récente portant sur 106 molécules en France [ANSES, 2013 ; RETY *et al.*, 2012], qui a démontré que l'eau de boisson représentait dans ce cas moins de 5 % de l'exposition alimentaire pour la majorité des contaminants, et moins de 1 % des VTR. Cette faible contribution de l'eau peut s'expliquer par l'écart important entre les limites réglementaires imposées sur l'eau, qui en Europe vont de 0,03 à 0,1 µg/L en fonction de la molécule, et celles appliquées aux denrées alimentaires, qui peuvent aller, par exemple pour le cas des fruits et légumes, de 10 µg/kg à 50 mg/kg.

Dans le cas des composés perfluorés, notre estimation repose sur un faible nombre de résultats (11 analyses). Une enquête nationale récente menée en France sur 110 échantillons d'eau du robinet a cependant mis en évidence des concentrations maximales en PFOS et PFOA respectivement de 22 et 12 ng/L [BOITEUX *et al.*, 2012], représentant selon nos hypothèses de calcul des expositions similaires aux nôtres, avec respectivement  $3,1 \cdot 10^{-4}$  et

$1,7 \cdot 10^{-4}$  µg·kg<sup>-1</sup>·j<sup>-1</sup>. De telles concentrations sont nettement plus faibles que la valeur guide de 300 ng/L établie par le ministère de l'Environnement en Allemagne (Umweltbundesamt) pour la somme de PFOS + PFOA. Elles sont également plus faibles que les valeurs conseillées provisoires de 200 ng/L pour le PFOS et 400 ng/L pour le PFOA établies par l'Environmental Protection Agency (EPA) aux États-Unis [ANSES, 2014].

Pour les COV, notre étude ne constitue qu'une première approche, puisqu'elle se limite à une comparaison de doses externes d'exposition, sans prendre en compte les différences de doses internes auxquelles peuvent conduire les deux modes d'exposition considérés (ingestion d'eau et inhalation d'air intérieur). L'estimation de ces doses internes aurait été difficile, l'absorption dépendant fortement de la molécule considérée, et notamment de son caractère lipophile, de sa polarité, de sa volatilité et de sa solubilité [EPA, 2011]. L'estimation de l'exposition par contact ou inhalation résultant de l'utilisation de l'eau potable pour d'autres utilisations que l'alimentation (la douche en particulier) aurait également été difficile et cette étude a donc été limitée à l'exposition par ingestion. Elle montre néanmoins que ces molécules sont rarement détectées dans l'eau de boisson, et que même avec une estimation pessimiste, basée sur les limites de quantifications analytiques, l'exposition par l'eau de boisson est dans tous les cas très inférieure aux VTR définies pour la voie orale.

Il en est de même pour les phtalates, pour lesquels la comparaison des expositions par l'eau et par l'air est plus aisée dans la mesure où la voie d'exposition est identique (ingestion). Pour ces composés, des données publiées récemment sur les produits cosmétiques montrent que l'exposition cutanée à ces produits pourrait être de plusieurs ordres de grandeur supérieure à celle par l'air, ce qui relativise encore plus la contribution de l'eau de boisson dans l'exposition à ces molécules [KONIECKI *et al.*, 2011].

Dans le cas du plomb, une analyse plus fine a été menée en séparant les données obtenues en sortie de production de celles collectées sur le réseau de distribution (les prélèvements étant réalisés dans ce

cas au robinet du consommateur, conformément à la législation européenne). L'analyse des données montre qu'en sortie de production, le taux de valeurs inférieures à la LQ est de 86,5 % (contre 72,9 % pour l'ensemble production et distribution). L'exposition au 95<sup>e</sup> percentile n'est que de 0,044  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$  (contre 0,243  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$  pour l'ensemble production et distribution), ce qui représente 22 % de l'apport alimentaire moyen (au lieu de 36 %), et 7 % de la VTR (au lieu de 11,3 %). Compte tenu de l'absence de matériaux en plomb dans les réseaux de distribution concernés par cette étude, mis à part une minorité de branchements encore en place dans la période considérée, et en attente de remplacement, cette différence de teneur en plomb entre l'eau produite et l'eau au robinet du consommateur ne peut s'expliquer que par un relargage à partir des matériaux et accessoires des réseaux intérieurs.

