

# Dioxines et métaux lourds dans l'air ambiant

**Bilan des mesures réalisées  
entre 2006 et 2009**

**Programme dioxines et métaux lourds**



Les associations ASCOPARG, SUP'Air et COPARLY font partie du dispositif français de surveillance et d'information de la qualité de l'air. Leur mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application notamment le décret 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air.

A ce titre, ASCOPARG, SUP'Air et COPARLY sont garants de la transparence de l'information sur le résultat de leurs travaux.

Conditions de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur [www.atmo-rhonealpes.org](http://www.atmo-rhonealpes.org), un mois après validation interne.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété des associations. Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence aux associations en termes de «ASCOPARG, SUP'Air, COPARLY, *Etude des dioxines et des métaux lourds dans l'air ambiant et dans les retombées - Mesures réalisées entre 2006 et 2009* ».
- ASCOPARG, SUP'Air et COPARLY ne sont en aucune façon responsables des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Edition du 30 décembre 2010

## Sommaire

1.	Présentation du programme.....	6
1.	Historique du programme de surveillance .....	6
2.	Partenaires engagés dans le programme .....	6
3.	Contenu du programme .....	7
a.	Connaissance des émissions .....	7
b.	Surveillance dans l'air ambiant et les retombées .....	7
4.	Contexte réglementaire.....	8
a.	Les émissions .....	8
b.	Réglementation concernant les dioxines .....	8
c.	Réglementation concernant les métaux lourds .....	9
2.	Dioxines et furanes.....	11
1.	Qu'est ce qu'une dioxine ?.....	11
2.	Comment se forment les dioxines et les furanes ? .....	11
3.	Les dioxines dans l'environnement .....	11
a.	Dans l'air.....	11
b.	Dans les sols .....	11
c.	Dans l'eau .....	12
d.	Dans les organismes.....	12
4.	Risques sanitaires.....	12
5.	Les émissions de dioxines en Rhône-Alpes.....	13
3.	Métaux lourds .....	17
1.	Les métaux lourds – définitions.....	17
2.	Les métaux lourds – risque sanitaire.....	17
3.	La persistance des métaux lourds.....	17
4.	Les émissions de métaux lourds .....	17
4.	Stratégie de surveillance .....	21
1.	Matériel et type de mesures.....	21
a.	Mesures dans l'air ambiant .....	21
b.	Mesures dans les retombées atmosphériques totales par collecteurs de précipitations dits « jauges Owen » .....	21
c.	Analyse.....	21
2.	Les composés mesurés .....	22
a.	Dioxines et furanes.....	22
b.	Métaux lourds .....	23
3.	Périodes de mesures.....	23
a.	Mesures des retombées atmosphériques .....	23
b.	Mesures en air ambiant.....	23
4.	Sites de mesures.....	23
a.	Sites de référence .....	23
b.	Sites de mesures du programme .....	24

5.	Résultats des mesures de dioxines .....	31
1.	Dioxines en air ambiant – Principales statistiques .....	31
2.	Dioxines dans l’air ambiant – Elaboration de valeurs de référence .....	35
a.	Valeur de référence en air ambiant sur une semaine.....	35
b.	Valeur de référence en ambiant sur une année .....	37
3.	Dioxines dans l’air ambiant - Evolution temporelle.....	39
a.	Evolution temporelle de l’ensemble des prélèvements en air ambiant.....	39
b.	Evolution temporelle sur le site de Lyon Centre (DIOX_ML_012) .....	40
4.	Dioxines dans les retombées – principales statistiques .....	43
5.	Dioxines dans les retombées – Evolution temporelle .....	45
a.	Evolution temporelle des mesures de retombées atmosphériques sur les sites de référence .....	45
6.	Variation des congénères .....	47
7.	Dioxines dans les retombées – Proposition de valeurs de référence .....	60
6.	Résultats des mesures de métaux lourds.....	64
1.	Métaux lourds dans l’air ambiant.....	64
a.	Métaux lourds dans l’air ambiant sur les stations de référence .....	66
b.	Métaux lourds dans l’air ambiant sur les sites du programme.....	70
c.	Métaux lourds dans l’air ambiant – comparaison aux valeurs réglementaires ...	72
2.	Métaux lourds dans les retombées atmosphériques.....	72
a.	Métaux lourds dans les retombées atmosphériques sur les sites de référence ..	75
b.	Métaux lourds dans les retombées – Comparaison aux valeurs réglementaires.	77
7.	Conclusion.....	79

## Résumé

Depuis la fin de l'année 2006, trois associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) de la région Rhône-Alpes, ASCOPARG, COPARLY et SUP'Air, conduisent un programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds. Ce programme est réalisé avec le concours technique et financier de plusieurs partenaires industriels.

