



# Dioxines dans les sols français : un premier état des lieux

Rapport final

**BRGM/RP-54202-FR**

Décembre 2005

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM (convention n° 04 000 115)

**F. Bodénan, C. Nowak**

**Vérificateur :**

Nom : R. Jeannot

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

**Approbateur :**

Nom : P. Freyssinet

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

**Mots clés** : dioxines, furannes, PCDD/F, PCB de type dioxine, sol

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

F. Bodénan, C. Nowak (2005) Dioxines dans les sols français : un premier état des lieux.  
Rapport BRGM RP-54202-FR, 71 p., 24 fig., 8 tabl., 3 ann.

## Synthèse

Depuis quelques années, les émissions de 'dioxines' dans l'air ont nettement diminué avec la fermeture d'installations hors normes, mais aussi, avec la mise en place de traitements des fumées, au niveau de la plupart des installations industrielles. Cependant, du fait de la grande persistance de ces molécules organiques, la réduction des émissions ne se traduit pas en direct par une réduction des teneurs au niveau des principaux récepteurs que sont les sols et les sédiments.

Ainsi il est apparu important de dresser un bilan au niveau national des teneurs en PCDD/F dans les sols, en prenant en compte le maximum de paramètres déterminants. L'étude proprement dite a consisté à collecter, au niveau des DRIRE, le maximum d'analyses de dioxines, autour des usines d'incinération (dont les points dits « zéro » désormais effectués avant l'implantation de toute nouvelle installation), autour de toutes autres installations susceptibles de générer des dioxines (sidérurgie, site chimique,...), et dans d'autres contextes comme l'évaluation du bruit de fond. La compilation s'est construite à partir des bulletins complets d'analyse et d'informations sur la distance par rapport à la source potentielle d'émission, le mode d'échantillonnage, la profondeur d'investigation, l'usage du sol.

Un total de 190 analyses précisant les concentrations des 17 congénères, a été collecté et traité. Ces analyses correspondent à 183 sols, 6 sédiments et 1 sable répartis sur 29 sites et 16 régions et correspondent à 73% à des environnements d'usine d'incinération d'ordures ménagères. De plus, 25 analyses précisant la seule donnée toxicité (TEQ), dans le système OTAN ou OMS, ont été partiellement exploitées. Il s'ensuit que le nombre d'analyses traitées fluctue dans les résultats présentés. 46 analyses sans précision du système de calcul n'ont pu être exploitées.

L'ensemble des données correspond à une distribution de populations non symétrique, ce qui justifie la représentation type boîte à « moustaches » (Whiskerbox plot), normale ou modifiée, discutée dans ce rapport. Cette schématisation est un bon compromis pour décrire les populations en donnant une information sur le centre (médiane), la forme de la distribution et son étendue et en permettant une exploitation pertinente des données.

Quelques données de concentration et de toxicité sont synthétisées dans le tableau ci-après au travers de l'intervalle des teneurs, la médiane (centre de la population) et la valeur maximale de 90% des données ; elles s'entendent sans prise en compte des limites de détection (LD), ou plus exactement des limites de quantification. En résumé, 50% et 90% des données de toxicité, toutes analyses confondues, sont respectivement inférieures à 2,0 et 16 ng TEQ-OTAN/kg MS ou 2,3 et 20 ng TEQ-OMS/kg MS.

La prise en compte des limites de détection, dans le calcul de la toxicité se traduit par une augmentation des valeurs de la médiane : 1,98 à 2,10 en système OTAN et 2,25 à 2,61 en système OMS. Les données à 90% restent inchangées.

	<b>Intervalle</b>	<b>Médiane</b>	<b>Valeur à 90% des données</b>	<b>Nombre d'analyses</b>
Toxicité OTAN (ng OTAN-TEQ/kg MS)	0,01 - 180,5	1,98	15,7	207
Toxicité OMS (ng OMS-TEQ/kg MS)	0,001 à 280	2,25	19,9	192
Somme des 17 congénères (en ng/kg MS)	9 – 18 707	120	1255	187

Le calcul de la toxicité des mêmes analyses dans les systèmes OTAN et OMS se traduit par des variations globalement comprises entre -25 et +25%, avec quelques cas particuliers extrêmes. Globalement la toxicité OMS est supérieure à la toxicité OTAN avec une médiane des écarts de 5,8%. A noter que les PCB de type dioxine ne sont pas pris en compte car non analysés.

La comparaison des données de toxicité OTAN entre les sites sous influence d'installations industrielles (UIOM, sidérurgie) et les points « zéro » font apparaître une augmentation de la valeur médiane ainsi que de la valeur à 90%, respectivement de 1,2 à 4,8 ng OTAN-TEQ/kg MS et de 3,2 à 21,8 ng OTAN-TEQ/kg MS.

Seules les données « incinération » ont été traitées plus en avant pour des questions de poids statistique suffisant. Notamment, les données de toxicité OTAN font apparaître une augmentation, entre les valeurs sous influence et celles hors influence de l'émetteur, de la valeur pour 90% des données : de 7,8 à 21,8 ng OTAN-TEQ/kg MS. De plus, le facteur distance de l'incinérateur se traduit par une tendance à la décroissance entre les données proches (<500m) et plus éloignées (500-2000m et 2001-4000m) ; la valeur médiane passant de 4,93 à 1,4 ng OTAN-TEQ/kg MS et la valeur à 90% de 29 à 6,3 ng OTAN-TEQ/kg MS.

Avant tout traitement statistique plus élaboré, de type approche multivariée, il apparaît important d'intégrer les nombreuses analyses en cours d'acquisition au niveau des régions. A ce stade, il a donc été décidé de reporter le traitement statistique de type analyse en composante principale (ACP) et classification ascendante hiérarchisée (CAH) à la poursuite programmée de l'étude.

Une discussion est proposée sur un certain nombre de points et notamment sur : l'importance de disposer des données brutes, sur les deux systèmes de calcul de la toxicité (OTAN et OMS), la qualité des analyses (question des limites de quantification), l'échantillonnage. Des recommandations sont données du point de vue du monitoring des sols. Le cas des PCB de type dioxine est discuté sur un exemple.

Enfin, l'enquête sur les pratiques européennes « dioxines et sols » a permis de présenter les enjeux nationaux de quelques pays, et de mettre en avant l'important travail en cours de finalisation en Grande-Bretagne et les travaux, de plus de 15 ans d'étude, en Allemagne, au travers de leur base « DIOXINS ».

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Généralités .....</b>	<b>11</b>
2.1. LES DIOXINES, FURANNES ET PCB DE TYPE DIOXINE .....	11
2.1.1. Un mélange de composés .....	11
2.1.2. Potentiel toxique de 17 PCDD/F et de 12 PCB de type dioxine .....	11
2.1.3. Molécules dites homologues .....	13
2.1.4. Présentation des résultats sous forme de 3 profils .....	14
2.2. DONNEES ACTUALISEES DES EMISSIONS .....	16
2.3. CONSULTATION DES BASES BASIAS ET BASOL .....	17
2.3.1. L'outil BASOL .....	17
2.3.2. L'outil BASIAS .....	18
<b>3. Collecte des informations .....</b>	<b>21</b>
3.1. DEROULEMENT DE L'ENQUETE .....	21
3.2. DETAIL DES INFORMATIONS COLLECTEES .....	21
3.2.1. Sur le lieu de l'analyse .....	22
3.2.2. Sur les analyses de sols .....	22
3.3. CONSULTATION DE DOCUMENTS .....	23
3.3.1. Nature des informations - méthodologie .....	23
3.3.2. Discussion par rapport aux données analytiques .....	24
3.3.3. Exploitation des informations .....	25
3.4. BILAN DE L'ENQUETE .....	26
3.4.1. Nombre d'analyses par activité .....	26
3.4.2. Informations associées aux analyses .....	28
<b>4. Teneurs en dioxines dans les sols français .....</b>	<b>29</b>
4.1. MODE DE PRESENTATION STATISTIQUE .....	29
4.1.1. Boîte de Whisker .....	29
4.1.2. Analyse en composante principales (ACP) et classification ascendante hiérarchisée (CAH) .....	30

4.2. CONCENTRATIONS « TOTALES » DES ANALYSES.....	31
4.3. TOXICITE (OTAN ET OMS).....	34
4.3.1. Sans prise en compte des limites de détection (LD supposée égale à 0).....	34
4.3.2. Prise en compte des limites de détection (LD).....	38
4.4. DONNEES SOLS SELON L'INFLUENCE THEORIQUE OU NON D'UNE ACTIVITE .....	39
<b>5. Discussion .....</b>	<b>43</b>
5.1. TEXTES DE REFERENCE .....	43
5.1.1. Arrêté du 2 février 1998 .....	43
5.1.2. Arrêté du 20 septembre 2002 .....	43
5.2. L'ECHANTILLONNAGE .....	44
5.2.1. NF X31-100 (déc 1992).....	44
5.2.2. Normes 'sols (potentiellement) pollués' .....	45
5.2.3. Variantes des protocoles.....	45
5.3. COMPARAISON AVEC DES VALEURS DE REFERENCE .....	45
5.3.1. Cas de l'Allemagne .....	45
5.3.2. Cas de la Suisse .....	46
5.3.3. Valeurs françaises : VCI (ESR).....	47
5.4. LES PCB DE TYPE DIOXINE (DIOXIN-LIKE) .....	47
<b>6. Pratiques européennes.....</b>	<b>49</b>
6.1. RECHERCHE D'INFORMATIONS.....	49
6.2. PAYS AVEC PROGRAMMES NATIONAUX OU REGIONAUX.....	50
6.2.1. Allemagne .....	50
6.2.2. Danemark.....	50
6.2.3. Finlande .....	51
6.2.4. Royaume-Uni .....	51
6.2.5. Italie.....	52
6.2.6. Suisse .....	52
6.3. PAYS AVEC INFORMATIONS PLUS REDUITES .....	52
6.3.1. Norvège.....	52
6.3.2. Pologne .....	53
6.3.3. Belgique (Flandres).....	53
6.3.4. Irlande .....	53



6.4. CONCLUSION .....	53
<b>7. Conclusions .....</b>	<b>55</b>
<b>8. Bibliographie.....</b>	<b>57</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Formules chimiques des PCDD, PCDF et PCB .....	11
Figure 2 – Profil type a) de concentrations des 17 dioxines-furannes d'un sol (voisinage UIOM), b) de toxicité du même sol calculée dans les systèmes OTAN et OMS .....	15
Figure 3 – Profil des homologues d'un sol (voisinage d'un sol).....	16
Figure 4 – Emissions des PCDD/F dans l'air en France de 1990 à 2004 (CITEPA, déc2005) .....	17
Figure 5 – Nombre d'analyses complètes collectées, par site et par région .....	26
Figure 6 – Nombre d'analyses complètes par secteurs d'activité.....	27
Figure 7 – Représentation de données statistiques selon la boîte de Whisker normale et modifiée.....	29
Figure 8 – Schéma de représentation des données des analyses dioxines, sous forme boîte de Whisker normale (Wn) et modifiée (Wm) et légende associée .....	30
Figure 9 - Somme des concentrations des homologues (134 données) .....	32
Figure 10 - Statistiques des concentrations des homologues (134 données).....	32
Figure 11 – Somme des concentrations des 17 congénères toxiques (187 données) .....	33
Figure 12 - Statistiques de la somme des concentrations des 17 congénères toxiques (x187) .....	33
Figure 13 – Toxicité des sols, sédiments et sables en système OTAN et/ou OMS .....	35
Figure 14 - Statistiques des valeurs de toxicité OTAN des sols et sédiments (LD=0) .....	36
Figure 15 - Statistiques des valeurs de toxicité OMS des sols et sédiments (LD=0) .....	36
Figure 16 – a) Données de toxicité OTAN par rapport à la toxicité OMS, b) Ecart en % avec ou sans prise en compte des limites de détection (LD) .....	37
Figure 17 – Statistiques des valeurs de toxicité OTAN et OMS, avec ou non prise en compte des limites de détection.....	38
Figure 18 – Statistiques des valeurs de toxicité des sols sous influence théorique d'UIOM, de sites sidérurgiques et autour de points « zéro » .....	39
Figure 19 - Statistiques des valeurs de toxicité des sols au voisinage d'UIOM .....	39

Figure 20 - Statistiques des valeurs de toxicité des sols sous influence d'UIOM, en fonction de la distance à l'émetteur .....	40
Figure 21 – Toxicité autour des sites sidérurgiques .....	41
Figure 22 – Toxicité en dioxines et PCB de type dioxine dans les sols et les œufs autour d'un UIOM (Pirard, 2002) .....	48
Figure 23 – Synthèse des données allemandes de dioxines dans les sols .....	50
Figure 24 - Etude danoise sur 32 sols .....	51

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Facteurs d'équivalence de toxicité (TEF) des PCDD, PCDF et PCB de type dioxine de 1989 (OTAN) et 1998 (OMS) pour les mammifères .....	12
Tableau 2 – Liste et nombre des homologues de dioxines et furannes tétra à octachlorées .....	13
Tableau 3 – Caractéristiques du sol type dont les profils sont présentés ci-après .....	14
Tableau 4 – Consultation base BASOL .....	18
Tableau 5 – Lexiques utilisés dans le traitement des données sols et sédiments .....	25
Tableau 6 – Statistiques des Informations complémentaires collectées sur les analyses .....	28
Tableau 7 - Valeurs indicatives, d'assainissement et de seuils d'investigation en cas de pollution du sol par les dioxines et les furanes en Suisse (ordonnance 1 <sup>er</sup> juillet 1998). .....	46
Tableau 8 – Liste des organismes européens contactés .....	49

## Liste des annexes

Annexe 1 Identification des échantillons prélevés .....	59
Annexe 2 Tableau d'analyse type .....	63
Annexe 3 Extraits de la base allemande DIOXINS (2001) .....	67

# 1. Introduction

Depuis quelques années, les émissions de 'dioxines' ou PCDD/F (vaste famille de 210 molécules ou congénères polychlorés de dioxines et furannes) dans l'air ont nettement diminué, avec la fermeture d'installations hors normes, mais aussi, avec la mise en place de traitements des fumées, au niveau de la plupart des installations industrielles.

Cependant, du fait de la grande persistance de ces molécules organiques, la réduction des émissions de dioxines ne se traduit pas en direct par une réduction des teneurs au niveau des principaux récepteurs que sont les sols et les sédiments. En effet, ces matrices sont le reflet d'un phénomène cumulatif de la pollution, du fait de la faible dégradation biotique et abiotique des molécules au fil des ans.

Le BRGM a été chargé par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD) de dresser un bilan au niveau national des teneurs en PCDD/F dans les sols, en prenant en compte le maximum de paramètres déterminants : type de sol, usage (agricole, forêt,...), distance par rapport à une source d'émission,... Un second volet de l'étude a consisté à évaluer les pratiques européennes dans le domaine afin d'utiliser au maximum les connaissances existantes.

L'état des lieux français a nécessité de rassembler un maximum de données largement existantes mais non publiées et de les traiter de façon statistique pour en tirer les grandes tendances tant au niveau des concentrations totales, des équivalents toxiques, de l'identification des sources majeures de pollution et des relations pouvant exister entre la nature et l'usage des sols.

Les objectifs de cette étude concernent :

- l'apport d'un référentiel à l'usage des pouvoirs publics pour une meilleure gestion de l'espace environnemental
- une meilleure lisibilité des données servant à la communication pour éviter toutes polémiques stériles,
- l'ouverture de nouvelles voies de réflexion.

L'étude s'inscrit dans le cadre de la convention annuelle d'application n° 04 000 115 relative à des investigations en matière de protection de l'environnement entre le MEDD et le BRGM.



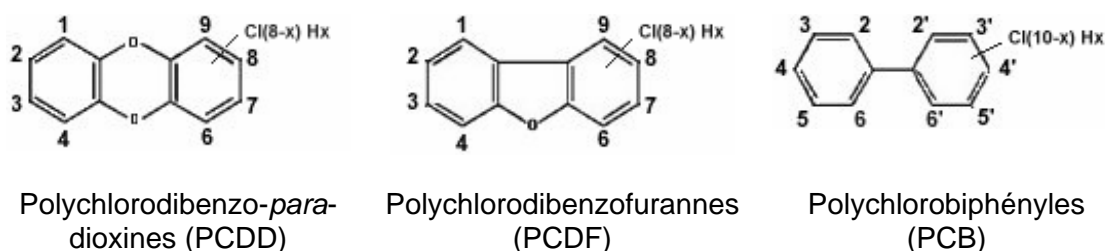
## 2. Généralités

### 2.1. LES DIOXINES, FURANNES ET PCB DE TYPE DIOXINE

Dans ce chapitre, quelques notions et chiffres clefs sur les dioxines et furannes sont rappelées. Le lecteur se rapportera au précédent rapport pour des compléments, notamment sur les propriétés physico-chimiques et les processus de dégradation biotiques et abiotiques de ces polluants (Bodéan et Garrido, 2004).

#### 2.1.1. Un mélange de composés

Sous le terme générique 'dioxines' sont en fait regroupées 210 molécules chlorées de dioxines et furannes possédant des structures chimiques proches, dérivant de celle du benzène (Figure 1). En fonction du nombre d'atomes de chlore et de leur position sur les cycles benzéniques, on dénombre 75 molécules, encore appelées congénères, de polychlorodibenzo-*para*-dioxines (PCDD) et 135 congénères de polychlorodibenzofurannes (PCDF).



Les numéros indiquent les positions de substitution possible par au maximum 8 à 10 atomes de chlore

Figure 1 - Formules chimiques des PCDD, PCDF et PCB

Les polychlorobiphényles ou PCB, composés de deux cycles benzéniques, sont également des composés aromatiques polycycliques halogénés. Certains de ces PCB baptisées '*dioxin-like PCB*' sont assimilés aux dioxines comme cela est décrit plus avant par la suite.

#### 2.1.2. Potentiel toxique de 17 PCDD/F et de 12 PCB de type dioxine

Parmi l'ensemble des 210 molécules de dioxines et furannes, mono à octachlorées, décrites ci-dessus, 17 congénères (7 PCDD et 10 PCDF), au moins tétra-chlorés, possèdent un potentiel toxique vis-à-vis d'un même récepteur.

Les 12 molécules de PCB de type dioxine décrites précédemment présentent également une même activité biologique ; en conséquence elles sont fréquemment prises en compte dans le dosage des aliments et de plus en plus lors d'études environnementales récentes.

La toxicité du mélange de ces composés, ayant le même mécanisme d'action, est généralement exprimée par un seul chiffre rapporté au composé le plus toxique la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine (2,3,7,8-TCDD), dite dioxine de Seveso.

