

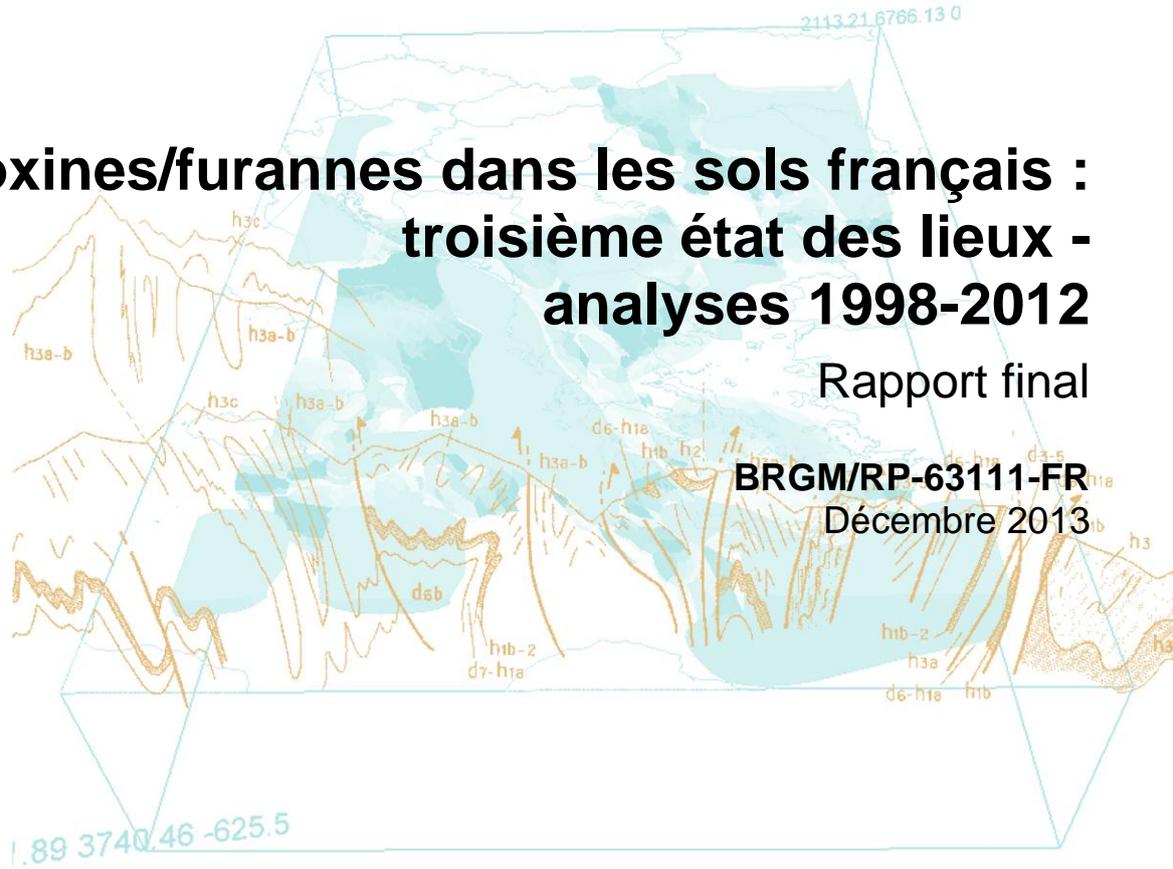


Dioxines/furannes dans les sols français : troisième état des lieux - analyses 1998-2012

Rapport final

BRGM/RP-63111-FR

Décembre 2013



Géosciences pour une Terre durable

brgm

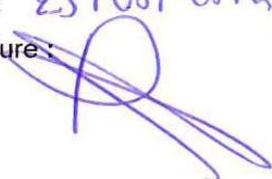
Dioxines/furannes dans les sols français : troisième état des lieux - analyses 1998-2012

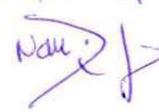
Rapport final

BRGM/RP-63111-FR
Décembre 2013

Étude réalisée dans le cadre des opérations (projets)
de Service public du BRGM 2012 - action 10

F. Bodénan, P. Michel
Avec la collaboration de
L. Cary

<p>Vérificateur :</p> <p>Nom : Laurent Rouvreau</p> <p>Date : 25/08/2014</p> <p>Signature : </p>
--

<p>Approbateur :</p> <p>Nom : Nathalie Dörfliger</p> <p>Directrice de la Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies</p> <p>Date : 4/05/2014</p> <p>Signature : </p>
--

Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Remerciements

Nous remercions l'association Halluin 3R, à l'initiative et coordinatrice du projet « Dioxines : contamination et biodégradation », ainsi que le laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras pour nous avoir communiqué les résultats des analyses de dioxines et furannes réalisées sur 72 échantillons de sols du site du Noir Pot à Halluin (ancienne parcelle agricole sous influence industrielle), commune du Nord de la France.

Mots-clés : Dioxines, Sols, Données statistiques.

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

Bodénan F., Michel P. (2013) – Dioxines/furannes dans les sols français : troisième état des lieux - analyses 1998-2012. Rapport final. BRGM/RP-63111-FR, 56 p., 16 ill., 4 ann.

Synthèse

Le BRGM a été mandaté en 2005 et 2008 par le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie afin de collecter des données disponibles de teneurs en dioxines dans les sols en France métropolitaine et d'en proposer un traitement statistique. Suite à la mise à disposition de données complémentaires, une synthèse actualisée est ici proposée. Ces données permettent de situer des concentrations mesurées lors de suivis de sites, notamment industriels, par rapport à des intervalles de teneurs définies dans cette étude.

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

Les nouvelles données traitées concernent des campagnes de prélèvement réalisées entre 1998 et 2012 sur le territoire français, dans l'environnement i) des installations d'incinération, ii) de toutes autres installations mettant en œuvre un procédé thermique susceptible de générer des dioxines/furannes (sidérurgie, site chimique,...), iii) de sites ayant été l'objet d'évènements accidentels (feux) et enfin, iv) de sols non industrialisés (milieu rural), de sols en zones urbaines et industrielles pour l'établissement de bruit de fond locaux.

1 181 données d'équivalent toxique¹ (TEQ), dont plus de 500 données de concentrations des 17 congénères toxiques, ont ainsi été collectées en identifiant celles associées à des bruits de fond, celles situées à proximité immédiate d'activités industrielles et celles provenant d'une ancienne parcelle agricole sous influence industrielle. Le TEQ considéré n'inclut par la contribution des PCB-dl faute de données. La variabilité des données traitées est décrite tant pour les unités utilisées que pour les limites de quantification des 17 congénères, et mène à des choix de représentation (hypothèse de travail).

Le traitement statistique de l'ensemble des données, selon l'hypothèse d'un scénario majorant au travers d'une donnée TEQ dite « tout confondu », se traduit par une valeur médiane de l'ordre de 2 ng-TEQ/kg MS (matière sèche).

Les profils des 17 congénères sont associés à la contribution principale de 4 congénères dont celle majoritaire de l'octadioxine OCDD (médiane 57 %), suivi de 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF et OCDF. Ce profil type est très marqué pour les sols de bruit de fond rural (médiane OCDD 70 %) mais s'en éloigne nettement pour les sols de l'ancienne parcelle agricole (médiane OCDD 26 %).

Un traitement statistique plus poussé, selon la méthode des droites de Henry, a permis de distinguer quatre intervalles de concentrations en dioxines/furannes dans les sols (hors PCB-dl). Elles concernent des valeurs TEQ OMS 1998 (nd=LQ) inférieures à 2 ng/kg MS, incluant l'ensemble des données de sols ruraux et quelques sols urbains ; des valeurs TEQ comprises

¹ TEQ : toxicité globale d'un mélange de dioxines explicitée par un seul chiffre à partir des données individuelles de concentration et de facteur toxique ; valeur largement utilisée par souci de simplification même hors contexte d'évaluation de risque sanitaire.

dans l'intervalle 2 à 8 ng/kg MS incluant des données de sols urbains et de sols sous influence industrielle ; des TEQ dans l'intervalle 8 à 17 ng/kg MS incluant des données de sols sous influence industrielle ; et enfin des TEQ supérieures à 17 ng/kg MS, incluant des sols sous influence industrielle, dont spécifiquement les sols d'une ancienne parcelle agricole exposée à des retombées. Cette dernière population concerne des valeurs dites « anormales » au regard du reste de la population statistique, qui a généralement pour origine des sols liées à d'anciennes activités industrielles, à de mauvaises pratiques (brulages divers) ou encore à des accidents (feu).

L'ensemble de ces valeurs donne un premier cadre à l'étude générale de données en dioxines/furannes de sites, tout en gardant en mémoire la diversité des modes d'acquisition (prélèvement, analyses) des différentes données recueillies dans cette étude, la disparité des limites de quantification analytique mais aussi la variabilité naturelle des sols qui concentrent des ultratrace (ng/kg sol) via la matière organique. Les données sont en cohérence avec des données internationales (USA, Allemagne, Suisse).

Des recommandations internationales de teneurs en dioxines/furannes dans les sols existent dans certains pays (Allemagne, Suisse, Canada USA). L'Allemagne et la Suisse ont ainsi fixé des seuils d'action en fonction des usages à partir de concentration de 100 ng I-TEQ/kg MS et un certain nombre de valeurs inférieures qui peuvent permettre de déclencher des contrôles dans les produits alimentaires (cultures). Aux USA une valeur de 1 000 ng TEQ/kg MS est admise depuis 1998 pour engager des actions de remédiation. Un seuil plus bas (3,3 ng TEQ/kg MS), qui fait débat, a été proposé en 2009 par l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) mais sans être mis en application à ce jour.

En termes de perspectives à l'issue de cette étude, nous recommandons que le groupe de travail « GT laboratoires SSP » puissent prendre en compte le constat de variabilité des données de teneurs et des limites de quantification associées, notamment quant à la problématique d'analyses des polluants organiques dont les dioxines/furannes dans l'environnement (sol, eau air) des sites et sols pollués.

De plus, l'abondement de la base de données permettrait de poursuivre la capitalisation de nombreuses informations acquises annuellement en France, et de continuer à proposer un « référentiel » et des valeurs repères.

Enfin, il paraîtrait judicieux de poursuivre l'abondement de cette base de données pour capitaliser régulièrement les nombreuses informations acquises annuellement en France, et ainsi continuer à proposer un « référentiel statistique » et les valeurs repères qui en sont issues. Dans le cas d'une évolution réglementaire (Europe,...) cette capitalisation serait disponible pour des reportages. Aussi la capitalisation systématique de métadonnées associées, telles que la profondeur d'échantillonnage, le tamisage du sol (2 mm), les techniques de préparation et d'analyses ou encore la valeur du COT aiderait à traiter les données plus en avant.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Données et méthodologie.....	11
2.1. BILAN DES DONNÉES ET MÉTADONNÉES.....	11
2.2. CONTEXTE DES DONNÉES.....	12
2.3. DONNÉES TEQ ET CHOIX DE REPRÉSENTATION.....	14
2.3.1. Les unités utilisées.....	14
2.3.2. Conséquences de la prise en compte ou non des valeurs non détectées	14
2.3.3. Règles de priorité du traitement des données TEQ.....	16
2.4. REPRÉSENTATION STATISTIQUE.....	16
3. Résultats	19
3.1. DONNÉES TEQ « TOUT CONFONDU » DES SOLS	19
3.2. DONNÉES COMPLÈTES ET INFLUENCE DU SYSTÈME DE CALCUL SUR LA VALEUR TEQ.....	21
3.3. PROFILS DES CONGÉNÈRES (527 DONNÉES COMPLÈTES).....	22
3.4. DISCRIMINATION DE POPULATIONS PAR LA MÉTHODE DES DROITES DE HENRY	25
3.4.1. Méthodologie	25
3.4.2. Résultats.....	25
4. Discussion - Conclusion.....	29
5. Bibliographie	31

Liste des illustrations

Illustration 1 - Données de dioxines/furannes dans les sols.....	11
Illustration 2 - Métadonnées associées aux teneurs en dioxines dans les sols	12
Illustration 3 - Classement des données par type d'activité, en nombre d'analyses	13
Illustration 4 - Distance à l'émetteur potentiel des données	13
Illustration 5 - Aperçu général des données sols exprimées avec LQ (nd=LQ) et sans LQ (nd = 0), en a) TEQ (OTAN) de 571 données ; b) TEQ (OMS 1998) de 669 données	15
Illustration 6 - Statistiques de base avec prise en compte ou non des limites de quantification TEQ OMS-98 (nd = 0, nd = LQ) 669 analyses.....	15

Illustration 7 - Représentation de données statistiques par des boîtes « à moustaches » normale et modifiée.....	17
Illustration 8 - Aperçu général des données sols exprimées en TEQ dit « tout confondu » par ordre croissant (1181 données) et de la limite anormale statistiquement calculée à 15,1	19
Illustration 9 - Distribution des données sols (1181 données) exprimées en TEQ dit « tout confondu » en 40 classes (de façon arbitraire).....	19
Illustration 10 - Données statistiques du TEQ « tout confondu », en fonction du contexte - 1 181 analyses.	20
Illustration 11 - Expression de la TEQ dans les différents systèmes, calculée à partir des concentrations des 17 congénères pour les 527 analyses complètes	21
Illustration 12 - Scattergram des valeurs TEQ des profils étudiés ci-après a) nd = LQ ; b) nd = 0.....	22
Illustration 13 - Statistiques des quatre séries de données - 527 analyses complètes.....	22
Illustration 14 - Profil des congénères a) des 527 analyses complètes, b), du bruit de fond rural, c) de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle et d) des valeurs statistiquement « anormales ».	24
Illustration 15 - Traitement des 527 données dioxines (TEQ) dans les sols : représentation graphique de la méthode des droites de Henry ; pour discrimination des populations	26
Illustration 16 - Représentation des données bruit de fond rural, bruit de fond urbain, de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle et des points de comparaison (UIOM) selon la méthode de l'illustration précédente.....	28

Liste des annexes

Annexe 1 - Généralités sur les dioxines/furannes (PCDD/F) et les PCB de type dioxine (PCB-DL). Recommandations de teneurs (Allemagne, Suisse, USA)	33
Annexe 2 - Statistiques générales supplémentaires (contexte des données, système de calcul des TEQ).....	45
Annexe 3 - Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 1 181 analyses en TEQ « tout confondu » en identifiant l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle.....	49
Annexe 4 - Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 527 analyses complètes en TEQ OMS (nd = LQ).....	53

Termes et définitions

Polluants

Congénère : molécule plus ou moins chlorée du mélange des dioxines/furannes.

Dioxines/furannes (ou polychlorés dibenzo-p-dioxines et dibenzofurannes, PCDD/F), souvent décrites sous le terme générique Dioxines : Famille de 210 molécules polychlorées, dont 17 sont répertoriées comme toxiques, et sont plus particulièrement analysées pour calculer la toxicité d'un mélange.

PCB-dl : PCB (Polychlorés biphényles) de type dioxines : 12 congénères assimilés aux dioxines de par leur toxicité décrits dans les systèmes de calcul OMS (1998 et OMS).

Unités

LQ : limite de quantification (LQ) d'un congénère donné ; dans les rapports consultés le terme limite de détection (LD) est parfois utilisé en lieu et place par abus de langage.²

nd : teneur d'un congénère non déterminée car inférieure à la limite de quantification (LQ)

TEF 'Toxic equivalent factor' : facteur d'équivalent toxique d'un congénère. Trois congénères : 2,3,7,8-TCDD ; 1,2,3,7,8-PeCDD et 2,3,4,7,8,-PeCDF, présentent respectivement des TEF élevés de 1, 1 et 0,3 ou 0,5 selon les systèmes de calcul. Les autres congénères contribuent 10 à 6 000 fois moins à la toxicité du mélange.

TEQ 'Toxic equivalent' ou toxicité équivalente : toxicité du mélange des 17 congénères (voire des 12 PCB-dl), correspondant à somme des produits de la concentration de chaque congénère par son facteur toxique, soit :

$$\begin{aligned} & \Sigma_{1-17} (\text{TEF} \times \text{concentration massique de chaque congénère PCDD/F}) \\ & + \Sigma_{1-12} (\text{TEF} \times \text{concentration massique de chaque congénère PCB-dl}). \end{aligned}$$

Expression des teneurs par rapport à la matière sèche (MS)

Concentration de chaque congénère : en ng/kg MS

Calcul de la toxicité TEQ du mélange des 17 congénères : en ng TEQ/kg MS, en précisant le système de calcul du TEQ (OTAN, 1989 ; OMS, 1998 ; OMS, 2005) et la façon dont ont été gérées les données inférieures aux limites de quantification, soit :

- nd=0 quand les concentrations non quantifiées sont mises à zéro (minorant) ;
- nd=LQ quand les concentrations non quantifiées sont mises égales à la limite de quantification (majorant).

