



Maisons-Alfort, le 27 juillet 2009

## **Avis**

### **de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la contamination de sols en dioxines et PCB de type dioxine et à l'utilisation possible de ces sols en lien avec d'éventuelles répercussions sur la qualité sanitaire de certains produits agricoles**

LA DIRECTRICE GÉNÉRALE

#### **1- RAPPEL DE LA SAISINE ET QUESTIONS POSEES**

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) a été saisie le 2 avril 2009 par la Direction Générale de l'Alimentation d'une demande d'avis relative à la contamination de sols en dioxine et PCB<sup>1</sup> de type dioxine et à l'utilisation possible de ces sols en lien avec d'éventuelles répercussions sur la qualité sanitaire des produits agricoles.

Le 21 août 2008, un incendie survenu dans l'installation de recyclage de palettes de bois de la société Vitale Recyclage à Saint Cyprien (42) a généré l'émission de fumées pendant 3 mois environ ; des analyses réalisées dans un rayon de 5 km autour de la parcelle sinistrée, ont mis en évidence la contamination en dioxines et PCB de type dioxine (PCB-DL ou Dioxine-like) de l'air, du sol, des cultures et des ensilages, ainsi que du lait et des animaux sur pied. Par ailleurs une contamination historique de la parcelle sinistrée par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les métaux lourds et les PCB est très vraisemblable.

Dans ce contexte des mesures de gestion incluant :

- l'interdiction de mouvements pour les lots d'animaux contaminés à des niveaux supérieurs aux teneurs maximales autorisées en dioxines et PCB-DL,
- l'interdiction de la collecte et la commercialisation de lait issu de ces lots,
- l'interdiction d'affouragement des animaux à partir des végétaux produits dans un rayon de 5 km autour de la parcelle sinistrée,
- la destruction des reliquats de foin et d'ensilages produits après l'incendie,
- l'enfouissement par labour des végétaux encore en place à la fin de l'hiver,

ont été prises, notamment pour la dizaine d'exploitations situées dans un rayon de 1km autour de l'installation incendiée et dans lesquelles des niveaux supérieurs aux limites réglementaires autorisées en dioxines et PCB-DL ont été observés dans le lait et la viande.

Avant d'envisager la remise à l'herbe de troupeaux de bovins sur la commune de St Cyprien, il est demandé à l'Afssa d'étudier :

1. le risque de contamination de la chaîne alimentaire à partir d'activités agricoles conduites sur sols contaminés, qu'il s'agisse de pâturages ou de cultures utilisées pour l'affouragement des animaux,
2. l'influence des pratiques agricoles (pratiques culturales ou d'élevage) sur le risque de contamination de la chaîne alimentaire à partir du sol.

Après analyse des données bibliographiques disponibles et des résultats d'analyses issus de prélèvements effectués sur les animaux, les fourrages, le lait et les sols dans la zone sinistrée, les Comités d'Experts Spécialisés « Résidus et contaminants chimiques et physiques » et « Alimentation animale » réunis respectivement les 2 et 7 juillet 2009 émettent l'avis ci-après.

<sup>1</sup> PCB : on désigne par le terme PCB les polychlorobiphényles qui sont des composés aromatiques chlorés appartenant à une famille de 209 composés ou congénères

## 2 RESULTATS DES ANALYSES EFFECTUEES DANS LA ZONE « SINISTREE »

### 2.1 Résultats des prélèvements de sol et de végétaux à proximité de l'incendie

Les premiers résultats d'analyses disponibles sur la zone sinistrée et communiqués à l'Afssa entre le 8 avril et le 16 juin 2009, montrent :

- des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les sols très nettement supérieurs à ceux habituellement mesurés (bruit de fond), avec des valeurs maximales pouvant atteindre 9600 pg TEQ/g de sol sec au niveau de l'incendie (Tableau 1) et des niveaux de contamination de l'herbe et des végétaux (fourrages) différents selon la distance du prélèvement par rapport à la zone incendiée,
- et ne permettent pas d'exclure l'existence d'une pollution historique (antérieure à l'incendie) par les PCB et d'autres polluants organiques persistants.

**Tableau 1 : Concentrations relevées dans les sols dans un rayon de 5 km autour de la zone incendiée (pg TEQ/g de sol sec)**

| Site de prélèvement       | TEQ PCDD/F  | TEQ PCB-DL  | TEQ total   |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Parcelle incendiée</b> | <b>7000</b> | <b>2600</b> | <b>9600</b> |
| <i>Parcelle 2bis</i>      | 50          | 30          | 80          |
| <i>Parcelle 2</i>         | 8           | 6           | 14          |
| <i>Parcelle E1</i>        | 7,3         | 4,3         | 11,6        |
| <i>Parcelle E3</i>        | 11          | 3,5         | 14,5        |
| <i>Parcelle E5</i>        | 6,2         | 0,7         | 6,9         |
| <i>Parcelle E6</i>        | 4,7         | 5,4         | 10,1        |
| <i>Parcelle E7</i>        | 1,8         | 0,8         | 2,6         |
| <i>Parcelle E9</i>        | 2,6         | 1,1         | 3,7         |
| <i>Parcelle b</i>         | 7           | 2,3         | 9,3         |
| <i>Parcelle d</i>         | 6,4         | 1,1         | 7,5         |
| <i>Parcelle n</i>         | 2,4         | 0,6         | 3,0         |
| <i>Parcelle Q</i>         | 2,7         | 0,7         | 3,4         |
| <i>Parcelle V</i>         | 1           | 0,3         | 1,3         |

