

Paramètres pour l'évaluation des risques par ingestion

En l'absence de connaissances précises des facteurs de transfert des PFAS dans l'atmosphère et les autres compartiments environnementaux (sol, plante, animaux), il a été considéré par défaut d'utiliser les facteurs de transfert de la 2,3,7,8 TCDD. Ce choix est porté par les propriétés¹ semblables des dioxines et des PFAS :

Substance	CAS	Masse molaire (g/mol)	Coefficient de partage octanol/eau Log Kow	Coefficient de partage carbone organique/eau Log Koc	Constante de Henry
2,3,7,8 TCDD	1746-01-6	322	6,8	5,40	0,15 – 10,3
PFOA	335-67-1	414	6,3	1,89 – 3,5	Non mesurable
PFPeA	2706-90-3	264	nc	1,37	nc
PFNA	375-95-1	464	nc	2,36 – 4,0	nc
PFOS	1763-23-1	500	nc	3,46	nc

Ces substances faiblement volatiles et de poids moléculaire relativement élevé vont rapidement retomber au sol (mouvement descendant) et y rester. Elles présentent des propriétés hydrophobes équivalentes, ce qui signifie qu'elles auront plutôt tendance à s'adsorber à la matière organique (bioaccumulation).

Il s'agit d'une démarche réalisée par défaut mais qui ne peut se prévaloir d'être conservatrice en l'absence de connaissances précises des facteurs de transfert des PFAS dans l'environnement.

✓ Paramètres du sol

Selon le guide méthodologique de l'US EPA datant de 1998 et intitulé « Human Health Risk Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities », il est recommandé de calculer les concentrations de polluants dans les sols en supposant que la quantité déposée à la surface est homogénéisée dans une couche de sol de hauteur donnée. Deux hauteurs sont recommandées en fonction de l'usage du sol :

- 1 cm pour les sols non labourés,
- 20 cm pour les sols labourés.

La présence de sols cultivés nous amène à considérer une profondeur de sol potentiellement contaminé de 20 cm. D'autres paramètres physico-chimiques du sol sont également pris en compte, il s'agit de :

- la masse volumique du sol : $\sigma = 1300 \text{ kg/m}^3$,
- la fraction de carbone organique du sol : $\text{foc} = 3\%$.

Ces données sont issues de l'étude de l'INERIS "Méthode de Calcul de Valeur de Constat d'Impact dans les sols" (2001), et correspondent à un sol de type limoneux aux caractéristiques intermédiaires entre un sol argileux et un sol sableux.

¹ Source : Portail des substances chimiques (INERIS) ; Linneaus University, Nika Nordanstorm, 2020, Evaluation of distribution coefficients (KOC and Kd) for per- and polyfluoroalkyl substances, Master's thesis

✓ Paramètres relatifs aux végétaux

Les paramètres suivants, relatifs aux catégories de végétaux étudiés, interviennent dans le transfert des polluants au sein des organismes végétaux :

- Yp : rendement de la culture (en kg sec/m²),
- Rp : fraction interceptée du dépôt (-),
- kp : coefficient de réduction de la concentration déposée sur les végétaux par augmentation de la Biomasse, érosion par le vent, et lessivage (an⁻¹),
- Tp : durée d'exposition à la contamination pendant la saison de croissance (an).

Ces données sont extraites d'une étude de l'INERIS, concernant l'évaluation des risques sanitaires par ingestion d'une grande installation de combustion.

Type de végétaux	Yp (en kg sec/m ²)	Rp (-)	Kp (en an ⁻¹)	Tp (en an)
Herbe	0,24	0,5	18	0,12
Légume-feuille	2,24	0,39	18	0,164
Légumes-fruits	2,24	0,39	18	0,164
Légumes-racines	2,24	0,39	18	0,164
Fruits	2,24	0,39	18	0,164
Céréales	0,20	-	-	-

Paramètres utilisés pour les végétaux (Source : US EPA)

✓ Paramètres relatifs aux produits animaux

Les quantités de sol et de végétaux ingérés par les animaux et prises en compte dans les calculs de concentration de polluants dans les organismes animaux sont détaillées dans le tableau suivant. Elles sont issues de l'annexe B de la méthodologie HHRAP de l'US EPA relative aux valeurs des variables et équations pour l'estimation des concentrations dans les médias.