En 2006, les connaissances sur ces polluants étaient alors limitées. Les métaux lourds étaient encore considérés comme des polluants émergents et la stratégie de surveillance les concernant faisait alors l'objet d'une mise en place progressive.

Concernant les dioxines, les mesures en air ambiant et dans les retombées étaient rares, même au niveau national.

Ce document résume les actions réalisées par ces trois associations depuis 2006 dans le cadre de ce programme. Elles portent sur l'amélioration des connaissances des émissions de ces polluants ainsi que sur l'évaluation de leurs teneurs respectives dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques.

Concernant les émissions, la dernière version du cadastre permet actuellement de suivre à l'échelle de la région leur évolution entre 2000 et 2007.

Enfin, ce programme a permis de passer d'une phase de recueil de données à la proposition en 2010 de valeurs de référence pour les dioxines. Ces valeurs ont été construites à partir de l'analyse statistique des résultats associée à la connaissance des émissions et des sites de mesures. Dans le cas de dépassements de ces valeurs, ces situations ont donné lieu à des actions mis en œuvre de manière concertée entre les associations et les partenaires industriels et institutionnels.

## Introduction

En Rhône-Alpes, la stratégie de surveillance de la qualité de l'air est établie par l'ensemble des associations de surveillance dans le cadre du **Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA)**. L'objectif premier de ce plan est de répondre aux exigences réglementaires concernant la surveillance de la qualité de l'air.

Cependant, les associations COPARLY, ASCOPARG et SUP'Air ont souhaité aller au-delà de ces exigences avec la mise en place d'un programme spécifique aux **métaux lourds** et aux **dioxines**. Ce programme est réalisé en partenariat avec la DREAL<sup>1</sup> et avec le soutien technique et financier de partenaires industriels.

Ce programme a d'abord connu une phase exploratoire entre 2006 et 2008 avec la mise en place des premières mesures et le début des travaux sur l'inventaire des émissions de dioxines et métaux lourds en Rhône-Alpes. Entre 2008 et 2009, il est entré dans une phase de croissance opérationnelle avec l'intégration de nouveaux partenaires et la réalisation de mesures en routine de dioxines et métaux sur plusieurs zones de la région.

Ce document présente **l'ensemble des travaux** réalisés par les associations dans le cadre de ce programme entre 2006 et 2009 en Rhône-Alpes.

La première partie de ce rapport illustre les **améliorations sur les connaissances des émissions** des dioxines et des métaux lourds. En effet, ce programme a abouti à l'élaboration d'un cadastre kilométrique qui couvre les émissions de ces polluants en Rhône-Alpes pour les années 2000 à 2007. La connaissance des émissions est capitale puisqu'elle permet d'anticiper sur les résultats des mesures et de les valider. Les émissions varient dans l'espace et dans le temps. Ainsi, les émissions de dioxines ont été divisées par 5 en 7 ans. Par ailleurs, près de la moitié des émissions de la région sont concentrées sur seulement 1% du territoire. L'existence de sources ponctuelles (industries, unité d'incinération des ordures ménagères) permet d'expliquer dans certains cas les niveaux significatifs mesurés localement. Mais les autres sources, comme le chauffage, ainsi que phénomènes de transport sur une longue distance ou les transferts dans d'autres compartiments de l'environnement, comme la pollution des sols et des eaux, ne doivent pas être négligés.