Résultats communiqués par l'INERIS

### 2.2 Résultats des prélèvements effectués sur les animaux à proximité de l'incendie

Les quelques prélèvements de tissu adipeux et de lait effectués sur les animaux dans les exploitations situées dans un rayon de 5 km aux alentours de St Cyprien mettent en évidence :

- des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les graisses 2 à 50 fois supérieures aux limites réglementaires en vigueur<sup>2</sup>, chez tous les ovins et les bovins analysés. Les niveaux de contamination les plus élevés ont été observés chez les vaches allaitantes.
- une contamination hétérogène des échantillons de lait (n=12) avec 7 échantillons prélevés non conformes aux limites réglementaires.

La généralisation de ces résultats à l'ensemble de la zone concernée ne peut être envisagée compte tenu du faible nombre d'analyses et de répétitions pour chaque modalité.

## 3. SYNTHÈSE DES DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES DISPONIBLES

Les études expérimentales et les études d'observations actuellement disponibles dans la littérature montrent que :

<sup>2</sup> Limite fixée à 6 pg TEQ/g de matière grasse pour le lait et 4,5 pg TEQ/g de matière grasse pour la viande des bovins et des ovins ; Règlement CE 1881/2006) de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation des teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires (JOUE du 20.12.2006, L364)

- les dioxines et les PCB-DL peuvent se déposer sous forme particulaire au voisinage des sources d'émission mais aussi à distance (jusqu'à plusieurs kilomètres) du site d'émission,
- de nombreux facteurs (conditions environnementales, caractéristiques du végétal, propriétés physico-chimiques, ...) peuvent influencer le niveau de contamination des végétaux par les dioxines et les PCB-DL,
- l'ingestion involontaire de terre par des herbivores au pâturage représente en général moins de 10% de la matière sèche ingérée par les ovins et moins de 2% de celle ingérée par les bovins (**Annexe 1**) et s'explique par la présence possible de terre sur les fourrages ou l'ingestion de plantes avec les parties racinaires (touffes arrachées). Le risque d'ingestion involontaire de terre par les herbivores est donc d'autant plus élevé que :
  - la préhension alimentaire (arrachement) des espèces et leur capacité à prélever l'herbe très près du sol, les prédisposent à l'ingestion de terre (ce phénomène intéressant davantage les ovins que les bovins),
  - la végétation est basse (pâturage hivernal, période de sécheresse),
  - les animaux ont de forts besoins alimentaires et recherchent l'herbe même quand elle est basse,
  - la densité d'animaux au parc est élevée (risque de surpâturage).
- le transfert sol – plante (graminées et légumineuses de prairie) est en général limité (Collins *et al.*, 2006) ce qui indique, dans le cas de l'incendie de Saint Cyprien, que le niveau de contamination de la nouvelle pousse d'herbe au printemps 2009 et d'une façon plus générale des fourrages produits après l'arrêt de l'émission de dioxines et PCB-DL serait faible. Néanmoins, une contamination des fourrages par redéposition de poussières de terre contaminée située à proximité ne peut être totalement exclue,
- compte tenu de la demi-vie particulièrement élevée des PCB-DL et des dioxines qui peut atteindre 100 ans dans certains sols selon l'Agence américaine de l'environnement (US EPA, 1997), l'enfouissement des végétaux dans les sols après l'incendie ne présente pas d'intérêt pour la protection de la chaîne alimentaire. En effet, la décomposition des végétaux dans les sols est susceptible de libérer ces polluants de la plante vers le sol et d'augmenter ainsi la concentration de polluants dans le sol superficiel,
- les teneurs moyennes en dioxines mesurées dans les sols de différentes régions françaises font état de valeurs de référence comprises entre 0,02 et 1 pg TEQ /g de sol sec en zones rurales, 0,2 et 17 pg TEQ /g de sol sec en zones urbaines et 20 et 60 pg TEQ /g de sol sec en zones industrielles (Inserm, 2000).

#### 4. ESTIMATION DU RISQUE DE CONTAMINATION DE LA CHAÎNE ALIMENTAIRE A PARTIR D'ACTIVITÉS CONDUITES SUR SOLS CONTAMINÉS

A ce jour, il n'existe pas en France de restriction réglementaire d'usage des sols contaminés en dioxines ou PCB-DL. Des niveaux «tolérables» de contamination des sols en dioxines et PCB-DL au regard de certaines activités ont toutefois été proposés dans certains pays d'Europe :

- En Allemagne (Bundesrats-Drucksache, 1992), des valeurs de classification basées sur les niveaux de contamination des sols en dioxines ont en effet été proposées pour aider à la mise en œuvre de mesures de gestion. Il est ainsi recommandé, en cas de concentrations en dioxines dans les sols comprises entre 5 et 40 pg I-TEQ/g<sup>3</sup> de sol sec, d'effectuer un contrôle systématique des produits alimentaires. Au-delà de 40 pg I-TEQ/g de sol sec, une restriction des cultures doit être envisagée,

<sup>3</sup> Unité I-TEQ définie en 1989 par l'OTAN, modifiée par l'OMS ultérieurement

- En France l'Afssa a également proposé, en 1999, une grille indicative d'usage des sols en fonction de leur niveau de contamination en dioxines (Tableau 2).