Des compléments et détails sont fournis en annexe 1.

² 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).

1. Introduction

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

Un travail de capitalisation et de traitement de données disponibles concernant les teneurs en dioxines/furannes dans les sols français au voisinage d'installations industrielles a été mené par le BRGM pour le compte du Ministère de l'Ecologie en 2005 et 2008 (rapports BRGM/RP-54202-FR et BRGM/RP-61045-FR), afin d'établir un premier état des lieux des teneurs en dioxines dans les sols français. Les données étaient issues des campagnes annuelles (pour certaines antérieures à 2002) de suivi de l'impact potentiel des incinérateurs dans l'environnement en lien avec la mise en œuvre de l'article 30 de l'arrêté ministériel du 20 septembre 2002 (obligatoire depuis décembre 2005 aux installations existantes) et d'un certain nombre d'autres études (bruit de fond urbain, autres activités industrielles, feux).

De nouvelles données, issues du même contexte (suivi de l'impact sur l'environnement des incinérateurs mais incluant aussi un projet de recherche sur une ancienne parcelle agricole sous influence industrielle), et d'un contexte de sols non anthropisés, sont désormais disponibles. Elles permettent la poursuite de la capitalisation et un nouveau traitement de l'information. Un traitement statistique des données est réalisé pour une mise à disposition publique complémentaire, sous forme d'intervalles de teneurs permettant des comparaisons entre des données de bruit de fond et celles de suivi de sites plus impactés.

Il est important de garder en mémoire que le sol est un milieu multi-composants constitué d'une fraction minérale (quartz, argiles, hydroxydes de fer...) et d'une fraction organique (acides humiques, fulviques, micro-organismes...), plus ou moins aptes à piéger les polluants. Cette variabilité naturelle se traduit logiquement par une certaine variabilité des teneurs, même sur des courtes distances. Par ailleurs, les dioxines/furannes concernent des ultraces exprimées en nanogrammes par kg de sol (ng/kg MS) et qui se fixent dans les sols via la matière organique.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques du BRGM correspondant à l'action 10 de la convention 2012 MEDDE/DGPR.

2. Données et méthodologie

Ce chapitre fait le point sur les données de teneurs en dioxines dans les sols disponibles pour une exploitation statistique. La variabilité intrinsèque des données, notamment pour les unités et les limites de quantification, est décrite et discutée au regard de l'utilisation potentielle des résultats pour toute interprétation de données.

2.1. BILAN DES DONNÉES ET MÉTADONNÉES

	Analyses complètes (concentrations des 17 congénères et limites de quantification) et TEQ	Valeur TEQ et système de calcul (OTAN, OMS)
Données exploitables capitalisées (1998-2010)	423	654
Projet de recherche sur parcelle historique impactée	72	
Fond géochimique urbain 'FGU'	11	
Sols non urbains	21	
Total	527	654

Illustration 1 - Données de dioxines/furannes dans les sols.

Les analyses de teneurs en dioxines/furannes dans les sols capitalisées précédemment (période 1998-2007) concernaient l'environnement i) des installations d'incinération (état environnemental « zéro » effectué avant l'implantation de toute nouvelle installation et étude annuelle d'impact conformément à l'article 30 du 20 septembre 2002), ii) de toute autre installation mettant en œuvre un procédé thermique susceptible de générer des dioxines/furannes (sidérurgie, site chimique,...), iii) de situations accidentelles (feux) et enfin, iv) de sols urbains (bruit de fond).

Les données complémentaires de teneurs en dioxines/furannes dans les sols, disponibles (Illustration 1), concernent :

- les campagnes de suivi environnemental des incinérateurs, principalement sur la période 2007-2009 (rapport BRGM/RP-61045-FR, 2012) et quelques suivis réalisés en 2010 (article 30 du 20 septembre 2002) ;
- les données issues d'un projet de recherche sur une ancienne parcelle agricole sous influence industrielle, située à proximité d'un ancien incinérateur en fonctionnement pendant 30 ans, parcelle qui fait aujourd'hui l'objet d'un suivi dans le cadre d'un projet de recherche sur les dioxines coordonné par Halluin3R (site du Noir Pot, Halluin, région Nord-Pas-de-Calais) ;
- les données dites du fond géochimique urbain 'FGU' en lien avec l'opération « Etablissements sensibles (ETS) » ;
- et enfin des données de sols non urbains des départements du Rhône et de l'Isère issues de la mise en œuvre en 2012 du Plan régional Santé Environnement 2 de la région Rhône-Alpes et toujours en cours à la date de rédaction du rapport.

Au total 1 181 données sont prises en compte. Les analyses traitées concernent :

- des données complètes, comprenant les teneurs ou les limites de quantification pour les 17 congénères présentant un caractère toxique (analyse complète), permettant le calcul du TEQ selon les trois systèmes de calculs qui se sont succédés : OTAN (1989), OMS (1998), OMS (2005) ;
- des valeurs TEQ, calculées par ailleurs à partir des concentrations des 17 congénères, selon un, deux ou les trois systèmes de calculs précités.

Afin de s'affranchir de la transcription de la concentration de chacun des 17 congénères toxiques de dioxines/furannes, l'approche des équivalents toxiques est généralement utilisée pour décrire des teneurs dans des matrices environnementales (sols, sédiments, effluents, cendres, etc.). Cette approche a été développée pour quantifier une exposition en relation avec l'ingestion d'aliments. Le fait de présenter les résultats en équivalents toxiques TEQ ne permet pour autant pas de discuter de la notion de risques dans ce rapport.

Les métadonnées associées à chaque donnée dioxines sont assez nombreuses, mais disparates d'une étude à l'autre. Afin de répondre au mieux à l'objectif de l'étude, elles ont été revues et hiérarchisées, après simplification, sous forme de lexique (Illustration 2). Ainsi, au maximum, huit métadonnées peuvent être associées à chaque teneur en dioxines, et sont représentées (hors commune) par 3 à 15 classes.

Métadonnée	Lexique associé	Nombre de classes
Commune*	Liste des communes	
Environnement	Rural, urbain, rural/urbain, urbain/industriel, industriel, mixte	6
Activité	Incinération, aciérie/ métallurgie, industrie chimique, incendie, bruit de fond urbain, bruit de fond rural, inconnu	7
Date de prélèvement	Date (1998-2012)	15
Objectif du point de prélèvement	Point « témoin »/ de comparaison » (hors influence de l'installation étudiée) ; Point de suivi (sous influence) ; Inconnu	3
Usage du sol	Agricole, parc-pelouse, prairie, jardin cultivé, bois-forêt, sentier-cour (pas enherbée), inconnu	7
Profondeur de prélèvement	< 5 cm, 0-10 cm, 0-15 cm, 0-20 cm, 0-25 cm, 0-30 cm, Autre, Inconnue	8
Distance à l'émetteur	<500m ; 501-2000 m ; 2001-4000 m ; > 4000m ; inconnue ; sans objet	6

* L'ensemble des données de suivi d'une installation industrielle donnée est associé à la commune du site industriel.

** Les états 'zéro' avant démarrage des incinérateurs implantés sur des sites vierges sont notés en bruit de fond rural ou urbain.

Illustration 2 - Métadonnées associées aux teneurs en dioxines dans les sols.

2.2. CONTEXTE DES DONNÉES

Des statistiques générales associées aux 1181 données de teneurs en dioxines dans les sols sont proposées ci-après (Illustration 3, Illustration 4), par activité et en fonction de la distance à l'émetteur. Les données proviennent principalement des suivis de l'impact environnemental des

usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) « en des lieux où l'impact de l'installation est supposée être le plus important » selon les termes de l'article 30 de l'arrêté du 20 septembre 2002. Des points de comparaison, hors influence de l'installation, sont également prélevés lors des études. Désignés sous le terme de points « témoin », ces points reflètent un grand nombre de situations, qui peuvent s'éloigner significativement de l'évaluation d'un bruit de fond. Ils sont parfois localisés à proximité d'autres installations industrielles, de routes, ou encore correspondent à des sols ayant un long passé industriel. Etant donnée la persistance des dioxines/furannes, il s'en suit que ces sols peuvent refléter l'effet cumulatif d'anciennes émissions. Dans la suite du rapport, ils seront notés « points de comparaison » pour éviter toute confusion avec les données de bruit de fond de sol échantillonné avec cet objectif.

Contexte	Aciérie / Métallurgie	Bruit de fond rural	Bruit de fond urbain	Incendie	Industrie chimique	Incinération (UIOM)	Total
Point de suivi	18			5	4	855	882
Point de comparaison	5	34	39			176	254
Inconnu	6					39	45
Total	29	34	39	5	4	1070	1181

Illustration 3 - Classement des données par type d'activité, en nombre d'analyses.

Distance	Nombre	%
< 500 m	163	14%
501-2000 m	282	24%
2001-4000 m	103	9%
> 4001 m	56	5%
Inconnue	451	11%
Sans objet	126	14%
Total	1181	100 %

Illustration 4 - Distance à l'émetteur potentiel des données.

D'autres statistiques, rassemblées en annexe 2, concernent la répartition des données par rapport à l'année de prélèvement (1998-2012), ainsi que la profondeur ou l'usage des sols prélevés. Ces dernières métadonnées, connues seulement pour environ la moitié des données, n'ont pas été exploitées de façon plus poussée, contrairement à ce qui avait été fait dans l'étude précédente (cf. BRGM/RP-56132-FR).

Par rapport à la constitution et la représentativité des prélèvements, rappelons que les dioxines sont concentrées principalement sur les 10 premiers centimètres de sol, voire moins pour les sols non remaniés. La profondeur de prélèvement se fait en lien avec l'usage du sol (remanié ou non), un mélange de sous-échantillons et un tamisage à 2 mm (classique). En l'absence de remaniement, le prélèvement des premiers centimètres suffit (sol de surface) ; si des niveaux inférieurs non remaniés sont prélevés une dilution peut être générée puisque la contribution anthropique est véhiculée par les airs (dépôts de surface).

2.3. DONNÉES TEQ ET CHOIX DE REPRÉSENTATION

2.3.1. Les unités utilisées

Les données TEQ associées aux concentrations des 17 congénères peuvent être recalculées selon les différents systèmes, en prenant en compte (ou non) les limites de quantification (LQ) pour les concentrations non détectées nd [TEQ (nd = 0) ou TEQ (nd = LQ)]. Il s'ensuit 4 modes de représentations :

- TEQ_OMS (1998) nd = LQ ;
- TEQ_OTAN 1989 nd = LQ ;
- TEQ OMS (1998) nd = 0 ;
- TEQ OTAN (1989) nd = 0.

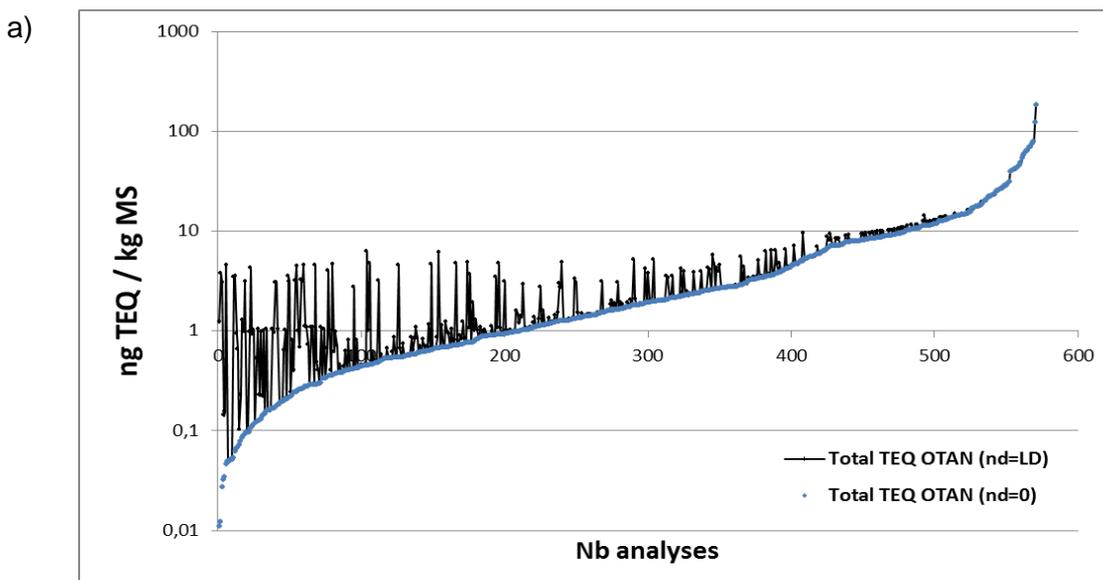
À ces représentations il convient d'en ajouter deux nouvelles, en lien avec le système OMS (2005), encore peu pris en compte dans les études : TEQ_OMS (2005) nd = LQ et TEQ OMS (2005) nd = 0.

Par contre, les données TEQ communiquées seules (données incomplètes) ne peuvent pas être recalculées selon les différents systèmes OTAN/OMS, puisque les concentrations des congénères ayant servi au calcul ne sont pas disponibles. Le TEQ est alors exprimé dans un système donné (voire plusieurs) mais pas dans tous.

Quelquefois le TEQ n'est pas du tout connu dans les données reçues (informations partielles, pas de bordereaux).

L'étude détaillée des différentes situations rencontrées dans les données à traiter ne fait pas vraiment ressortir de système de représentation principal, puisque entre 55 à 63 % des analyses peuvent être représentées dans chacun des systèmes de calcul (annexe 2).

2.3.2. Conséquences de la prise en compte ou non des valeurs non détectées



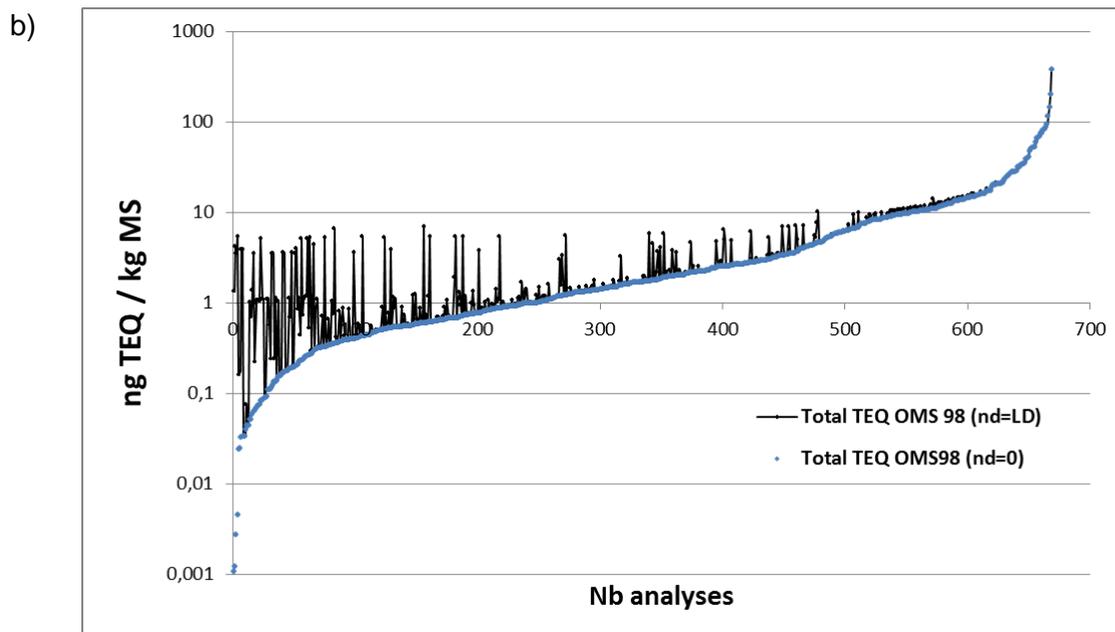


Illustration 5 - Aperçu général des données sols exprimées avec LQ ($nd = LQ$) et sans LQ ($nd = 0$), en a) TEQ (OTAN) de 571 données ; b) TEQ (OMS 1998) de 669 données.

ng TEQ OMS98/kg	($nd = LQ$)	($nd = 0$)
Min	0,0	0,0
Centile (10%)	0,5	0,3
Médiane	2,2	1,7
Centile (90%)	14,9	14,5
Max	383,0	383,0

Illustration 6 - Statistiques de base avec prise en compte ou non des limites de quantification TEQ OMS-98 ($nd = 0$, $nd = LQ$) 669 analyses.