Pour les HAP (3,8 % de la VTR) et les PCB NDL (4,6 % de la VTR), des méthodes d'analyses avec une limite de quantification plus basse seraient nécessaires pour mieux estimer la marge de sécurité vis-à-vis des VTR. C'est en particulier le cas pour les composés bromés pour lesquels aucune détection dans l'eau n'a été observée sur plusieurs centaines d'échantillons analysés, mais pour lesquels les méthodes d'analyses utilisées pour l'eau présentent une limite de quantification plus élevée que celles mises en œuvre dans l'étude EAT 2.

## Conclusion

Cette étude a permis de rassembler 254 441 résultats analytiques issus du contrôle qualité de l'eau potable afin de comparer, pour la population française adulte, les données d'exposition par l'eau de boisson et par l'alimentation totale pour 37 pesticides, 11 éléments minéraux, 11 HAP, six PCB NDL, cinq polybromodiphényléthers, et deux composés perfluorés. Elle a aussi permis de comparer l'exposition par l'eau de boisson et par l'air intérieur pour neuf COV et trois phtalates.

Compte tenu du grand nombre de résultats de mesures non quantifiables, cette comparaison a été essentiellement menée sur la base d'une démarche

prudente consistant à substituer les résultats de mesure inférieurs à la limite de quantification par la valeur de la limite de quantification. Les résultats de cette étude montrent que malgré cette hypothèse sécuritaire, l'eau potable représente une source d'exposition mineure en comparaison avec les aliments et l'air, et probablement avec d'autres sources d'exposition telles que l'application de cosmétiques. Cette faible contribution de l'eau potable peut s'expliquer par des normes de qualité plus sévères en comparaison des autres sources d'exposition. Elle montre également que l'exposition par l'eau potable reste pour tous ces contaminants en dessous des VTR. Les concentrations mesurées sur la minorité d'échantillons positifs ne suggèrent donc pas une menace pour la santé. Des méthodes d'analyse présentant une limite de quantification plus faible seraient cependant utiles pour mieux estimer la marge de sécurité vis-à-vis des VTR, notamment pour les BDE, HAP et PCB NDL.

Une mise à jour de ce travail sera utile à l'avenir lorsque de nouvelles données toxicologiques ou de mesures sur d'autres contaminants de l'environnement seront publiées. Elle permettra de compléter cette approche d'identification des micropolluants sur lesquels les opérateurs de systèmes d'eau potable devraient concentrer leurs efforts pour mieux protéger les consommateurs. L'approche développée dans le cadre de cette étude, permettant d'exploiter la grande quantité de résultats de mesure inférieurs à la limite de quantification, pourra être utilisée dans cet objectif.

## Remerciements

Cette étude a fait l'objet d'une publication en langue anglaise dans la revue *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (Enault *et al.*, 2015. « Drinking water, diet, indoor air: comparison of the contribution to environmental micropollutants exposure ». *Int. J. Hyg. Environ. Health* ; 218 : 723-30). Cet article en est une version française, réalisée avec l'accord de l'éditeur.

### Nomenclature des abréviations

AFSSA	Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BDE	(Poly)bromodiphényléther
COV	Composé organique volatil
$E_{LQ}$	Exposition humaine calculée sur la base de la limite de quantification (exprimée dans cet article en $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ ), et utilisée pour les micropolluants non quantifiés
EAT	Étude de l'alimentation totale
EFSA	European Food Safety Authority
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Food and Drug Administration
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
JECFA	WHO/FAO Joint Expert Committee on Food Additives
JMPR	Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues
LD	Limite de détection (exprimée dans cet article en $\mu\text{g/L}$ )
LQ	Limite de quantification (exprimée dans cet article en $\mu\text{g/L}$ )
N	Nombre d'analyses réalisées pour un paramètre donné
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
PC	Poids corporel d'un individu (en kg)
PCB NDL	Polychlorobiphényles <i>non dioxin-like</i>
PFOA	Acide perfluorooctanoïque
PFOS	Acide perfluorooctanesulfonique
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, <i>Institut national pour la santé publique et l'environnement</i>
TEQ	Équivalent toxique (exprimé en $\mu\text{g TEQ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ pour les HAP)
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VTR	Valeur toxicologique de référence (exprimée dans cet article en $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ )
WHO	World Health Organization

### Bibliographie

AFSSA (Agence française de la sécurité sanitaire de l'alimentation) (2004) : *Étude de l'alimentation totale*.