Ce document synthétise aussi l'amélioration des connaissances sur les **niveaux enregistrés dans les retombées atmosphériques et l'air ambiant**. En effet, la mesure des dioxines et des métaux lourds concerne actuellement plus d'une trentaine de sites représentatifs de différents environnements, allant de sites en proximité industrielle jusqu'à des sites ruraux éloignés de toutes sources. Cette diversité d'environnements entraîne une grande dispersion sur les résultats, notamment pour les dioxines.

Enfin, l'étude des comportements des dioxines et de l'influence de paramètres a permis d'aboutir pour ces polluants à la **proposition de valeurs de référence**. Ces valeurs construites sur l'analyse de 4 années de mesures permettent de qualifier les résultats des prélèvements en air ambiant et dans les retombées.

---

<sup>1</sup> DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, anciennement DRIRE

## 1. Présentation du programme

### 1. Historique du programme de surveillance

Ce programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds a débuté au cours de l'année 2006. Il concernait initialement 6 partenaires industriels répartis sur 3 zones (la zone industrielle du sud lyonnais, le Val de Saône au nord de l'agglomération lyonnaise et l'agglomération grenobloise).

Les premières mesures ont eu lieu sur ces 3 zones d'études et sur deux sites de référence :

- Un site **urbain** de référence situé dans le centre de l'agglomération de Lyon Centre
- Un site **rural** de référence situé à Saint Germain au Mont d'Or (à une vingtaine de kilomètres au nord de l'agglomération lyonnaise). Ce site présentait des résultats très proches de ceux obtenus à Lyon. Au cours de l'année 2010, il a donc été transféré dans la Plaine de la Bièvre à Faramans (38), zone rurale éloignée des grandes agglomérations de la région.

### 2. Partenaires engagés dans le programme

Le nombre de partenaires est passé de 6 en 2006 à 13 à la fin de l'année 2009.

Partenaires	Activité	Commune	Année d'entrée dans le programme
<b>Station d'épuration de Pierre Bénite</b>	Station de traitement des Eaux (STEP)	Pierre Bénite (69)	2006
<b>Station d'épuration de Saint Fons</b>	Station de traitement des Eaux (STEP)	Saint Fons (69)	2006
<b>Usine de Lyon Sud</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Lyon (69)	2006
<b>ATHANOR</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	La Tronche (38)	2006
<b>ARKEMA</b>	Industrie (chimie)	Pierre Bénite (69)	2006
<b>RHODIA OPERATION</b>	Industrie (chimie)	Saint Fons (69)	2006
<b>SANOFI Chimie</b>	Industrie pharmaceutique	Neuville sur Saône (69)	2006
<b>TREDI</b>	Usine de traitement thermique de différents types de déchets	Salaise Sur Sanne (38)	2007
<b>TERIS</b>	Usine de traitement thermique de différents types de déchets	Pont de Claix (38)	2008
<b>GRS VALTECH</b>	Usine de traitement thermique des terres	Saint Pierre de Chandieu (69)	2008
<b>CEZUS</b>	Industrie (chimie minérale et métallurgie)	Jarrie (38)	2008
<b>VALORLY</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Rillieux La Pape (69)	2008
<b>SITOM Nord Isère</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Bourgoin Jallieu (38)	2009

Tableau 1 Liste des partenaires engagés dans programme en 2009

Ces partenaires sont multiples : ils comprennent des industriels du secteur de la dépollution (dépollution des eaux, traitement des terres pollués), du traitement des déchets (Usines d'Incinération des déchets ménagers ou industriels), ainsi que des industriels (notamment de la chimie) disposant sur leur site de production d'unité leur permettant de traiter leurs déchets ou effluents.



Les partenaires sont répartis sur les deux départements du Rhône et de l'Isère (Figure 1). Cinq de ses partenaires (les stations d'épuration de Pierre Bénite et de Saint Fons, les usines d'ARKEMA et de RHODIA OPERATION ainsi que l'Usine d'Incinération des Ordures Ménagères de Lyon sud) sont localisés dans la zone du sud lyonnais.