Le calcul en équivalent toxique peut prendre en compte ou non les limites de quantification (LQ) pour les concentrations de congénères non détectés (nd). Le TEQ est alors exprimé en :

- limite inférieure, TEQ ($nd = 0$) en affectant zéro aux congénères non détectés ;
- limite supérieure, TEQ ($nd = LQ$) en attribuant les limites de quantification aux congénères non détectés.

La valeur TEQ est en conséquence associée à un intervalle plus ou moins large, selon que les limites de quantification sont prises en compte dans le calcul de l'équivalent toxique ou non.

Les différences [TEQ ($nd = 0$) - TEQ ($nd = LQ$)] les plus importantes concernent les TEQ les plus faibles : généralement inférieures à 10 ng TEQ/kg MS (Illustration 5).

En global, et à titre d'exemple, sur les 669 données OMS98 (Illustration 6), cela se traduit par un écart de 0,5 TEQ ng/kg MS à la médiane (1,7 contre 2,2).

Selon les laboratoires, les équipements mis en œuvre et les protocoles d'extraction et d'analyses, les limites de quantification sont très variables ; d'une étude à l'autre elles peuvent

varier d'un facteur 20, 100 voire 1 000 selon les congénères. Il s'ensuit que la qualité des résultats collectés est parfois très dissemblable et qu'il convient d'être vigilant.

L'impact d'une limite de quantification haute sur le TEQ, se fera sentir majoritairement pour les deux congénères considérés comme les plus toxiques mais non majoritaires dans les mélanges : 2378-TCDD et la 12378-PeCDD qui ont un TEF de 1.

2.3.3. Règles de priorité du traitement des données TEQ

Pour valoriser l'ensemble des 1 181 analyses, les règles de priorité suivantes ont été considérées pour une donnée TEQ dite « tout confondu » selon un scénario majorant.

Ainsi la donnée (nd = LQ) a été considérée en 1^{er} lieu, puis le système de calcul TEQ le plus récent, soit en final : 1) Total_TEQ_OMS nd = LQ ; puis 2) Total_TEQ_OTAN nd = LQ ; puis 3) Total_TEQ OMS nd = 0 ; puis 4) Total_TEQ OTAN nd = 0.

2.4. REPRÉSENTATION STATISTIQUE

Le mode de représentation de l'étude de 2008, repris dans cette étude, est rappelé ci-après.

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 « à moustaches » ou Whisker box-plot en anglais (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, les 1^{er} et 3^{ème} quartiles de la distribution ; ceci permet de visualiser rapidement le centre, la forme de la distribution et son étendue. Ce mode de représentation est également bien adapté pour comparer des distributions entre elles.

Dans le principe, les données, classées par ordre croissant, sont partagées en quatre parts égales, chacune en contenant 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 %) ;
- le 3^{ème} quartile (75 %) est la valeur centrale de la seconde moitié des données.

Il s'agit du mode de description standard, dite normale dans le rapport.

En Allemagne, le groupe d'experts qui travaille depuis 1992 sur la base de données DIOXINS utilise une version modifiée de la boîte « à moustaches » pour laquelle les 1^{er} et 3^{ème} quartiles sont remplacés par les 10^{ème} et 90^{ème} centiles soit 10 et 90 % des données (DIOXINS, 2001).

Les deux modes de représentation sont synthétisés sur l'illustration 7, pour un même groupe de données. La moyenne arithmétique est précisée pour comparaison avec la médiane ; cela illustre clairement l'influence de données extrêmes qui majorent la moyenne par rapport à la médiane.

Dans l'ensemble du rapport, les résultats sont présentés sous forme de boîte « à moustaches » modifiée qui permet la lecture immédiate pour une population donnée :

- du minimum ;
- de 10 % des données (10^{ème} centile) ;

- de 50 % des données (médiane) ;
- de 90 % des données (90^{ème} centile) ;
- du maximum.

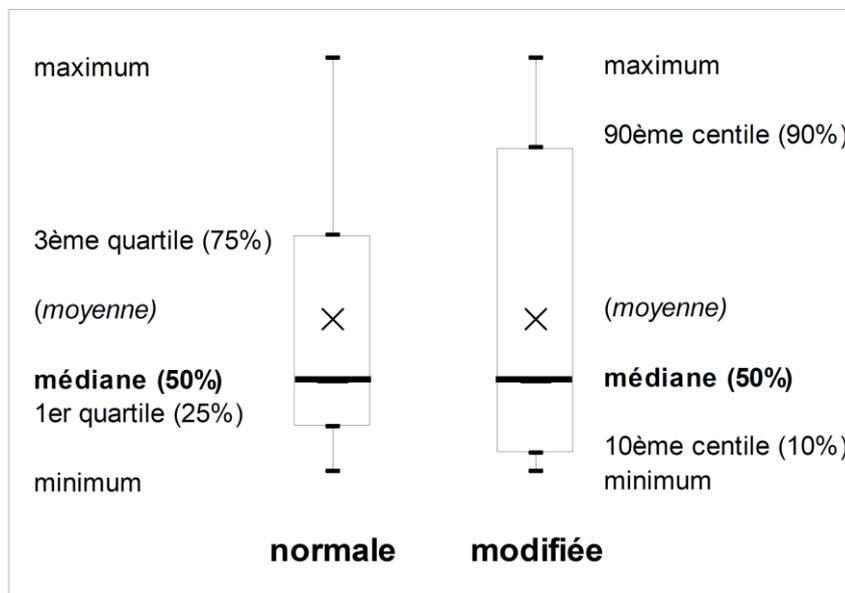


Illustration 7 - Représentation de données statistiques par des boîtes « à moustaches » normale et modifiée.

L'outil d'analyse de données et de statistique XLSTAT (Version 2013.2.07 disponible sur www.xlstat.com) a été mis en œuvre pour traiter les données. Il permet notamment de déterminer la limite au-delà de laquelle on peut considérer que les valeurs sont dites « anormales » au sens statistique. Cette limite supérieure (Lsup) est estimée de la manière suivante³ :

$L_{sup} = X(i)$ tel que $\{X(i) - [Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)]\}$ soit minimal et $X(i) = Q3 + 1.5 (Q3 - Q1)$, avec : Q1 le premier quartile et Q3 le troisième quartile.

³ Formules données par McGill et al. (1978).

3. Résultats

3.1. DONNÉES TEQ « TOUT CONFONDU » DES SOLS

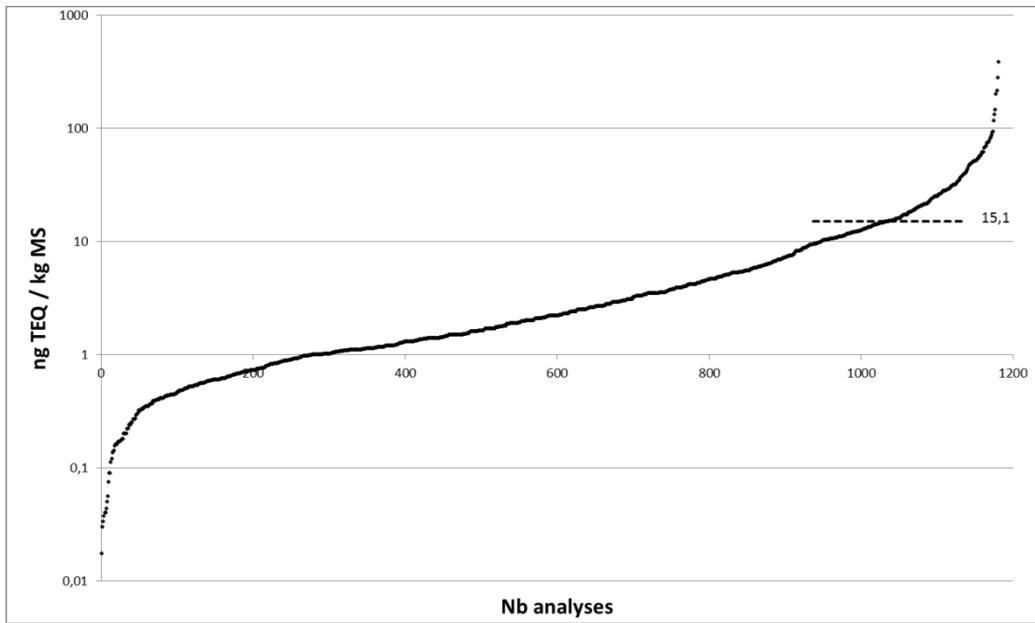


Illustration 8 - Aperçu général des données sols exprimées en TEQ dit « tout confondu » par ordre croissant (1 181 données) et de la limite anormale statistiquement calculée à 15,1.

Pour l'ensemble des données TEQ « tout confondu » (Illustration 8), les valeurs s'échelonnent de 0,02 au minimum à 383 ng TEQ/kg MS au maximum, avec une valeur médiane de 2,2. Leur distribution, représentée arbitrairement en 40 classes par le logiciel de traitement, comporte notamment 3 classes principales représentant respectivement 80 %, 11 % et 4 % des données (Illustration 9).

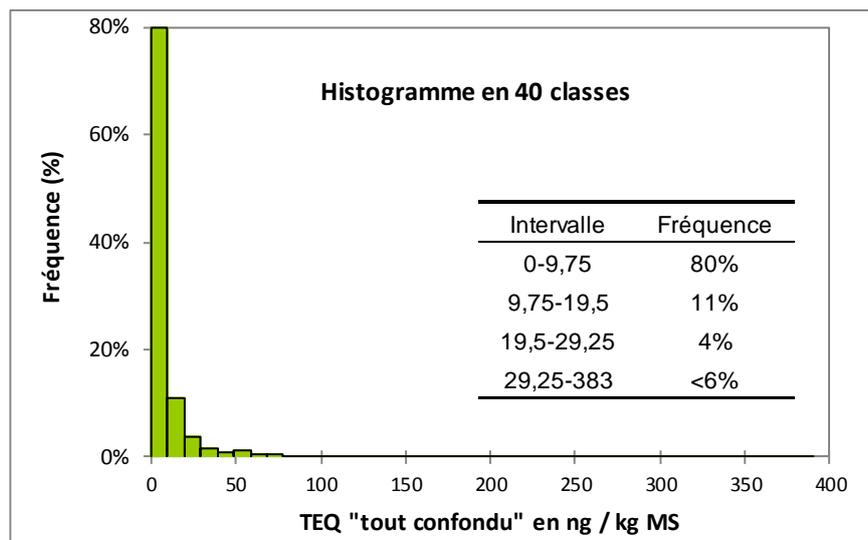
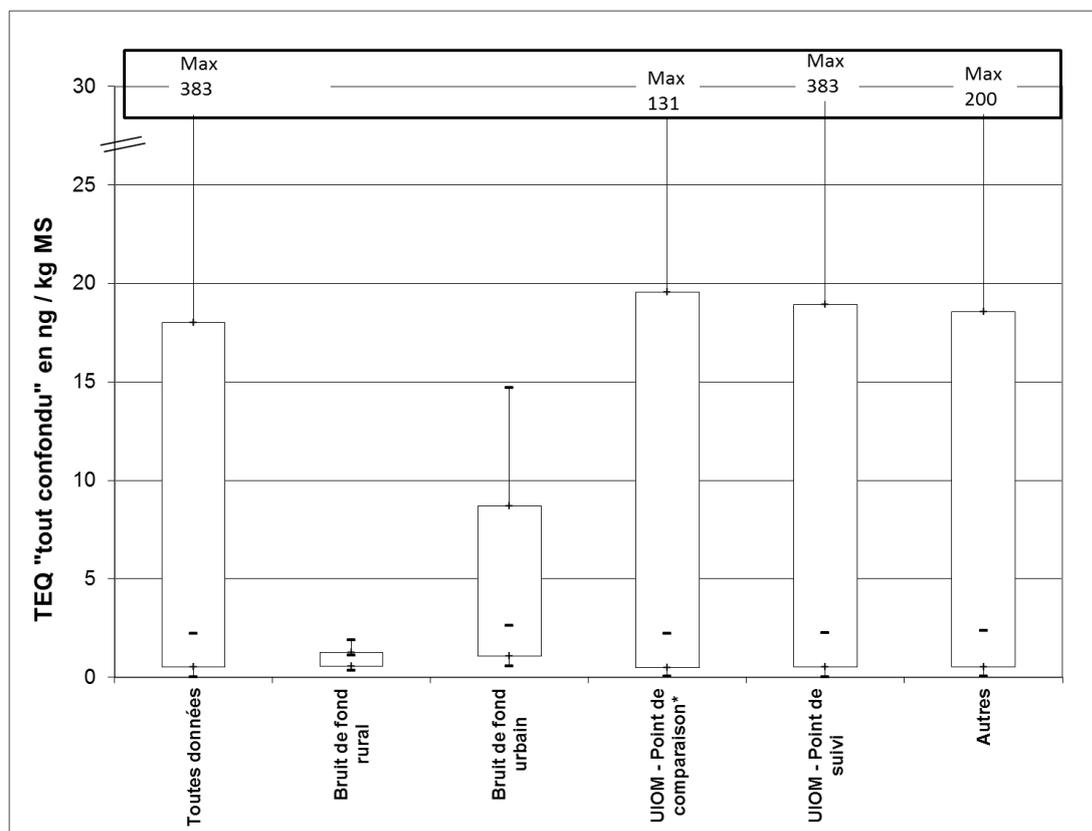


Illustration 9 - Distribution des données sols (1 181 données) exprimées en TEQ dit « tout confondu » en 40 classes (de façon arbitraire).

L'outil de statistique XLStat définit à 15,1 la valeur des TEQ « tout confondu » à partir de laquelle les valeurs sont dites « anormales ». On verra par la suite que cette valeur est cohérente avec les valeurs établies lors du traitement statistique plus poussé par la méthode des droites de Henry. Cela concerne 144 données sur les 1 181 données disponibles, soit 12 % des données. 20 sites industriels sont concernés, dont une aciérie/métallurgie et une industrie chimique, le reste concernant des incinérateurs.



	Toutes données	Bruit de fond et point de comparaison (UIOM)			UIOM - Point de suivi	Autres ⁴
		Bruit de fond - RURAL	Bruit de fond - URBAIN	UIOM - Point de comparaison		
<i>Nb analyses</i>	1 181	34	39	176	855	77
Min	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	0,0
Centile (10%)	0,5	0,6	1,1	0,5	0,5	0,5
Médiane	2,2	1,1	2,6	2,2	2,3	2,4
Centile (90%)	18,0	1,3	8,7	19,5	18,9	18,6
Max	383,0	1,9	14,7	131,5	383,0	200,0

Illustration 10 - Données statistiques du TEQ « tout confondu », en fonction du contexte - 1 181 analyses.

⁴ Cette catégorie regroupe 39 données qui concernent des analyses sols autour d'un incinérateur sans savoir s'il s'agit de points de suivi ou de points de comparaison, 29 données qui concernent des analyses sols autour d'aciéries/métallurgies, 4 données autour d'industries chimiques et 5 données qui concernent un suivi dioxine dans les sols après un incendie.

La valeur médiane du TEQ (tout système confondu) de l'ensemble des données sols est de 2,2 ng-TEQ/kg MS, avec des données comprises dans l'intervalle 0-383 ng-TEQ/kg MS, 90 % des valeurs étant inférieures à 18 ng-TEQ/kg MS (Illustration 10).

Les données ont ensuite été classées par contexte, en regroupant celles de l'ancienne parcelle agricole soumise à une influence industrielle avec les points de suivis des incinérateurs.

Le traitement des données par activité (Illustration 10) fait ressortir en limite basse les données de bruit de fond rural. Les autres données mettent en évidence des limites basses et médianes similaires pour l'ensemble des contextes, puis un étalement plus grand des valeurs hautes pour les activités industrielles par rapport au bruit de fond urbain. Notamment, quelques valeurs hautes pour les « UIOM - Point de comparaison » du dernier centile (de 19,5 à 131,5) ne peuvent pas être considérées comme représentatives d'un contexte hors influence d'une activité impactante. Cette activité connexe impactante, passée ou actuelle, n'est pas connue mais peut correspondre à un dysfonctionnement d'autres activités industrielles ou des mauvaises pratiques par exemple (brulages).

Ce type de constat est à mettre en lien avec les situations dans lesquelles les sols ont été impactés durablement par les polluants organiques persistants que sont les dioxines/furannes sans lien avec les activités et usages actuels du site. Les points de comparaison des suivis d'impact environnemental des incinérateurs reflètent cette même tendance ; ils ne témoignent pas toujours d'un bruit de fond, mais plutôt de situations locales diverses au voisinage de l'incinérateur.