AFSSA (Agence française de la sécurité sanitaire de l'alimentation) (2009) : *Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 2* (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/PASER-Ra-INCA2.pdf>

ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) (2011) : *Étude de l'alimentation totale 2* (consultation le 3 septembre 2014). Disponibles en ligne : <https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/PASER2006sa0361Ra1.pdf>  
<https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/PASER2006sa0361Ra2.pdf>

ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) (2013) : *Évaluation des risques liés aux résidus de pesticides dans l'eau de distribution. Contribution à l'exposition alimentaire totale*. Rapport d'étude scientifique (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/ORP-Ra-PesticidesEau.pdf>

ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) (2014) : *Note d'appui scientifique et technique relative aux composés perfluorés présents dans les eaux destinées à la consommation humaine* (consultation le 24 avril 2015). Disponible en ligne : <https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/EAUX2012sa0001.pdf>

- BOITEUX V., DAUCHY X., ROSIN C., MUNOZ J.F. (2012) : « National screening study on 10 perfluorinated compounds in raw and treated tap water in France ». *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* ; 63 : 1-12.
- EPA METHOD 1614 (2007) : *Brominated diphenyl ethers in water soil, sediment and tissue by HRGC/HRMS*
- EPA (US Environmental Protection Agency) (2011) : *Exposure Factors Handbook* (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
- FDA (Food and Drug Administration), *online*. Total Diet Studies homepage (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <http://www.fda.gov/food/foodscien ceresearch/totaldietstudy/default.htm>
- FSA (Food Standards Agency UK) (2009) : *Survey on measurement of the concentrations of metals and other elements from the 2006 UK total diet study* (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <http://tna.europarchive.org/20140306205048>  
<http://www.food.gov.uk/science/research/surveillance/ fsisbranch2009/survey0109>
- FSANZ (Food Standards Australia New Zealand) (2014) : 24<sup>nd</sup> Australian Total Diet Study (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://www.foodstandards.gov.au/publications/Documents/ 1778-FSANZ\\_AustDietStudy-web.pdf](http://www.foodstandards.gov.au/publications/Documents/ 1778-FSANZ_AustDietStudy-web.pdf)
- HEALTH CANADA, *online*. Total Diet Studies homepage (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/surveill/total-diet/index-eng.php>
- ISO 5667-3 (2003) : *Qualité de l'eau – Échantillonnage – Partie 3 : « Lignes directrices pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau ».*
- ISO 5667-5 (2006) : *Qualité de l'eau – Échantillonnage – Partie 5 : « Lignes directrices pour l'échantillonnage de l'eau potable des usines de traitement et du réseau de distribution ».*
- ISO 6468 (1996) : *Qualité de l'eau – Dosage de certains insecticides organochlorés, des polychlorobiphényles et des chlorobenzènes – Méthode par chromatographie en phase gazeuse après extraction liquide-liquide.*
- ISO 11885 (2007) : *Qualité de l'eau – Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES).*
- ISO 15680 (2003) : *Qualité de l'eau – Dosage par chromatographie en phase gazeuse d'un certain nombre d'hydrocarbures aromatiques monocycliques, du naphthalène et de divers composés chlorés par dégazage, piégeage et désorption thermique.*
- ISO 17852 (2006) : *Qualité de l'eau – Dosage du mercure – Méthode par spectrométrie de fluorescence atomique.*
- ISO 17993 (2002) : *Qualité de l'eau – Dosage de 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans l'eau par HPLC avec détection par fluorescence après extraction liquide-liquide.*
- ISO 18856 (2004) : *Qualité de l'eau – Dosage de certains phtalates par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse.*
- 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.*
- KONIECKI D., WANG R., MOODY R.P., ZHU J. (2011) : « Phthalates in cosmetic and personal care products: concentrations and possible dermal exposure ». *Environmental Research* ; 111 : 329-36.
- OQAI (Observatoire de la qualité de l'air intérieur) (2002) : *Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur* (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document\\_14.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document_14.pdf)
- OQAI (Observatoire de la qualité de l'air intérieur) (2005) : *Hiérarchisation sanitaire des paramètres d'intérêt pour l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur : application aux phtalates, paraffines chlorées à chaîne courte, organo-étains, alkyl phénols et retardateurs de flamme bromés* (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document\\_13.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/Document_13.pdf)
- RETY J., BRIAND O., MERLO M., VOLATIER J.L. (2012) : « Estimation of the contribution to total dietary pesticide residue exposure of drinking water in metropolitan France ». *Environnement Risques & Santé* ; 11(4) : 311-5.
- WHO (World Health Organization) (1979) : *Guidelines for establishing or strengthening national food contamination monitoring programmes*, Document WHO/HCS/FCM/78.1. Prepared under the joint sponsorship of UNEP, FAO and WHO. WHO, Geneva (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/61952/1/WHO\\_HCS\\_FCM\\_78.1\\_eng.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/61952/1/WHO_HCS_FCM_78.1_eng.pdf?ua=1)
- WHO (World Health Organization) (1985) : *Guidelines for the study of dietary intakes of chemical contaminants*, WHO Offset Publication No. 87, Geneva, 102 pp (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : <http://apps.who.int/iris/handle/10665/39255>
- WHO (World Health Organization) (2011) : *Guidelines for drinking water quality*, Fourth edition, Geneva (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/ 2011/dwq\\_guidelines/en](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ 2011/dwq_guidelines/en)
- ZEGHNOUN A., DOR F., GRÉGOIRE A. (2010) : *Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement*. Institut de veille sanitaire, Observatoire de la qualité de l'air intérieur (consultation le 3 septembre 2014). Disponible en ligne : [http://opac.invs.sante.fr/doc\\_num.php?explnum\\_id=158](http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=158)