Congénères		I-TEF (OTAN, 1989)	OMS-TEF (1998)
<b>Liste des 7 PCDD</b>		OTAN	humains/mammifères
2,3,7,8-TCDD		1	1
1,2,3,7,8-PeCDD		0,5	1*
1,2,3,4,7,8-HxCDD		0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD		0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD		0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		0,01	0,01
OCDD		0,001	0,0001*
<b>Liste des 10 PCDF</b>			
2,3,7,8-TCDF		0,1	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF		0,05	0,05
2,3,4,7,8,-PeCDF		0,5	0,5
1,2,3,4,7,8-HxCDF		0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF		0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF		0,1	0,1
2,3,4,6,7,8,-HxCDF		0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF		0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		0,01	0,01
OCDF		0,001	0,0001*
<b>Liste des 12 PCB de type dioxine</b>			
3,3',4,4'-TCB	CB 77	-	0,0001
3,4,4',5-TCB	CB 81	-	0,0001
3,3',4,4',5-PeCB	CB 126	-	0,1
3,3',4,4',5,5'-HxCB	CB 169	-	0,01
2,3,3',4,4'-PeCB	CB 105	-	0,0001
2,3,4,4',5-PeCB	CB 114	-	0,0005
2,3',4,4',5-PeCB	CB 118	-	0,0001
2',3,4,4',5-PeCB	CB 123	-	0,0001
2,3,3',4,4',5-HxCB	CB 156	-	0,0005
2,3,3',4,4',5'-HxCB	CB 157	-	0,0005
2,3',4,4',5,5'-HxCB	CB 167	-	0,00001
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	CB 189	-	0,0001

\* valeur modifiée entre 1989 et 1998

Tableau 1 - Facteurs d'équivalence de toxicité (TEF) des PCDD, PCDF et PCB de type dioxine de 1989 (OTAN) et 1998 (OMS) pour les mammifères

La toxicité de chaque congénère est définie par un facteur d'équivalent toxique ou TEF (Tableau 1). A la molécule la plus toxique 2,3,7,8-TCDD est attribué le facteur TEF maximal de 1.

Pour un mélange donné, le calcul en équivalent toxique (TEQ) consiste à multiplier la concentration de chaque molécule par son facteur d'équivalent toxique (TEF) puis à sommer l'ensemble des contributions :

$$\text{Concentration en TEQ} = \sum_{1-17} (\text{TEF} \times \text{concentration massique du PCDD/F})$$

En fonction de l'avancée des connaissances, le TEF de chaque congénère peut être réévalué tous les 5 ans. A l'heure actuelle, deux mises à jour principales des valeurs se sont succédées : le système de l'OTAN de 1989 pour les PCDD/F et celui de l'OMS en 1998 qui a modifié les TEF de 3 molécules de PCDD/F et étendu le mode de calcul aux 12 PCB de type dioxine (Tableau 1).

La concentration des mélanges de dioxines-furannes dans les sols est généralement exprimée en ng/kg de matière sèche MS ( $10^{-9}$  g).

La toxicité est exprimée en :

- ng I-TEQ/kg ou ng OTAN-TEQ/kg MS lorsque le facteur de toxicité de chaque molécule se rapporte aux valeurs OTAN (1989)
- ng OMS-TEQ/kg MS lorsque le facteur de toxicité de chaque molécule se rapporte aux valeurs OMS (1998), le calcul par rapport aux 12 PCB de type dioxine est ajouté le cas échéant.

### 2.1.3. Molécules dites homologues

Molécules	Abbréviation	Nombre	Nombre de congénères toxiques de la famille
Dioxines tétrachlorées	TCDD	22	1
Dioxines pentachlorées	PCDD	14	1
Dioxines hexachlorées	HxCDD	10	3
Dioxines heptachlorées	HpCDD	2	1
Dioxines octachlorées	OCDD	1	1
Furannes tétrachlorées	TCDF	38	1
Furannes pentachlorées	PCDF	28	2
Furannes hexachlorées	HxCDF	16	4
Furannes heptachlorées	HpCDF	4	2
Furannes octachlorées	OCDF	1	1
Total		136	17

Tableau 2 – Liste et nombre des homologues de dioxines et furannes tétra à octachlorées

Dans la série des dioxines, les homologues désignent l'ensemble des molécules tétra à octa-chlorées, au nombre de 136, et non plus seulement les congénères ciblés comme toxiques. La concentration totale de ces molécules est exprimée en ng/kg MS. Leur liste est décrite dans le Tableau 2.

#### 2.1.4. Présentation des résultats sous forme de 3 profils

Une analyse type de sols peut, notamment, être représentée vis-à-vis des trois profils :

- de concentration des 17 congénères,
- de toxicité, calculé dans les deux systèmes OTAN et OMS,
- de concentration des homologues (molécules tétra à octachlorées).

Ces trois profils sont représentés ci-après en pourcentages relatifs pour une analyse récupérée au cours de cette étude. Il s'agit d'un sol situé à proximité d'un incinérateur, sous zone d'influence théorique maximale. Ses caractéristiques sont résumées dans le Tableau 3. A ce stade, il est important de noter qu'il est primordial de préciser le nom de la variable étudiée et l'unité associée pour éviter toute confusion dans un traitement ultérieur de l'information.

Variable	valeur	unité
Somme des concentrations des molécules tétra- à octachlorées (homologues)	236,86	ng/kg MS
Somme des concentrations des 17 congénères toxiques	123,72	ng/kg MS
Toxicité OTAN	2,32	ng TEQ-OTAN/kg MS
Toxicité OMS	2,46	ng TEQ-OMS/kg MS

*Tableau 3 – Caractéristiques du sol type dont les profils sont présentés ci-après*

Le profil des concentrations relatives des 17 dioxines-furannes met en évidence la prédominance des molécules les plus chlorées : hepta et octa-dioxines, hexa et octa-furannes, repérées par des flèches sur la Figure 2a. Le pourcentage cumulé de ces 5 molécules est ici proche de 90%.

La représentation relative de ces même données sous forme de données toxiques (Figure 2b) met en évidence des profils nettement différents, où on note que la part de chaque molécule est importante dans le calcul de la toxicité. Ceci est à relier à la variabilité des facteurs toxiques de chaque molécule variant de 1 à 0,0001. De plus, le passage d'un système à l'autre (OTAN/OMS) mène logiquement à une distinction des 3 molécules dont le TEF a changé (flèches blanches).



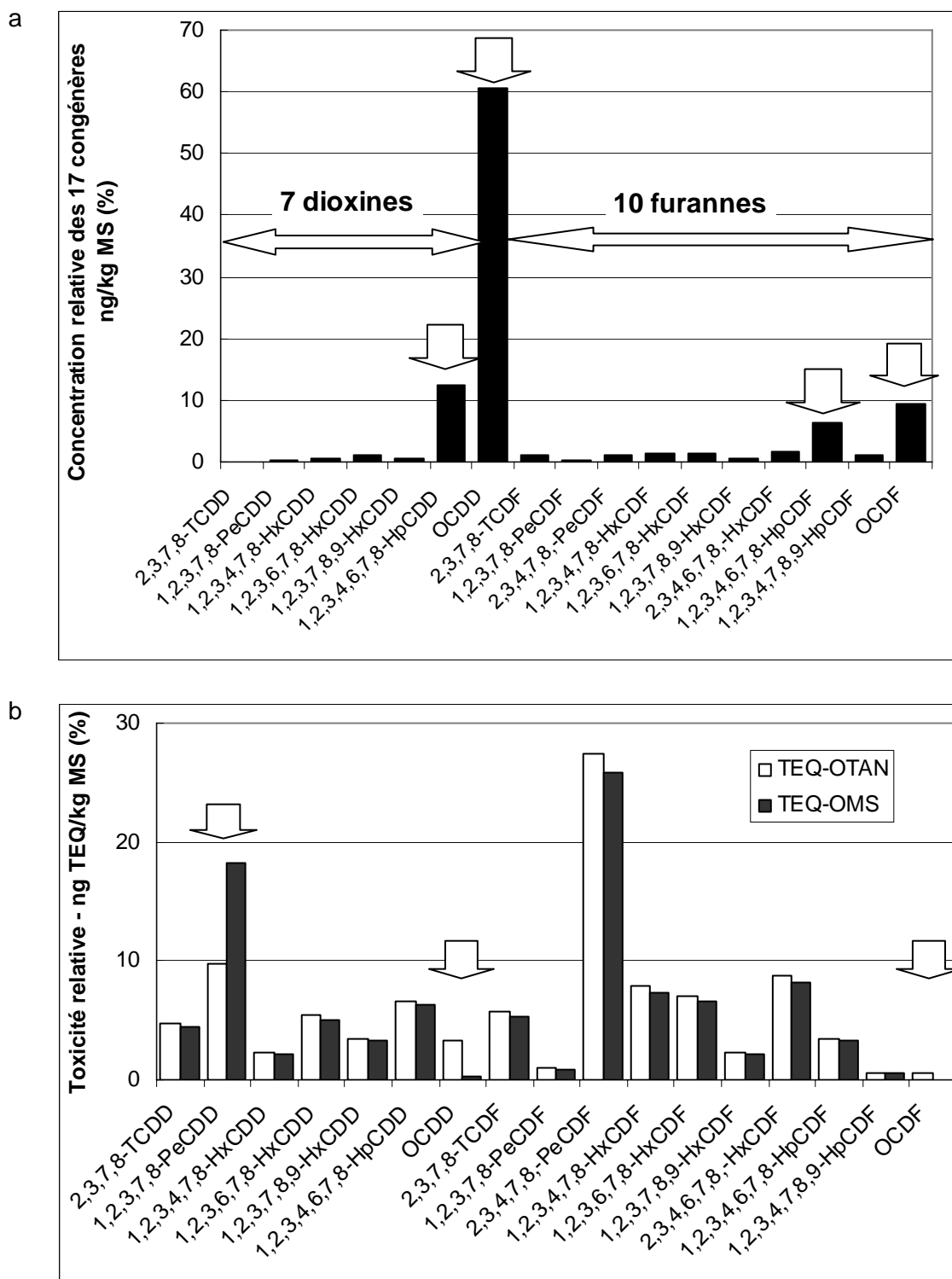


Figure 2 – Profil type a) de concentrations des 17 dioxines-furannes d'un sol (voisinage UIOM),  
b) de toxicité du même sol calculée dans les systèmes OTAN et OMS

Le fait que la part relative de chaque congénère est importante dans le calcul de la toxicité du mélange met en lumière l'incidence de limites de quantification, notamment pour les congénères à fort TEF. A ce sujet il est à noter que le rapport reprend par la suite le terme limite de détection (LD) et non limite de quantification, par souci d'homogénéité avec les résultats consultés, même s'il est inexact<sup>1</sup>.

Ainsi, une ou plusieurs concentrations de congénères fixées à 0 (pas de prise en compte) ou fixée à la valeur limite (prise en compte du LD) peut se traduire par des écarts importants, surtout pour des faibles valeurs de TEQ. Ce point est discuté plus en détail pour l'ensemble des analyses dans la partie résultats.

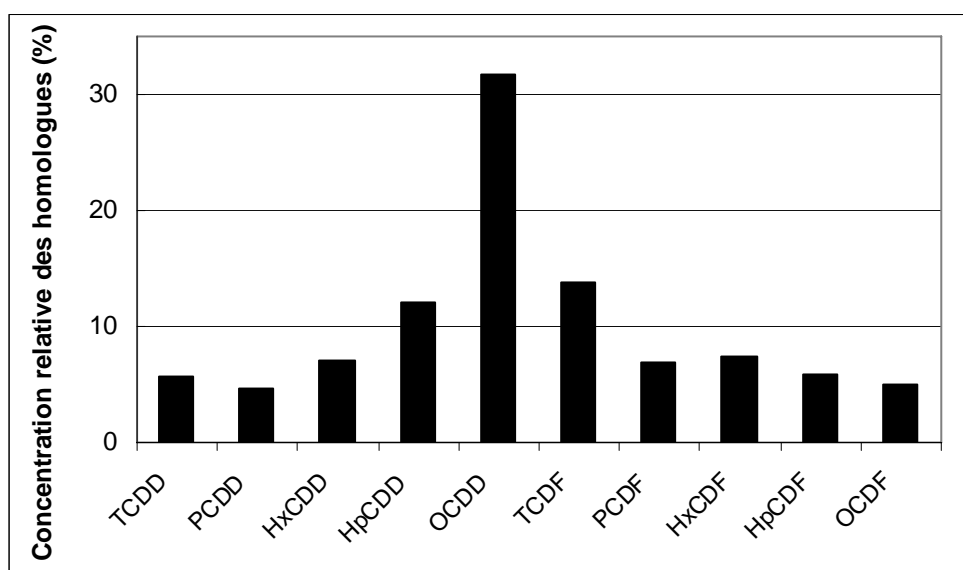


Figure 3 – Profil des homologues d'un sol (voisinage d'un sol)

Enfin la représentation du profil des homologues fournit un autre profil (Figure 3). Ici il met en avant la part importante des dioxines au moins tétra-chlorées (61,2%) par rapport aux furannes au moins tétra-chlorées (38,8%).

## 2.2. DONNEES ACTUALISEES DES EMISSIONS

Le cumul des émissions dans l'air en France Métropolitaine entre 1990 et 2004 s'élève à 16 795 g I-TEQ, soit une moyenne de 1,12 kg I-TEQ/an (données CITEPA, 2005). En

<sup>1</sup>Définitions selon la norme NF XP T 90 210. **Limite de détection** : plus petite quantité d'un analyte à examiner dans un échantillon, pouvant être détectée et considérée comme différente de la valeur du blanc (avec une probabilité donnée), mais non nécessairement quantifiée. **Limite de quantification** : plus petite grandeur d'un analyte à examiner dans un échantillon, pouvant être déterminée quantitativement dans des conditions expérimentales décrites dans la méthode avec une variabilité définie (coefficient de variation déterminé).

2004, les trois secteurs majeurs qui ont contribué à l'émission des 310 g I-TEQ sont, le secteur de l'énergie qui inclut l'incinération avec récupération énergétique (79%), l'incinération des déchets (29 %) et la production des métaux (15%).

Tout ou partie de ces PCDD/F peut se retrouver dans les récepteurs que sont l'air, les sols et sédiments, les végétaux ainsi que les animaux et se transmettre dans la chaîne alimentaire.

A noter que ces chiffres sous-estiment globalement la quantité cumulée du fait de l'absence de données avant 1990 ainsi que l'absence de déclarations annuelles de l'activité sidérurgie entre 1990 et 1998.

Il est à noter que l'inventaire départementalisé de ces émissions atmosphériques, pour l'année 2000, montre de grandes disparités entre les départements (graphe non fourni). En effet, les données s'échelonnent entre 200 mg I-TEQ et 38 000 mg I-TEQ (CITEPA, 2005).

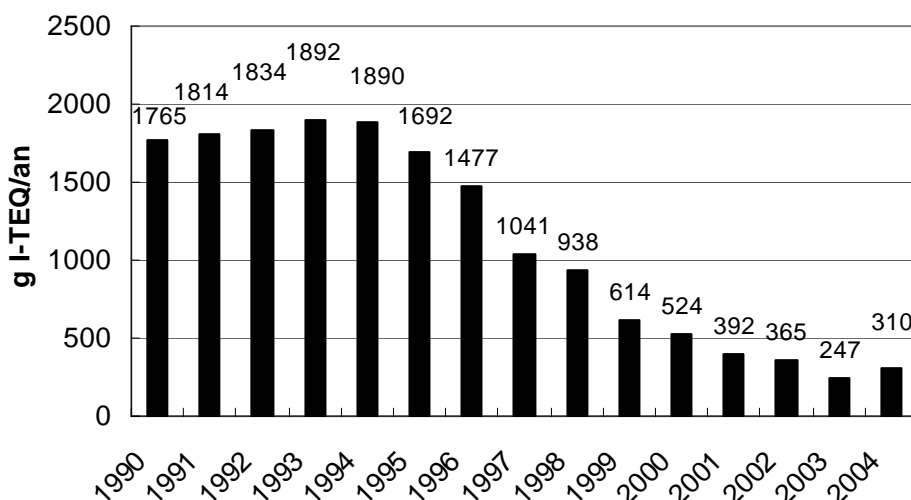


Figure 4 – Emissions des PCDD/F dans l'air en France de 1990 à 2004 (CITEPA, déc2005)

## 2.3. CONSULTATION DES BASES BASIAS ET BASOL

Les bases BASIAS et BASOL ont été consultées afin de rechercher au sein des inventaires nationaux l'existence de pollution des sols par des dioxines ou furannes.

### 2.3.1. L'outil BASOL

#### a) Description rapide

La base de données gérée et diffusée par le MEDD appelée « Base de données BASOL sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelle une action des

pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif ». Elle constitue le tableau de bord des actions menées par l'administration et les responsables des sites pour prévenir les risques et réhabiliter les sites. Elle est consultable sur <http://basol.ecologie.gouv.fr/accueil.php>.

L'ensemble des informations disponibles sur les sites est composé de sept grandes rubriques qui structurent les données. Les données sur les dioxines et furannes sont susceptibles d'être stockées dans la partie C 'Caractérisation du site' où une liste des principaux polluants constatés dans les sols ou les nappes est fournie (métaux, hydrocarbures, PCB-PCT, etc). Il n'existe pas de rubrique spécifique aux dioxines et furannes mais simplement une rubrique « Autre » qui permet de saisir des polluants au format « texte ».

### **b) Consultation BASOL**

Deux types d'outils BASOL ont été consultés dans le cadre de l'étude :

- les données mises à disposition sur Internet (consultation via le Web), où actuellement 3727 sites sont inventoriés,
- la base de données sous sa version Microsoft® Access® 97, fournie au BRGM par le MEDD. L'intérêt de cette seconde version est de permettre l'accès aux tables afin de n'extraire que les critères utiles à l'étude. L'outil est régulièrement mis à jour. La version consultée est celle du 28 septembre 2004 qui inventorie 3805 sites.

Le résultat de la consultation montre qu'aucun site ne répertorie de polluants de type dioxines-furannes, contrairement aux pollutions par les PCB (Tableau 4).