**Tableau 2 : Grille indicative d'utilisation des sols contaminés par les dioxines – Afssa 1999<sup>4</sup>**

| Valeurs cibles indicatives #                               | Dioxines en pg TEQ/g de sol sec |
|--|---------------------------------|
| Sol contaminé  | >5                              |
| Arrêt du pâturage des animaux                              | >40                             |
| Arrêt de l'utilisation des sols pour tous usages agricoles | >100                            |
| Sol à décontaminer   | >1000                           |

# Ces valeurs indicatives ne prennent pas en considération les niveaux de contamination en PCB notamment de type non dioxine-like (PCB-NDL).

Afin d'estimer, dans le cas particulier de l'incendie de St Cyprien, le niveau de concentration en dioxines et PCB-DL qui ne doit pas être dépassé dans le sol (en pg TEQ /g de sol sec) pour permettre la remise en toute sécurité au pâturage d'animaux « non contaminés », recrutés alors hors de la zone, différentes simulations et hypothèses d'exposition ont été proposées ci-après. Un niveau de contamination initial de 1 pg TEQ/g de matière grasse (bruit de fond) a été retenue pour ces animaux.

Le sol a notamment été considéré comme le seul réservoir de contamination significatif pour les dioxines et PCB-DL, les fourrages ayant été considérés comme non contaminés (en l'absence d'éléments suffisants permettant de quantifier la volatilisation des PCB-DL du sol et leur adsorption à la face inférieure des feuilles).

Les simulations ont été réalisées en retenant la limite réglementaire, pour la somme des dioxines et PCB-DL, de 6 pg TEQ/g de matière grasse pour le lait et de 4,5 pg TEQ/g de matière grasse pour la viande des bovins et des ovins (Règlement CE 1881/2006).

L'estimation de la quantité de sol ingérée par l'animal à la pâture a été adaptée en fonction de l'espèce considérée, sur la base des données disponibles dans la littérature (**Annexe 1**).

Le coefficient de transfert des dioxines et PCB-DL vers la matière grasse n'est pas connu pour tous les animaux et varie selon la nature des congénères de dioxines ou PCB-DL considérés. Chez la vache laitière, des données de la littérature suggèrent que le coefficient de transfert vers la matière grasse du lait des congénères les plus représentés à St Cyprien serait de l'ordre de 40 % (**Annexe 2**). Toutefois, par mesure conservatoire et en l'absence de données suffisante pour l'ensemble des animaux, un coefficient de transfert de 100 % a été retenu.

#### 4.1 Estimation des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les sols permettant d'éviter une non-conformité de la viande chez les brebis entrant au pâturage pour une période de 6 mois

Sur la base des hypothèses suivantes :

- brebis de 60 kg de poids vif dont 9 kg de tissu adipeux (15% du poids corporel),
- ingestion quotidienne de sol de 75 g ou 150 g correspondant à 5 ou 10% de la matière sèche ingérée (1,5 kg/jour),
- prise en considération d'un modèle à deux compartiments (élimination possible par le lait et accumulation dans le tissu adipeux),
- biodisponibilité de 100%,

<sup>4</sup> Compte rendu de la réunion du 02 août 1999, contamination de kaolin par de la dioxine, Afssa, 11 août 1999.

- animaux recrutés hors zone : contamination initiale du tissu adipeux d'environ 1 pg TEQ /g de matière grasse d'où une charge initiale de 9 000 pg TEQ,
- durée de lactation de 90 j,
- production de 1 kg de lait /j soit 60 g de matière grasse excrétée par jour,
- niveau de contamination dans la matière grasse laitière identique à la concentration dans le tissu adipeux.

Les valeurs limites en dioxines et PCB-DL acceptables dans les sols pour éviter toute non conformité de la viande des brebis entrant au pâturage ont été estimées respectivement à **4 et 8 TEQ/g de sol sec selon l'hypothèse d'ingestion de sol contaminé (5 ou 10% de matière sèche ingérée)**.

#### **4.2 Estimation des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les sols permettant d'éviter une non-conformité de la viande chez le jeune bovin entrant au pâturage pour une période de 6 mois**

Sur la base des hypothèses suivantes :

- jeune bovin de 300 kg de poids vif dont 44 kg de tissu adipeux, importé de l'extérieur de la zone concernée,
- contamination initiale du tissu adipeux d'environ 1 pg TEQ /g de matière grasse d'où la limite maximale de 44 000 pg TEQ,
- croissance quotidienne de 1000 g /j à la pâture soit un poids vif de sortie de 480 kg (dont 95 kg de tissu adipeux),
- ingestion quotidienne de sol de 160 g ou 320 g, soit 2% ou 4% de 8 kg de matière sèche ingérée.

Les valeurs limites en dioxines et PCB-DL acceptables dans les sols pour éviter toute non conformité de la viande des jeunes bovins entrant au pâturage a été estimée respectivement à **13 et 7 pg TEQ/g de sol sec selon l'hypothèse d'ingestion de sol contaminé (2 ou 4% de matière sèche ingérée)**.