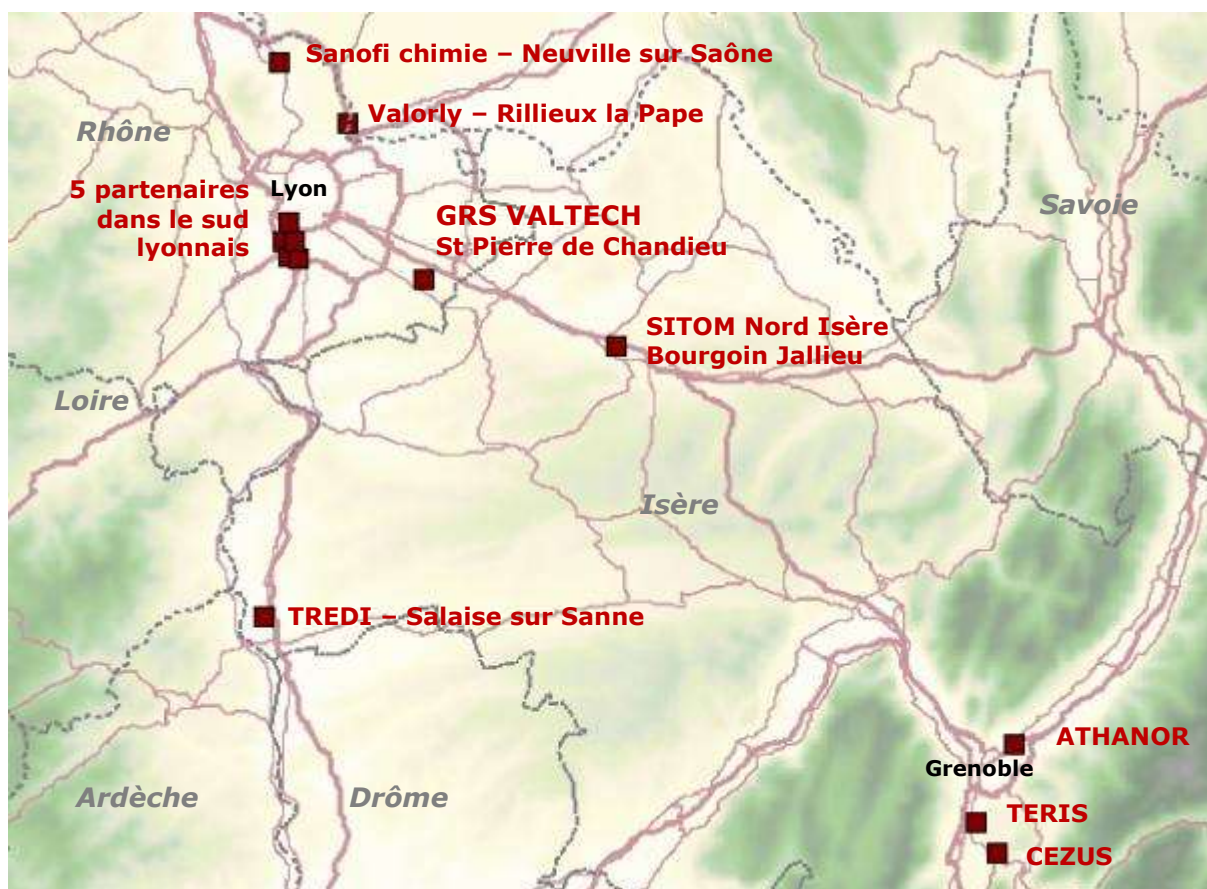


Figure 1 Localisation des partenaires engagés dans le programme en 2009

### 3. Contenu du programme

Ce programme vise l'amélioration des connaissances sur les dioxines et les métaux lourds sur la région Rhône-Alpes.

Cette amélioration des connaissances s'est accompagnée de l'élaboration d'un **cadastre régional** concernant ces polluants ainsi que de **campagnes de mesures** dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques.

#### a. Connaissance des émissions

La connaissance de la répartition spatiale et temporelle des émissions de polluants est une aide précieuse pour élaborer une stratégie de surveillance.

Aujourd'hui, les AASQA<sup>2</sup> de la région disposent d'un cadastre régional, à l'échelle du kilomètre, des émissions de dioxines et métaux lourds (14 métaux) pour les années de 2000 à 2007.