	<b>Polluants = « PCB-PCT »</b>	<b>Autre polluant = « dioxines » et/ou « furanes »</b>
Version Web (06/10/2005)	191 sites	Pas de site
Outil Microsoft® Access® 97 (28/09/2004)	193 sites	Pas de site

*Tableau 4 – Consultation base BASOL*

### **2.3.2. L'outil BASIAS**

#### **a) Description**

BASIAS est la base de données relative aux anciens sites industriels et activités de service et est consultable sur Internet à l'adresse : <http://basias.brgm.fr>. Sa structure a été élaborée par le BRGM à la demande du Ministère de l'Environnement. Les données récoltées au cours des diverses tâches de l'inventaire sont toutes conservées dans cette base nationale unique, homogène pour toutes les régions et cohérente par

rapport à la démarche. Le nombre important des champs de cette base permet d'engranger l'information au cours du dépouillement des différentes sources d'information (archives, cartes,...).

### ***b) Consultation BASIAS***

En ce qui concerne les données relatives aux dioxines, BASIAS utilise un lexique « produits » dans lequel sont codifiés les grandes familles des produits et substances qui peuvent être utilisées ou générés sur un site industriel. Le code produit se rapportant aux dioxines et furannes est « D17 » intitulé « Polychlorobiphényles et polychlorotriphényles (PCB, PCT, dioxines, furanes) ». La base a été consultée dans sa version sous ORACLE®, afin de réaliser des recherches spécifiques.

Il est à noter que pour qu'un produit soit noté dans la base de données BASIAS il faut qu'il soit indiqué dans les documents des archives consultées ; on ne procède à aucune interprétation à partir des codes d'activité.

La base, consultée le 14/10/2005, recense 163 643 sites sur 67 départements. La recherche à partir du code produit D17 fournit 540 sites dont notamment 263 transformateurs (PCB, pyralène,...), 2 usines d'incinération et atelier de combustion, 6 décharges de déchets industriels spéciaux, 7 imprégnation du bois.

L'étude n'a pas été poursuivie plus en avant.



## 3. Collecte des informations

### 3.1. DEROULEMENT DE L'ENQUETE

L'étude proprement dite a consisté à collecter le maximum d'analyses de dioxines, dans les sols et les sédiments, disponibles :

- autour des usines d'incinération (dont les points zéro désormais effectués avant l'implantation de toute nouvelle installation)
- autour de toutes autres installations susceptibles de générer des dioxines,
- dans d'autres contextes et notamment estimation du bruit de fond.

L'ensemble des DRIRE métropolitaines (21 au total, hors Guyane-Guadeloupe-Martinique, Réunion et Corse) a été contacté entre avril et août 2005 avec mandat de la sous-direction des produits et des déchets du MEDD afin de récolter :

- les analyses de teneurs en dioxines disponibles dans les sols sous forme de bulletin d'analyse complet des 17 congénères (voire des homologues),
- ainsi que des informations complémentaires sur la localisation des points par rapport à la source potentielle d'émission, le mode d'échantillonnage, la profondeur investiguée.

**Il est à noter qu'il est important de pouvoir disposer des analyses de toutes les molécules du mélange de dioxines pour pouvoir, d'une part homogénéiser les données entre elles vis à vis du calcul de la toxicité TEQ (systèmes TEQ et OMS), et de réaliser d'autre part une étude statistique (de type analyse en composante principale - ACP).**

Les données ont été transmises par courrier, courriel ou récupérées, pour les plus gros dossiers, lors d'une visite à la DRIRE (4 régions). De plus, certains documents ont été mis à disposition directement par le service MEDD/DPPR. Il s'agit exclusivement de données sous forme papier. Afin de les traiter plus en avant les données ont donc été récoltées dans une base de travail de type Microsoft® Access® 97 et ont ensuite été validées par calcul direct du TEQ pour s'affranchir des erreurs de saisie mais aussi éliminer les analyses incohérentes.

### 3.2. DETAIL DES INFORMATIONS COLLECTEES

Dans le détail, deux types d'informations ont été compilés :

- les données sur le site autour duquel les analyses ont été réalisées

- le résultat des analyses de sols elles-mêmes.

### **3.2.1. Sur le lieu de l'analyse**

Les informations collectées au cours de l'enquête sur le lieu de l'analyse sont listées ci-dessous :

- Commune
- Région
- Type d'activité : incinérateur, aciérie, ou autres...
- Date de mise en service du site ;
- La hauteur de la cheminée (si existante) ;
- Des observations diverses sur le site, tel que l'arrêt du site pendant une période ou la mise en place de nouveaux systèmes d'épuration des fumées, etc ;
- La ou les référence(s) du rapport ayant permis d'obtenir les informations ci-dessus .

### **3.2.2. Sur les analyses de sols**

Les données concernent le mode de prélèvement des échantillons et l'analyse proprement dite.

Les informations collectées sur le prélèvement de chaque analyse de sol (ou sédiment voire sable) concernent :

- Dans le cas de sites en zone probable d'influence, la localisation du prélèvement par rapport à la source probable (selon les vents dominants ; distance),
- En l'absence de source identifiée, le type d'environnement (urbain, rural, forêt,...)
- La date du prélèvement
- Des informations sur le mode d'échantillonnage des sols : défini suite à une étude des émissions (définition des vents dominants, etc.)
- La profondeur investiguée,
- La surface d'échantillonnage (nombre d'analyses par surface) ;
- La teneur en eau du sol (souvent indiquée dans l'analyse) ;

D'autre part, les données concernant les analyses elles-mêmes :



- Le type de matériau analysé (sols ou sédiments voire sable) ;
- Des informations complémentaires concernant le sol (exemple : sol de type argileux ou sableux, présence ou non de végétaux)
- Le nom du laboratoire ayant réalisé les analyses
- La date de l'analyse
- Le nom (la description) du protocole suivi par le laboratoire pour l'analyse ;
- La ou les référence(s) du rapport ayant permis d'obtenir les informations ci-dessus,
- Les concentrations de chacun des 17 congénères et l'unité utilisée (classiquement ng/kg MS)
- La toxicité du mélange et l'unité associée (TEQ-OTAN ou TEQ-OMS) avec et/ou prise en compte de la limite de détection
- Les concentrations des 10 homologues si disponibles
- Si l'analyse de PCB de type dioxine a été réalisée (Oui / Non)

### **3.3. CONSULTATION DE DOCUMENTS**

#### **3.3.1. Nature des informations - méthodologie**

L'information est souvent obtenue à la lecture des rapport d'études (étude d'impact, suivi environnemental, dossier d'autorisation d'exploiter, etc.). Il est à noter que l'information concernant l'échantillonnage est parfois disjointe du rapport d'étude transmis à la DRIRE par les bureaux d'étude ; dans ces cas nous n'avons pas eu l'information.

Une majorité de documents est cependant très complète avec suivi d'une méthodologie détaillée dont les principales étapes sont :

- La modélisation de la dispersion des PCDD/F émis par les installations en fonction de la rose des vents,
- L'identification des zones sous l'impact du panache, à surveiller plus particulièrement,
- La description d'un plan d'échantillonnage des sols à des distances croissantes de l'émetteur, sous influence et hors influence théorique,
- La localisation sur une carte des points d'échantillonnage avec ou non calcul de la distance à l'émetteur,

- L'identification des échantillons prélevés (environnement et usage du sol), dont un exemple de fiche type est proposé en annexe 1,
- Les résultats d'analyses par un laboratoire agréé (détails ci-dessous).

Pour les dossiers les plus complets, les données collectées comportent les rapports d'analyses qui rassemblent les concentrations des 17 congénères ainsi que les concentrations des 10 homologues. L'unité est généralement le ng/kg de matière sèche (MS). Un fichier résultat type est reporté en annexe 2.

### **3.3.2. Discussion par rapport aux données analytiques**

Concernant les rapports d'analyses complets, il apparaît important de noter les points suivants qui peuvent induire en erreur le lecteur non averti.

#### ***Ordre de présentation des données et unité***

L'ordre de présentation des données des congénères varie parfois ce qui peut prêter à confusion quand à l'importance d'un congénère par rapport à un autre.

L'unité de concentration des dioxines dans les sols est généralement le ng/kg MS mais le pg/kg est parfois utilisé. Quelques données sur produit humide et non sec ont également été collectées.

#### ***PCB de type dioxine***

Aucun des rapports consultés ne rapporte de données relatives aux PCB de type dioxine.

#### ***Calcul de la toxicité***

Dans les rapports, les données de toxicité sont calculées selon les deux principaux systèmes de référence : soit OTAN (1989), soit OMS pour les mammifères (1998). Dans quelques cas cette information est malheureusement manquante, ce qui a limité tout traitement ultérieur.

Il est à noter que le fait de synthétiser l'information sur un mélange dioxines-furannes par ce chiffre de toxicité est pratique d'usage. Ce mode de représentation n'en demeure pas moins simplificateur. Notamment, il est important de souligner que la seule façon de pouvoir comparer des données entre elles est de disposer des données brutes de concentration de chaque congénère afin d'effectuer ensuite le calcul dans le système choisi : une valeur de toxicité calculée dans le système OTAN ne pourra être transcrite dans le système OMS si les données brutes sont indisponibles. Et inversement...

Concernant le choix du système de calcul TEQ dans les sols, aucune tendance nette n'est apparue lors de la consultation des rapports ; le choix dépend plutôt du laboratoire que de la date plus ou moins récente de l'analyse. De plus, l'abréviation

internationale I-TEQ ne fait malheureusement pas forcément référence au système OTAN comme cela est généralement admis (notamment pour les mesures d'émissions).

Scientifiquement il serait plus juste de prendre en compte le système OMS pour le calcul de la toxicité puisqu'il répercute l'information la plus récente en matière de recherche sur la toxicité. Cependant, les données PCB de type dioxine n'existent pas, ce qui sous-estime a priori la valeur de toxicité.

### **Cas des limites de quantification (ou « de détection »)**

Enfin, le calcul de la toxicité reporté prend en compte ou non les limites de quantification. Ces dernières sont généralement décrites comme des limites de détection par les laboratoires sous l'abréviation LD. Par souci d'homogénéité nous reprenons ce terme même s'il est inexact.

Selon les laboratoires, les limites de quantification sont très variables ; d'une étude à l'autre elles peuvent varier d'un facteur 20, 100 voire 1000. Il s'ensuit que la qualité des résultats est très dissemblable et qu'il convient d'être vigilant à l'écart avec et sans prise en compte de la limite. Les méthodes de « screening » utilisant des appareillages de moins grande résolution se développent, notamment pour réduire le coût des analyses, ce qui a pour conséquence l'augmentation des limites de détection. Dans ces cas les analyses ne sont pas toujours raisonnablement intégrables dans une base cherchant à extraire des données statistiques.

### **3.3.3. Exploitation des informations**

Comme décrit précédemment, l'ensemble des données transmises correspondent à des données papier. Il a donc été nécessaire de vérifier la validité, d'une part, des données transmises (calcul du TEQ par rapport à la concentration des 17 congénères) et, d'autre part, des données saisies.

Dans le but d'exploiter au maximum les données collectées, nous nous sommes attachés à classer les analyses de sols et sédiments en fonction du type d'environnement, de l'usage du sol, de l'influence théorique par rapport à la source présumée et de la distance à cet émetteur.

<b>Paramètre</b>	<b>Lexique</b>
Environnement	Rural, urbain, industriel, inconnu
Usage	Bois-forêt, prairie, agricole, jardin cultivé, parc-pelouse, autre, inconnu
Influence théorique	Sous influence, hors influence, pas de source industrielle connue, inconnu
Distance à l'émetteur	0-500 m ; 501- 2000 m ; 2001- 4000 m ; > 4001 m, inconnu

*Tableau 5 – Lexiques utilisés dans le traitement des données sols et sédiments*

Un lexique a été mis en place pour classer chaque paramètre en 4 à 8 catégories (Tableau 5). Il est à noter que la classification proprement dite a nécessité de l'interprétation et du traitement lorsque l'information n'était pas indiquée explicitement dans les documents. Notamment, les échelles de certaines cartes ont été évaluées et les distances approximatives à l'émetteur ont été calculées à partir de la localisation du point d'échantillonnage sur des cartes issues du site Internet <http://www.mappy.fr/>.

### 3.4. BILAN DE L'ENQUETE

#### 3.4.1. Nombre d'analyses par activité

Un total de 190 analyses complètes, précisant au minimum les concentrations des 17 congénères et leur unité, a été collecté. Ces analyses correspondent à 183 sols, 6 sédiments et un sable répartis sur 29 sites et 16 régions (Figure 5). Sur les 190 analyses totales récoltées, 3 données ont dû être rejetées dans le traitement ultérieur du fait d'une incohérence entre les données de concentrations transmises et le TEQ calculé par nos soins.

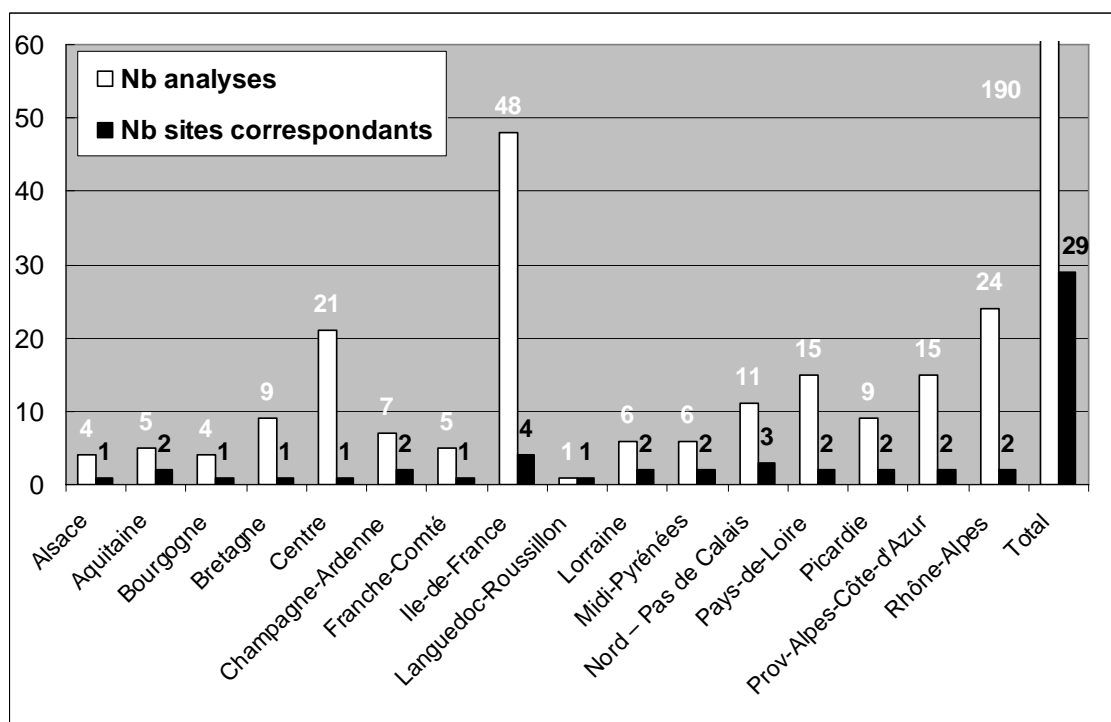


Figure 5 – Nombre d'analyses complètes collectées, par site et par région

Par ailleurs, 25 analyses précisant uniquement la donnée TEQ, soit dans le système OTAN soit dans le système OMS, ont été collectées. Le fait de ne disposer que de la donnée toxicité dans un seul système empêche la transcription dans l'autre système. Faute d'homogénéisation possible, ces données n'ont donc été que partiellement

exploitées. Il s'ensuit que le nombre d'analyses traitées au cas par cas fluctue dans les graphes et tableaux présentés ci-après.

Enfin, 46 analyses sans précision du mode de calcul OTAN ou OMS n'ont pas été exploitées dans le traitement statistique ultérieur.

Il est à noter que ce bilan ne correspond pas à la totalité des analyses réalisées sur le territoire, seules les DRIRE ayant été contactées. De plus, un certain nombre d'analyses, en cours de réalisation dans plusieurs régions, n'ont pu être prises en compte dans ce rapport.

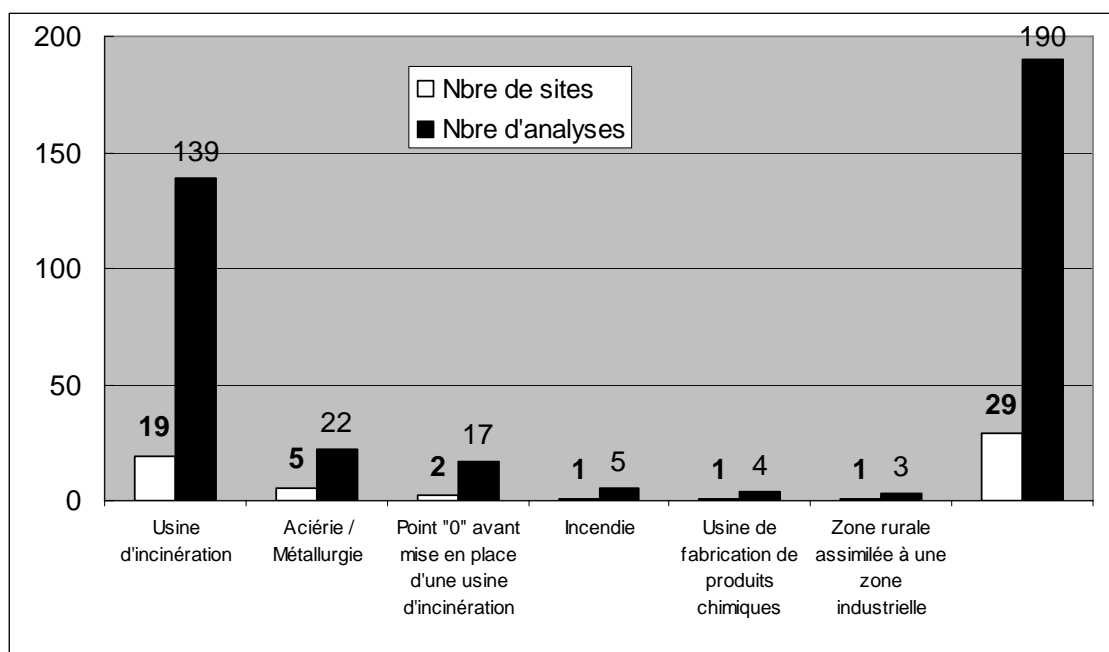


Figure 6 – Nombre d'analyses complètes par secteurs d'activité

Les analyses correspondent principalement à des environnements proches d'UIOM (73%). Viennent ensuite les mesures associées à des activités de la sidérurgie et les points zéro (Figure 6). A noter que les 6 analyses complètes de sédiments correspondent à des prélèvements situés au voisinage d'une UIOM et d'un site métallurgique.