En complément, en annexe :

- les données statistiques des 1 181 analyses de TEQ « tout confondu », sont représentées en fonction des contextes, en distinguant les données de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle (annexe 3) ;
- les données statistiques selon un seul système de calcul, soit en TEQ OMS (nd = LQ) pour les 527 analyses complètes disponibles, ne montrent pas de résultats très différents selon les contextes (annexe 4).

3.2. DONNÉES COMPLÈTES ET INFLUENCE DU SYSTÈME DE CALCUL SUR LA VALEUR TEQ

Les variations de la donnée TEQ en fonction des systèmes de calcul sont présentées sur l'illustration 11 et l'illustration 12, à partir des 527 analyses complètes disponibles, c'est-à-dire des concentrations (ou limites de quantification) des 17 congénères associés. Le choix du système influe sur la valeur médiane de la donnée.

	TEQ OTAN89 (nd = 0)	TEQ OTAN89 (nd = LQ)	TEQ OMS98 (nd = 0)	TEQ OMS98 (nd = LQ)	TEQ OMS05 (nd = 0)	TEQ OMS05 (nd = LQ)
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Centile (10 %)	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5
Médiane	1,8	2,3	1,8	2,4	1,6	2,1
Centile (90 %)	14,2	14,4	15,7	16,0	14,3	14,7
Max	180,5	180,5	200,0	200,0	183,7	183,7

Illustration 11 - Expression de la TEQ dans les différents systèmes, calculée à partir des concentrations des 17 congénères pour les 527 analyses complètes.

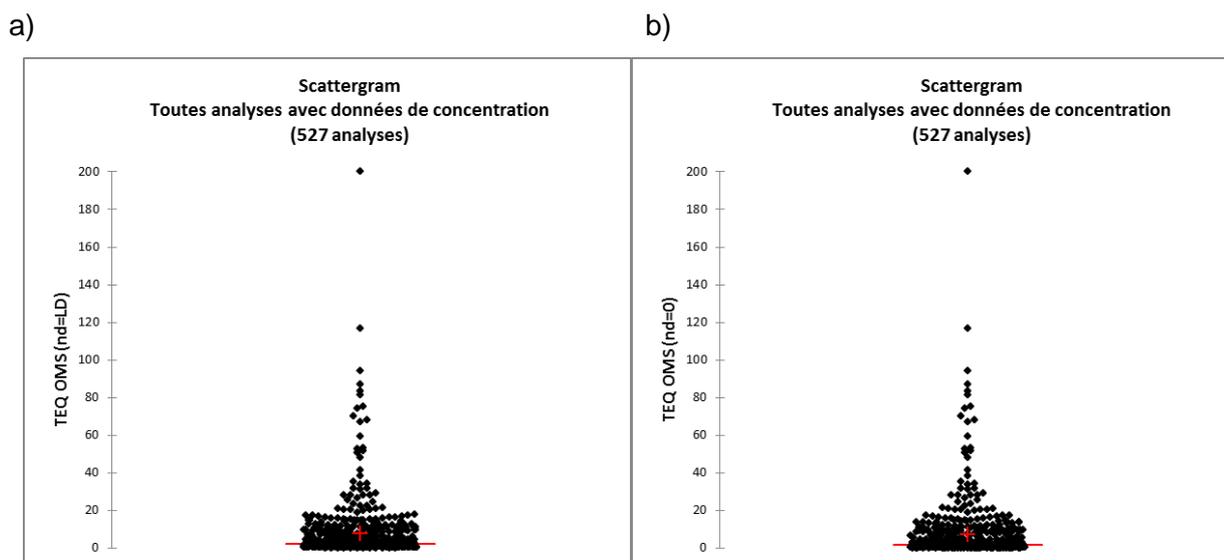


Illustration 12 - Scattergram des valeurs TEQ des profils étudiés ci-après a) $nd = LQ$; b) $nd = 0$.

L'étendue de la population de type scattergram est présentée en Illustration 12 pour deux systèmes. Le choix de représentation s'est porté, dans la suite du rapport, sur le système OMS 1998 ($nd = LQ$), communément utilisé et encore référent de textes normatifs et réglementaires. Les variations avec le système OMS (2005) restent mineures dans tous les cas.

3.3. PROFILS DES CONGÉNÈRES (527 DONNÉES COMPLÈTES)

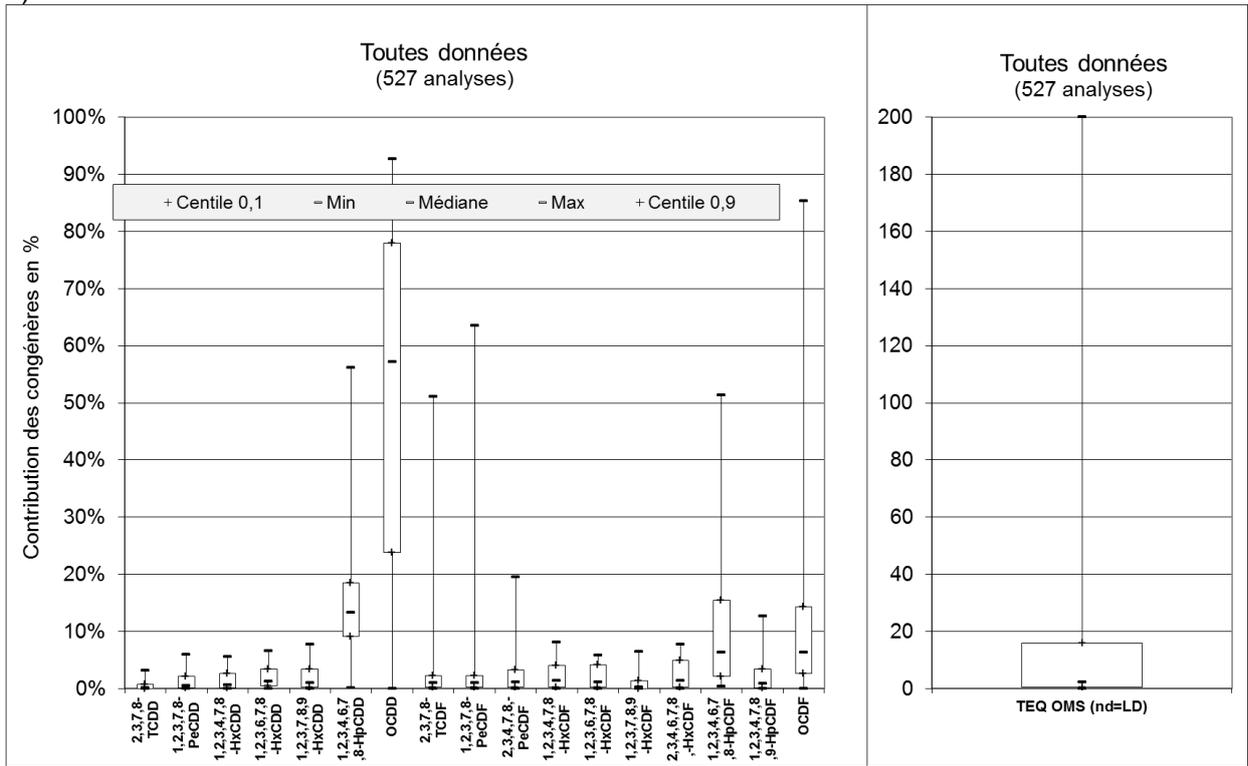
Par la suite, les 527 analyses complètes disponibles ont été traitées plus en avant, pour préciser les profils des 17 congénères toxiques en fonction des contextes. L'outil de statistique XLStat définit à 20,19 la valeur des TEQ OMS ($nd = LQ$) en ng/kg MS à partir de laquelle les valeurs sont dites « anormales » et traitées indépendamment ci-après. Cela concerne 42 données sur les 527 données disponibles, soit 7 % environ.

Quatre séries de données ont été traitées séparément : toutes les analyses (527), celles de bruit de fond rural, celles de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle et enfin les valeurs statistiquement « anormales ». Leurs statistiques sur la TEQ sont données en Illustration 14.

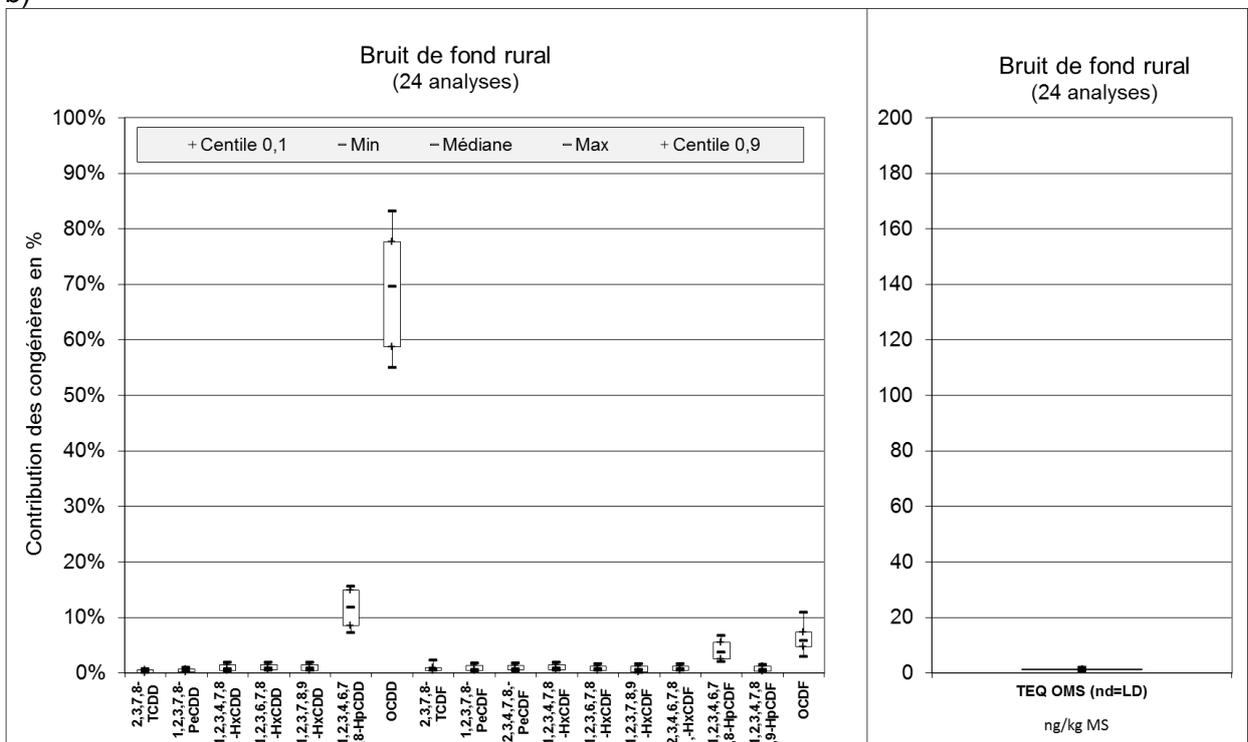
TEQ OMS $nd=LQ$	Toutes données	Bruit de fond rural	Ancienne parcelle agricole sous influence industrielle	Données « anormales »
<i>Nb analyses</i>	527	24	72	42
Min	0,0	0,6	5,2	20,2
Centile (10%)	0,5	1,0	5,4	21,2
Médiane	2,4	1,1	11,0	34,1
Centile (90%)	16,0	1,3	16,1	83,1
Max	200,0	1,9	31,4	200,0

Illustration 13 - Statistiques des quatre séries de données - 527 analyses complètes.

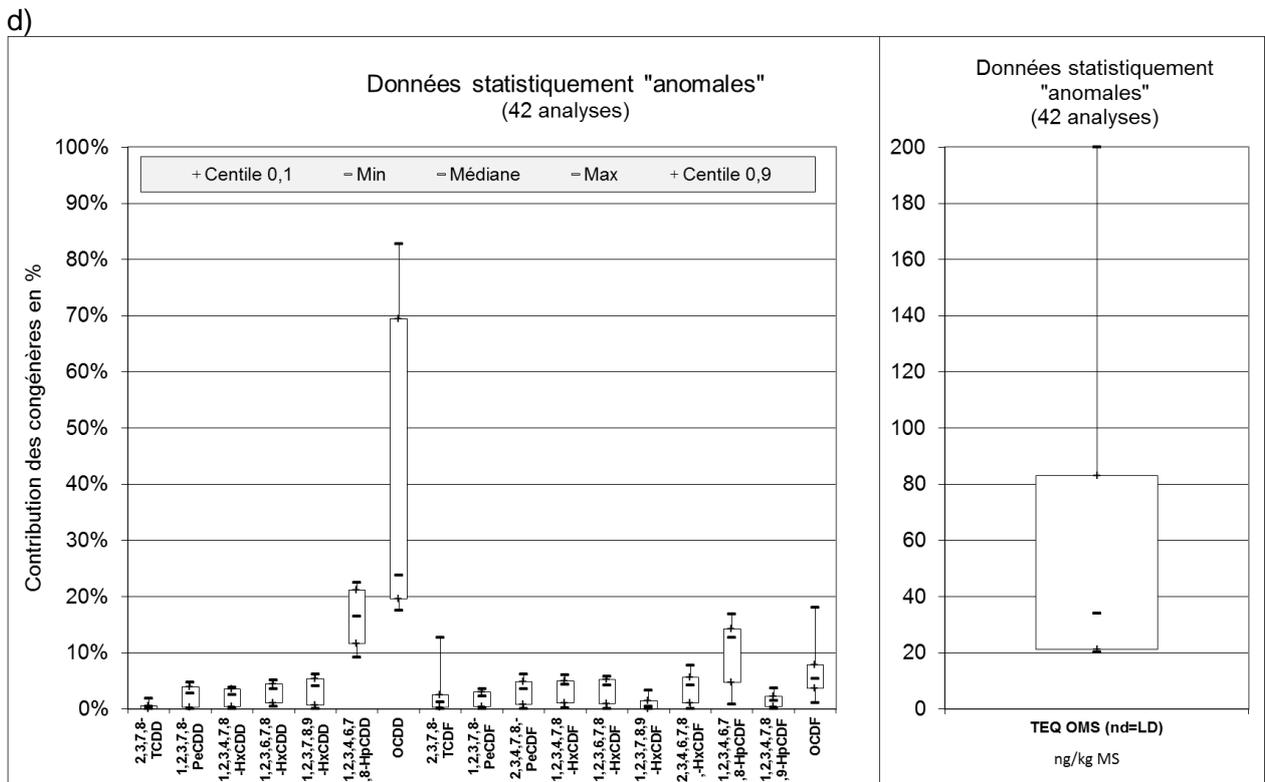
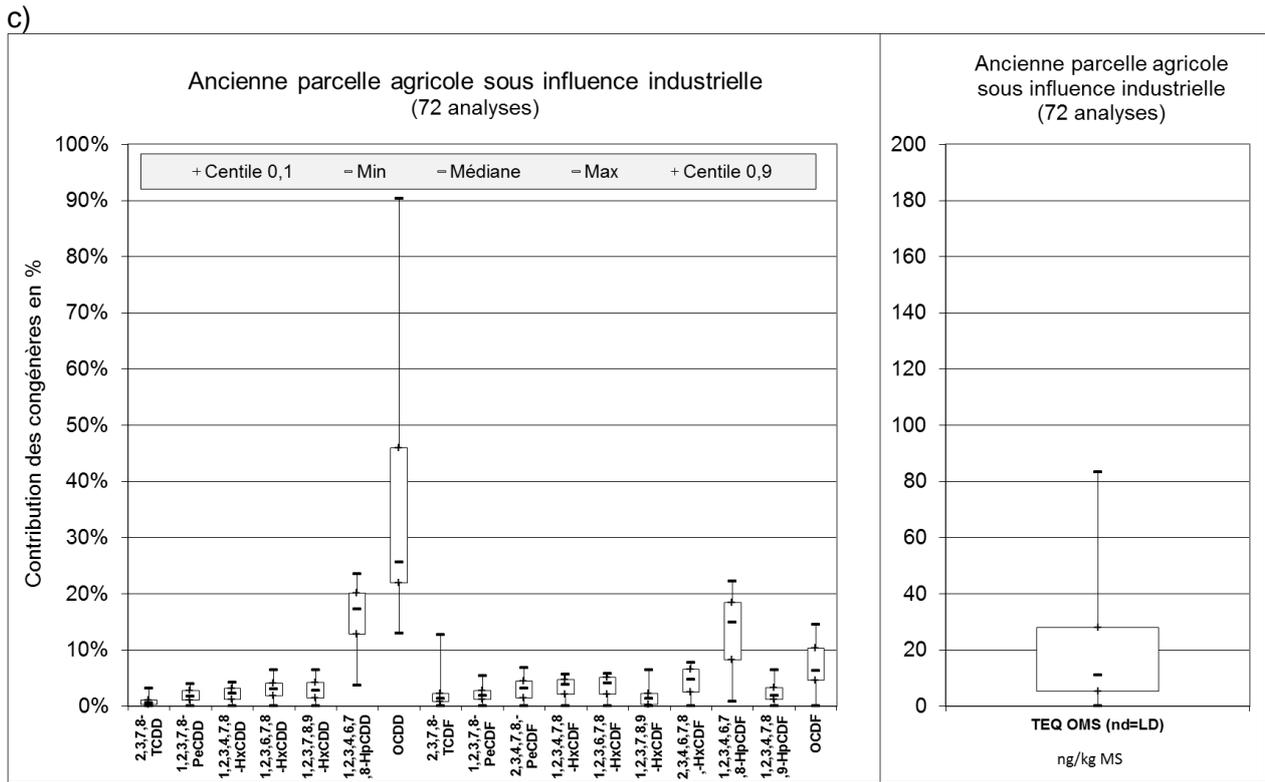
a)



b)



Boîte « à moustaches » modifiée (min, 10 %, 50 %, 90 %, max).