#### b. Surveillance dans l'air ambiant et les retombées

L'objectif des mesures réalisées dans le cadre de ce programme est multiple :

<sup>2</sup> AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air



- **Améliorer les connaissances sur les niveaux** de ces polluants dans l'air ambiant et les retombées. Les résultats de ces mesures constituent actuellement une base de données importante qui pourrait aussi servir de référence par exemple dans le cadre d'étude d'impact ou d'évaluation du risque sanitaire.
- **Vérifier la conformité des niveaux** pour les polluants réglementés (essentiellement pour quelques métaux lourds) mais aussi présenter des valeurs de référence qui constituent une première étape dans l'estimation qualitative des niveaux mesurés.

#### 4. Contexte réglementaire

##### a. Les émissions

Il existe plusieurs textes réglementaires relatifs aux émissions de dioxines et furanes dans le domaine de l'incinération des déchets, parmi lesquels :

- Au niveau communautaire, la directive européenne 2000/76/CE du 4 décembre 2000 relative à l'incinération des déchets fixe une valeur limite à l'émission de 0,1 ng I-TEQ/m<sup>3</sup> pour les dioxines et les furanes.
- Au niveau national, les textes les plus récents suivants :
  - 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<sup>3</sup> ;
  - L'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux<sup>4</sup>.

Ces arrêtés imposent aux nouvelles usines et à toutes installations à compter du 28 décembre 2005, outre des mesures à l'émission 2 fois par an, la mise en place par l'exploitant d'un programme de suivi dans l'environnement au minimum pour les dioxines et les métaux lourds. De plus, la circulaire du 9 octobre 2002 relative aux installations classées<sup>5</sup> exige la réalisation de mesures dans l'environnement dès que le flux total annuel de dioxines émis dépasse 0,5g.

##### b. Réglementation concernant les dioxines

Concernant les teneurs en dioxines dans l'air ambiant, il n'existe pas à ce jour de valeur réglementaire. En effet, la contamination directe par ce polluant est considérée comme relativement faible par rapport à la voie alimentaire qui représenterait environ 90% de l'exposition.

---

<sup>3</sup> Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, journal officiel de la République Française n°280 du 01/12/2002

<sup>4</sup> Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, journal officiel de la République Française n°280 du 01/12/2002

<sup>5</sup> Arrêtés ministériels relatifs à l'incinération des déchets, émissions de dioxines et de métaux des incinérateurs - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire, Bulletin officiel MEDD n°2-2003 du 31 janvier 2003

### c. Réglementation concernant les métaux lourds

#### Réglementation en air ambiant

Concernant les métaux lourds, seuls 4 métaux sont réglementés en air ambiant :

Métal	Symbole	
Antimoine	Sb	n.r
Arsenic	Sn	Réglementé en air ambiant
Baryum	Ba	n.r
Cadmium	Cd	Réglementé en air ambiant
Chrome	Cr	n.r
Cobalt	Co	n.r
Cuivre	Cu	n.r
Manganèse	Mn	n.r
Mercure	Hg	n.r
Nickel	Ni	Réglementé en air ambiant
Plomb	Pb	Réglementé en air ambiant
Thallium	Tl	n.r
Vanadium	V	n.r
Zinc	Zn	n.r

Tableau 2 Liste des 14 métaux mesurés dans l'air ambiant et les retombées atmosphériques totales (n.r = non réglementé)

Concernant le plomb, la directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe une valeur limite ( $0,5 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle). Le décret français n°2002-213 du 15 février 2002 fixe aussi un objectif de qualité à  $0,25 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle.

	Seuil à respecter	Période de calcul
<b>Objectif de qualité</b>	$0,25 \mu\text{g.m}^{-3}$	Moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	$0,5 \mu\text{g.m}^{-3}$	Moyenne annuelle

Tableau 3 Valeurs réglementaires concernant le plomb

La directive européenne 2004/107/CE du 15 décembre 2004 fixe pour l'arsenic, le cadmium, le mercure et le nickel une valeur cible en air ambiant calculée sur la fraction particulaire des  $\text{PM}_{10}$ .