Type	Type de végétaux	Qpi (kg frais/j)	Qsi (kg/j)
Bœuf	Herbe	8,8	0,5
Vache laitière	Herbe	13,2	0,4
Volaille	Céréales	0,2	0,02

Paramètres utilisés pour les produits d'origine animale (Source : US EPA)

✓ Facteurs de bioconcentration des polluants de l'air vers les parties aériennes de la plante (Bv)

Pour les polluants particuliers, le facteur Bv est nul.

✓ Facteurs de bioconcentration du sol vers la plante (Br)

Par défaut, le facteur Br fourni par l'INERIS pour la 2,3,7,8 TCDD est retenu.

Il est de 0,282 kg sol sec/kg frais pour la plupart des végétaux, et de 0,033 kg sol sec/kg frais pour les légumes-racines.

✓ Facteurs de biotransfert des polluants du sol vers les produits d'origine animale (Ba)

Par défaut, les facteurs Ba fourni par l'INERIS pour la 2,3,7,8 TCDD sont retenus.

Produits	2,3,7,8 TCDD
Bœuf	0,078
Lait	0,01
Volailles	16,6
Œufs	8,08

Facteurs de biotransfert dans les produits d'origine animale (j/kg frais)

✓ Consommation par tranche d'âge

Dans son milieu de résidence, la population est exposée à l'ingestion d'aliments contaminés, cette exposition est dépendante de son mode alimentaire. Les données alimentaires, décrites ci-après, ont servi de base aux calculs des doses journalières d'exposition.

Les consommations alimentaires sont issues de l'enquête INCA (Individuelle et Nationale sur la Consommation Alimentaire) réalisée par le CREDOC en 1999. Elle concerne les consommations alimentaires des individus âgés de plus de 3 ans.

Les quantités d'aliments consommées par chaque classe d'âge ont été calculées à partir des types d'aliment reportés dans chacune de ces études :

- Les rubriques « légumes hors pommes de terre » et « pomme de terre et apparentés » ont été additionnées et assimilées à la quantité de légumes consommée,
- Les rubriques « fruits » et « compotes et fruits cuits » ont été additionnées pour définir la quantité de fruits consommée,
- Les rubriques « viandes » et « charcuterie » ont été additionnées et assimilées à la quantité de viande (hors volailles) consommée,
- La catégorie « volaille et gibiers » de l'enquête INCA a servi à définir la quantité de viande de volaille consommée,
- Les rubriques correspondant aux consommations de lait, d'ultra-frais laitier, de fromages et de beurre ont été additionnées et assimilées à la quantité « produits laitiers » ingérée,
- La rubrique « œufs et dérivés » a servi à renseigner la « quantité d'œufs » ingérée.

Aliments	3 à 5 ans	6 à 8 ans	9 à 11 ans	12 à 14 ans	15 ans et +
Lait	247,1 g/j	232 g/j	201,3 g/j	196,2 g/j	119,5 g/j
Ultra-frais laitier	89,6 g/j	86,2 g/j	67,3 g/j	63,4 g/j	75,5 g/j
Fromages	18,3 g/j	21,6 g/j	23,7 g/j	25,3 g/j	39,3 g/j
Beurre	7,6 g/j	10,3 g/j	10,8 g/j	11,8 g/j	13,6 g/j
Produits laitiers	362,6 g/j	350,1 g/j	303,1 g/j	296,7 g/j	247,9 g/j
Œufs et dérivés	9,4 g/j	11,8 g/j	13,4 g/j	11,5 g/j	18,3 g/j
Viandes	34,2 g/j	41,7 g/j	51,1 g/j	59,2 g/j	59,6 g/j
Charcuterie	23,6 g/j	27,2 g/j	26,4 g/j	32,8 g/j	38,4 g/j
Viandes	57,8 g/j	68,9 g/j	77,5 g/j	92 g/j	98 g/j
Volailles et Gibier	17,5 g/j	23,5 g/j	31,5 g/j	29,9 g/j	37,0 g/j
Légumes (hors pdt)	57,8 g/j	72,6 g/j	82,6 g/j	84,4 g/j	122,5 g/j
Pdt et apparentés	44,4 g/j	56,1 g/j	67 g/j	73 g/j	63,2 g/j
Légumes	102,2 g/j	128,7 g/j	149,6 g/j	157,4 g/j	185,7 g/j
Fruits	71,2 g/j	87,2 g/j	95,7 g/j	80,2 g/j	134,2 g/j
Compotes et fruits cuits	10,8 g/j	12,6 g/j	10,7 g/j	8,9 g/j	10,7 g/j
Fruits	82 g/j	99,8 g/j	106,4 g/j	89,1 g/j	144,9 g/j