### 3.4.2. Date des analyses

L'ensemble des analyses collectées concerne des prélèvements réalisés entre avril 1998 et août 2005, la majorité ayant été réalisée au cours des 2 dernières années. Du fait du temps de demi-vie (temps au bout duquel leur concentration est divisée par 2) allant jusqu'à plusieurs dizaines d'années pour certains congénères (Bodéan et Garrido, 2004), il s'ensuit que la question de la dégradation biotique et abiotique ne peut être discutée à partir de ces données.

### 3.4.3. Informations associées aux analyses

Le Tableau 6 synthétise les informations complémentaires disponibles pour chaque analyse.

Les informations concernant l'environnement, l'influence et la distance à l'émetteur ont été largement collectées (environ 90%). Par contre l'usage des sols est moins reporté (inconnu à 42%). Les informations sur l'échantillonnage, en terme de profondeur et de surface investiguée, concernent 67 et 44% respectivement des analyses complètes.

Données		Analyses complètes		Données TEQ seules	
		nombre	%	Nombre	%
Total		190	100%	25	100%
Matériau	Sol	183	96%	15	60%
	Sédiment	6	3%	8	32%
	Sable	1	1%	2	8%
Activité	UIOM	139	73%	23	92%
	Métallurgie	22	12%	2	8%
	Points « zéro »	17	9%	-	-
	Autres	12	6%	-	-
Echantillonnage	Profondeur	127	67%	20	80%
	Surface	84	44%	10	40%
Environnement	Rural	78	41%	9	36%
	Urbain	73	38%	14	56%
	Industriel	22	12%	1	4%
	Inconnu	17	9%	1	4%
Usage	Bois-forêt	4	2%	0	-
	Prairie	25	13%	1	4%
	Agricole	28	15%	2	8%
	Jardin cultivé	19	10%	1	4%
	Parc-pelouse	11	6%	4	16%
	Autre	23	12%	16	64%
	Inconnu	80	42%	1	4%
Influence	Sous influence	125	66%	19	76%
	Hors influence	28	15%	6	24%
	Pas de source industrielle connue	17	9%	0	-
	Inconnue	20	11%	0	-
Distance	0-500 m	40	21%	7	28%
	501- 2000 m	70	37%	13	52%
	2001- 4000 m	39	21%	0	-
	> 4001 m	13	7%	4	16%
	Sans objet (pas de source industrielle)	14	7%	0	-
	inconnue	14	7%	1	4%

Tableau 6 – Statistiques des Informations complémentaires collectées sur les analyses

## 4. Teneurs en dioxines dans les sols français

### 4.1. MODE DE PRESENTATION STATISTIQUE

#### 4.1.1. Boîte de Whisker

La méthode de description des distributions de données qui utilise la moyenne et l'écart type est adaptée aux distributions symétriques dites normales. Le fait que dans nos données il existe des points « extrêmes » est en faveur de la représentation type boîte de Whisker ou boîte « à moustaches » (Mc Gill et al., 1978).

Cette méthode est très pratique pour interpréter la distribution de données non symétriques. Elle représente schématiquement les informations concernant 5 paramètres clefs : le minimum, le maximum, la médiane, le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>ème</sup> quartiles de la distribution ce qui permet de visualiser rapidement le centre, la forme de la distribution et son étendue. Ce mode de représentation est bien adapté pour comparer des distributions entre elles.

Les données, classées par ordre croissant, sont partagées en quatre parts égales, chacune en contenant donc 25%. La médiane est la valeur centrale de la distribution (50% des données). Le premier quartile est la valeur centrale de la première moitié des données (25%) et le 3<sup>ème</sup> quartile (75%) est la valeur centrale de la seconde moitié des données.

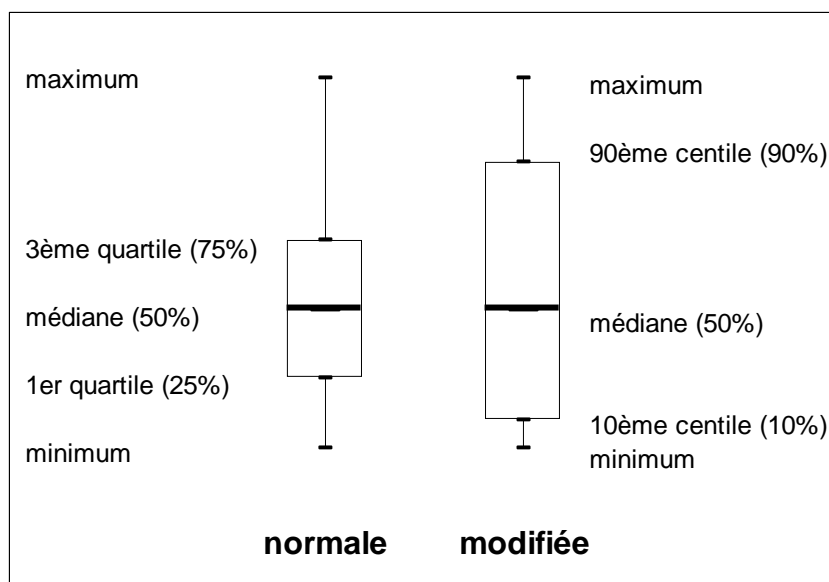


Figure 7 – Représentation de données statistiques selon la boîte de Whisker normale et modifiée

En Allemagne le groupe d'experts qui travaille depuis 1992 sur la base de données DIOXINS utilise une version modifiée de la boîte de Whisker pour lesquels les 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles sont remplacés par les 10<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> centiles soit 10 et 90% des données (DIOXINS, 2001).

Les deux modes de représentation sont synthétisés sur la Figure 7 pour un même groupe de données. Nous reprenons par la suite ces deux modes de présentation, en précisant de plus le nombre d'analyses traitées dans chaque contexte selon la Figure 8. Pour chaque ensemble de données, dont le nombre est précisé sur l'axe des abscisses, la figure présente, à gauche la boîte normale, à droite la boîte modifiée avec au centre précision des valeurs minimale et maximale (soulignées, en bleu et rouge respectivement) et la médiane en grisé. De part et d'autre de chaque boîte, la valeur de 75% et 90% des données est précisée en italique (en vert).

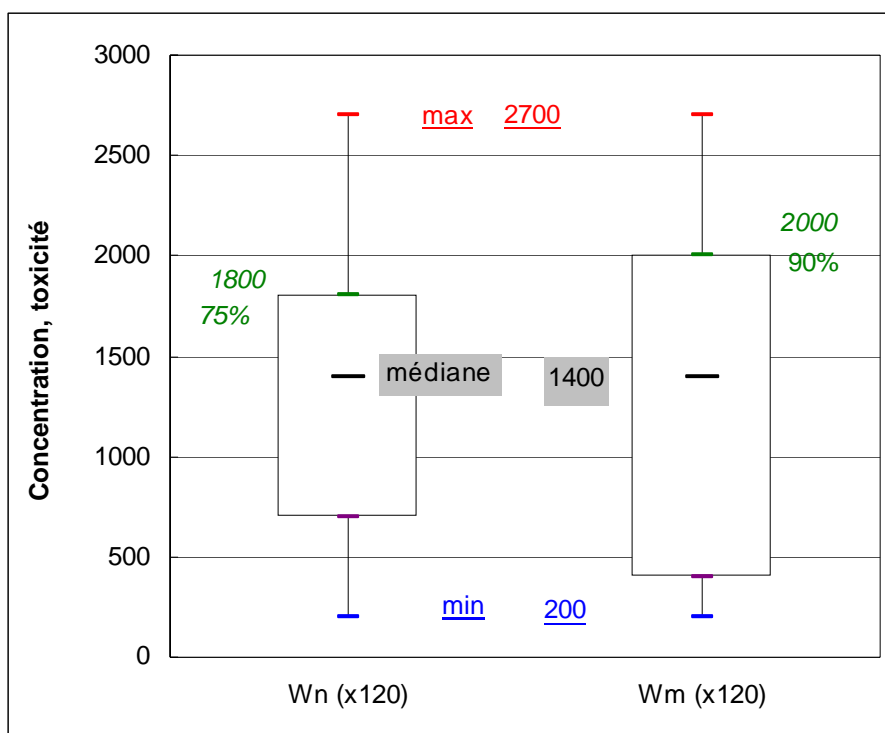


Figure 8 – Schéma de représentation des données des analyses dioxines, sous forme boîte de Whisker normale (Wn) et modifiée (Wm) et légende associée

#### 4.1.2. Analyse en composante principales (ACP) et classification ascendante hiérarchisée (CAH)

Les deux outils spécifiques ACP et CAH seront décrits plus en avant dans la suite programmée de l'étude, en relation avec le traitement associé des données complètes. Ces deux modes de calcul statistique permettent logiquement de discriminer des populations et d'en déduire des grandes tendances.



## 4.2. CONCENTRATIONS « TOTALES » DES ANALYSES

Dans cette partie, les données de concentration des homologues des 17 congénères sont discutées, sans prise en compte des limites de détection dans le calcul (LD considéré égale à 0).

Les données de concentrations en homologues des 134 analyses disponibles s'échelonnent de 21 à 24 480 ng/kg MS, avec une valeur médiane de 292 et une valeur de 90% des données de 2626, moindre d'un facteur 10 par rapport au maximum (Figure 9, Figure 10). Les données concernant les sédiments sont significativement plus faibles, mais elles représentent un poids statistique trop faible pour en tirer une quelconque tendance (4 données).

Les données de concentrations des 17 congénères des 187 analyses disponibles s'échelonnent de 9 à 18 707 ng/kg MS, avec une valeur médiane de 120 et une valeur de 90% des données de 1255, moindre d'un facteur 15 par rapport au maximum (Figure 11, Figure 12). Ces données sont logiquement un peu plus faibles que la somme précédente des homologues qui répertorie l'ensemble des molécules tétra à octachlorées. Cette affirmation n'apparaît pas dans le cas spécifique des sédiments où la prise en compte de données supplémentaires, à plus fortes teneurs, dans les statistiques, fausse le raisonnement.

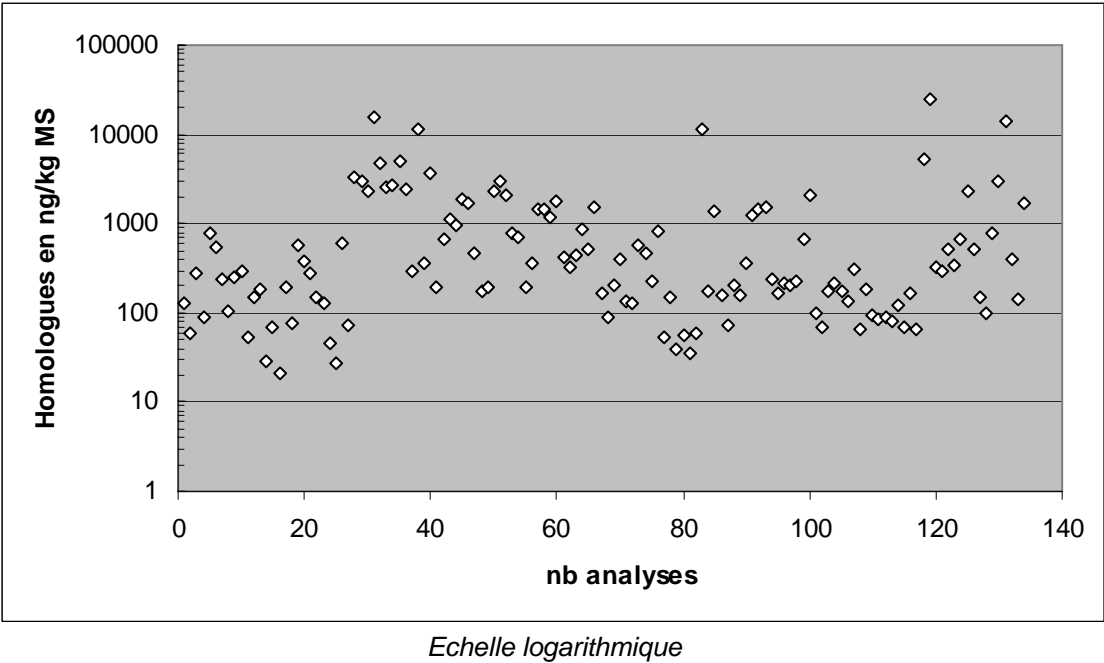


Figure 9 - Somme des concentrations des homologues (134 données)

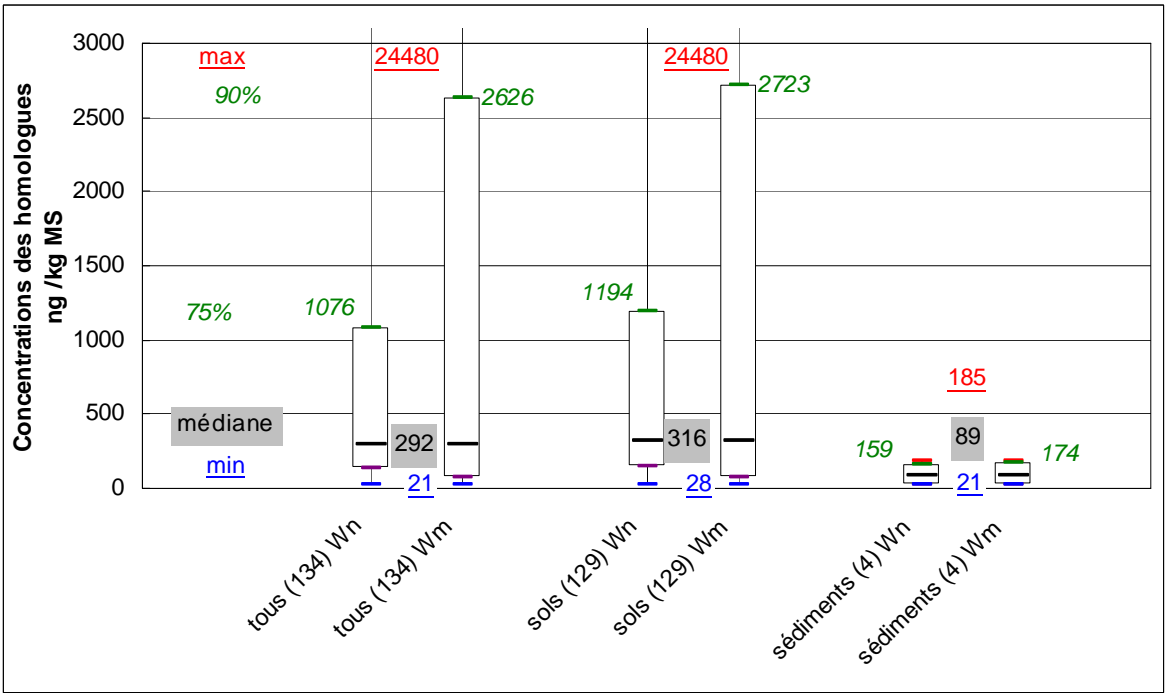


Figure 10 - Statistiques des concentrations des homologues (134 données)

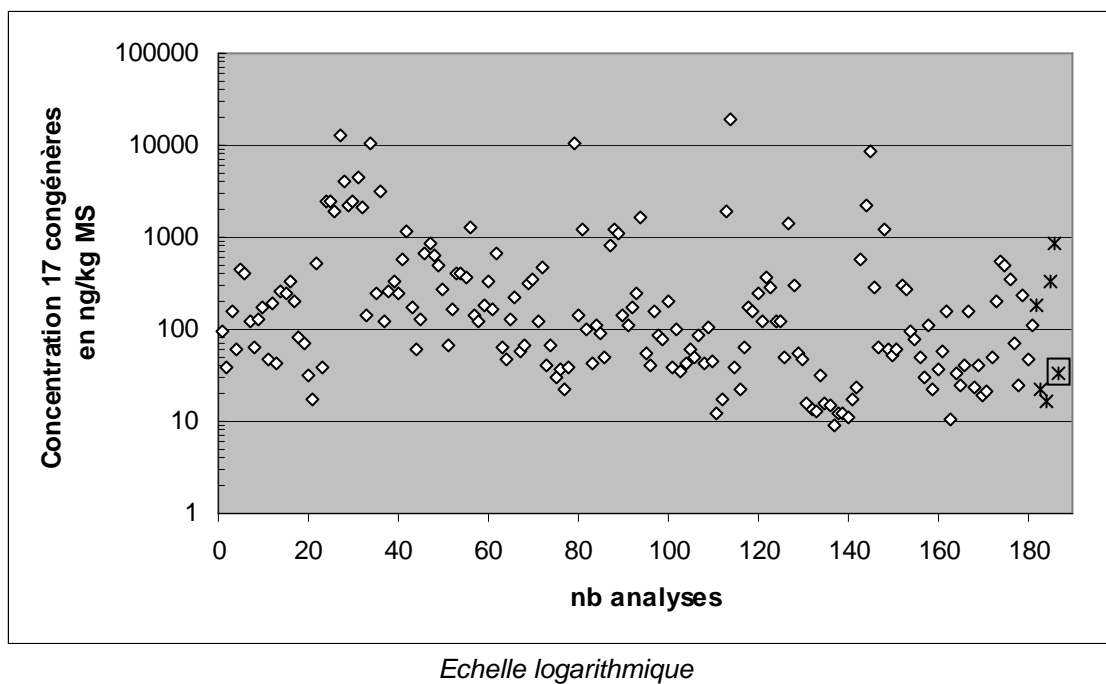


Figure 11 – Somme des concentrations des 17 congénères toxiques (187 données)

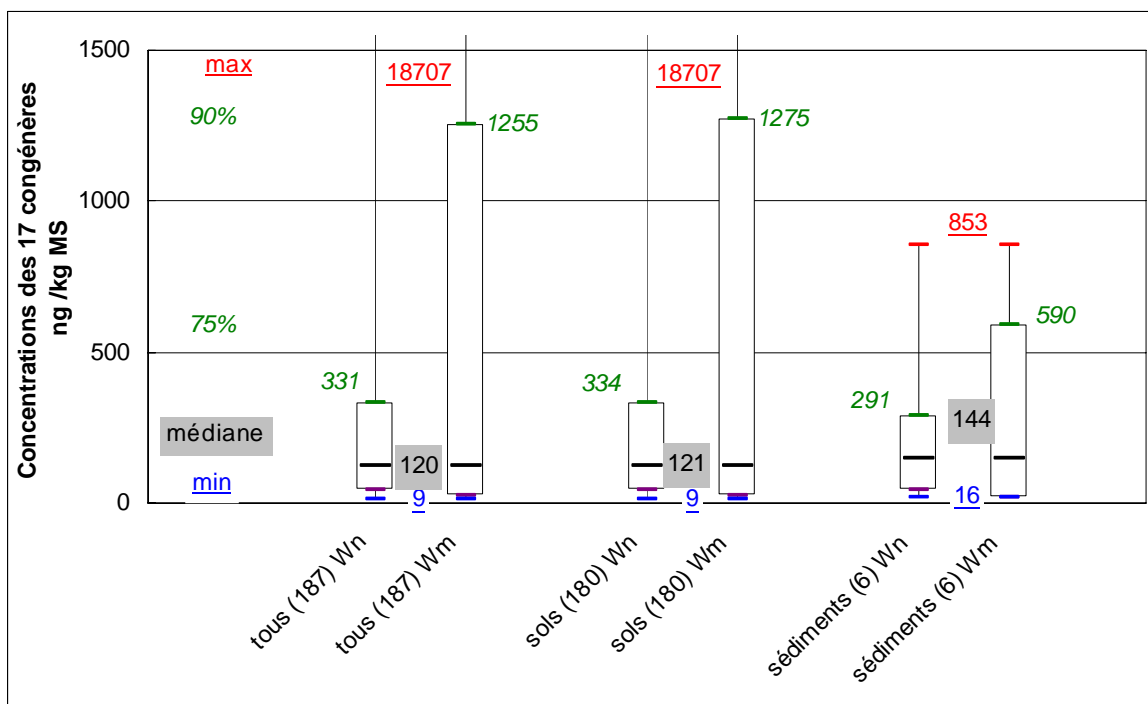


Figure 12 - Statistiques de la somme des concentrations des 17 congénères toxiques (x187)

### 4.3. TOXICITE (OTAN ET OMS)

#### 4.3.1. Sans prise en compte des limites de détection (LD supposée égale à 0)

La Figure 13 présente les données de toxicité des analyses, calculées dans les systèmes OTAN et/ou OMS selon les cas, sans prise en compte des limites de détection. Dans certains cas, faute de données brutes, il a été impossible de retranscrire les données dans l'autre système, ce qui explique le nombre différent d'analyses totales d'un calcul à l'autre.