#### **4.3 Estimation des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les sols permettant d'éviter, chez la vache laitière une non-conformité du lait**

Sur la base des hypothèses suivantes :

- production journalière de 25 kg ou 35 kg de lait à 4% de matière grasse et 6 pg TEQ/g de matière grasse, soit la limite maximale réglementaire,
- vache laitière issue d'une zone non contaminée,
- ingestion quotidienne de 16 kg de matière sèche d'herbe, correspondant à 320 g ou 640 g de sol dans l'hypothèse d'une ingestion de sol de 2 ou 4%
- la ration quotidienne des animaux est complétée par des quantités variables d'aliment concentré (non contaminé) en fonction de leur niveau de production,
- prise en compte d'un coefficient de transfert de 100% ou de 40 % (établi sur la base des données bibliographiques disponibles pour la vache laitière - **Annexe 2**).

Les concentrations limites en dioxines et PCB-DL acceptables dans les sols pour éviter toute non-conformité du lait ont été estimées **entre 9 et 68 pg TEQ/g de sol sec selon les hypothèses retenues** (Tableau 3).

**Tableau 3 : Niveaux de contamination tolérables dans les sols (pg TEQ/g de sol sec) pour éviter toute non conformité de la matière grasse du lait (MG) chez la vache laitière**

| Ingestion quotidienne de sol | Concentrations dans le sol (pg TEQ/g de sol sec) |                  |   |                  |
|------------------------------|--|------------------|---|------------------|
|                              | Coefficient de transfert dans le lait de 40 %    |                  | Coefficient de transfert dans le lait de 100% |                  |
|                              | Hypothèse de production laitière                 |                  | Hypothèse de production laitière              |                  |
|                              | Faible   | Forte            | Faible  | Forte            |
|                              | 25 kg à 4% de MG                                 | 35 kg à 4% de MG | 25 kg à 4% de MG                              | 35 kg à 4% de MG |
| 320 g                        | <b>47</b>  | <b>68</b>        | <b>18</b>                                     | <b>26</b>        |
| 640 g                        | <b>24</b>  | <b>34</b>        | <b>9</b>                                      | <b>13</b>        |

#### 4.4 Estimation des niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL dans les sols permettant d'éviter, chez la vache de race à viande allaitante, une non-conformité de la viande

Sur la base des hypothèses suivantes :

- vache de race à viande allaitante de 900 kg de poids vif dont 120 kg de tissu adipeux,
- vache de race à viande allaitante issue d'une zone non contaminée,
- ingestion quotidienne de sol de 260 g ou 520 g, soit 2% ou 4% de 13 kg de matière sèche ingérée<sup>5</sup>,
- durée de pâturage pendant la lactation estimée à 180 jours,
- production journalière de 7 kg de lait par jour soit 280 g de matière grasse contenant une valeur limite de 4,5 pg TEQ/g de matière grasse,
- niveau de concentration des polluants (dioxines et PCB-DL) dans la matière grasse laitière identique à celle du tissu adipeux,
- prise en considération d'un modèle à deux compartiments (élimination possible par le lait et accumulation dans le tissu adipeux),
- biodisponibilité des polluants de 100 %.

Les valeurs limites en dioxines et PCB-DL acceptables dans les sols pour éviter une non conformité du lait et de la viande des vaches allaitantes ont été estimées respectivement à **6 et 11,5 pg TEQ/g de sol sec selon l'hypothèse d'ingestion de sol contaminé (2 ou 4% de matière sèche ingérée)**.

Si la vache allaitante continue à ingérer 2% de sol à 11,5 pg TEQ/g de sol sec après son tarissement, les concentrations en dioxines et PCB-DL dans le lait et le tissu adipeux sont susceptibles de dépasser la teneur maximale réglementaire de 4,5 pg TEQ/g de matière grasse au moment de la mise bas suivante compte tenu de la bioaccumulation dans le tissu adipeux en l'absence d'excrétion lactée des contaminants chez la vache n'allaitant plus.

#### 4.5 Niveaux de contamination en dioxines et PCB-DL chez le broutard sevré à 6 mois,

Sur la base des hypothèses suivantes :

- broutard consommant quotidiennement 7 kg de lait issu de vaches provenant d'une zone non contaminée et pâturant sur des sols contaminés à 11,5 pg TEQ/g de sol sec,

<sup>5</sup> Les besoins de la vache de race à viande allaitante en matière sèche ingérée sont inférieurs à ceux de la vache laitière en raison d'une moindre production de lait

- durée de l'allaitement de 180 jours,
- contamination initiale du lait de la mère à 1 pg TEQ/g de matière grasse, puis enrichissement et contamination progressive jusqu'à un taux de 4,5 pg TEQ/g de matière grasse au bout de 180 jours<sup>6</sup>,
- broutard de 300 kg de poids vif dont 44 kg de tissu adipeux à l'âge de 6 mois,
- ingestion de 4 kg de matière sèche d'herbe lors des trois derniers mois sous la mère,
- ingestion de sol (contaminé à 11,5 pg TEQ/g de sol sec) à raison de 2% de la quantité d'herbe ingérée, soit 900 pg TEQ/j pendant les trois derniers mois sous la mère.