Boîte « à moustaches » modifiée (min, 10 %, 50 %, 90 %, max).

Illustration 14 - Profil des congénères a) des 527 analyses complètes, b), du bruit de fond rural, c) de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle et d) des valeurs statistiquement « anormales ».

Les profils de ces quatre séries sont rassemblés en Illustration 14. Comme cela a été largement décrit par ailleurs, la contribution du congénère OCDD est largement majoritaire en global (médiane 57 %) ⁵, suivi par celles de HpCDD, HpCDF et OCDF. Ce profil type, associé à la contribution principale de 4 congénères, est encore plus marqué sur le profil du bruit de fond rural des sols (médiane OCDD 70 %) mais s'en éloigne nettement pour les sols du site historique (médiane OCDD 26 %). Cette diminution est compensée par une augmentation des autres congénères furannes. Les données « anormales » rendent compte d'une certaine variabilité de situations, avec une contribution de l'ensemble des congénères en plus des quatre principaux.

À titre d'information, les profils de la contribution des congénères, exprimés en TEQ, sont rassemblés en annexe 5.

3.4. DISCRIMINATION DE POPULATIONS PAR LA MÉTHODE DES DROITES DE HENRY

3.4.1. Méthodologie

Différents modes de traitement statistique de population non symétrique de données, sont proposés dans la littérature (Matschullat *et al.*, 2000). La méthode de Lepeltier (1969) appliquée à la déconvolution de la distribution des populations log normales s'est imposée comme la plus adaptée dans de précédentes études pour traiter des données de bruit de fond de concentrations en métaux dans les sols (notamment BRGM/RP-59869-FR).

Accompagnée d'un diagramme de dispersion, elle permet le calcul de valeurs de référence par rapport à la distribution d'une population. La recherche de points d'inflexion permet de marquer la présence de populations distinctes. Cette méthode a notamment été mise en œuvre pour traiter des données de retombées atmosphériques de dioxines/furannes au voisinage des incinérateurs (BRGM/RP-61045-FR, 2012).

3.4.2. Résultats

Ces calculs ont été mis en œuvre sur les 1 181 données TEQ tout confondu ainsi que sur les données TEQ_OMS (nd=LQ) ; cette dernière représentation, qui conduit à une meilleure visibilité de l'information à extraire, est celle considérée ci-après.

⁵ À noter quatre valeurs avec des faibles concentrations en OCDD ; l'une liée à un incendie (TEQ 8 ng/kg) et trois autres d'un même suivi de site qui resterait à contrôler (possible erreur de retranscription entre le laboratoire et le Bureau d'étude).

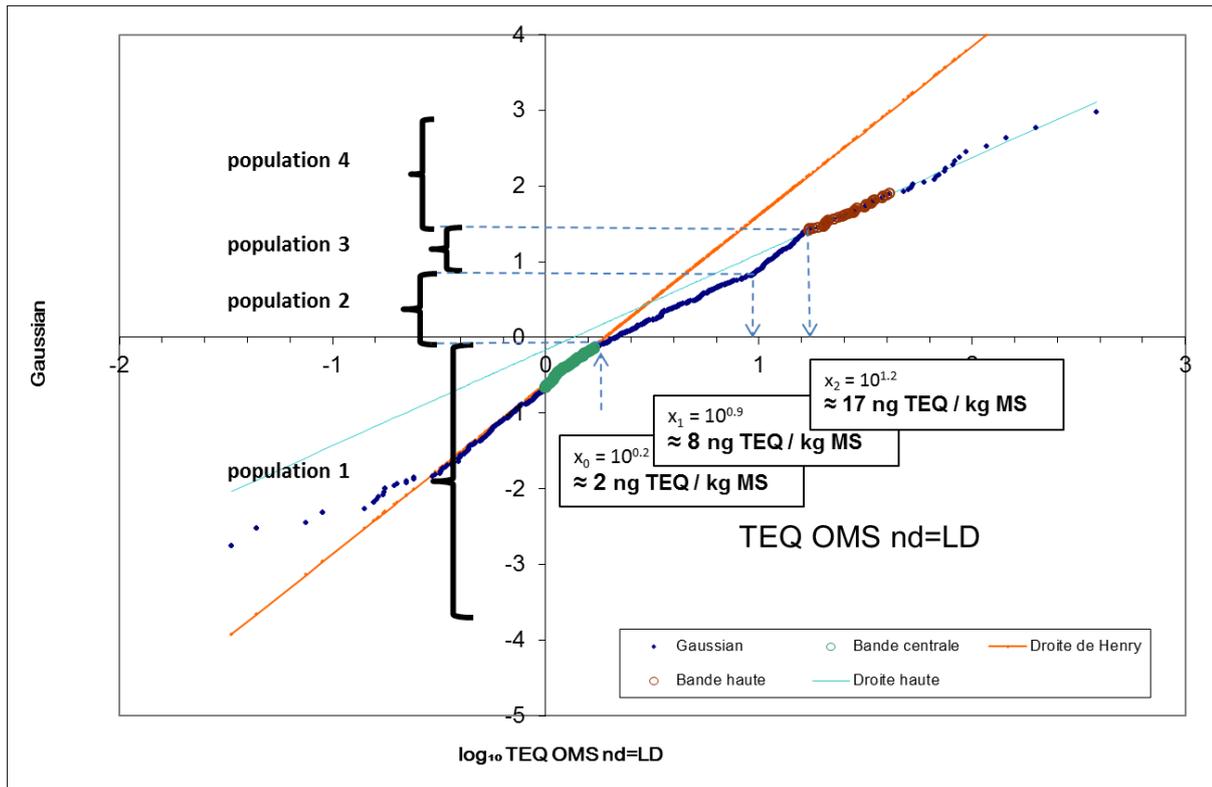


Illustration 15 - Traitement des 527 données dioxines (TEQ) dans les sols : représentation graphique de la méthode des droites de Henry ; pour discrimination des populations.

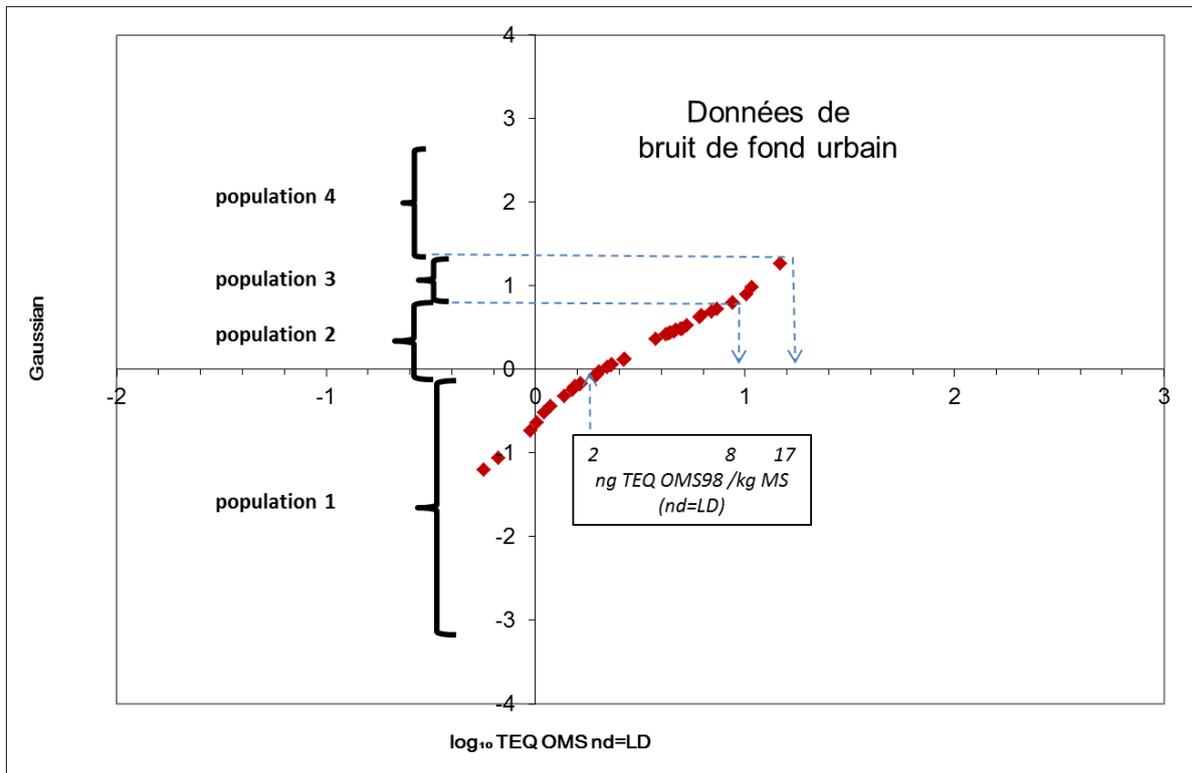
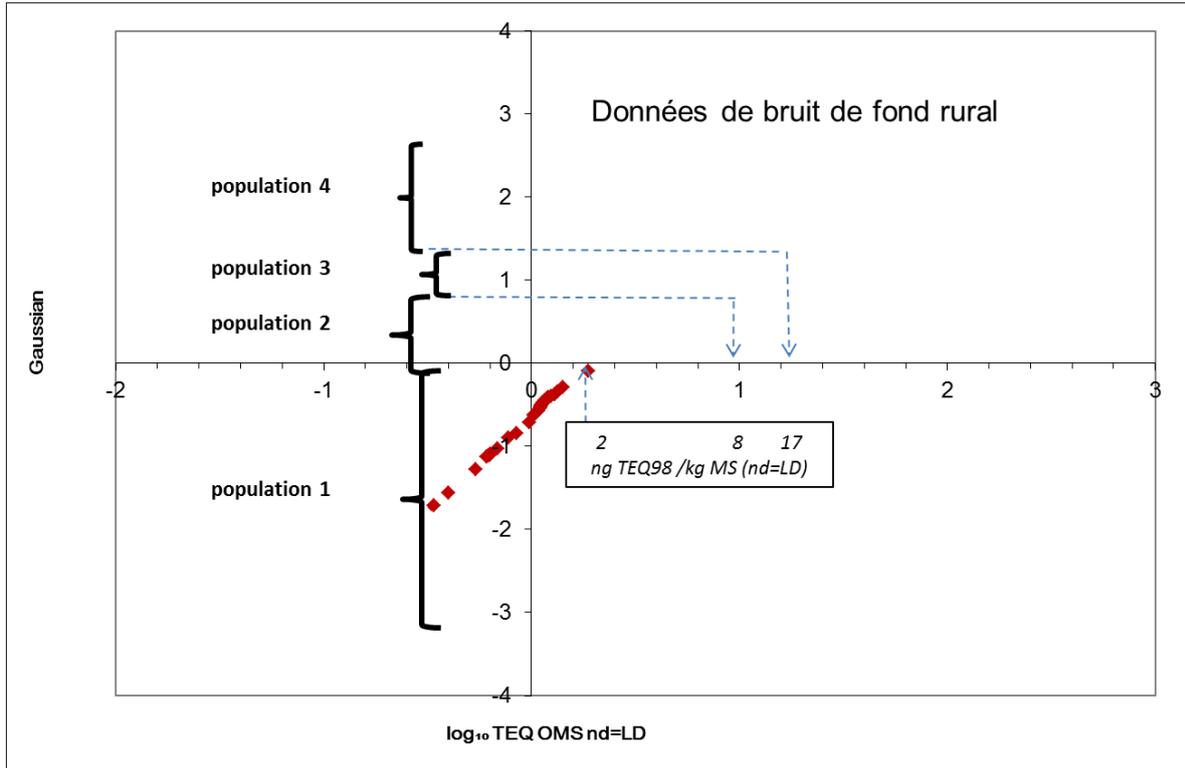
On distingue ainsi trois points d'inflexion principaux sur la représentation de la population (Illustration 15). Ces points permettent de distinguer quatre populations spécifiques, notées population 1 à population 4, pour des données valeur de TEQ OMS 1998 (nd = LQ) croissantes et arrondies à l'unité près. Des détails par types sont représentés en Illustration 16.

Une première famille de valeurs de TEQ inférieures à 2 ng TEQ OMS 1998 (nd = LQ)/kg MS a été distinguée. Elle correspond à 44 % des données traitées, et intègre l'ensemble des sols identifiés comme de bruit fond rural, ainsi que certains sols urbains (cf. Illustration 16). La valeur de 2 est en accord avec la médiane des 1 181 données traitées (2,2).

Une seconde famille de valeurs TEQ, dans l'intervalle 2 – 8 ng TEQ OMS 1998 (nd = LQ)/kg MS correspond à 34 % des données traitées, et intègre une majorité de sols identifiés comme urbains, et certains sols sous influence industrielle.

Les deux dernières familles correspondant à des valeurs TEQ dans l'intervalle 8 – 17 ng TEQ OMS 1998 (nd = LQ)/kg MS (14 % des données) et > 17 ng TEQ OMS 1998 (nd = LQ)/kg MS (8 % des données). Elles intègrent certains sols sous influence industrielle et la majorité des données de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle.

À noter que la valeur de 17 est cohérente avec la valeur statistiquement « anormale » de 15,1 calculée pour l'ensemble de la population.