Les 207 données de toxicité OTAN s'échelonnent de 0,01 à 180,5 ng OTAN-TEQ/kg MS, avec une valeur médiane de 1,98 et une valeur à 90% des données de 15,7 (Figure 14). Les données concernant les sédiments sont significativement plus faibles, toujours avec un poids statistique faible.

Les 192 données de toxicité OMS s'échelonnent de 0,001 à 280 ng OMS-TEQ/kg MS, avec une valeur médiane de 2,25 et une valeur à 90% des données de 19,9 (Figure 15).

La représentation, sous forme boîte de Whisker, des données statistiques de toxicité, montre une population très étalée. Ce fait se traduit par des valeurs moyennes élevées. A nouveau, la description des données à partir de la valeur « moyenne » ne se justifie pas pour représenter une population dissymétrique : en effet ces chiffres correspondent à, voire dépassent la valeur la plus forte de 75% des données. A l'opposé la donnée médiane donne une meilleure image de la population.

En résumé, sans prise en compte des limites de détection, 75% et 90% des données de toxicité, toutes analyses confondues, sont respectivement inférieures à :

- 8 et 16 ng TEQ-OTAN/kg MS,
- et 9 et 20 ng TEQ-OMS/kg MS.

Le calcul de la toxicité des mêmes analyses dans les systèmes OTAN et OMS se traduit par des variations globalement comprises entre -25 et +25%, avec quelques cas particuliers extrêmes (Figure 16). Globalement, la toxicité OMS est supérieure à la toxicité OTAN avec une médiane des écarts de 5,8%

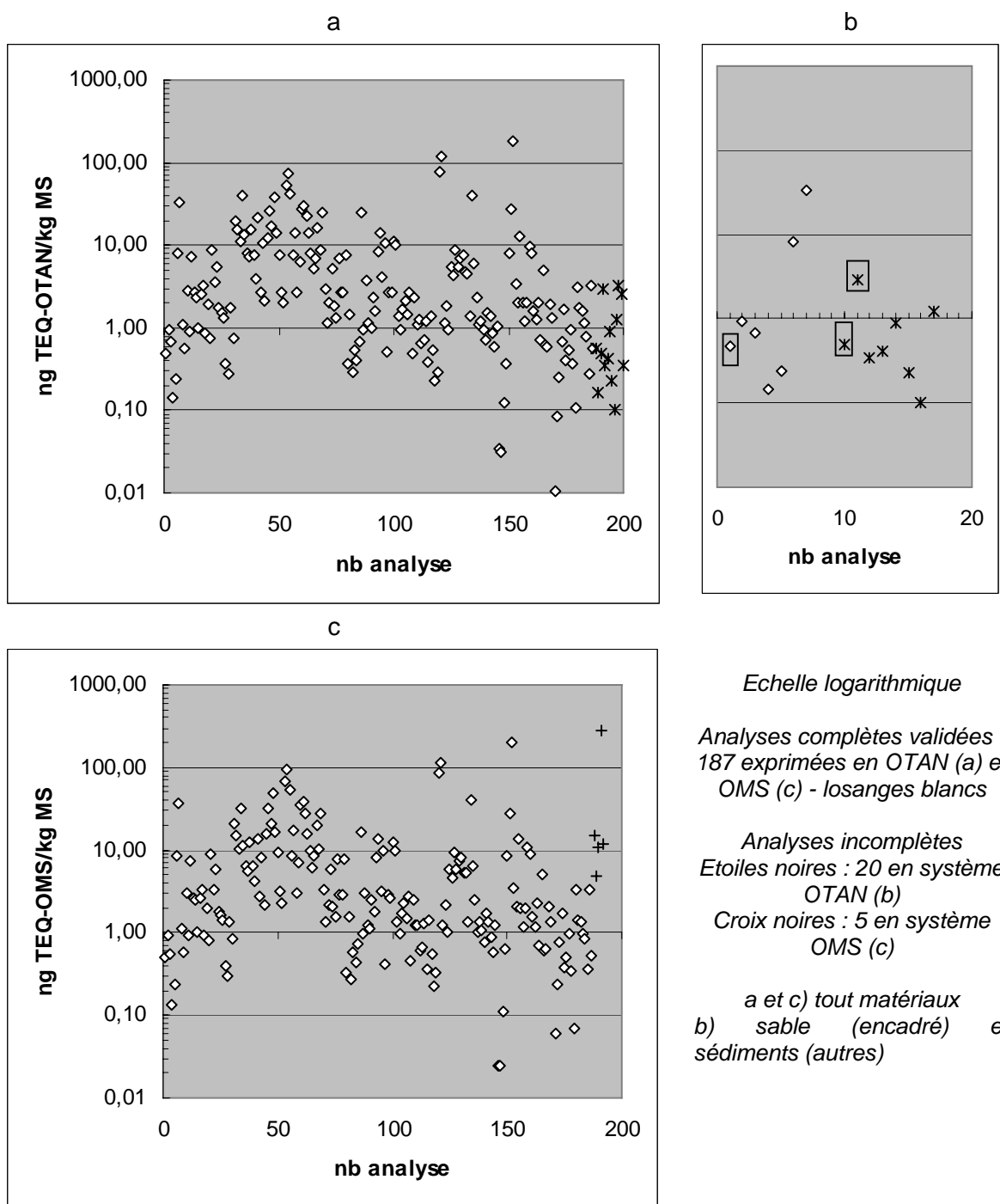


Figure 13 – Toxicité des sols, sédiments et sables en système OTAN et/ou OMS

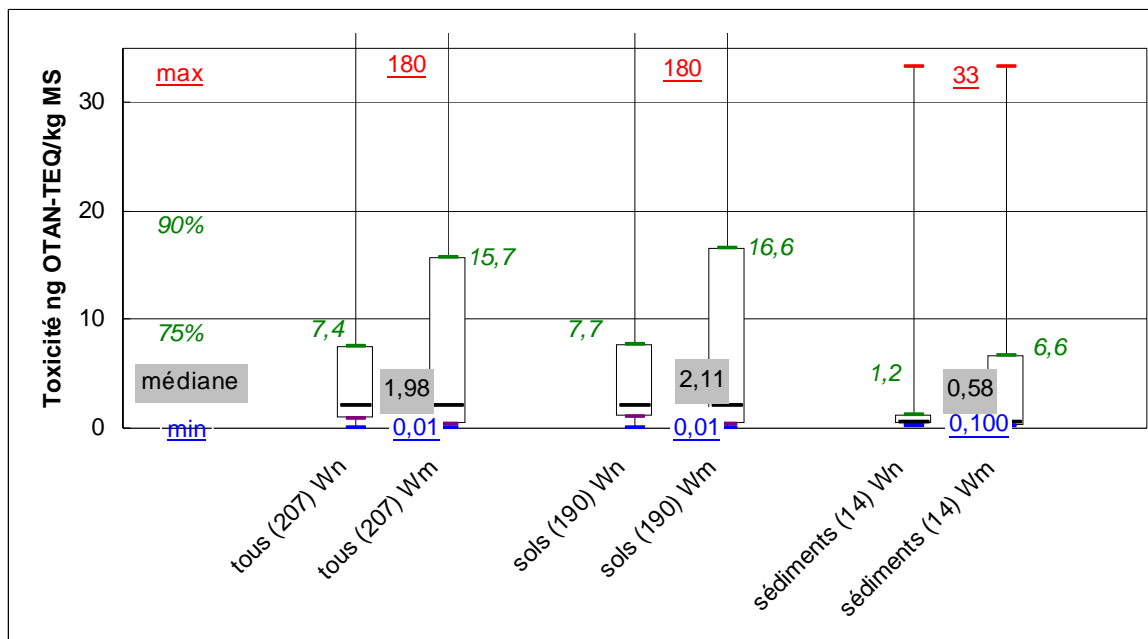


Figure 14 - Statistiques des valeurs de toxicité OTAN des sols et sédiments (LD=0)

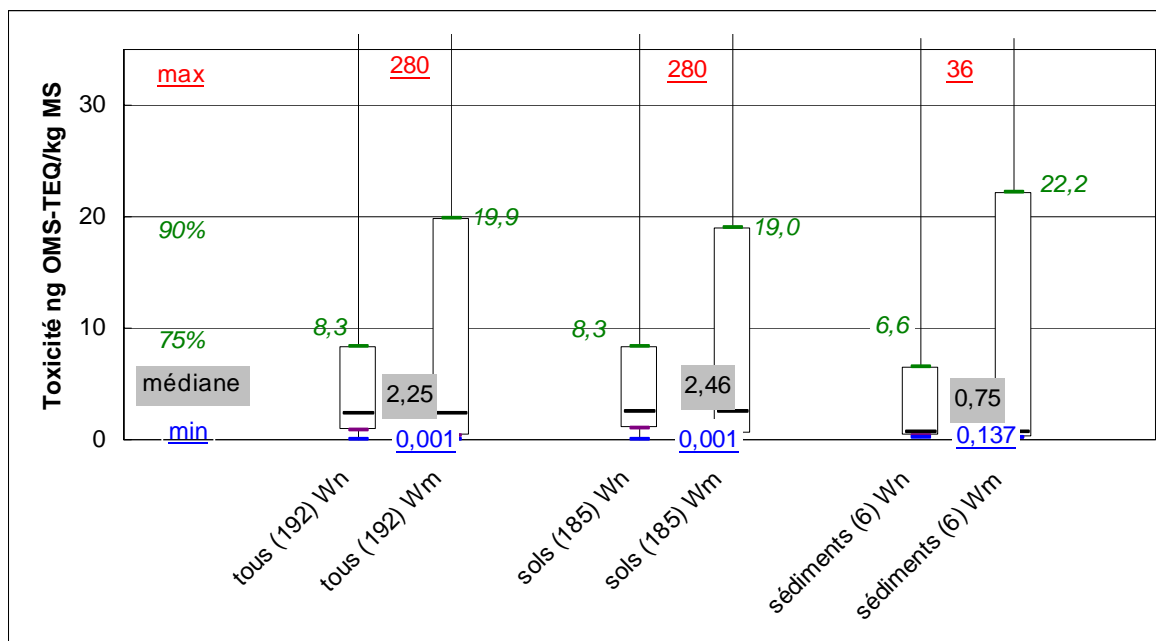


Figure 15 - Statistiques des valeurs de toxicité OMS des sols et sédiments (LD=0)

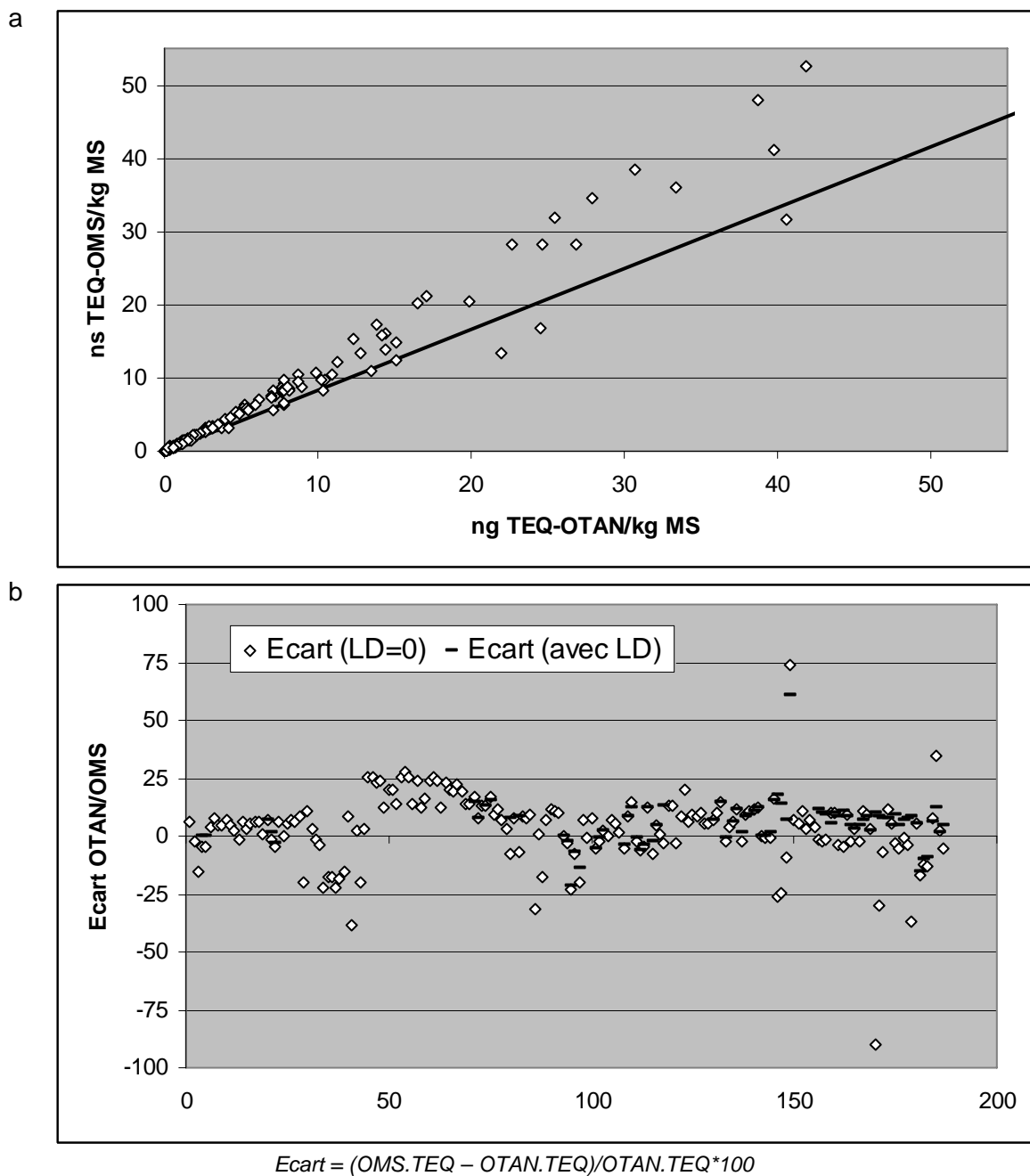
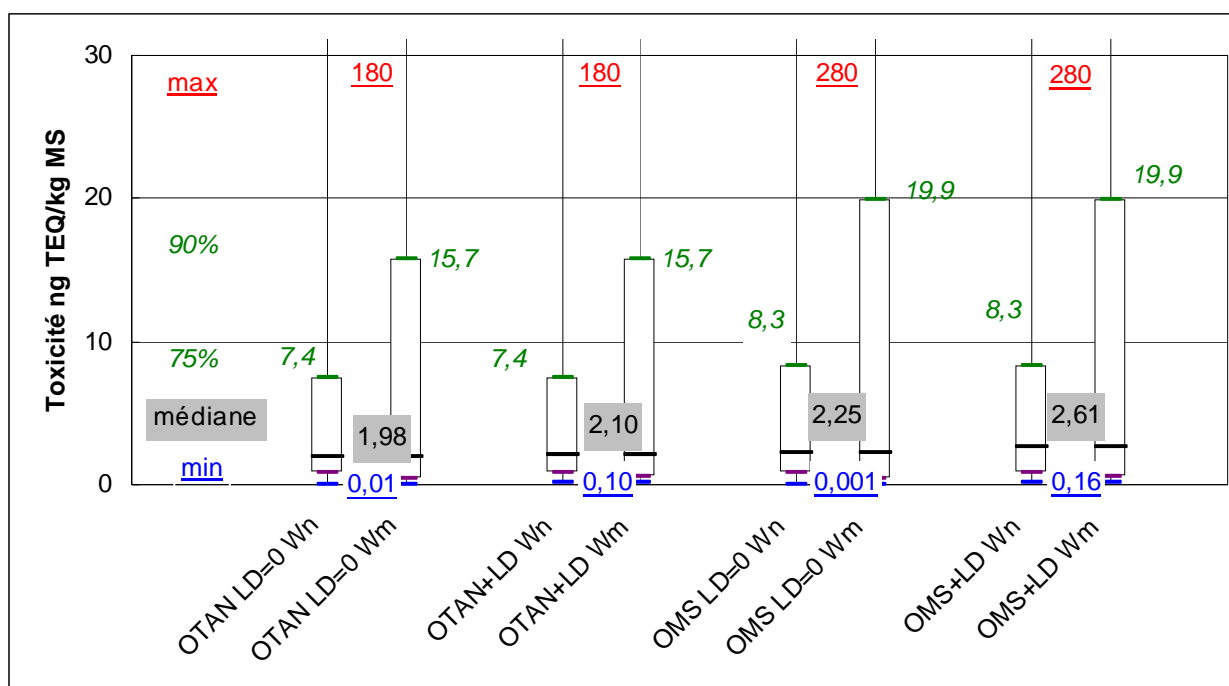


Figure 16 – a) Données de toxicité OTAN par rapport à la toxicité OMS, b) Ecart en % avec ou sans prise en compte des limites de détection (LD)

#### 4.3.2. Prise en compte des limites de détection (LD)

La prise en compte des limites de détection, pour 107 analyses sur les 187, dans le calcul de la toxicité se traduit par une augmentation des valeurs de la médiane : 1,98 à 2,10 en système OTAN et 2,25 à 2,61 en système OMS (Figure 17). Les données à 90% restent inchangées.