Au bout de 6 mois, les concentrations en dioxines et PCB-DL dans le tissu adipeux du broutard pourraient être supérieures ou égales à la limite réglementaire de 4,5 pg TEQ/g de matière grasse ce qui impliquerait une impossibilité de commercialisation et de consommation de ces animaux à ce stade. Cependant, si les broutards sont mis en pâture sur une zone dont le sol est non contaminé ou engraisés en hors sol (taurillon), ce niveau de contamination devrait diminuer.

## 5. Conclusions et Recommandations

Considérant,

- la complexité des modalités de transfert des polluants organiques persistants dans la chaîne alimentaire,
- la difficulté à exploiter les résultats d'analyse de sols en raison des biais d'interprétation possibles en lien avec l'historique du site et le remaniement des sols,
- le caractère partiel des données actuellement disponibles à St Cyprien concernant les niveaux quantitatifs de la contamination et la distribution spatiale,
- un coefficient de transfert des dioxines et des PCB-DL vers la matière grasse de 100% en l'absence de données bibliographiques disponibles pour toutes les espèces envisagées,

l'Afssa estime que les valeurs de contamination tolérables dans les sols pour éviter un risque de non conformité de la viande et/ou du lait issus des animaux ayant pâture dans la zone « sinistrée » sont comprises **entre 4 et 20 pg TEQ/g de sol sec** selon les différentes catégories d'animaux étudiés (Tableau 4).

---

<sup>6</sup> Valeur limite retenue pour la vache allaitante, pour la viande et le lait dans l'hypothèse d'un niveau de concentration des polluants (dioxines et PCB-DL) identique dans la matière grasse laitière et le tissu adipeux

**Tableau 4: Estimation des concentrations dans le sol en dioxines et PCB-DL pouvant entraîner un dépassement des limites maximales réglementaires dans les produits animaux consommés (lait, viande) en l'absence de toute autre source de contamination (en pg TEQ/g de sol sec)**

| Espèces          |                                | C <sub>sol</sub> en fonction de la quantité de sol ingérée (en % de matière sèche ingérée)* |        |
|------------------|--------------------------------|---|--------|
|                  |                                | Forte   | faible |
| Vache laitière   | Faible productrice             | 9   | 18     |
|                  | Forte productrice complémentée | 13  | 26     |
| Vache allaitante |                                | 6   | 11,5   |
| Jeune bovin      |                                | 7   | 13     |
| Brebis           |                                | 4   | 8      |

\* % de Matière Sèche Ingérée par le bovin : Forte =4%, faible =2%, % de Matière Sèche Ingérée par l'ovin : Forte =10%, faible =5%

Sur la base de ces estimations, la valeur limite de 5 pg TEQ/g de sol sec peut être considérée comme une valeur d'alerte nécessitant la mise en œuvre de mesures complémentaires consistant à :

- i) confirmer la représentativité spatiale de la contamination de la zone par la mise en œuvre d'analyses complémentaires des sols,
- ii) appliquer les recommandations de pratiques de pâturage telles que décrites en **Annexe 3** lorsque la confirmation de la valeur moyenne de contamination du sol est : i) supérieure à 10 pg TEQ/g de sol sec pour les bovins ou ii) supérieure à 5 pg TEQ/g de sol sec pour les ovins, du fait de leur comportement spécifique d'ingestion,
- iii) mettre en application un plan de surveillance des produits animaux destinés à l'alimentation humaine (lait, viandes et abats) ainsi que des sols et des végétaux de la zone.

L'Afssa indique également que ces recommandations ne peuvent en aucun cas être généralisées à des sites soumis à une pollution atmosphérique encore en « cours », le postulat initial de ces simulations étant que le sol constitue le seul vecteur de contamination des animaux qui proviennent de l'extérieur de la zone concernée.

