

- Annexe 11 – Paramètres d'exposition pour le calcul des doses

Cette annexe contient 7 pages

1	Ingestion de sols et poussières	2
2	Consommation de végétaux autoproduits	3
3	Auto-consommation de produits animaux élevés localement	6

1 Ingestion de sols et poussières

Ingestion de sols et poussières

Le calcul de la dose a été réalisé avec l'équation générique suivante (guide EDR MEDD/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{i,s} = \frac{C_{i,s} * Q_{sol} * T * F}{P * T_m}$$

avec :
DJE_{i,s} : dose journalière du composé i liée à l'ingestion de sols (en mg/kg/j)
C_{i,s} : concentration du composé i dans les sols (mg/kg)
Q_{sol} : taux d'ingestion de sols (kg/j)
T : durée d'exposition (années)
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
P : poids corporel de la cible (kg)
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Le choix de la valeur des paramètres d'exposition est explicité dans le présent rapport. Les quantités de sols et de poussières ingérées considérées sont argumentées ci-après.

Les taux d'ingestion de sols contaminés (en extérieur) couramment utilisées dans des études françaises et d'autres pays sont de 150 mg/j pour un enfant de 3 ans et de 50 mg/j pour un adulte. Ces données sont par ailleurs dans la fourchette des valeurs décrites dans la littérature : entre 0,6 et 480 mg/j chez l'adulte et entre 2 et 250 mg/j chez l'enfant (cité par KISSEL et al., 1998). La valeur de 480 mg/jour correspond à la réalisation de travaux de jardinage (Hawley 1985), non considérés de manière particulière dans la présente étude, la valeur de 250 mg/jour pour les enfants correspond à une valeur élevée surconservatoire donc non retenue.

Les valeurs retenues pour l'ingestion de sols et de poussières en extérieur sont donc de 150 mg/j pour un enfant en bas age et 50 mg/j pour un adulte. Ces valeurs sont représentatives d'une journée d'activité en extérieur sans prise en compte d'un temps de présence sur la journée.

Ainsi, à ces taux d'ingestion de sols seront associées les fréquences d'exposition F1 (j/an) et non à des facteurs F2 (h/j) pour les adultes et enfants dans leurs jardins.

Concentration dans le sol

Dans le cadre de dispersion des pollutions par voie atmosphérique, la concentration dans les sols est déterminée à partir des dépôts surfaciques obtenus par modélisation.

Le calcul de la concentration dans un sol de surface (1 cm) est, dans ce cas, réalisé avec l'équation générique suivante issue du modèle intégré CALTOX :

$$C_{i,s} = \left(\frac{\text{dépôt} \times T_{sol}}{d_{sol} \times p_{dépôt}} \right)$$

avec : C_{i,s} : concentration du composé i dans les sols (mg/kg)

dépôt : dépôts totaux en moyenne annuelle issus de la modélisation de la dispersion atmosphérique (mg/m²/s)

T_{sol} : Durée d'accumulation dans le sol superficiel - Valeur généralement utilisée : 10 ans. Par ailleurs, l'hypothèse que l'ensemble des dépôts va s'accumuler sans aucune perte (lixiviation, lessivage, érosion...) est posée.

d_{sol} : densité moyenne du sol (kg/m³) – Valeur utilisée : 1700 kg/m³

p_{dépôt} : profondeur du dépôt (m) – Valeur utilisée pour le sol : 1cm.

2 Consommation de végétaux autoproduits

La dose journalière d'exposition par ingestion de végétaux (DJE_i) contenant un polluant i s'exprime par l'équation générique suivante:

$$DJE_{\text{végétaux},i} = \frac{C_{\text{vgt},i} \times Q_{\text{vgt}} \times f_{\text{vgt}} \times f_{a,\text{ing}} \times T \times F}{P \times T_m}$$

avec : $C_{\text{vgt},i}$: concentration moyenne du contaminant i dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais
 Q_{vgt} : consommation journalière de végétaux, en kg/j
 f_{vgt} : fraction de végétaux consommés produits sur le site
 $f_{a,\text{ing}}$: fraction de polluants ingérés qui sont absorbés
 T : durée d'exposition (années)
 F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an),
 P : poids corporel de la cible (kg)
 T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les paramètres suivants ont été considérés :

Le pourcentage d'autoconsommation (variable fournie par l'enquête populationnelle),

La consommation de légumes pour l'enfant et l'adulte en g/j (données CIBLEX pour le département 64)

La fraction de polluant réellement ingéré a été prise égal à 100%.