207 et 192 données respectivement dans les systèmes OTAN et OMS

Figure 17 – Statistiques des valeurs de toxicité OTAN et OMS, avec ou non prise en compte des limites de détection



#### 4.4. DONNEES SOLS SELON L'INFLUENCE THEORIQUE OU NON D'UNE ACTIVITE

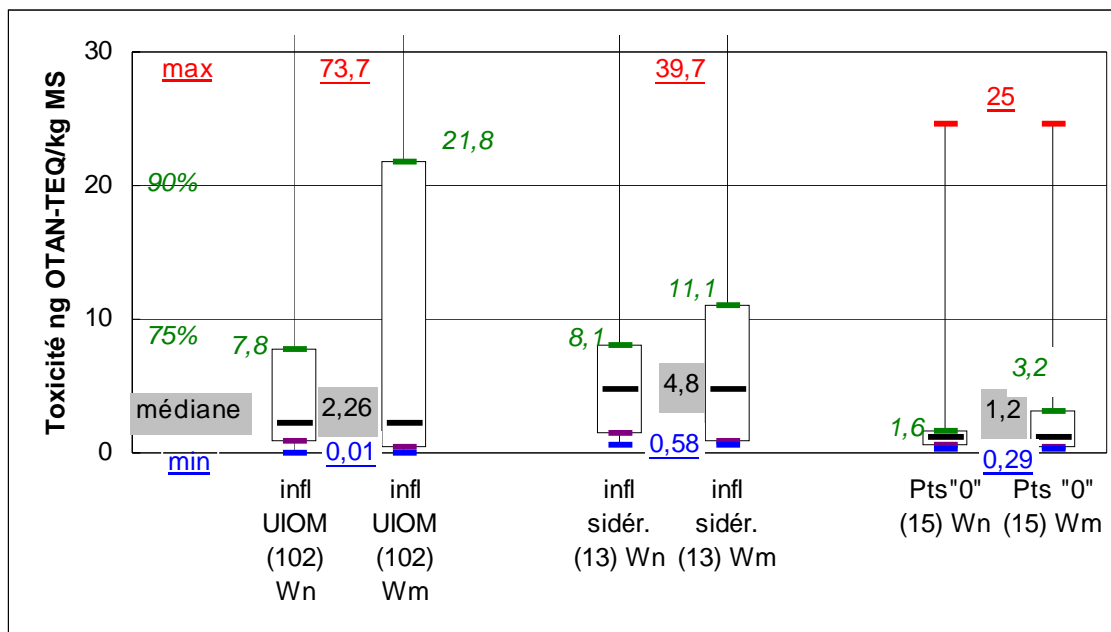


Figure 18 – Statistiques des valeurs de toxicité des sols sous influence théorique d'UIOM, de sites sidérurgiques et autour de points « zéro »

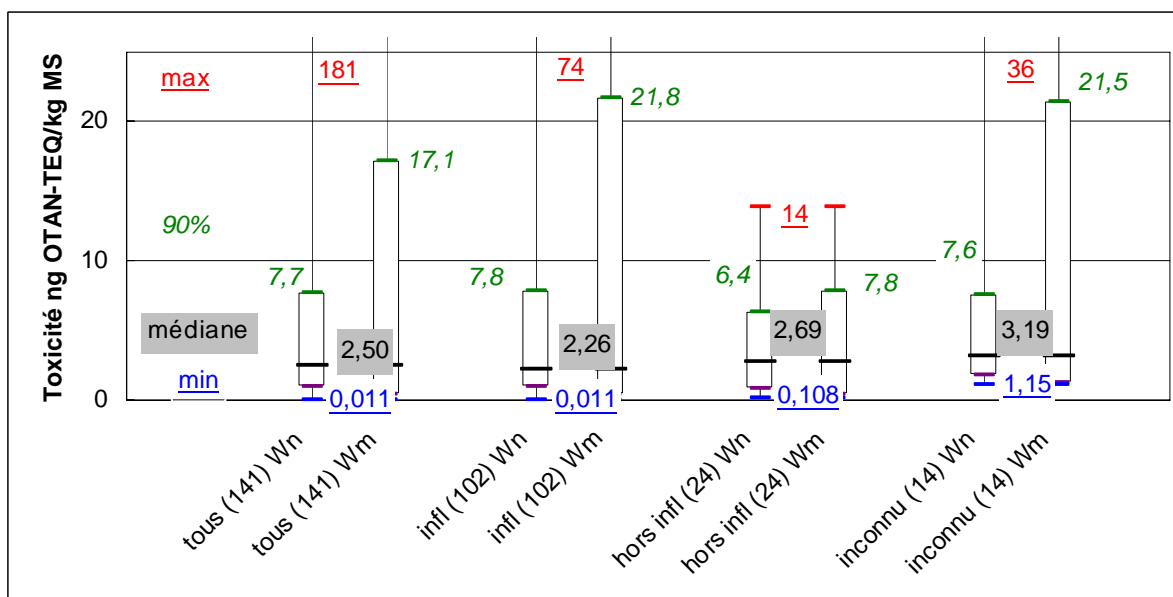


Figure 19 - Statistiques des valeurs de toxicité des sols au voisinage d'UIOM

La comparaison des données de toxicité OTAN entre les sites sous influence d'installations industrielles (UIOM, sidérurgie) et les points « zéro » fait apparaître une augmentation de la valeur médiane ainsi que de la valeur à 90% entre les points, respectivement de 1,2 à 2,26 et 4,8 ng OTAN-TEQ/kg MS et de 3,2 à 21,8 et 11,1 ng OTAN-TEQ/kg MS (Figure 18).

Concernant l'environnement des UIOM (Figure 19), les données de toxicité OTAN font apparaître une augmentation, entre les valeurs sous influence et celles hors influence, de la valeur pour 90% des données : de 7,8 à 21,8 et ceci pour un nombre d'analyses qui commence à être conséquent. La valeur médiane va par contre à l'opposé mais avec un écart plus faible de 2,69 à 2,26 ng OTAN-TEQ/kg MS.

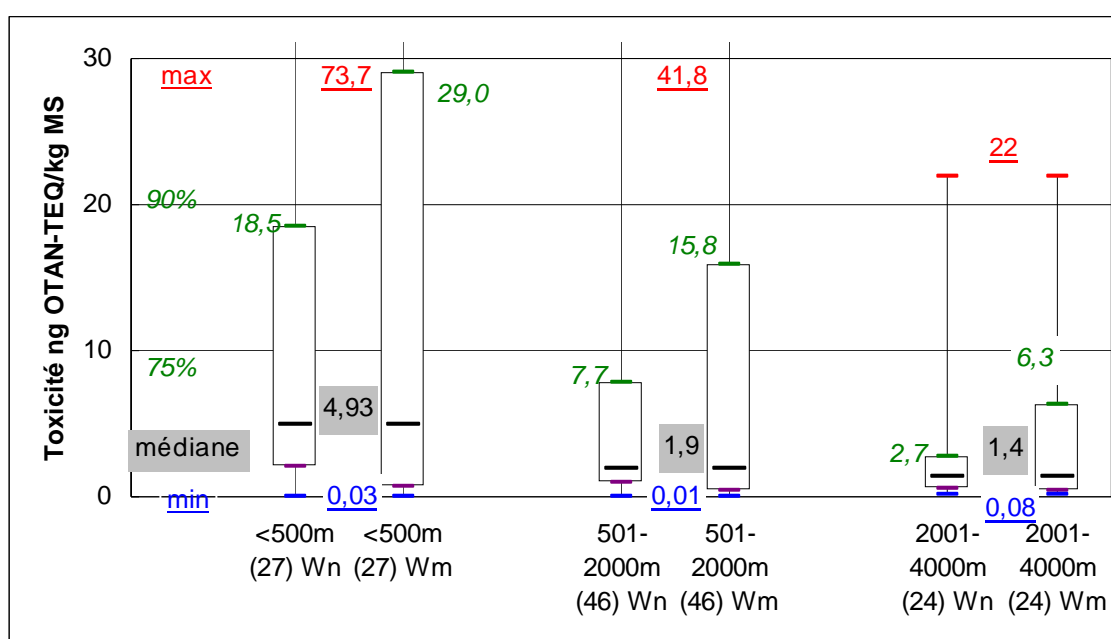


Figure 20 - Statistiques des valeurs de toxicité des sols sous influence d'UIOM, en fonction de la distance à l'émetteur

Le facteur distance de l'incinérateur se traduit également par une tendance à la décroissance entre les données proches (<500m) et plus éloignées (Figure 20) ; la valeur médiane passe de 4,9 à 1,4 ng OTAN-TEQ/kg MS et la valeur à 90% de 29,0 à 6,3 ng OTAN-TEQ/kg MS.

Le traitement des données « sidérurgie » ne peut se faire à l'identique via la représentation type boîte de Whisker, du fait du trop faible nombre de données. Les données de toxicité OTAN sont simplement synthétisées sur la Figure 21. On peut simplement noter que les 3 analyses classées hors influence présentent des toxicités plus faibles que les 13 analyses classées sous influence.

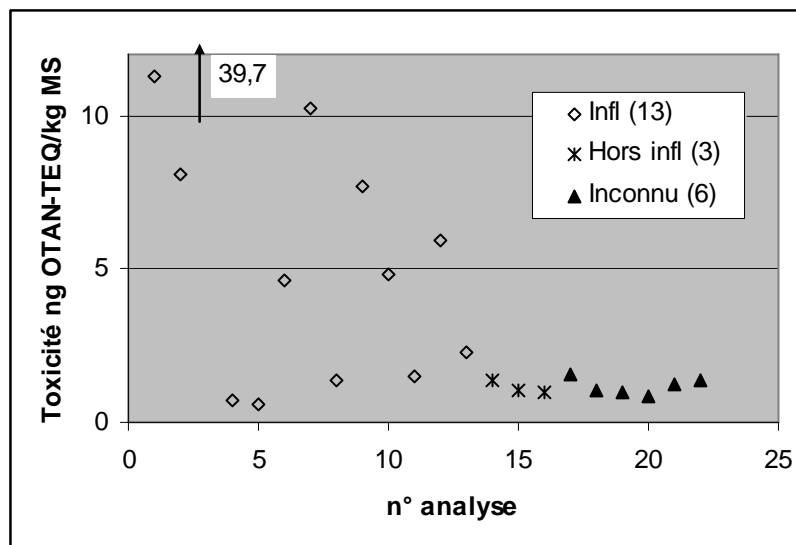


Figure 21 – Toxicité autour des sites sidérurgiques



## 5. Discussion

### 5.1. TEXTES DE REFERENCE

Les deux arrêtés, plus particulièrement cités dans les études consultées, sont discutés ci-dessous par rapport à la matrice sol, au mode d'échantillonnage et au système de calcul de la toxicité (OTAN et OMS).

#### 5.1.1. Arrêté du 2 février 1998

L'arrêté du 2 février 1998 est relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

**Cet arrêté décrit dans l'annexe VII d des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols. Cela concerne des sols agricoles. Les dioxines sont citées uniquement vis à vis de la méthode à mettre en œuvre pour l'analyse des gaz.**

« Les prélèvements de sol doivent être effectués dans un rayon de 7,50 mètres autour du point de référence repéré par ses coordonnées Lambert, à raison de 16 prélèvements élémentaires pris au hasard dans le cercle ainsi dessiné (...) »

« Les modalités d'exécution des prélèvements élémentaires et de constitution et de conditionnement des échantillons sont conformes à la norme NF X 31 100. » (Norme 1992)

« La préparation des échantillons de sols en vue d'analyse est effectuée selon la norme NF ISO 11464 (décembre 1994). »

#### 5.1.2. Arrêté du 20 septembre 2002

L'arrêté du 20 septembre 2002 est relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux (JO du 1er décembre 2002). Plus précisément le chapitre VIII s'intéresse à la surveillance des rejets et de l'impact sur l'environnement.

« Article 30 : Surveillance de l'impact sur l'environnement au voisinage de l'installation

L'exploitant doit mettre en place un programme de surveillance de l'impact de l'installation sur l'environnement. Ce programme concerne au moins les dioxines et les métaux. Il prévoira notamment la détermination de la concentration de ces polluants dans l'environnement :

- avant la mise en service de l'installation (point zéro) ;
- dans un délai compris entre trois mois et six mois après la mise en service de l'installation ;
- après la période initiale, selon une fréquence au moins annuelle.

Le programme est déterminé et mis en œuvre sous la responsabilité de l'exploitant et à ses frais. Ses modalités sont précisées dans l'arrêté d'autorisation. Les mesures doivent être réalisées en des lieux où l'impact de l'installation est supposé être le plus important. Les analyses sont réalisées par des laboratoires compétents, français ou étrangers, choisis par l'exploitant. Les résultats de ce programme de surveillance sont repris dans le rapport prévu au point c de l'article 31 et sont communiqués à la commission locale d'information et de surveillance lorsqu'elle existe. »

**L'arrêté renvoie à l'arrêté du 2 février 1998 pour les normes d'échantillonnage.**

## **5.2. L'ECHANTILLONNAGE**

La question du mode d'échantillonnage se pose de façon récurrente : quelle procédure a été utilisée, quelles surface et profondeur ont été investiguées, y a-t-il eu élimination des feuilles, des racines, ... Il n'existe pas de stratégie unique d'échantillonnage mais il apparaît important de faire un point sur les textes existants et les pratiques classiquement mises en œuvre.

### **5.2.1. NF X31-100 (déc 1992)**

La norme NF X31-100 de décembre 1992 décrit de façon générale le mode d'échantillonnage des sols agricoles et des sols amendés par des boues d'ouvrages de traitement des eaux usées urbaines.

Le texte stipule dans son domaine d'application qu'elle « ne s'applique pas aux prélèvements de sol pour diagnostic ou expertise de sites pollués ou susceptibles de l'être ». Cependant cette norme est largement mise en œuvre dans les études consultées ; elle donne un cadre rigoureux au prélèvement et à la constitution d'un échantillon moyen d'environ 500 g pour analyse.

En effet, la norme préconise, qu'une fois la zone de prélèvement identifiée, un prélèvement moyen est constitué à partir d'au minimum 14 à 16 prélèvements élémentaires dans une zone présumée homogène et une couche d'épaisseur choisie et de profondeur donnée. Si nécessaire la végétation qui couvre le sol est supprimée. Les prélèvements élémentaires sont ensuite homogénéisés de façon efficace sur une bache ou dans un seau, avec émottage et élimination des éléments grossiers (> 2 cm). Deux méthodes sont également décrites pour réduire la taille de l'échantillon (prélèvements aléatoires ou quartage). La profondeur investiguée correspond à la plus grande profondeur travaillée du sol.

### 5.2.2. Normes ‘sols (potentiellement) pollués’

La série des normes homologuées NF EN ISO 10381 (parties 1 à 8) détaille toujours dans un cadre général l'échantillonnage de situations spécifiques associées aux sites potentiellement pollués.

### 5.2.3. Variantes des protocoles

En pratique les méthodes les plus utilisées dans les documents consultés sont des adaptations de la norme X31-100.

La modélisation des vents dominants permet de localiser les points de retombées maximales ainsi que des zones hors influence de l'émetteur, en vue de l'échantillonnage proprement dit. Le paramètre profondeur classiquement mis en œuvre est de 0-20 cm.

Le point important concerne la constitution d'un échantillon moyen à partir de sous-prélèvements répartis sur la surface donnée. Ce point est peu décrit dans les protocoles alors qu'il apparaît primordial.

## 5.3. COMPARAISON AVEC DES VALEURS DE REFERENCE

En France il n'existe pas de valeur réglementaire qui fixerait des seuils de dépollution des dioxines en fonction de l'usage ultérieur du sol. Toutefois les documents consultés se rapportent à des valeurs allemandes ou encore, ce qui n'est pas envisageable, aux valeurs de constat d'impact (VCI) de l'évaluation simplifiée des risques (ESR).

### 5.3.1. Cas de l'Allemagne

En Allemagne, dès 1992 un groupe d'experts a établi des recommandations et des valeurs seuils pour les PCDD/PCDF dans les sols (Tableau 4).

	PCDD/F ng I-TEQ/kg MS
Valeur cible	5
Valeurs justifiant un contrôle des produits alimentaires issus des cultures	5 à 40
Restriction des cultures	> à 40
Espaces pour enfants	> 100
Résidentiel	> 1000
Indépendamment de toute localisation	> 10000

Tableau 4 : Recommandations allemandes fixant l'utilisation des sols en Allemagne vis-à-vis des dioxines

Certaines valeurs ont été prises en compte dans la réglementation. Ainsi, la réglementation fédérale de protection des sols et des sites contaminés du 12 juillet 1999 (BBodSchV) a fixé des seuils d'action en fonction de l'usage des sols dans le cas du transfert sols - santé humaine, et ceci à partir de niveau de concentrations de 100 ng I-TEQ/kg MS (Tableau 5).

Les autres valeurs même non réglementaires servent de bases aux décisions politiques. Notamment un certain nombre de Länder ont traduit les recommandations en décrets d'application (Fiedler, 1998).

Usage	Seuil PCDD/F (ng I-TEQ/kg MS)
Zones récréatives pour enfants	100
Zones résidentielles	1000
Parcs, zones de loisirs	1000
Zones industrielles et commerciales	10000

Tableau 5 – Seuils réglementaires allemands des teneurs en dioxines dans les sols

### 5.3.2. Cas de la Suisse

En Suisse, l'article 5 de la réglementation (ou ordonnance) du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols dit Osol (OFEFP, 2001) stipule que :

« La Confédération et les cantons évaluent les atteintes portées aux sols en se fondant sur les valeurs indicatives, les seuils d'investigation et les valeurs d'assainissement qui figurent dans les annexes de la présente ordonnance. »

Valeurs	PCDD/F en ng I-TEQ/kg MS pour les sols 0-15% matière organique et en ng/dm3 pour les sols > 15%	Profondeur prélèvement (cm)
<b>Valeur indicative</b>	5	0-20
<b>Seuils d'investigation</b>		
Risque par ingestion	20	0-5
Cultures alimentaires	20	0-20
Cultures fourragères	20	0-20
<b>Valeurs d'assainissement</b>		
Places de jeux	100	0-5
Jardins privés et familiaux	100	0-20
Agriculture et horticulture	1000	0-20

Tableau 7 - Valeurs indicatives, d'assainissement et de seuils d'investigation en cas de pollution du sol par les dioxines et les furanes en Suisse (ordonnance 1<sup>er</sup> juillet 1998).