**La Directrice Générale Adjointe**  
**Valérie BADUEL**

## 6 Références bibliographiques

- Collins C., Fryer M., Grosso A. 2006.** Plant Uptake of Non-Ionic Organic Chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 40, 45-52
- US EPA 1997.** Test methods for evaluating solid wastes. SW-846. Final Update 3. *Office of solid waste and emergency response. Washington D.C.*
- Abrahams P.W., Steigmajer J. 2003.** Soil ingestion by sheep grazing the metal enriched floodplain soils of Mid-Wales. *Environm. Geochemistry and Health* 25, 17-24
- Beyer N., Connor E.E., Gerould S., 1994.** Estimates of soil ingestion by wildlife. *J. Wildl. Manage.* 58, 375-382.
- Bundesrats-Drucksache 24/92 (1992):** Bericht der Bundesregierung zur Entschließung des Bundesrates zur Aufstellung einheitlicher Bewertungskriterien für Umweltbelastungen mit Dioxinen und Furanen (Bundesrats-Drucksache 140/90), Bonn 8.1.92
- Collins C., Fryer M., Grosso A. 2006.** Plant Uptake of Non-Ionic Organic Chemicals. *Environ. Sci. Technol.* 40, 45-52
- Costera A., Feidt C., Marchand Ph., Le Bizec B., Rychen G. 2006.** PCDD/F and PCB transfer to milk in goats exposed to a long-term intake of contaminated hay. *Chemosphere* 64, 650-657
- Field AC, Purves D 1964.** The intake of soil by grazing sheep. *Proc. Nutrit. Soc.* 23, 24
- Firestone D., Clower M. Jr, Borsetti A.P., Teske R.H., Long P.E., 1979.** Polychlorodibenzo-p-dioxin and pentachlorophenol residues in milk and blood of cows fed technical pentachlorophenol. *J. Agric. Food Chem.* 27, 1171-1177.
- Fries G.F., Marrow G.S., 1982.** Soil ingestion by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 65, 611-618.
- Fries G.F., Paustenbach D.J., Mather D.B., Luksemburg W.J., 1999.** A congener specific evaluation of transfer of chlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans to milk of cows following ingestion of pentachlorophenol-treated wood. *Envir. Sci. Technol.* 33, 1165-1170.
- Fries G.F., Paustenbach D.J., Luksemburg W.J., 2002.** Complete mass-balance of dietary polychlorinated dibenzo-para-dioxins and dibenzofurans in dairy cattle and characterization of the aparent synthesis of hepta- and octachlorodioxins. *J. Agric. Food Chem.* 50, 4226-4231.
- Fürst P., Krause G.H.M., Hein D., Delschen T., Wilmers K., 1993.** PCDD/PCDF in cow's milk in relation to their levels in grass and soil. *Chemosphere* 27, 1349-1357.
- Healy W.B., 1968.** Ingestion of soil by dairy cows. *NZ. J. Agric. Res.* 11, 487-499.
- Healy W.B. et Ludwig T.G., 1965.** Wear of sheep's teeth. I. The role of ingested soil. *N.Z.J. Agric. Res.* 8, 737-752.
- Healy W.B., Drew K.R., 1970.** Ingestion of soil by hoggets grazing swedes. *N.Z.J. Agric. Res.* 13, 940-944
- INSERM, Dioxines dans l'environnement - Quels risques pour la santé? Expertise collective – 2000**
- Kirby D.R., Stuth J.W., 1980.** Soil-ingestionh rates of steers following brush magement in central Texas. *J. Range Manage.* 33, 207-209.
- Kreulen DA, Jager T. 1984.** The significance of soil ingestion in the utilization of arid rangelands by large herbivores, with special reference to natural licks on the Kalahari pans. *In: Herbivore nutrition in the Subtropics and Tropics. Ed. Gilchrist FMC & Mackie RI, Science Press Johannesburg, 204-221*
- Mayland H.F., Florence A.R., Rosenau R.C., Lazar V.A., Turner H.A., 1975.** Soil ingestion by cattle on semiarid range as reflected by titanium analysis of feces. *J. Range Managm.* 28, 448-452
- McGrath D., Poole D.B.R., Fleming G.A., Sinnott J., 1982.** Soil ingestion by grazing sheep. *Ir. J. Agric. Res.* 21, 135-145.
- McKay D., Fraser A., 2000.** Bioaccumulation of persistent organic chemicals : mechanisms and models. *Environ. Pollut.* 110, 375-391.
- McLachlan M.S., 1994.** Model of the fate of hydrophobic contaminants in cows. *Environ. Sci. Technol.* 2, 2407-2414.

- McLachlan M.S., 1995.** Accumulation of PCDD/F in an agricultural food chain. *Organohalogen Compounds* 26, 105-108.
- McLachlan M.S., Thoma H., Reissinger M., Hutzinger O., 1990.** PCDD/F in an agricultural food chain. Part I : PCDD/F mass balance of a lactating cow. *Chemosphere* 20, 1013-1020.
- Olling M., Derks H.J., Berende P.L., Liem A.K., Jong A.P., 1991.** Toxicokinetics of eight <sup>13</sup>C-labelled polychlorinated dibenzo-p-dioxins and -furans in lactating cows. *Chemosphere* 23, 1377-1385.
- Robert JC, Casteille 1990.** INRA *Prod. Anim.* 3, 243-252
- Sample B.E., Suter G.W. II, 1994.** Estimating exposure of terrestrial wildlife. *Draft. ES/ER/TM-125.*
- Sample, B.E., Aplin M.S., Efroymson R.A., Suter G.W. II, 1997.** Methods and Tools for estimation of the exposure of terrestrial wildlife to contaminants. *Environmental Science Division Publications n°4650. ORNL/TM-13391, October 1997*
- Slob W., Olling M., Derks H.J., de Jong A.P., 1995.** Congener-specific bioavailability of PCDD/Fs and coplanar PCBs in cows: laboratory and field measurements. *Chemosphere* 31, 3827-3838.
- Sweetman A.J., Thomas G.O., Jones K.C., 1999.** Modelling the fate and behaviour of lipophilic organic contaminants in lactating dairy cows. *Environ. Pollut.* 104, 261-270.
- Thomas G.O., Sweetman A.J., Jones K.C., 1999.** Metabolism and body-burden of PCBs in lactating dairy cows. *Chemosphere* 39, 1533-1544.
- Thornton I., Abrahams P., 1983.** Soil ingestion – a major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land. *The Science of the Total Environment* 28, 287-294
- Tuinstra L.G., Roos A.H., Berende P.L., van Rhijn J.A., Traag W.A., Mengelers M.J., 1992.** Excretion of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and -furans in milk of cows fed on dioxins in the dry period. *J. Agric. Food Chem.* 40, 1772-1776

**Mots clefs : Dioxines, PCB-DL, sols, alimentation animale, contamination, bovins**

## Annexe 1

## Ingestion du sol par des ruminants au pâturage - synthèse bibliographique

Le tableau ci-après propose une synthèse de la littérature sur l'ingestion du sol par les ruminants au pâturage.