Concentration dans le sol

Dans le cadre d'une étude de risque sanitaire d'une étude d'impact, la concentration dans les sols est déterminée à partir des dépôts surfaciques obtenus par modélisation atmosphérique.

Le calcul de la concentration dans un sol racinaire (30 cm) a été réalisé avec l'équation générique suivante issue du modèle intégré CALTOX :

$$C_{\text{vgt}} = \left(\frac{\text{dépôt} \times T_{\text{vég}}}{d_{\text{sol}} \times P_{\text{dépôt}_{\text{vég}}}} \right)$$

Avec :

$C_{\text{vgt},i}$: concentration moyenne du contaminant i dans les produits du jardin, en mg/kg de poids frais
Dépôt : dépôts totaux en moyenne annuelle issus de la modélisation de la dispersion atmosphérique (mg/m²/s)
 $T_{\text{vég}}$: Durée d'accumulation dans les sols – Valeur généralement utilisée : 30 ans
 d_{sol} : densité moyenne du sol (kg/m³) – Valeur utilisée : 1700 kg/m³
 $P_{\text{dépôt}}$: profondeur du dépôt (m) - Valeur utilisée pour les végétaux : 30 cm

Les paramètres suivants ont été considérés :

La profondeur du dépôt dans le sol « racinaire » est prise égale à 30 cm en référence aux recommandations de l'INERIS (INERIS DRC-04-45959-ERSA-RBn-n° 097/caltox3) : " Par défaut, la valeur définie dans CALTOX est de 0,887 m. Elle correspond à la moyenne californienne des profondeurs d'affleurement de la roche-mère ou du sol aggloméré moins l'épaisseur du sol superficiel. Dans la mesure où les différents compartiments

environnementaux sont caractérisés sous CALTOX par une concentration uniforme, plus le volume d'un compartiment sera grand, plus le flux de polluant entrant dans ce compartiment se trouvera dilué et la concentration résultante sera faible. Par conséquent, il semble préférable pour des substances persistantes se déposant sur le sol après émission atmosphérique de définir une hauteur plus faible que celle définie par défaut. **Une hauteur de l'ordre de 30 cm, prise conventionnellement, pour représenter l'emprise des racines des cultures potagères, semble ainsi plus adaptée et plus protecteur.** "

Concentration dans les végétaux

Les mécanismes de transfert sont complexes et les facteurs de bioconcentration (BCF) traduisant l'accumulation d'un composé dans une plante varient d'une plante à une autre en fonction des mécanismes de transferts (racines, feuilles, ...) et sont spécifiques de chaque composé.

Les BCF (en poids sec) peuvent être estimés à partir de mesures sur le site, de données de la littérature, ou en l'absence de mesures, calculés par des modèles plus ou moins simples. Généralement, en dehors des métaux et métalloïdes, ces BCF ne sont que peu disponibles dans la littérature.

Nous avons évalué le transfert du polluant du sol vers les plantes à partir des équations suivantes (réécrites par nos soins dans excel), en distinguant la partie racinaire, la partie aérienne (tige et feuille) de la plante, pour les sols, les équations de transfert sont:

$$C_{aerien,i}(\text{poids sec}) = BCF_{sol-aerien}(\text{poids sec}) \times C_{sol}$$

$$C_{racine,i}(\text{poids sec}) = BCF_{sol-racine}(\text{poids sec}) \times C_{sol}$$

où C_{sol} : concentration dans le sol, en mg/kg MS.
 $C_{aerien,i}$: concentration de la substance i dans partie aérienne du végétal (tige et feuille) mg/kg de poids sec
 $C_{racine,i}$: concentration de la substance i dans la racine du végétal mg/kg de poids sec

Rapport poids frais / poids sec

Pour passer de la concentration en poids sec à la concentration en poids frais dans le végétal, le taux d'humidité du végétal doit être considéré. Ce taux varie en fonction des végétaux entre 0.95 pour la salade et 0.74 pour les petits pois). Les valeurs proposées par les modèles intégrés HESP et VOLASOIL sont retenues.