L'annexe 2 de cette même ordonnance reporte les seuils précités et notamment pour les dioxines/furannes (Tableau 7). Selon la teneur en matière organique du sol (< ou >



15%), deux unités sont prescrites ng/kg et ng/dm<sup>3</sup>, ce qui nécessite dans ce second cas de connaître la densité apparente du sol. La valeur indicative proposée en Suisse pour les sols dans des zones à forte influence anthropogène ou dans des zones polluées est > 5 ng I-TEQ/kg. A partir de 20 ng I-TEQ/kg des restrictions d'usage sont données.

Les valeurs indicatives et les seuils sont déjà définis au niveau législatif de la loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (dite loi LPE).

### 5.3.3. Valeurs françaises : VCI (ESR)

La version 2 du guide méthodologique du MEDD intitulé « Gestion des sites (potentiellement) pollués » donnait une Valeur de Définition de Source Sol (VDSS) et une Valeur de Constat d'Impact (VCI) pour les dioxines et furannes dans le cadre le plus restrictif de l'usage sensible des sols. Les VDSS indiquent la présence d'une source de pollution dans les sols mais ne constituent pas un objectif de dépollution. Les VCI définissent un seuil au delà duquel on considère que le sol est susceptible d'engendrer un impact sur les sols selon la sensibilité de l'usage de ceux-ci.

Les valeurs VCI pour les dioxines et furannes étaient directement extraites des données allemandes pré-citées. L'utilisation de ces valeurs est à proscrire dans les rapports d'étude car elles ne sont applicables que dans le cadre réglementaire régissant les études simplifiées des risques (ESR). De plus, à l'horizon 2006, toutes les valeurs VCI vont être supprimées. Une valeur de concentration sera calculée pour chaque substance en fonction de l'usage du site et comparée aux données de bruit de fond local.

## 5.4. LES PCB DE TYPE DIOXINE (DIOXIN-LIKE)

L'analyse des 12 PCB de type dioxine n'a été réalisée dans aucune des études prises en compte dans ce rapport.

Cependant, une étude belge, réalisée aux environs de l'incinérateur de Maincy (77), compile des données concernant 15 analyses de sols et 16 analyses d'œufs, sous influence et hors influence de l'UIOM (Pirard et al., 2005 ; Figure 22). Pour les sols sous influence de l'incinérateur, il apparaît que la contribution majeure au calcul de la toxicité (TEQ) correspond à la part des PCDD/F (82–96 %), le reste correspondant aux PCB de type dioxine. Pour les sols hors influence la tendance est moins claire et plus variable (33-77%). Pour les œufs, les variations sont très fortes avec une contribution des PCDD/F variant de 8 à 89%.

Ces données décrites à titre d'illustration restent à confirmer par d'autres résultats. Elles mettent cependant en lumière que la part des PCB de type dioxine peut être non négligeable dans le calcul de la toxicité. Un autre point intéressant, même s'il doit encore être validé, concerne leur plus faible part dans les sols sous influence de l'UIOM, ce qui pourrait éventuellement servir d'indicateur de pollution.

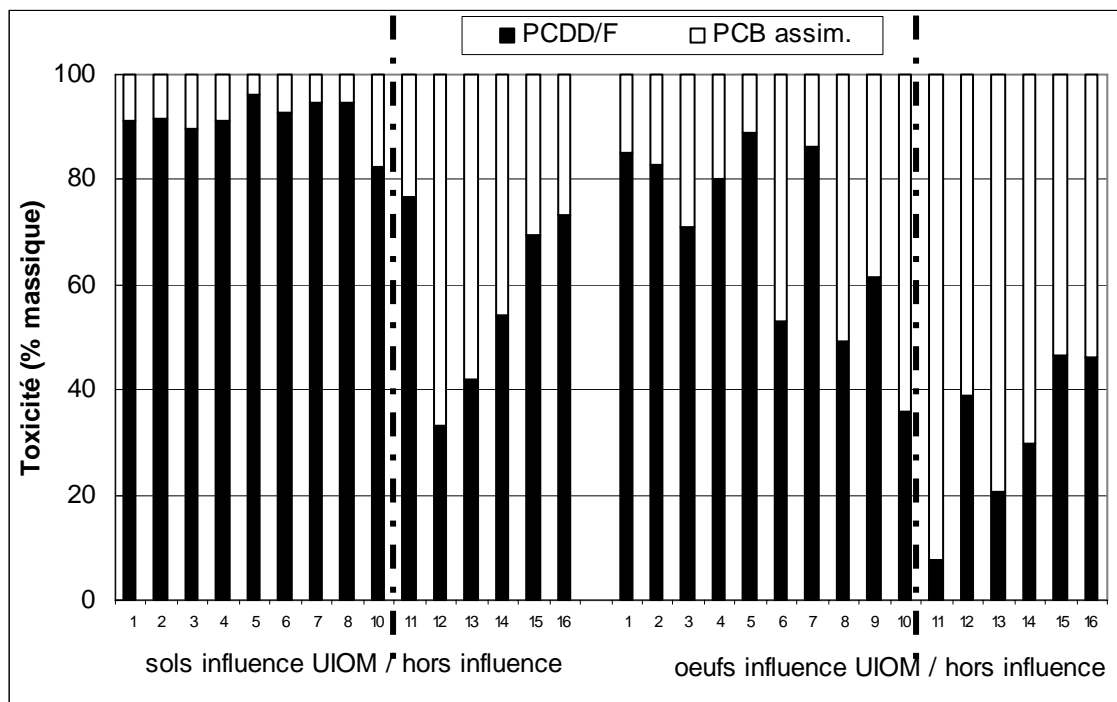


Figure 22 – Toxicité en dioxines et PCB de type dioxine dans les sols et les œufs autour d'un UIOM (Pirard, 2002)

## 6. Pratiques européennes

### 6.1. RECHERCHE D'INFORMATIONS

Les membres du forum européen des sites pollués, constitués d'experts nationaux et régionaux de la thématique (« common forum for contaminated land in the european union », Tableau 8), ont été contactés par courriel afin de connaître les pratiques de chaque pays en terme :

- d'analyses de dioxines dans les sols,
- de procédures d'échantillonnage,
- d'existence d'une base de données nationale.

Pays	Organisme contacté	Réponse
Allemagne	Ministère fédéral de l'environnement, de la protection de la nature et de la sûreté des réacteurs (BMU)	Rapport 2001
Autriche	Agence fédérale de l'environnement Autriche (UBAVIE)	non
Belgique (Wallonie)	Société Publique d'Aide à la Qualité de l'Environnement (SPAQuE)	non
Belgique (Flandres)	Société publique des déchets pour la Région flamande (OVAM)	peu d'info
Danemark	Agence danoise de Protection de l'Environnement (MST)	rapport 2004
Espagne	Ministère de l'Environnement Espagnol (MMA)	non
Finlande	Administration environnementale finlandaise (YMPARISTO)	note
Irlande	Agence irlandaise de Protection de l'Environnement	peu d'info
Italie	Agence Italienne de Protection de l'Environnement et Services Techniques (APAT)	Article 2005 étude en cours
Norvège	Autorité Norvégienne de contrôle de la Pollution (SFT)	peu d'analyses
Pays-Bas	Ministère néerlandais du logement, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MINVROM)	non
Pologne	Institut de Protection de l'Environnement	peu d'analyses
Royaume-Uni	Agence environnementale de l'Angleterre et du Pays de Galles	note
Suède	Agence suédois pour la protection de l'environnement	non
Suisse	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (BUWAL)	rapports 1997 et 2001

Tableau 8 – Liste des organismes européens contactés

## 6.2. PAYS AVEC PROGRAMMES NATIONAUX OU REGIONAUX

### 6.2.1. Allemagne

En Allemagne, depuis les années 90, un important travail d'analyses et de compilation a été mené. Il s'agit a priori du plus gros travail de synthèse entrepris en Europe.

Actuellement, une base de données (DIOXINS, 2001) centralise les informations au niveau de l'Agence Environnementale Fédérale. A fin septembre 2000, elle contenait 9 469 données toutes matrices confondues, dont 2 569 sols et 128 sédiments.

L'annexe 3 donne copies des matrices analysées, d'un tableau listant les paramètres d'entrée du compartiment sol dans la base de données et présente le détail des analyses sols sous forme statistique type boîte de Whisker modifiée (présentation horizontale et non verticale) extraits de la référence DIOXINS (2001).

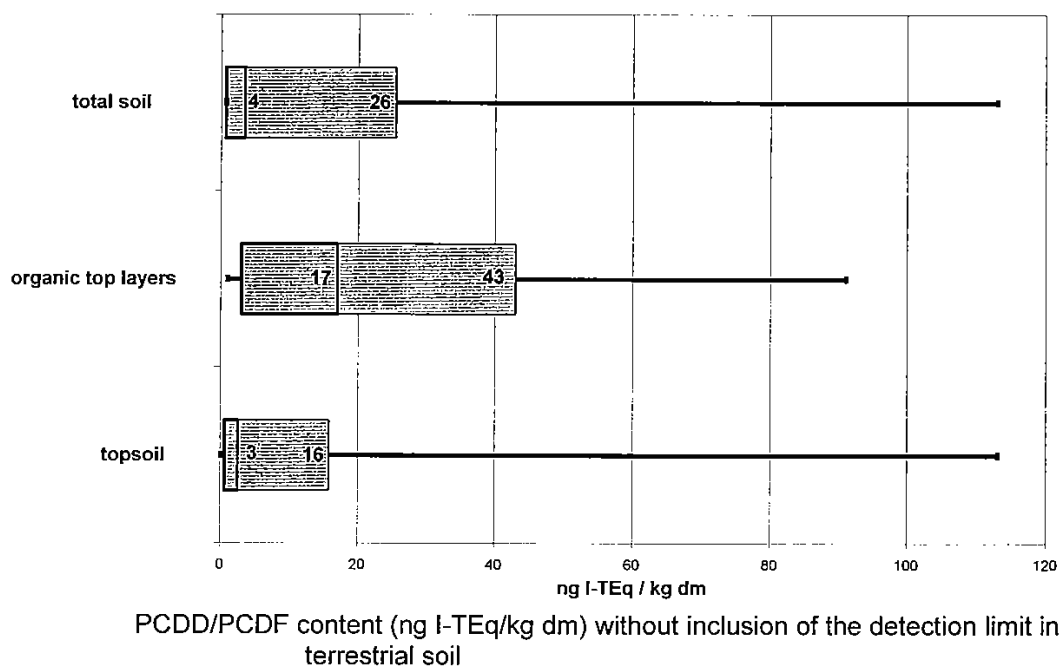


Figure 23 – Synthèse des données allemandes de dioxines dans les sols

La Figure 23 présente une synthèse des résultats ; notamment, la valeur de la médiane tous sols confondus est < 20 ng I-TEQ/kg MS.

### 6.2.2. Danemark

Le Danemark a lancé une étude en 2001 sur 32 prélèvements de sols destinée à estimer le niveau général et le bruit de fond en dioxines, en évaluant notamment les différences géographiques par rapport aux activités industrielles et sources urbaines.

Il en ressort que le bruit de fond est en moyenne de  $0,7 \pm 0,2$  ng I-TEQ/kg MS, aussi bien pour les zones rurales de référence, que pour les zones rurales exposées. Par contre les zones urbaines près d'industries ou non (jardin, parc) concentrent la pollution (Figure 24).

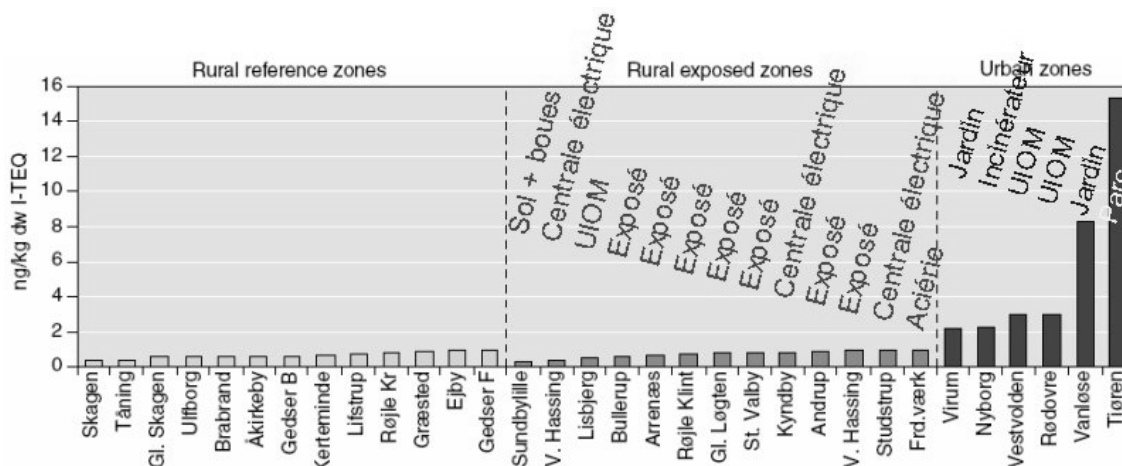


Figure 24 - Etude danoise sur 32 sols

### 6.2.3. Finlande

En Finlande, l'utilisation intensive de chlorophénols (KY5) avant 1988 comme fongicide dans le traitement du bois a amené le pays à analyser les teneurs dans les sols au voisinage d'environ 250 anciennes scieries (saw mills). Les estimations font état d'environ 3 g de dioxines présents en moyenne dans les sols sur chaque site. Les teneurs s'étalent de quelques ng TEQ/kg à plusieurs centaines voire milliers de ng TEQ/kg. 44 sites sont plus particulièrement suivis dont certains ont été traités.

De plus, les activités liées à l'activité du bois et notamment l'activité de blanchiment de la pâte à papier présentent des teneurs élevées dans les sédiments de lacs et rivières. La rivière de Kymijoki au sud, très polluée, fait ainsi l'objet d'un monitoring et d'essais de remédiation.

Les conséquences de l'activité métallurgique ont également été étudiées. Les teneurs sont moindres.

Il existe une base nationale qui liste les sites potentiellement pollués (20 000 sites) mais pas de base de données des teneurs en dioxines dans les sols. L'échantillonnage est mené par chaque organisme qui fait l'analyse.

### 6.2.4. Royaume-Uni

L'agence de l'environnement du Royaume-Uni mène depuis quelques années une campagne nationale sur l'étude des sols et de la végétation (UK Soil and Herbage Survey, UKSHS), qui concerne la détermination des niveaux de dioxines, PCB, HAP et

métaux dans les sols en milieu rural, urbain et industriel. L'objectif principal de l'étude, dont les résultats sont attendus en fin d'année, concerne la détermination de la contamination chimique moyenne. Des procédures d'échantillonnage précises sont mises en œuvre dans le cadre de la norme EN ISO/IEC 17025 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2005).

L'idée de création d'une base de données spécifique dioxines dans les sols a été envisagée mais n'a pas encore été développée.

### **6.2.5. Italie**

Il n'existe pas de base nationale en Italie concernant les dioxines. Par contre, des études ponctuelles ont été menées dans des sols au voisinage de sites industriels.

La région de Campania (env 13 000 km<sup>2</sup>) aux environs de Naples, suite à un problème de contamination du lait, fait l'objet d'une étude poussée sur les matrices environnementales (sol, sédiment, eau, air) visant à accéder aux concentrations typiques en dioxines et PCB à l'échelle régionale. Les résultats sont exprimés en TEQ OMS avec une valeur fixée à la moitié de la limite de quantification pour les congénères présentant une concentration nulle. Les résultats sur 150 sols montrent que 89 % des teneurs en dioxines sont inférieures à 3 ng TEQ/kg MS et 93% des teneurs en PCB de type dioxine sont inférieures à 1.

### **6.2.6. Suisse**

Un rapport suisse de 1997, s'adressant principalement aux services administratifs du pays, décrit la situation du pays et fait le point des connaissances. L'étude identifie de nombreuses matrices solides en se reportant à des études allemandes. Pour les sols, elle donne des valeurs de 0,5-2 ng I-TEQ/kg ou ppt. De plus, l'étude propose à titre indicatif des valeurs indicatives, seuils d'investigation et valeurs d'assainissement permettant d'évaluer la pollution du sol (recommandations des mesures à prendre en fonction du degré de pollution, I-TEQ: <5 ppt, 5-20 ppt, 20-100 ppt, 100-1'000 ppt, >1'000 ppt). En cas de pollutions locales, il est recommandé de se servir de ces valeurs pour les pollutions du sol (BUWAL, 1997).

Ces valeurs ont ensuite été reprises dans la réglementation (ou ordonnance) du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (Osol, OFEFP, 2001), comme décrit précédemment.

## **6.3. PAYS AVEC INFORMATIONS PLUS REDUITES**

### **6.3.1. Norvège**

En Norvège les mesures de dioxines sont presque exclusivement relatives aux émissions atmosphériques. Les bases de données sols n'incluent pas l'information sur les dioxines.

### **6.3.2. Pologne**

En Pologne il n'existe pas de large programme de monitoring ni de recherche concernant les dioxines dans l'environnement. Les études sont ponctuelles et les résultats dispersés au niveau local. Il existe une volonté de créer un réseau pour améliorer la couverture nationale.

### **6.3.3. Belgique (Flandres)**

Pour la Belgique la réponse concernant Les Flandres montre que les dioxines dans les sols ne sont pas analysés en routine. Seules quelques données existent dans leur base des sites pollués.

### **6.3.4. Irlande**

L'EPA irlandais ne possède pas d'informations sur les dioxines dans les sols.

## **6.4. CONCLUSION**

L'enquête sur les pratiques européennes « dioxines et sols » a permis de présenter les enjeux nationaux de quelques pays. Par ailleurs, cet aperçu a mis en avant l'important travail en cours de finalisation en Grande-Bretagne et les travaux, de plus de 15 ans d'étude, en Allemagne, au travers de leur base « DIOXINS ».