La majorité de ces travaux concerne les ovins chez lesquels l'ingestion de sol peut atteindre 15% (Abrahams & Steigmeier, 2003) mais reste en général en deçà de 10% de la matière sèche ingérée (Field & Purves, 1964) même si des niveaux d'ingestion atteignant 35% ont pu être rapportés dans des conditions extrêmes de pâturage hivernal (Healy & Drew, 1970).

Les études menées sur les bovins sont moins nombreuses et montrent que l'ingestion involontaire de sol par les bovins n'excède pas 4% de la matière sèche ingérée en respectant de bonnes conditions de pâturage, et reste en général inférieur à 2% (Fries et al., 1982).

Des valeurs extrêmes de 16% de la matière sèche (Kirby & Stuth, 1970) ou de 2,4 kg de sol (Thornton & Abrahams, 1983) ont été rapportées en conditions très défavorables de pâturage sans que cela semble toutefois généralisable.

| Espèce | Pays | Saison        | Présence d'autres nourritures | Sol ingéré (g/jour) |      |     | Prise (g/kg PV) | Prise (g/g d'aliment) | Références                   |
|--------|------|---------------|-------------------------------|---------------------|------|-----|-----------------|-----------------------|------------------------------|
|        |      |               |                               | Moyenne             | Max  | Min |                 |                       |                              |
| Ovins  | NZ   | Hivers        | Non                           | 60                  | 150  | 5   | 1,2             | 0,060                 | Healy et Ludwig (1965)       |
|        | NZ   | Automne       | Non                           | 4                   | 10   | 0   | 0,1             | 0,005                 | Healy et Ludwig (1965)       |
|        | NZ   | 04/10         | Non                           | 63                  | 108  | 1   | 1,2             | 0,060                 | Healy <i>et al.</i> (1967)   |
|        | NZ   | 07/08         | Oui                           | >1                  | >1   | -   | -               | -                     | Healy <i>et al.</i> (1967)   |
|        | NZ   | 08/10         | Non                           | 90                  | -    | -   | 1,8             | 0,090                 | Healy <i>et al.</i> (1967)   |
|        | NZ   | 08/10         | Oui                           | 35                  | -    | -   | 0,7             | 0,035                 | Healy <i>et al.</i> (1967)   |
|        | NZ   | Hivers        | Non                           | 83                  | 125  | 43  | 1,7             | 0,085                 | Healy et Drew (1970)         |
|        | NZ   | Hivers        | Oui                           | 48                  | 68   | 26  | 1,0             | 0,050                 | Healy et Drew (1970)         |
|        | NZ   | Hivers        | Non                           | 30                  | 41   | 21  | 0,6             | 0,030                 | Healy et Drew (1970)         |
| Bovin  | NZ   | Toute l'année | Non ?                         | 770                 | 2070 | 260 | 1,9             | 0,063                 | Healy (1968)                 |
|        | GB   | 04/08         | ?                             | 310                 | 2400 | 27  | 0,7             | 0,022                 | Thornton et Abrahams (1983)  |
|        | USA  | 07/11         | Non                           | 400                 | 1500 | 100 | 1,1             | 0,055                 | Mayland <i>et al.</i> (1975) |
|        | USA  | 05/11         | Oui                           | 113                 | 146  | 83  | 0,4             | 0,019                 | Fries <i>et al.</i> (1982a)  |
|        | USA  | été           |                               |                     |      |     | 0,3 à 0,84      |                       | Kirby et Stuth (1980)        |

## Annexe 2

Données bibliographiques permettant d'estimer le coefficient de transfert (Carry-Over Rates : COR)  
vers la matière grasse du lait chez la vache laitière

Pour les congénères de type dioxines et furanes, les valeurs sélectionnées sont issues de références bibliographiques établies à partir de distribution de fourrage contaminé en conditions expérimentales ou de conditions de terrain.

Tableau 1: Taux de transfert des PCDD/Fs de l'aliment vers le lait– Synthèse des données de la littérature pour les dioxines