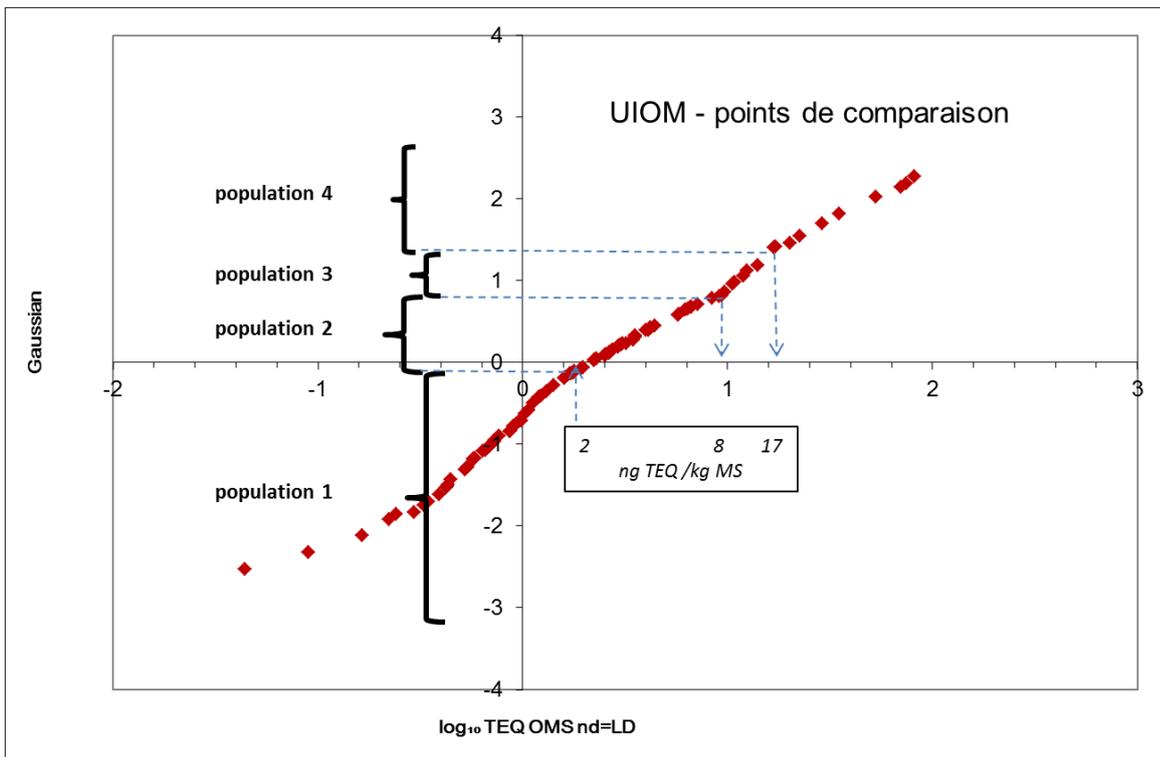
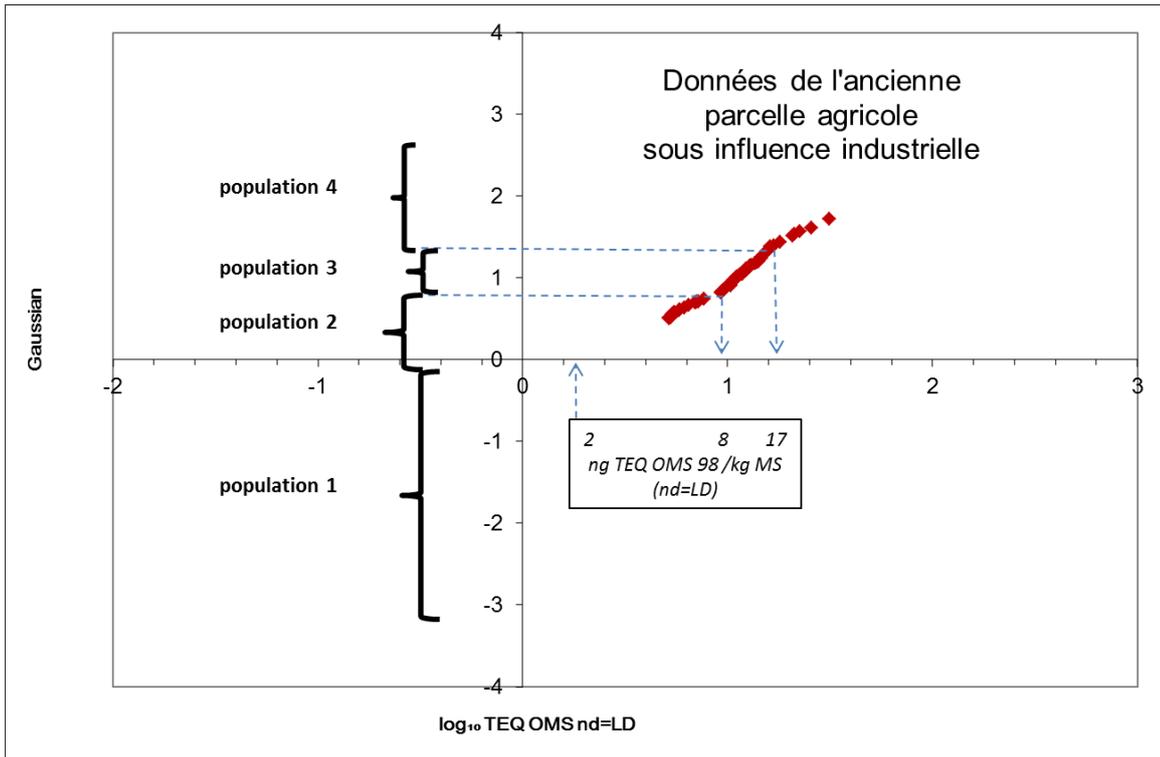


Illustration 16 - Représentation des données bruit de fond rural, bruit de fond urbain, de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle et des points de comparaison (UIOM) selon la méthode de l'illustration précédente.

4. Discussion - Conclusion

Cette étude a permis de traiter statistiquement de nouvelles données de concentrations de dioxines/furannes dans les sols, en complément des données prises en compte dans les deux précédentes études. Les données proviennent d'études variées, réparties sur l'ensemble du territoire, et d'environnements distincts (rural, urbain, industriel). Les teneurs et la variabilité constatées sont notamment en accord avec la compilation récente de près de 1 000 données de teneurs dans les sols urbains et suburbains aux USA (Urban *et al.*, 2014) : sols ruraux : 0,1-22,9 ng/kg TEQ ; sols urbains/suburbains : 0,1-186 ng/kg TEQ.

Des intervalles statistiques de valeurs d'équivalent toxique, ou TEQ, ont été déterminés par la méthode des droites de Henry, en cohérence, avec des travaux menés précédemment par cette même méthode, pour des données métaux (bruit de fond de sols) et dioxines/furannes (dépôts atmosphériques).

Quatre familles ont ainsi été discriminées. Elles concernent les intervalles suivants exprimés en TEQ OMS 1998 (nd = LQ) et hors contribution PCB-dl :

- < 2 ng/kg MS, intégrant toutes les données de sols ruraux et des sols urbains ;
- 2 - 8 ng/kg MS, intégrant des données de sols urbains et des sols sous influence industrielle ;
- 8 – 17 ng/kg MS, intégrant des données de sols sous influence industrielle ;
- > 17 ng/kg MS, intégrant des données de sols sous influence industrielle, dont spécifiquement les sols de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle.

Le « traçage » précis (rural, urbain, industriel) des données collectées par intervalle n'est pas possible même si les tendances sont cohérentes pour des sols peu à pas anthropisés et jusqu'à des sols sous influence d'anciennes activités industrielles.

Les sols à TEQ élevé reflètent un effet cumulatif des retombées atmosphériques dans tout type d'environnement, du fait de la persistance des dioxines/furannes dans les sols (plusieurs dizaines d'années et au-delà selon les molécules/congénères).

Ces valeurs permettent de donner un cadre général pour situer des données de sites variés. Elles pourraient participer à établir des valeurs de gestion en lien avec les recommandations internationales. À ce sujet, la comparaison avec des recommandations internationales montre que les valeurs et intervalles proposés dans ce rapport sont en deçà du niveau TEQ de 1 000 ng/kg fixé pour la remédiation de sols aux USA ou des seuils fixés en Allemagne en fonction de l'usage (100 à 10 000 ng/kg).

Les valeurs sont également cohérentes avec des valeurs de 20 et 40 ng/kg pour des restrictions d'usage liées à la consommation de produits agricoles (Allemagne, Suisse)⁶.

Par contre ces valeurs sont du même ordre de grandeur que le nouveau seuil bas proposé par l'agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) en 2009 mais non finalisé à ce jour (Preliminary remediation goal de sol en zone résidentielle de 3,7 ng/kg TEQ), valeur qui

⁶ À noter que la principale voie de contamination des végétaux est le dépôt atmosphérique sur les parties aériennes des végétaux (transfert sol-plante via les racines minimal à non quantifiable). Ces dioxines sont largement éliminées lors du lavage des parties comestibles mais peuvent être ingérées par les animaux (INSERM, 2000).

crée la polémique par rapport aux modèles de toxicité utilisés et pose aussi question au regard de nombreuses données de bruit de fond similaires à celles compilées en France dépassant cette valeur. Cela est par exemple bien discuté par Urban *et al.* (2014).

Ce travail a, à nouveau, mis en lumière la difficulté de comparer des données d'ultra-traces en raison de toutes les incertitudes associées à ces valeurs et notamment celle liée aux limites de quantification analytique qui s'avère cruciale pour comparer des TEQ. Rappelons que le TEQ est une valeur calculée à partir des concentrations de 17 molécules (PCB-dl non incluses ici) et que des hypothèses sont prises pour les valeurs non détectées (zéro ou égale à la limite de quantification). Ces hypothèses, généralement bien explicitées par les laboratoires, ont évolué quelque peu et ne sont pas toujours restituées dans les rapports consultés ici.

En termes de perspectives, le constat de variabilité des données et des limites de quantification associé pourrait être pris en compte par le groupe de travail « GT laboratoires SSP » qui se penche sur la problématique d'analyses des polluants organiques dans l'environnement (sol, eau air) des sites et sols pollués, dont les dioxines/furannes.

Notamment, on peut souligner qu'une limite de quantification de 1 ng/kg MS pour les trois congénères à TEF élevés (1 ; 1 ; 0,5 ou 0,3, respectivement pour la 2,3,7,8-TCDD ; 1,2,3,7,8-PeCDD ; 2,3,4,7,8,-PeCDF) se traduira par un TEQ (nd = LQ) supérieur à 2,5 ng TEQ-OMS/kg MS, avant toute analyse. A l'opposé, pour des limites de quantification très basses (jusqu'à 0,01 ng/kg MS pour la 2,3,7,8-TCDD comme cela s'est pratiqué), les questions de la représentativité de la mesure et de l'incertitude associée peuvent se poser pour la matrice sol et au regard du nombre d'étapes : prélèvement (méthodologie, opérateur), conservation des échantillons, prétraitement des sols (extraction par solvant et purification) et enfin des analyses chimiques (techniques, protocoles). Aussi, le fait de descendre les limites de quantification pour quelques congénères uniquement peut se poser pour les laboratoires (qualité/coût).

Les méthodes de calcul du TEQ les plus récentes concernent la contribution des dioxines/furannes, mais aussi celle des PCB-dl. Ces molécules sont dosées réglementairement dans les aliments mais beaucoup moins de données existent pour les sols. Cette contribution peut être toutefois non négligeable comme par exemple montré par Pirard *et al.* (2002) pour des sols français hors influence industrielle, et dans une moindre mesure pour des sols plus impactés. Des données de teneurs en PCB-dl seraient à compiler pour affiner ces informations.

Aussi, la teneur en matière organique (MO) ou en carbone organique total (COT) des sols est rarement dosée en parallèle à l'analyse des dioxines/furannes. Cette donnée permet pourtant d'individualiser des sols riches en MO et potentiellement plus chargés en dioxines, comme les sols sous forêt par exemple. L'analyse du COT a par exemple permis de mieux appréhender les différences d'impact sur les sols et sédiments d'une même zone (rapport public BRGM/RP-56329-FR, 2008, projet Aigrette).

Enfin, il paraîtrait judicieux de poursuivre l'abondement de cette base de données pour capitaliser régulièrement les nombreuses informations acquises annuellement en France, et ainsi continuer à proposer un « référentiel statistique » et les valeurs repères qui en sont issues. Dans le cas d'une évolution réglementaire (Europe,...) cette capitalisation serait disponible pour des reportages.

Toutefois la capitalisation systématique de métadonnées associées, telles que la profondeur d'échantillonnage, l'usage du sol, les techniques de préparation et d'analyses ou encore la valeur du COT aiderait à traiter les données plus en avant.

5. Bibliographie

- **Textes réglementaires ou d'Agences gouvernementales**

Article 30 de l'arrêté du 20 septembre 2002 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 1^{er} décembre 2002).

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2009. Draft recommended interim preliminary remediation goals for dioxin in soil at CERCLA and RCRA sites. Public Review Draft.

- **Articles scientifiques**

Lepeltier C. (1969) – *Economic Geology*, 64, p. 538-550.

Matschullat J., Ottenstein R., Reimann C. (2000) – *Environ. Geol.* 39, p. 990-1000.

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

Urban J., Wikoff D., Bunch A., Harris M., Haws L. (2014) - A review of background dioxin concentrations in urban/suburban and rural soils across the United States: Implications for site assessments and the establishment of soil cleanup levels. *Science of the Total Environment* 466-467, 586-597.

- **Rapports publics BRGM (<http://editions.brgm.fr/publication/rapportpublic.jsp>)**

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

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

Bodénan F., Michel P. (2008) - Dioxines/furannes dans les sols français : second état des lieux, analyses 1998-2007. Rapport BRGM/RP-56132-FR, 60 p., 29 fig., 8 tabl., 6 ann.

Bodénan F., Michel P., Coftier A., Boutin M.P. (2012) - Surveillance environnementale des incinérateurs : bilan des campagnes (2006-2009) et valeurs guide de dépôts de dioxines sur jauges. Rapport final. BRGM/RP-61045-FR, 73 p., 16 fig., 24 tabl., 4 ann.

Cary L., Maton D. et Piantone P. (2010) - Géochimie des sols, bases de données: Inventaire, proposition de démarches pour évaluer la qualité des données et estimer les fonds géochimiques. Rapport final BRGM/RP-59869-FR.

Hubé D., Proust E., Laperche V., Gourry J.C., Bodénan F. (2008) - AIGRETTE PHASE 2. Investigations et résultats relatifs à la qualité des sols de surface au droit du territoire du SAN Ouest Provence. Rapport public BRGM/RP-56329-FR.

Annexe 1

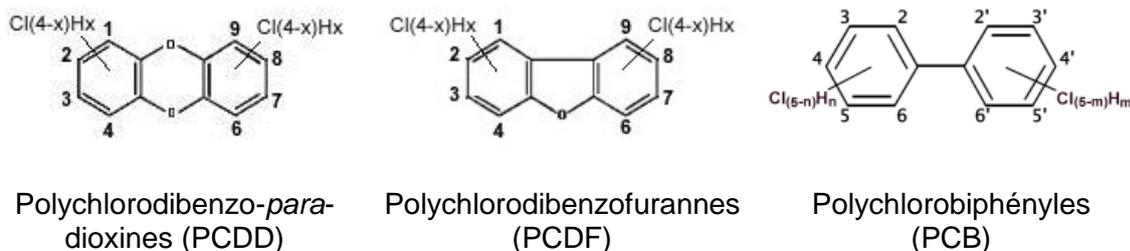
Généralités sur les dioxines/furannes (PCDD/F) et les PCB de type dioxine (PCB-DL). Recommandations de teneurs (Allemagne, Suisse, USA)

Cette annexe rappelle quelques généralités et chiffres clefs sur les dioxines/ furannes (PCDD/F) et les PCB de type dioxine (PCB-DL) extraites du rapport BRGM/RP-56132-FR (2008), avec à la fin des compléments sur des recommandations européennes du rapport BRGM/RP-54202-FR (2005). Pour des compléments sur les propriétés physico-chimiques et les processus de dégradation biotiques et abiotiques de ces polluants le lecteur se rapportera au rapport intitulé devenir des dioxines dans les sols (rapport BRGM/RP-53070-FR, 2004).

Un mélange de composés

Le terme générique 'dioxines' regroupe 210 molécules chlorées, encore appelées congénères, de dioxines et furannes possédant des structures chimiques proches, dérivant de celle du benzène (Figure A1.1). Ces molécules sont substituées par un à huit atomes de chlore. En fonction du nombre d'atomes de chlore et de leur position sur les cycles benzéniques, on dénombre 75 molécules de polychlorodibenzo-*para*-dioxines (PCDD) et 135 congénères de polychlorodibenzofurannes (PCDF).

Les 209 molécules de polychlorobiphényles ou PCB, composés de deux cycles benzéniques substitués au total de 2 à 10 atomes de chlore, sont également des composés aromatiques polycycliques halogénés. Douze de ces PCB sont dits de type dioxine (*dioxin-like*) ou PCB-DL et sont assimilés aux dioxines comme cela est décrit ci-après.



Les numéros indiquent les positions de substitution possible par au maximum 8 (PCDD/F) à 10 (PCB) atomes de chlore.

Figure A1.1 - Formules chimiques des PCDD, PCDF et PCB.

À noter que les autres dérivés halogénés (bromés notamment), présents en moindre quantité, ne sont en général pas pris en compte sauf étude particulière (retardateurs de flamme bromés notamment).

Potentiel toxique de 17 PCDD/F et de 12 PCB-DL (*dioxin-like*)

Du point de vue de la toxicité il est actuellement reconnu que 17 molécules de 'dioxines' (7 PCDD et 10 PCDF), tétra à octachlorées, possèdent un potentiel toxique vis-à-vis d'un même récepteur biologique, le récepteur intracellulaire Ah (Arylhydrocarbon).

Ce sont plus précisément les concentrations de ces 17 molécules qui sont généralement déterminées et sommées pour exprimer une concentration globale. La concentration des dioxines-furannes dans les sols est généralement exprimée en ng/kg de matière sèche MS (10^{-9} g/kg).