## 7. Conclusions

Ce premier état des lieux des teneurs en dioxines dans les sols français au voisinage d'installations industrielles a permis de préciser un certain nombre de points sur les teneurs elles-mêmes mais aussi sur la façon de les présenter. Ainsi, le mode de présentation de type boîte de Whisker s'avère très utile pour présenter des populations largement asymétriques, en donnant une information sur le centre (médiane), la forme de la distribution et son étendue et en permettant une exploitation pertinente des données.

Près de 200 analyses de sols et sédiments, ainsi que des informations précises notamment sur la distance au site émetteur, le type d'environnement ou l'usage du sol, ont été collectées. Cela concerne des prélèvements réalisés entre avril 1998 et août 2005. Les principaux résultats sont présentés dans la synthèse ; ils ne sont donc pas repris ici.

Notons, toutefois que le traitement sous forme statistique s'est heurté au nombre parfois trop faible de données, pour en tirer de grandes conclusions. Des tendances sont proposées. De plus, les contacts établis avec les DRIRE ont mis en évidence que de nombreuses analyses de dioxines dans les sols sont en cours de réalisation, du fait des campagnes d'analyses type étude d'impact qui tendent à se généraliser. A ce stade, la poursuite de la collecte, logiquement programmée en 2006, apparaît donc se justifier pour atteindre un nombre conséquent de données exploitables de façon statistique. De plus, du fait d'une étape de collecte plus longue qu'initialement prévue, il a été décidé de reporter le traitement statistique de type analyse en composante principale (ACP) et classification ascendante hiérarchisée (CAH) à la suite de l'étude.

Les recommandations à donner pour le monitoring des dioxines dans les sols concernent le suivi d'une méthodologie précise et surtout bien décrite dans les rapports d'étude. Notamment les informations relatives aux zones échantillonnées, à la surface et la profondeur investiguées, à l'usage du sol, à la localisation sur une carte incluant la distance à l'émetteur potentiel et la modélisation de la dispersion, devraient être précisées. Le rapport de synthèse devrait également donner copie du rapport complet d'analyse, afin de connaître sans ambiguïté l'unité des données, de pouvoir interpréter au mieux certaines informations telles les limites de quantification ou encore de transcrire les données toxicité d'un système de calcul à l'autre (OTAN et OMS).

Maintenant que la connaissance est meilleure sur le type d'information susceptible d'être exploité, il serait possible de procéder par fiche type de demande de renseignements. Un point devra être également réalisé sur les critères justifiant l'intégration ou non de chaque donnée dans la base et de voir comment les pays européens (dont l'Allemagne qui possède déjà une base très étendue) ont approché la problématique. En effet, il est apparu que la qualité des résultats est très dissemblable et que les analyses ne sont pas toujours raisonnablement intégrables dans une base

cherchant à extraire des résultats statistiques. Ceci concerne notamment la question des limites de quantification.

## 8. Bibliographie

### Normes AFNOR

NF X 31-100 (Décembre 1992) - Qualité du sol – Échantillonnage - Méthode de prélèvement d'échantillons de sol

NF X 31-008-1 - Qualité du sol – Échantillonnage – Partie 1 : lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage (NF EN ISO 10381-1, mai 2003). Norme homologuée

NF X 31-008-2 - Qualité du sol – Échantillonnage - Partie 2 : lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage (NF EN ISO 10381-2, mars 2003). Norme homologuée

NF X 31-008-3 - Qualité du sol – Échantillonnage - Partie 3 : lignes directrices relatives à la sécurité (NF EN ISO 10381-3, mars 2002). Norme homologuée

NF X 31-008-4 - Qualité du sol – Échantillonnage - Partie 4 : Lignes directrices pour les procédures d'investigation des sites naturels, quasi-naturels et cultivés (NF EN ISO 10381-4, octobre 2003). Norme homologuée

NF X 31-008-5 - Qualité du sol - Échantillonnage - Partie 5 : lignes directrices pour la procédure d'investigation des sols pollués en sites urbains et industriels (NF EN ISO 10381-5, déc 2005). Norme homologuée

### Autres références

Bodénan F., F. Garrido. (2004) - Devenir des dioxines dans les sols – Analyse critique de données bibliographiques. BRGM RP-53070-FR, 66 p., 100 références

BUWAL (1997) Dioxine und Furane. Standortbestimmung Beurteilungsgrundlagen Massnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 290

CITEPA (2005) Inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère en France – format SECTEN. <http://www.citepa.org/>

CITEPA (2005) Inventaire départementalisé des émissions de polluants atmosphériques en France en 2000. Mise à jour février 2005. <http://www.citepa.org/>

DIOXINS (2001) Data on environmental pollution by dioxins. 3rd report of the Government/Laender working group on dioxins (Germany). Basler, Knetsch, Fiedler (eds)

Fiedler H. (1998) Dioxin Case Study from Germany. Proceedings of the Subregional Awareness Raising Workshop on Persistent Organic Pollutants (POPs). Puerto Iguazú,

Argentina, April 1998 - United Nations Environment Program on POPs.  
<http://www.chem.unep.ch/pops/>

Mc Gill R., Tukey J.W., Larsen W.A. (1978) Variation of box plots. The American Statistician, 32, 12-16

OFEFP – Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage de Suisse (2001)  
Commentaires concernant l'ordonnance de 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (Osol)

Pirard C., G. Eppe, A-C. Massart, S. Fierens, E. De Pauw, and J-F. Focant (2005)  
Environmental and Human Impact of an Old-Timer Incinerator in Terms of Dioxin and PCB Level: A Case Study. Environ. Sci. Technol 39, 4721 – 4728

## **Annexe 1**

### **Exemple d'identification des échantillons prélevés**



	<b>Exemple 1</b>	<b>Exemple 2</b>
<b>Date du prélèvement</b>	01/11/05	01/11/05
<b>Référence de l'échantillon</b>	Sol 1– nov05	Sol 2-nov05
<b>Orientation et distance par rapport à la source théorique</b>	Nord-est, 750 m (sous influence)	Est, 5000 m (témoin)
<b>Localisation sur une carte</b>	1	2
<b>Emplacement (adresse, localisation)</b>	Ferme de Mr X	Chemin le long départemental D au lieu-dit X
<b>Accès, contact</b>	N° tél	Accès public
<b>Nature de l'échantillon</b>	Jardin cultivé	prairie
<b>Type</b>	terre nue	terre (sans végétaux)
<b>Aspect/ texture</b>	marron	Brune, sableuse
<b>Prélèvement</b>	1m2 sur 10 cm, 5 sous-échantillons, env 1 kg	1m2 sur 10 cm, 5 sous-échantillons, env 1 kg
<b>Conditionnement, stockage</b>		
<b>Observations</b>		





## **Annexe 2**

### **Tableau d'analyse type des rapports d'étude (extraits présentation CARSO)**



## Analyse de PCDDs/PCDFs

Client :

Référence client :

Date :

Fichier :

Teneur H<sub>2</sub>O (%) : 10,70

Date marquage avant extraction :

Date marquage avant purification :

Date marquage avant HGRC/HRMS :

Date injection :

Masse sèche extraite (g) : 51,85

	I-TEQ OMS (1997)	pg par extrait	ng par kg	LoD pg par extrait	LoD ng par kg	Taux de réapparition %
Tetrachlorodibenzodioxines		273,66	5,28			
Pentachlorodibenzodioxines		498,01	9,62			
Hexachlorodibenzodioxines		785,81	15,16			
Heptachlorodibenzodioxines		1448,47	27,94			
Octachlorodibenzodioxine	0,0001	4131,46	79,68			73
Somme Tetra- to Octachlorodibenzodioxines		7138,0	137,7			
Tetrachlorodibenzofuranes		756,40	14,59			
Pentachlorodibenzofuranes		690,10	13,31			
Hexachlorodibenzofuranes		542,66	10,47			
Heptachlorodibenzofuranes		549,80	10,60			
Octachlorodibenzofurane	0,0001	440,38	8,49			70
Somme Tetra- to Octachlorodibenzofuranes		2978,4	57,5			
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine	1	4,95	0,10			56
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine	1	17,29	0,33			66
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzodioxine	0,1	23,63	0,46			96
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzodioxine	0,1	65,96	1,27			82
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzodioxine	0,1	46,76	0,90			
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine	0,01	727,91	14,04			89
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	0,1	52,06	1,00			60
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	0,05	33,04	0,64			70
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	0,5	55,12	1,06			63
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1	67,99	1,31			84
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1	69,31	1,34			82
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	0,1	57,96	1,12			97
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	0,1	2,19	0,04			104
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	0,01	359,07	6,93			80
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	0,01	34,89	0,67			93
37Cl-2,3,7,8-TCDD						56
I-TEQ en pg par extrait		101,71				

n.d. = donnée non caractérisée  
nd = non détecté  
M.G. = Matière Grasse  
LoD = Limite de détection  
extrait = Matière grasse totale

## Résultats I-TEQ totaux

ng / kg  
de matière sèche :

Total I-TEQ; nd = 0 (lower bound)	2,0
Total I-TEQ; nd = LoD (upper bound)	2,0

OMS



## **Annexe 3**

### **Extraits de la documentation de la base DIOXINS de l'Allemagne (2001)**

Paramètres d'entrée du compartiment sol dans la base de données allemandes  
(figure 3)

Liste des matrices analysées à fin septembre 2000 (figure 1)

Résultats concernant les sols (3600 analyses) – figures 9, 10, 11, 13



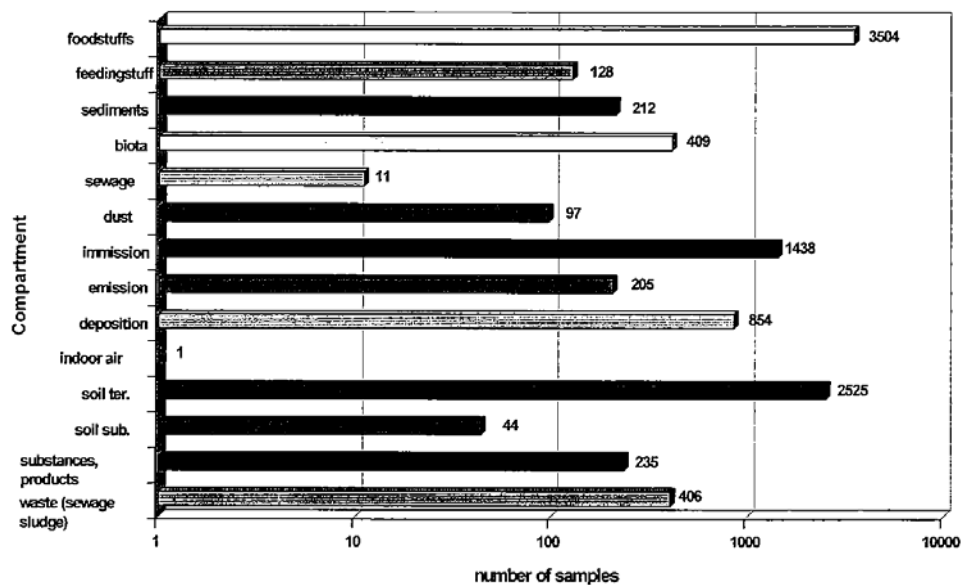
## Data on environmental pollution by dioxins

7

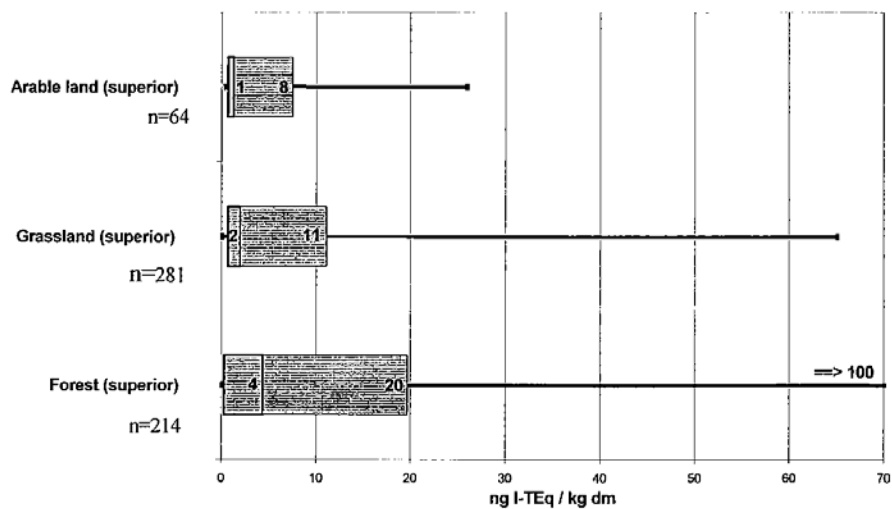
<b>Compartment Soil:</b>	
<b>1. Reason for the investigation</b> environmental monitoring (y/n) permanent monitoring (y/n) authorization procedure (y/n) investigation of contaminated sites/soil research project (y/n) investigation prescribed by law (y/n) <i>incident investigation (y/n)</i> measuring program/name miscellaneous	land use ✓ org. layer (y/n) depth from to ✓ horizon ✓ type of soil colour org. substance (%) rooting humidity PH value soil density (g/cm <sup>3</sup> ) type of soil random sample (y/n) mixed sample (y/n) suspected sample (y/n) + cause mixed sample (y/n) + score sampling quantity sampling area area random samples way of sampling (grab (y/n), bore hole etc.) transport of samples (vessel/conditions/duration)
<b>2. Target of investigation</b> detection of background contamination rural (y/n) detection of background contamination urban (y/n) detection of background contamination agglomeration (y/n) special impact situation/cause consideration of transfer/consideration of pathways connection with other samples connection with other measuring programs	
<b>3. Location data:</b> community indicators/BLFR type ✓ easting/northing values height amsl <i>sampling on the territory = classified as contaminated site (y/n)</i> sampling in nature preserve areas (y/n) <i>sampling on permanent training area (y/n)</i> sampling on land expected to be used for building (y/n) sampling in recultivation areas (y/n) (in the case of subhydic soils: name of river, km of river) <i>dioxin-relevant industrial area (type/distance)</i> <i>dioxin-relevant old plant (type/distance)</i> <i>traffic routes (type/distance)</i> <i>site suspected of being contaminated (type/distance)</i> <i>placing of sewage sludge (y/n)</i>	<b>5. Laboratory data:</b> storage duration storage temperature regulation for the preparation of samples regulation for analysing number IS (PCDD/PCDF, PCB) quantity IS confidence interval participation in interlaboratory studies external/internal standards recovery
<b>4. Sampling procedure:</b> date ✓ subcompartment total soil (y/n) subcompartment soil solution (y/n) subcompartment sediment (y/n) subcompartment soil matrix (y/n) subcompartment soil air (y/n) subcompartment suspended matter (y/n)	<b>6. Analytical results:</b> ✓ related to dry matter fine soil (y/n) related to dry matter total soil (y/n) dry mass (%) humus content pH value CACeff recovery detection limit

**Figure 3: Potential input parameters database DIOXINS compartment Soil**

(**bold+italic** = identification of samples with a special situation of impact, **bold**+✓ = s ited for evaluation(number of samples, data quality...)

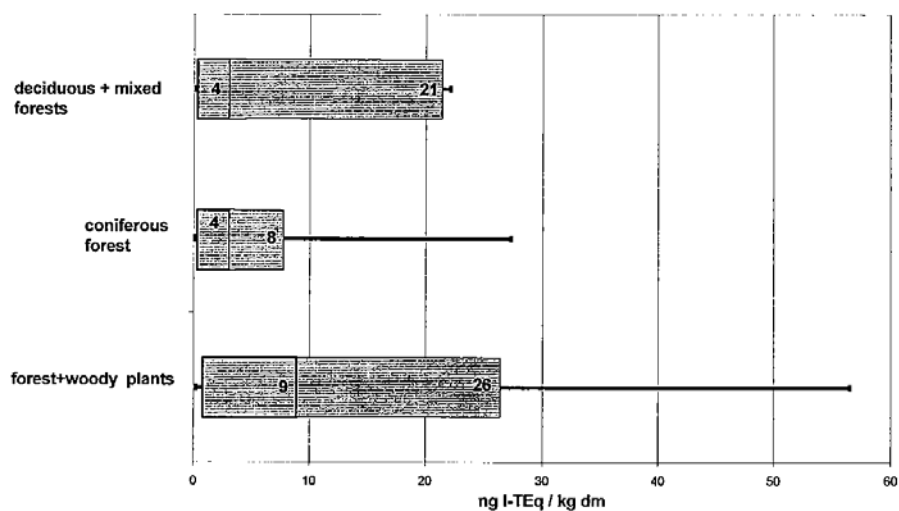


**Figure 1:** Number of samples contained in the database DIOXINS; up to September 2000 (Federal Environmental Agency, 2000)

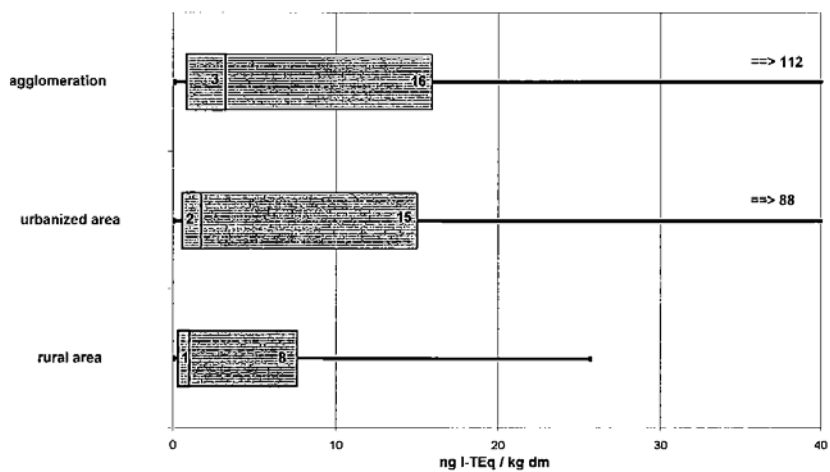


**Figure 9:** PCDD/PCDF contents (I-TEq without inclusion of the detection limit) in mineral topsoils without special impact depending on the uses





**Figure 10:** PCDD/PCDF content (I-TEq without inclusion of the detection limit) in mineral topsoils without special impact for various uses of forest



**Figure 11:** PCDD/PCDF content (I-TEq without inclusion of the detection limit) in mineral topsoils without special impact in various types of areas







**Centre scientifique et technique**  
**Service Environnement & Procédés**  
3, avenue Claude-Guillemain

BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34