| Congénères          | Firestone<br><i>et al.</i> (1979) | McLachlan <i>et al.</i><br>(1990) | Olling <i>et al.</i><br>(1991) | Tuinstra<br><i>et al.</i><br>(1992) | Fürst <i>et al.</i><br>(1993) | Slob <i>et al.</i><br>(1995) | Fries <i>et al.</i><br>(1999) | Costera<br><i>et al.</i><br>(2006) |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Lait (kg/jour)      | 14                                | 28                                | -                              | 23                                  | -                             | 28                           | 26                            | 2,2                                |
| TB (kg/jour)        | 0,5                               | 1,4                               | -                              | 1,2                                 | -                             | 1,0                          | 1,1                           |                                    |
| 2,3,7,8-TCDD        |                                   | 35                                | 30                             | 34                                  | 9,3                           | 15                           | 35                            | 38,8                               |
| 1,2,3,7,8-PeCDD     |                                   | 33                                | 28                             | 55                                  | 6,5                           | 10                           | 28                            | 34,3                               |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD   |                                   | 17                                |                                | 28                                  | 3,0                           | 5,6                          | 18                            | 24,1                               |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD   | 16                                | 14                                | 27                             | 37                                  | 5,3                           | 6,4                          | 16                            | 22,7                               |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD   |                                   | 18                                |                                | 12                                  | 1,5                           | 3,1                          | 12                            | 14,1                               |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 1,7                               | 3                                 | 1,6                            | 2,5                                 | 2,0                           | 0,6                          | 1,8                           | 5,0                                |
| OCDD                | 0,3                               | 4                                 |                                | 0,6                                 | 0,3                           | 0,1                          | 0,3                           | 1,5                                |
| 2,3,7,8-TCDF        |                                   |                                   |                                |                                     | 0,6                           |                              |                               | 8,2                                |
| 1,2,3,7,8-PeCDF     |                                   |                                   |                                |                                     | 0,3                           |                              |                               | 14,3                               |
| 2,3,4,7,8-PeCDF     |                                   | 25                                | 36                             | 24                                  | 5,1                           | 12                           | 18                            | 28,1                               |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF   |                                   |                                   | 18                             | 26                                  | 3,7                           | 4,3                          | 5,7                           | 22,0                               |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF   |                                   | 16                                |                                | 30                                  | 2,7                           | 3,6                          | 11                            | 17,8                               |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF   |                                   |                                   |                                |                                     |                               |                              |                               | 4,4                                |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF   |                                   | 14                                |                                | 25                                  | 3,5                           | 4,2                          | 8,4                           | 13,0                               |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF |                                   | 3                                 | 1,7                            | 1,9                                 | 0,7                           | 0,4                          | 1,4                           | 2,9                                |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF |                                   | 8                                 |                                |                                     |                               | 0,5                          |                               | 3,1                                |
| OCDF                | 0,1                               | 1                                 |                                | 0,0                                 | 0,2                           | 0,0                          | 0,1                           | 0,9                                |

Tableau 2 : Moyenne des taux de transfert (COR) vers le lait estimée pour les dioxines sur la base des études Firestone *et al.* (1979), McLachlan *et al.* (1990), Olling *et al.* (1991), Tuinstra *et al.* (1992), Fries *et al.* (1999) et Costera *et al.* (2006).

| Congénère           | COR moyen | écart-type COR | <i>COR retenu (moy +1,96 ET)</i> |
|---------------------|-----------|----------------|----------------------------------|
| 2,3,7,8-TCDD        | 34,6      | 3              | <b>40,7</b>                      |
| 1,2,3,7,8-PeCDD     | 35,7      | 11             | <b>57,6</b>                      |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD   | 21,8      | 5              | <b>32,0</b>                      |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD   | 23,3      | 9              | <b>41,5</b>                      |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD   | 14,0      | 3              | <b>19,6</b>                      |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 2,8       | 1              | <b>5,4</b>                       |
| OCDD                | 1,6       | 2              | <b>4,9</b>                       |
| 2,3,7,8-TCDF        | 8,2       |                | <b>8,2</b>                       |
| 1,2,3,7,8-PeCDF     | 14,3      |                | <b>14,3</b>                      |
| 2,3,4,7,8-PeCDF     | 26,2      | 7              | <b>39,1</b>                      |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF   | 17,9      | 9              | <b>35,1</b>                      |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF   | 18,7      | 8              | <b>34,5</b>                      |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF   | 4,4       |                | <b>4,4</b>                       |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF   | 15,1      | 7              | <b>28,9</b>                      |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 2,2       | 1              | <b>3,6</b>                       |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 5,6       | 3              | <b>12,3</b>                      |

**Tableau 3: Coefficient de transfert (COR) vers le lait estimée pour les les PCB-DL**

Pour les PCB-DL, la disponibilité de données publiées est beaucoup plus restreinte. Les valeurs utilisées sont issues de communications personnelles (Ounnas et al., 2009, sous presse) et du retraitement de données issues de Costera *et al.* (2006).

| PCB     | COR retenu (%) |
|---------|----------------|
| PCB 77  | 8              |
| PCB 81  | 83             |
| PCB 105 | 67             |
| PCB 114 | 50             |
| PCB 118 | 68             |
| PCB 123 | 30             |
| PCB 126 | 62             |
| PCB 156 | 73             |
| PCB 157 | 72             |
| PCB 167 | 57             |
| PCB 169 | 71             |
| PCB 189 | 49             |

### Annexe 3

#### Bonnes Pratiques de pâturage :

Pour réduire au minimum le niveau d'ingestion de sol au pâturage, il est recommandé de :

- i) mettre à pâturer les animaux dans une parcelle dont la hauteur d'herbe moyenne à l'entrée est supérieure ou égale à 10 cm,
- ii) sortir les animaux de la pâture lorsque l'herbe de la parcelle atteint une hauteur moyenne de 5-6 cm, hors zones de refus,
- iii) ne pas faire surpâturer une parcelle par les animaux,
- iv) éviter les pâturages d'automne prolongés et proscrire le pâturage hivernal,
- v) remonter la hauteur de coupe pour l'ensilage d'herbe,
- vi) éviter d'apporter des aliments ou compléments alimentaires directement sur le sol