Pour les parties racinaires du végétal (taux d'humidité de 0.798) :

$$C_{racine,i}(\text{poids - humide}) = C_{racine,i}(\text{poids - sec}) \times 0,202$$

pour les parties aériennes du végétal (taux d'humidité de 0.883) :

$$C_{aerien,i}(\text{poids - humide}) = C_{aerien,i}(\text{poids - sec}) \times 0,117$$

FACTEURS de BIOCONCENTRATION

La synthèse des facteurs de bioconcentration considérés est fournie dans le tableau de la page suivante.

RBx467./A.12977/CBxA050258.	
Annexe 11	
23/10/2006	Page : 4

substance	BCF feuilles (mg/kg plant) / (mg/kg sol)	BCF racines (mg/kg plant) / (mg/kg sol)	Source BCF feuilles	Source BCF racines
As	0,00633	0,008	HHRAP	HHRAP
Cd	0,125	0,064	HHRAP	HHRAP
Co	0,0003	0,0028	INERIS	INERIS
Cr	0,00488	0,0045	HHRAP	HHRAP
Cu	0,8	0,61	RAIS	INERIS
Hg	0,0145	0,036	HHRAP	HHRAP
Mn	0,68	0,68	RAIS	RAIS
Ni	0,00931	0,008	HHRAP	HHRAP
Pb	0,0136	0,009	HHRAP	HHRAP
Sb	0,0319	0,03	HHRAP	HHRAP
Zn	0,097	0,9	HHRAP	HHRAP
benzo(a)pyrene	0,0132	0,0605	HHRAP	HHRAP
dioxines	0,00455	1,03	HHRAP	HHRAP
naphtalene	0,479	0,269	HHRAP	HHRAP
acenaphtene	0,216	0,213	HHRAP	HHRAP
anthracene	0,0971	0,151	HHRAP	HHRAP
benzo(b)fluoranthene	0,0112	1,15	HHRAP	HHRAP
benzo(a)anthracene	0,0197	0,0948	HHRAP	HHRAP
benzo(k)fluoranthene	0,0115	0,0609	HHRAP	HHRAP
chrysene	0,0197	0,0948	HHRAP	HHRAP
fluoranthene	0,0499	0,15	HHRAP	HHRAP
fluorene	0,145	0,19	HHRAP	HHRAP
phenantrene	0,097	0,183	HHRAP	HHRAP
pyrene	0,057	0,145	HHRAP	HHRAP
dibenzo(a,h)anthracene	0,00678	0,0405	HHRAP	HHRAP

	FET (HAP)
human risk	1
human risk	0,001
human risk	0,001
human risk	0,01
human risk	0,1
human risk	0,1
human risk	0,1
human risk	0,01
human risk	0,001
human risk	1

Tableau : Synthèse des BCF

3 Auto-consommation de produits d'animaux élevés localement

Dans le cadre d'une exposition aux polluants organiques persistants lipophiles (Dioxines), les quantités de polluant administrées par la consommation d'œufs, de lait, de viande bovine ou de volaille, exprimées en dose journalière d'exposition, sont définies par l'équation générique suivante (guide EDR MEDD/BRGM/INERIS, 2000) :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i * Q_j * T * F}{P * T_m}$$

avec :

DJE_{ij} : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j (en mg/kg/j)

C_i : concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg)

Q_j : taux d'ingestion par la voie j (l/j)

T : durée d'exposition (années)

F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an)

P : poids corporel de la cible (kg)

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours)

Les paramètres suivants ont été considérés.

Autoconsommation d'œuf, de lait, de viande bovine, de viande de volailles :

Nous avons pris les valeurs issues de l'enquête populationnelle.

C_i : concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg)

Le transfert dans la chaîne alimentaire est modélisé à partir des valeurs de polluant mesurées dans le sol lors de la campagne de prélèvement ou estimées à partir de modélisation.

Les différentes catégories d'aliments prises en compte peuvent être contaminées à partir de la pollution de surface et de la pollution « racinaire ». La pollution de surface intervient par contamination des sols superficiels par retombées de particules et par éclaboussures des végétaux consommés par les animaux. La pollution « racinaire » intervient par contamination des sols profonds et passages dans les végétaux via les racines.

La concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg) est déterminée à partir des équations suivantes (source : CALTOX) :

$$C_i = C_{i_surf} + C_{i_prof}$$

avec : C_i : concentration d'exposition relative au milieu i (en mg/kg)

I_{œufs_surf} : concentration d'exposition relative au milieu i contaminés via le sol supérieur (mg/kg.j),

I_{œufs_prof} : concentration d'exposition relative au milieu i contaminés via le sol profond (mg/kg.j),

$$C_{i_surf} = (I_h \times E + I_s) \times B_e \times C_{polluant_sol\ sup}$$

et

RBx467./A.12977/CBxA050258.	
Annexe 11	
23/10/2006	Page : 6

$$C_{i_prof} = (I_h \times BCF) \times B_e \times C_{polluant_sol_prof}$$

Avec :

I_v : Ingestion quotidienne d'herbe par les poules/les vaches (kg/j),

E : Eclaboussure pluie « rainsplash » (kg sol/kg/plante),

I_s : Ingestion quotidienne de sol par les poules/les vaches (kg/j),

B_e : Facteur de biotransfert entre les poules et les œufs ((mg/kg frais)/(mg/j)),

ou Facteur de biotransfert entre les vaches laitière et le lait ((mg/kg frais)/(mg/j)),

ou Facteur de biotransfert entre le bœuf et leur viande ((mg/kg frais)/(mg/j)),

ou Facteur de biotransfert entre les poules et leur viande ((mg/kg frais)/(mg/j)),

BCF : Coefficient de partition plantes / sol (kg sol / kg plantes),

$C_{polluant_sol\ sup}$: Teneur en polluant mesurée dans le compartiment « sol supérieur » (mg/kg)

$C_{polluant_sol\ prof}$: Teneur en polluant mesurée dans le compartiment « sol racinaire » (mg/kg)

Les paramètres suivants ont été considérés :

L'ingestion quotidienne de sol par les poules (kg/j) est prise égale à 0,022 (source : HHRAP)

L'ingestion quotidienne de sol par les vaches laitières (kg/j) est prise égale 0,4 (source : CALTOX)

L'ingestion quotidienne d'herbe par les poules (kg/j) est prise égale à 0,12 (source : Caltox)

L'ingestion quotidienne d'herbe par les vaches laitières (kg/j) est prise égale à 20 (source : HHRAP)

L'ingestion quotidienne d'herbe par les vaches à viande (kg/j) est prise égale à 12 (source : HHRAP)

La valeur pour les éclaboussures par la pluie « rainsplash » (kg sol/kg/plante) est prise égale à 0,0034 (source : Caltox)

Les facteurs de transfert sont relatifs à chaque substance. Pour les dioxines, ils sont recensés dans le tableau suivant :

Paramètres (Dioxines)	unité	valeur	source
Facteur de biotransfert entre les poules et les œufs	(mg/kg frais)/(mg/j)	24.6	INERIS
Facteur de biotransfert entre les vaches et le lait	(mg/kg frais)/(mg/j)	0,18	INERIS
Facteur de biotransfert entre les poules et la viande	(mg/kg frais)/(mg/j)	24.2*	INERIS
Facteur de biotransfert entre les bovins et la viande	(mg/kg frais)/(mg/j)	0,24**	Caltox*
Coefficient de partition plantes / sol	kg sol / kg plantes	0,00455***	HHRAP

*Cette valeur est obtenue en multipliant le coefficient de transfert dans les oeufs de la 1,2,3,7,8 PCDD aux faibles doses par un facteur 1,3. Il s'agit d'une estimation issue de l'observation faite que les coefficients de transfert de la 2,3,7,8 TCDD dans la viande de volaille et dans les oeufs, aux fortes doses, sont supérieurs d'un facteur 1,3 à ceux de la 1,2,3,7,8 PCDD.

**Compte tenu du manque de données spécifiques pour cette matrice, l'INERIS propose pour la viande bovine, mais également pour les viandes ovines et porcines de prendre en compte les mêmes coefficients de transfert que ceux définis pour la matière grasse du lait. Pour définir la concentration de dioxines dans ces différents aliments, il est alors nécessaire d'utiliser les taux de matière grasse propre à chaque type de viande. Nous préférons donc conserver la valeur présente dans la base de données Caltox.

***Bien que les premiers résultats expérimentaux aient donné lieu à des controverses, il est maintenant généralement admis que les plantes ne peuvent pas transporter les dioxines de leurs racines vers leur feuillage ou leurs fruits. Cependant dans une approche majorante et par soucis de cohérence avec les choix de facteurs de bioconcentration réalisés pour les métaux, nous retiendrons les valeurs issues de la base de données HHRAP.