## Résumé

**J. ENAULT, S. ROBERT, O. SCHLOSSER, C. DE THÉ, J.-F. LORET**

### **Eau potable, aliments, air intérieur : comparaison de la contribution à l'exposition aux micropolluants de l'environnement**

Cette étude a permis de rassembler 254 441 résultats de mesure afin de comparer l'exposition de la population française adulte par l'eau de boisson et par l'alimentation totale à 37 pesticides, 11 éléments minéraux, 11 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 6 polychlorobiphényles *non dioxin-like* (PCB NDL), 5 polybromodiphényl éthers (BDE), et 2 composés perfluorés. Elle présente également la comparaison de l'exposition par l'eau de boisson et par l'air intérieur à 9 composés organiques volatils et 3 phtalates. La très grande majorité des résultats d'analyses de l'eau consistant en des valeurs inférieures aux limites de quantification, cette comparaison a été essentiellement menée sur la base d'un scénario pessimiste consistant à considérer les données censurées comme égales aux limites de quantifi-

cation. Avec ce scénario protecteur, on constate que l'eau du robinet apporte une contribution mineure en comparaison des aliments et de l'air, mais qui pourrait être non négligeable pour quelques micropolluants. Elle montre également que l'exposition par l'eau potable reste, pour ces contaminants, en dessous des valeurs toxicologiques de référence. À l'exception de quelques valeurs extrêmes reflétant des situations locales exceptionnelles, les concentrations mesurées sur la minorité d'échantillons positifs (valeurs au 95<sup>e</sup> percentile) ne suggèrent pas une menace pour la santé. Des limites de quantification plus faibles seraient cependant utiles pour mieux estimer la marge de sécurité vis-à-vis des valeurs toxicologiques de référence, notamment pour les BDE, HAP, et les PCB NDL.

## Abstract

**J. ENAULT, S. ROBERT, O. SCHLOSSER, C. DE THÉ, J.-F. LORET**

### **Drinking water, diet, indoor air: comparison of the contribution to environmental micropollutants exposure**

This study collated 254,441 analytical results from drinking water quality monitoring in order to compare levels of exposure of the French adult population from drinking water with that from total diet for 37 pesticides, 11 mineral elements, 11 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), 6 non dioxin-like polychlorobiphenyls (NDL PCB), 5 ether polybromodiphenyl ethers (BDE), 2 perfluorinated compounds. It also compares levels of exposure from drinking water with that from inhalation of indoor air for 9 volatile organic compounds (VOC) and 3 phthalates. The vast majority of the water analysis results showed values below the limits of quantification and this comparison was primarily made on the basis of a highly pessimistic scenario consisting in considering the data below the limits of quantification

as being equal to the limits of quantification. With this conservative scenario, it can be seen that tap water makes a minor but potentially non-negligible contribution for a few micropollutants, by comparison with diet and air. It also shows that exposure through drinking water remains below the toxicity reference values for these substances. Apart from a few extreme values reflecting exceptional local situations, the concentrations measured for the minority of positive samples (below the 95th percentile value) suggest a very low risk for human health. Lower limits of quantification would however be of use in better estimating the safety margin with regard to the toxicity reference values, in particular for BDE, PAH and NDL PCB.