Consommation alimentaires des individus âgés de plus de 3 ans
(Source : Enquête INCA, 1999, CREDOC)

✓ Consommation par type de légumes

Pour connaître la consommation alimentaire par type de légumes (légumes-feuilles, légumes-fruits et légumes-racines) tels que définis dans les évaluations de risques sanitaires par voie orale, nous nous appuyerons sur une étude de l'INSEE sur la consommation et les lieux d'achats des produits alimentaires en France en 1991².

Cette étude a l'intérêt de présenter la répartition des quantités de légumes selon différents types de légumes et par zones géographiques. Les résultats du bassin parisien ont été utilisés pour estimer le pourcentage de légumes consommés selon les trois catégories de légumes étudiées : légumes-racines, légumes-feuilles et légumes-fruits. Le détail des quantités de légumes consommées en 1991 dans le bassin parisien est présenté dans le tableau suivant.

² INSEE, 1993, INSEE-Résultats, Consommation-Modes de vie, n°54-55, Consommation et lieux d'achat des produits alimentaires en 1991, Michèle BERTRAND

Aliments	Consommation	Type de légumes	Part consommée
Pommes de terre	34,89	légume-racine	56%
Carottes	8,32	légume-racine	
Choux fleurs	2,44	légume-fruit	20%
Tomates	9,79	légume-fruit	
Haricots	3,36	légume-fruit	
Laitues	3,88	légume-feuilles	24%
Endives	4,82	légume-feuilles	
Autres salades	4,30	légume-feuilles	
Poireaux	4,08	légume-feuilles	
Artichauts	1,18	légume-feuilles	
Autres non différenciés	14,54	variés	-
Total légumes	91,60	-	-
Total légumes (hors autres)	77,06	-	100%

Consommation annuelle par personne dans le bassin parisien en 1991 en kg (Source : INSEE)

Ainsi sur la base des parts approximatives de légumes consommés par types de légumes, on peut en déduire les données de consommation suivantes par type de légumes :

Types de végétaux	3 à 5 ans	6 à 8 ans	9 à 11 ans	12 à 14 ans	15 ans et +
légumes-racines (56%)	57,2	72,1	83,8	88,1	104,0
légumes-fruits (20%)	20,4	25,7	29,9	31,5	37,1
légumes-feuilles (24%)	24,5	30,9	35,9	37,8	44,6
Légumes	102,2	128,7	149,6	157,4	185,7

Consommation alimentaire des individus par type de légumes (en g/j)

✓ Paramètres relatifs aux cibles humaines

Selon les classes d'âge, les valeurs de poids corporels et de quantités de sols ingérées utilisées sont calculées à partir des données fournies dans le « Exposure Factor Handbook » de l'EPA de 1997.

Pour chaque classe d'âge de moins de 15 ans, nous avons considéré la moyenne entre les poids corporels moyens par âge fournis par l'US EPA.

Les quantités de sol ingérées sont celles classiquement utilisées dans les évaluations de risques. Ce sont celles qui sont utilisées par l'INERIS pour définir les Valeurs de Constat d'Impact et qui sont issues des valeurs fournies par l'US EPA.

Paramètres	3 à 5 ans	6 à 8 ans	9 à 11 ans	12 à 14 ans	15 ans et +
Poids corporel (kg)	17,5	25,2	36,3	50,6	71,8
Quantité de sol ingérée (mg/j)	150	50	50	50	50

Poids corporels et quantités de sol ingérés par classe d'âge (Source : US EPA)