Ensuite, le calcul en équivalent toxique du mélange (TEQ), consiste à multiplier la concentration de chaque molécule par son facteur d'équivalent toxique TEF (entre 10^{-4} et 1, tableau A1.1) puis à sommer l'ensemble des contributions :

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

Congénères / I-TEF		OTAN, 1989	OMS, 1998	OMS, 2005	
Liste des 7 PCDD			humains/mammifères		
	2,3,7,8-TCDD	1	1	1	
	1,2,3,7,8-PeCDD	0,5	1*	1	
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,01	0,01	
	OCDD	0,001	0,0001	0,0003	
Liste des 10 PCDF					
	2,3,7,8-TCDF	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,7,8-PeCDF	0,05	0,05	0,03**	
	2,3,4,7,8,-PeCDF	0,5	0,5	0,3**	
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,1	0,1	
	2,3,4,6,7,8,-HxCDF	0,1	0,1	0,1	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01	0,01	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01	0,01	
	OCDF	0,001	0,0001*	0,0003**	
Liste des 12 PCB-DL (4 non-ortho et 8 mono-ortho)					
	3,3',4,4'-TCB	CB 77	-	0,0001	0,0001
	3,4,4',5-TCB	CB 81	-	0,0001	0,0003**
	3,3',4,4',5-PeCB	CB 126	-	0,1	0,1
	3,3',4,4',5,5'-HxCB	CB 169	-	0,01	0,03**
	2,3,3',4,4'-PeCB	CB 105	-	0,0001	0,00003**
	2,3,4,4',5-PeCB	CB 114	-	0,0005	0,00003**
	2,3',4,4',5-PeCB	CB 118	-	0,0001	0,00003**
	2',3,4,4',5-PeCB	CB 123	-	0,0001	0,00003**
	2,3,3',4,4',5-HxCB	CB 156	-	0,0005	0,00003**
	2,3,3',4,4',5'-HxCB	CB 157	-	0,0005	0,00003**
	2,3',4,4',5,5'-HxCB	CB 167	-	0,00001	0,00003**
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	CB 189	-	0,0001	0,00003**

* valeurs modifiées entre 1989 et 1998 et ** valeurs modifiées entre 1998 et 2005

Tableau A1.1 - Facteurs d'équivalence de toxicité (TEF) des PCDD, PCDF et PCB de type dioxines de 1989 (OTAN) et de 1998 et 2005 (OMS) pour les mammifères.

Ainsi la toxicité d'un mélange de molécules toxiques est 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 (TEF maximal de 1).

Par ailleurs, les 12 molécules de PCB-DL, tétra à heptachlorés, présentent également la même activité biologique ; en conséquence elles sont de plus en plus prises en compte dans le calcul du TEQ notamment en ce qui le dosage des aliments. Les études environnementales récentes s'en préoccupent également.

En fonction de l'avancée des connaissances, le facteur d'équivalent toxique TEF de chaque congénère peut être réévalué tous les 5 ans. À l'heure actuelle, trois mises à jour principales des valeurs se sont succédées : le système de l'OTAN de 1989 pour les PCDD/F puis 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-DL (de type dioxines) et enfin celui de 2005 de l'OMS qui a modifié les TEF de 4 molécules de PCDD/F et de 10 PCB de type dioxine. Cette dernière mise à jour n'est que peu utilisée pour l'instant.

La toxicité d'un mélange est exprimée en ng TEQ/kg MS, en précisant le système TEQ utilisé (OTAN, 1989 ; OMS, 1998 ; OMS, 2005). Le calcul selon les systèmes OMS intègre logiquement l'information sur les 12 PCB-DL. Toutefois, dans le cas de l'analyse des milieux (sols, sédiments, eaux, air) ces données sont peu disponibles pour l'instant.

Molécules dites homologues

Dans la série des dioxines, le terme homologues désignent l'ensemble des molécules tétra à octa-chlorées, au nombre de 136, et non plus seulement les congénères ciblés comme toxiques dans ces même familles (Tableau A1.2).

Molécules	Homologues	Nombre congénères	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 A1.2 - Liste et nombre des homologues de dioxines et furannes tétra à octachlorées.

Présentation des résultats sous forme de profils (1 exemple)

Une analyse dioxines est représentée par différents profils permettant de donner l'information sur la contribution relative :

- des concentrations des 17 congénères ;
- des toxicités des 17 congénères, calculées dans les systèmes OTAN et OMS ;
- des concentrations des homologues (molécules tétra à octachlorées).

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 (1989)	2,32	ng TEQ-OTAN/kg MS
Toxicité OMS (1998) hors PCB-DL	2,46	ng TEQ-OMS 98/kg MS
Toxicité OMS (2005) hors PCB-DL	2,22	ng TEQ-OMS 05/kg MS

Tableau A1.3 - Caractéristiques du sol type dont les profils sont présentés ci-après.

Ces profils sont représentés ci-après en pourcentages relatifs pour une analyse collectée au cours de cette étude (Figure A1.2). 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 A1.3. À 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 (chiffres très différents).

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). Le pourcentage cumulé de ces 5 molécules est ici proche de 90 %.

La représentation relative de ces mêmes données sous forme de données toxiques (Figure b) 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 (OMS, 1998). 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).

Le fait que la part relative de chaque congénère est importante dans le calcul de la toxicité du mélange met en lumière l'incidence des limites de quantification, notamment pour les congénères à fort TEF.

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 LQ) peuvent se traduire par des écarts importants de toxicité (ou TEQ), surtout pour des faibles valeurs.

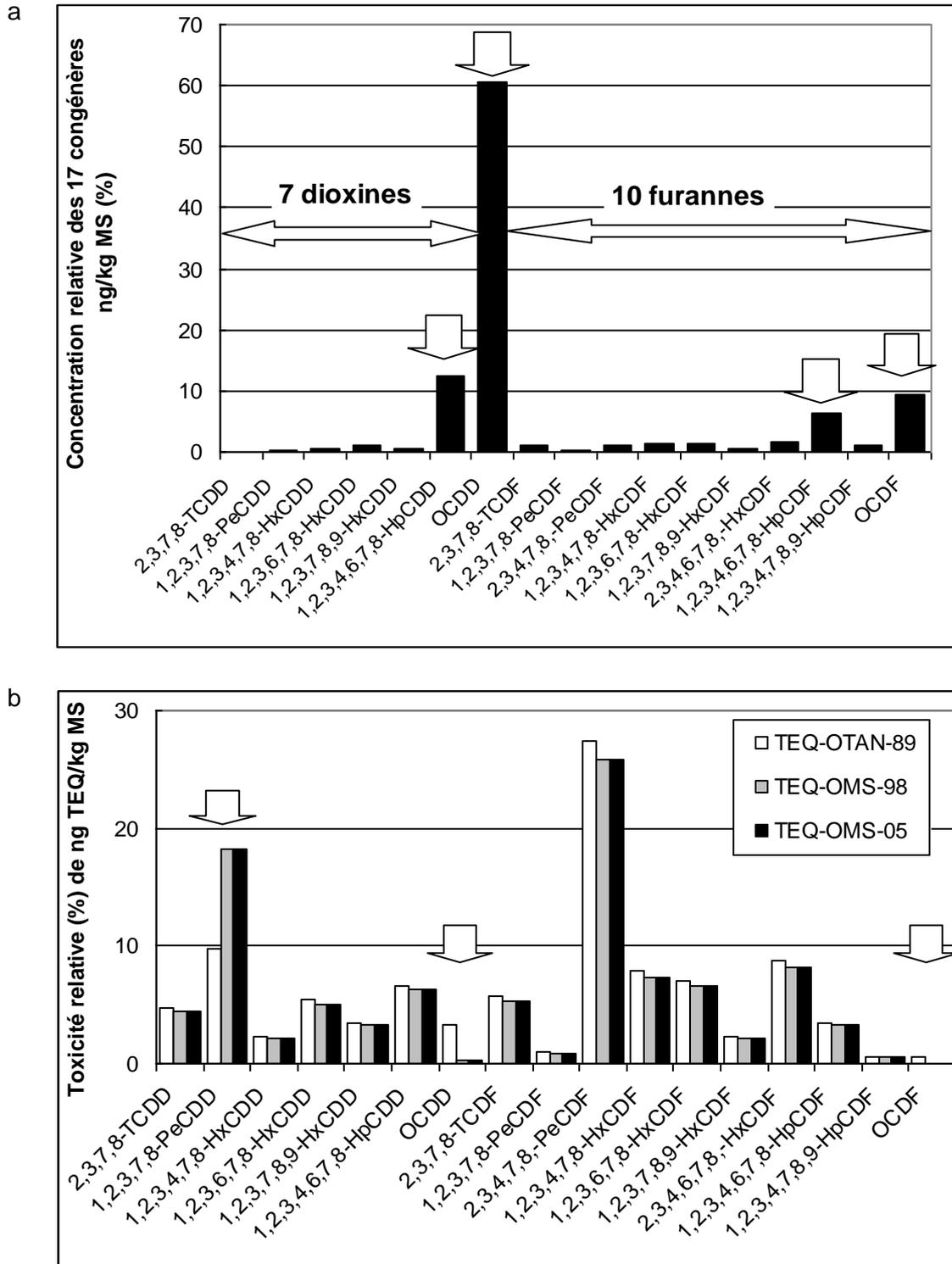


Figure A1.2 - Profil type a) de concentrations des 17 dioxines-furannes d'un sol (voisinage UIOM), b) de toxicité du même sol calculée dans les systèmes OTAN 89 et OMS 98.

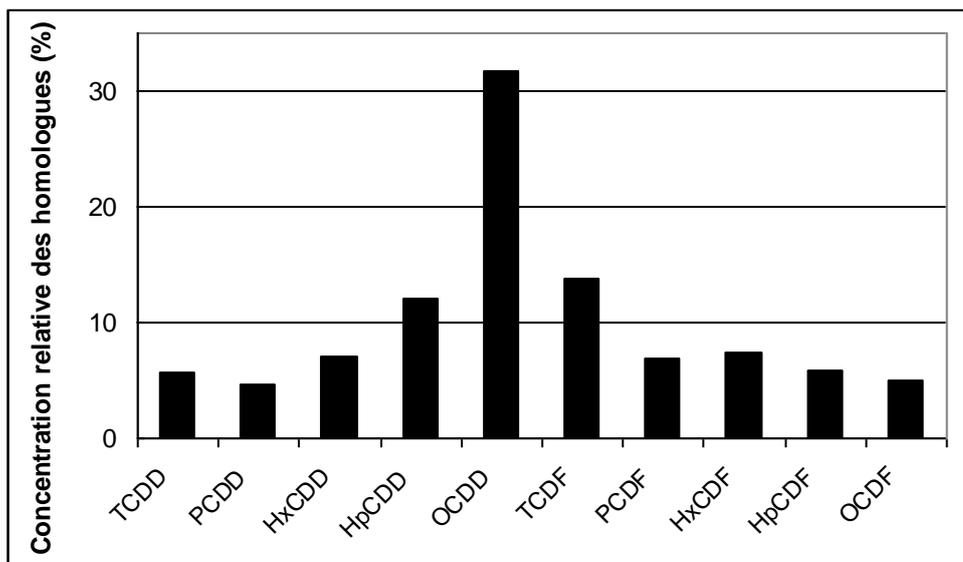


Figure A1.3 - Profil des homologues d'un sol (voisinage d'un sol).

Enfin la représentation du profil des homologues fournit un autre profil d'un sol type (Figure A1.3 A1.3). Cela met en avant la part importante des dioxines - au moins tétra-chlorées - (61,2 %) par rapport aux furannes - au moins tétra-chlorées - dans les sols en général (38,8 %).

Calculs des ratios entre congénères et homologues

Des travaux allemands se sont intéressés à la reconnaissance des principales sources de dioxines dans les réservoirs de l'environnement à partir de 470 analyses (incinérateur, sortie de pots d'échappement, air ambiant, dépôts, sédiments de rivière, boues de step). Pour ce faire, ils proposent un mode de représentation relatif des concentrations des congénères (Tableau A1.4, Hagenmaier, 1994) en calculant :

- pour les congénères tétra à hepta-chlorés, le rapport de la concentration de chaque congénère sur celle de sa famille homologue, soit 15 variables, 2,3,7,8 TCDD/ (somme TCDD), etc. ;
- pour les congénères octachlorés OCDD et OCDF, leur division par la somme des PCDD et PCDF respectivement, soit 2 variables ;
- comme 18^{ème} variable, la part des dioxines relativement aux furannes par le rapport PCDD/(PCDD+PCDF).

Les auteurs montrent que cette représentation de 18 variables permet de distinguer de façon satisfaisante des familles par analyse statistique (de type CAH) et de remonter le cas échéant à la source de pollution des matrices concernées. Gotz *et al.* (2003, 2007) ont notamment repris cette méthodologie pour identifier les sources de pollution de sols et sédiments au niveau de la rivière Elbe : principalement impacté par la métallurgie et l'incinération de déchets. La figure A1.4 illustre ce mode de représentation pour le sol type donné en exemple précédemment.

Ratios	Acronyme (rapport)	Acronyme (Gotz et al., 2007)
2,3,7,8-TCDD/ TCDD	rTD	rD48
1,2,3,7,8-PeCDD/ PeCDD	rPD	rD54
1,2,3,4,7,8-HxCDD/ HxCDD	rHxD-1	rD66
1,2,3,6,7,8-HxCDD/ HxCDD	rHxD-2	rD67
1,2,3,7,8,9-HxCDD/ HxCDD	rHxD-3	rD70
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD/ HpCDD	rHpD	rD73
OCDD/ PCDD*	rOD	rD75
2,3,7,8-TCDF/ TCDF	rTF	rF83
1,2,3,7,8-PeCDF/ PeCDF	rPF	rF94
2,3,4,7,8-PeCDF/ PeCDF	rPF	rF114
1,2,3,4,7,8-HxCDF/ HxCDF	rHxF-1	rF118
1,2,3,6,7,8-HxCDF/ HxCDF	rHxF-2	rF121
1,2,3,7,8,9-HxCDF/ HxCDF	rHxF-3	rF124
2,3,4,6,7,8-HxCDF/ HxCDF	rHxF-4	rF130
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF/ HpCDF	rHpF-1	rF131
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF/ HpCDF	rHpF-2	rF134
OCDF/ PCDF**	rOF	rF135
PCDD/ (PCDD + PCDF)	PCDD/(PCDD/F)	rD

*PCDD = TCDD +PeCDD + HxCDD + HpCDD + OCDD ; **PCDF = TCDF +PeCDF + HxCDF + HpCDF + OCDF.

Tableau A1.4 - Liste des 18 variables de calcul entre les 17 congénères toxiques et les 10 groupes d'homologues tétra à octa-chlorés (selon Hagenmaier, 1994).

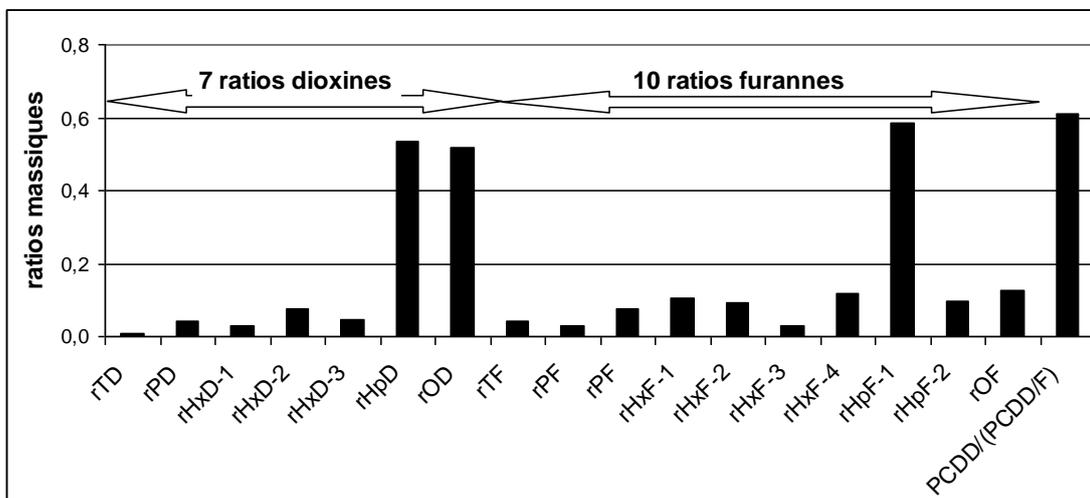


Figure A1.4 - Profil d'un sol calculé à partir des ratios des concentrations des 17 congénères par rapport à leur famille homologue respective (selon Hagenmaier, 1994) et part dioxines.

Recommandations de teneurs

Il n'existe pas de valeur réglementaire internationale fixant des seuils de teneurs en dioxines/furannes à respecter dans les sols. Des recommandations existent en Allemagne, en Suisse ou encore au Canada et USA, comme cela a été décrit dans un rapport précédent (BRGM/RP-54202-FR, 2005).

Notamment, en Allemagne, la valeur cible dans les sols a été fixée à 5 ng TEQ OTAN 1989/kg MS un groupe d'experts dès 1992. Des teneurs dans l'intervalle 5-40 ont été proposées pour déclencher un contrôle qualité dans les produits alimentaires. Pour des usages non agricoles des valeurs de 100 ng TEQ OTAN 1989/kg MS et au-delà selon les usages spécifiés ont été proposées comme valeur seuil d'engagement d'action.

	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 allemande. 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.

Valeurs	PCDD/F en ng I-TEQ/kg MS pour les sols 0-15 % matière organique et en ng/dm ³ pour les sols > 15 %	Profondeur prélèvement (cm)
Valeur indicative	5	0-20
Seuils d'investigation		
Risque par ingestion	20	0-5
Cultures alimentaires	20	0-20
Cultures fourragères	20	0-20
Valeurs d'assainissement		
Places de jeux	100	0-5
Jardins privés et familiaux	100	0-20
Agriculture et horticulture	1000	0-20

Tableau 1 - 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^{er} juillet 1998).

En Suisse, l'article 5 de la réglementation (ou ordonnance) du 1^{er} 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. »

L'annexe 2 de cette même ordonnance reporte les seuils précités et notamment pour les dioxines/furannes (Tableau 1). Selon la teneur en matière organique du sol (< ou > 15 %), deux unités sont prescrites ng/kg et ng/dm³, 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).

Aux USA une valeur de 1 000 ng/kg TEQ est admise depuis 1998 (US-EPA) pour engager des actions de remédiation mais est actuellement en discussion avec des propositions de seuils beaucoup plus bas, très proches voire en deçà de données de bruit compilées (Urban et al., 2014).

Annexe 2

Statistiques générales supplémentaires (contexte des données, système de calcul des TEQ)

Date de prélèvement des sols analysés

Date	Nombre
2012	23
2011	76
2010	12
2009	79
2008	114
2007	150
2006	164
2005	156
2004	165
2003	63
2002	69
2001	26
2000	38
1999	23
1998	9
Inconnue	14
Total général	1181

Profondeur de prélèvement et usage des sols analysés

Profondeur	Nombre
< 5 cm	235
0-10 cm	260
0-15 cm	7
0-20 cm	63
0-25 cm	16
0-30 cm	120
Inconnue	480
Total général	1181

Usage	Nombre
agricole	169
jardin cultivé	23
bois-forêt	41
parc-pelouse	140
prairie	208
sentier-cour (pas enherbée)	9
inconnu	591
Total général	1181

Détails des données TEQ disponibles (analyses complètes ou non)

Détails des analyses (TEQ, valeurs nd)	TEQ (indéterminé)	TEQ OTAN89 (nd = 0)	TEQ OTAN89 (nd = LQ)	TEQ OMS98 (nd = 0)	TEQ OMS98 (nd = LQ)
TEQ calculable dans les différents systèmes (à partir des concentrations)		527	527	527	527
TEQ disponible selon un ou système	170	222	122	183	166
Part des données par rapport aux 1181 totales à traiter	14 %	63 %	55 %	60 %	59 %

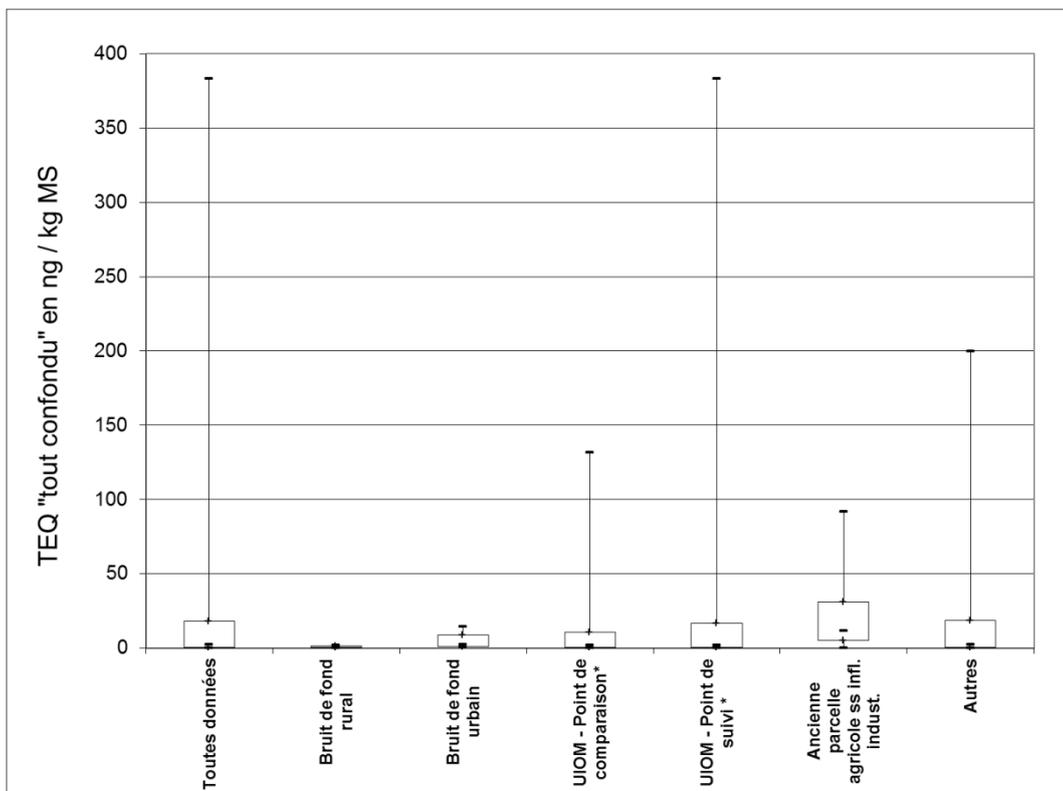
Comparaison des données TEQ nd = 0 et nd = LQ

571 (544 + 27) analyses exprimées en TEQ OTAN et 669 (544 + 125) analyses exprimées en TEQ OMS98 pour lesquelles les valeurs nd = 0 et nd = LQ sont connues.

TEQ connue avec nd=LQ et nd=0			Autres cas	
TEQ OTAN et OMS98 (nd=LQ) (nd=0)	TEQ OTAN (nd=LQ) (nd=0)	TEQ OMS98 (nd=0) (nd=LQ)	TEQ (indéterminé)	Autre cas
544				
	27	125		
			170	
				315

Annexe 3

Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 1 181 analyses en TEQ « tout confondu » en identifiant l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle



	Toutes données	Bruit de fond et point de comparaison (UIOM)			Ancienne parcelle agricole sous influence industrielle <i>Dont 103 points de suivi et 23 points de comparaison</i>	Autres ⁷	
		Bruit de fond - RURAL	Bruit de fond - URBAIN	UIOM - Point de comparaison			
<i>Nb analyses</i>	1181	34	39	153	752	126	77
Min	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0
Centile (10%)	0,5	0,6	1,1	0,4	0,5	5,2	0,5
Médiane	2,2	1,1	2,6	1,8	1,9	11,9	2,4
Centile (90%)	18,0	1,3	8,7	10,8	17,0	31,0	18,6
Max	383,0	1,9	14,7	131,5	383,0	91,8	200,0

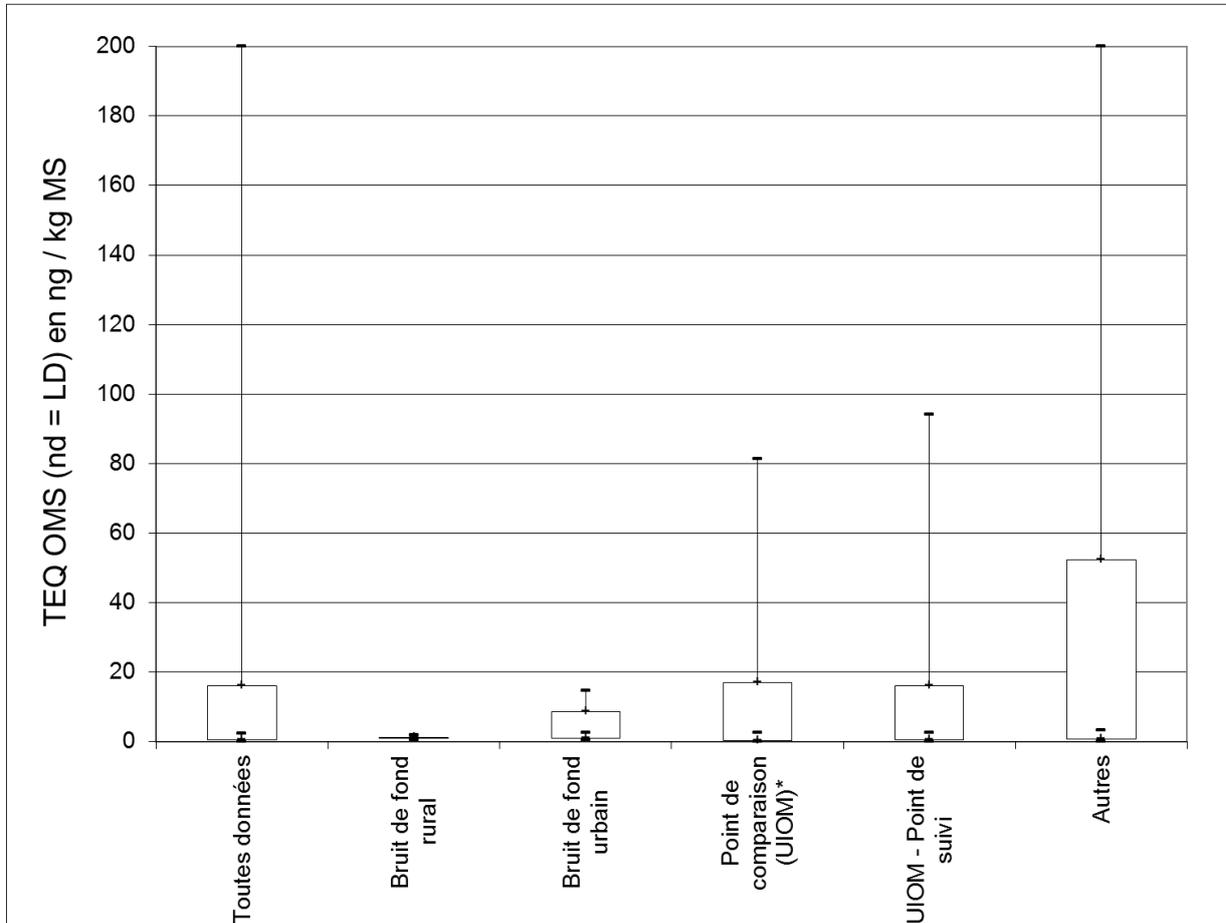
Données statistiques du TEQ « tout confondu », en fonction du contexte - 1181 analyses

⁷ Cette catégorie regroupe 39 données qui concernent des analyses sols autour d'un incinérateur sans savoir s'il s'agit de points de suivi ou de points de comparaison, 29 données qui concernent des analyses sols autour d'aciéries/métallurgies, 4 données autour d'industries chimiques et 5 données qui concernent un suivi dioxine dans les sols après un incendie.

Annexe 4

Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 527 analyses complètes en TEQ OMS (nd = LQ)

Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 527 analyses complètes en TEQ OMS nd = LQ :

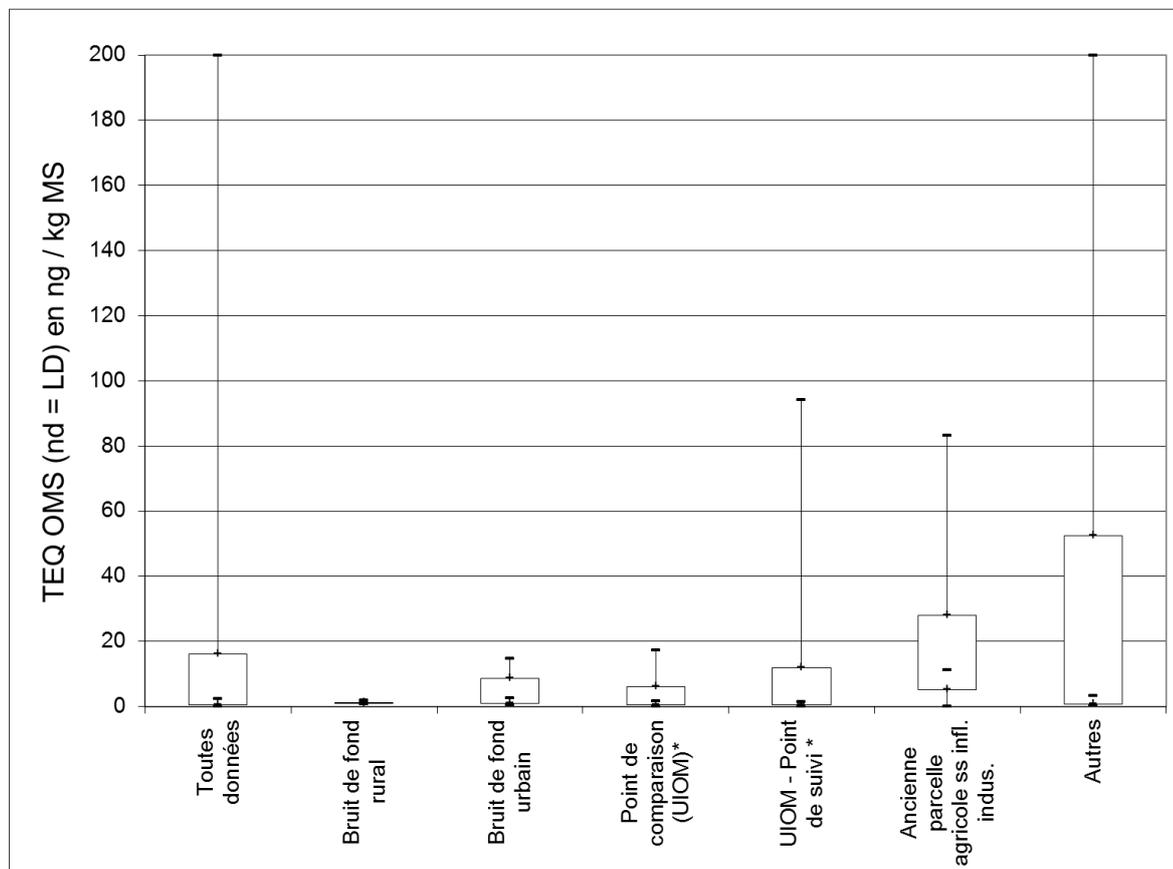


TEQ OMS (nd=LQ)	Toutes données	Bruit de fond et point de comparaison (UIOM)			UIOM - Point de suivi	Autres ⁸
		Bruit de fond - RURAL	Bruit de fond - URBAIN	UIOM - Point de comparaison		
<i>Nb analyses</i>	527	24	39	89	325	50
Min	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	0,2
Centile (10%)	0,5	1,0	1,1	0,4	0,5	0,7
Médiane	2,4	1,1	2,6	2,5	2,7	3,4
Centile (90%)	16,0	1,3	8,7	16,9	16,2	52,4
Max	200,0	1,9	14,7	81,4	94,1	200,0

Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 527 analyses complètes en TEQ OMS (nd = LQ)

⁸ Cette catégorie regroupe 29 données qui concernent des analyses sols autour d'un incinérateur sans savoir s'il s'agit de points de suivi ou de points de comparaison, 12 données qui concernent des analyses sols autour d'aciéries/métallurgies, 4 données autour d'industries chimiques et 5 données qui concernent un suivi dioxine dans les sols après un incendie.

Données statistiques du TEQ en fonction des contextes sur les 527 analyses complètes en TEQ OMS nd = LQ distinguant les données de l'ancienne parcelle agricole sous influence industrielle :



TEQ OMS nd=LD	Toutes données	Bruit de fond - RURAL	Bruit de fond - URBAIN	Point de comparaison (UIOM)*	UIOM - Point de suivi *	Ancienne parcelle agricole ss infl. indus.	Autres
<i>Nb analyses</i>	527	24	39	73	230	111	50
Min	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	0,1	0,2
Centile (10%)	0,5	1,0	1,1	0,4	0,4	5,2	0,7
Médiane	2,4	1,1	2,6	1,6	1,4	11,1	3,4
Centile (90%)	16,0	1,3	8,7	6,1	12,0	27,9	52,4
Max	200,0	1,9	14,7	17,2	94,1	83,3	200,0



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies
3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

www.brgm.fr