Polluant	Valeur cible
<b>Arsenic</b>	$6 \text{ ng.m}^{-3}$
<b>Cadmium</b>	$5 \text{ ng.m}^{-3}$
<b>Nickel</b>	$20 \text{ ng.m}^{-3}$

Tableau 4 Valeurs cibles pour l'arsenic, le cadmium et le nickel (Directive 2004/107/CE)

A titre d'information, le tableau suivant présente des recommandations (valeurs limites) du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) et celles (valeurs guides) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :

Polluant	Valeur guide (OMS)	Valeur limite
<b>Cadmium</b>	5	
<b>Plomb</b>	250	2000
<b>Manganèse</b>	150	

Tableau 5 Valeurs recommandées par le CSHPF et l'OMS

### *Réglementation dans les retombées*

Les retombées atmosphériques de métaux lourds ne sont pas réglementées en France. Certains pays comme l'Allemagne ont fixé des valeurs limites :

Valeurs limites TA Luft 2002	Retombées en ng/m <sup>2</sup> /j
<b>Cadmium</b>	2000
<b>Mercure</b>	1000
<b>Arsenic</b>	4000
<b>Plomb</b>	100000
<b>Nickel</b>	15000
<b>Thallium</b>	2000

Tableau 6 Valeurs limites de retombées atmosphériques totales de métaux lourds en Allemagne

## 2. Dioxines et furanes

### 1. Qu'est ce qu'une dioxine ?

Les dioxines (polychlorodibenzodioxines ou PCDD) et les furanes (polychlorodibenzofuranes ou PCDF), regroupés sous le terme de dioxines, sont des **hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC)**. Il existe de nombreux composés identifiés (75 PCDD et 135 PCDF, appelés « **congénères** ») en fonction du nombre et de la position des atomes de chlore qu'ils possèdent. Dans le cadre de ce programme, 17 congénères (7PCDD et 10 PCDF) sont mesurés et étudiés, en raison de leur toxicité avérée. Il s'agit des congénères dont les positions 2,3,7 et 8 de la molécule sont substituées par des atomes de chlore.

Les dioxines (PCDD) et furanes (PCDF) font partie de la famille des Polluants Organiques Persistants (POP) au même titre que les PolychloroBiphényles (PCB) et de dizaines d'autres polluants (pesticides, etc.).

Les POP sont définis par rapport à quatre critères :

- **L'impact sanitaire** : leur impact sur la santé est avéré
- **La persistance** : ce sont des molécules très résistantes à la température et à toutes autres dégradations de type chimique ou biologique. Elles sont donc persistantes dans l'environnement et l'organisme humain, leur durée de demi-vie est de l'ordre de 7 à 10 ans. Dans le cas des dioxines, elles sont d'autant plus stables qu'elles contiennent d'atomes de chlore.
- **La bioaccumulation** : en raison de leur capacité à s'accumuler dans les tissus vivants, leurs concentrations augmentent tout au long de la chaîne alimentaire.
- **Leur transport sur de longues distances** : ils peuvent en effet être transportés dans les masses d'air sous forme de particules et se déposer à des centaines de kilomètres de leurs lieux d'émission.

### 2. Comment se forment les dioxines et les furanes ?

Les PCDD et PCDF se forment lors des processus de combustion, lors de la mise en œuvre de procédés industriels mais aussi dans la nature lors de combustion faisant intervenir des composés carbonés et chlorés (d'origine organique ou inorganique).

Connu pour être émis lors de l'incinération des ordures ménagères, les dioxines et furanes sont aussi émis lors de processus industriels comme la fabrication des métaux, notamment lors de l'agglomération de minéraux de fer. De plus, certains procédés de production de l'industrie chimique émettent des dioxines et furanes qui sont issus de réactions secondaires qui ont lieu lors de la fabrication de composés aromatiques contenant du chlore.

### 3. Les dioxines dans l'environnement

#### a. Dans l'air

Les dioxines sont très peu volatiles, et se dispersent principalement dans l'atmosphère en se fixant sur de très fines particules par mécanisme d'adsorption.

#### b. Dans les sols

Émis dans l'atmosphère, les dioxines se déposent directement sur le sol et sur la partie aérienne des végétaux. Les dix premiers centimètres du sol regrouperaient la majorité des retombées, environ 95%.

Type de sol	Niveau de référence
<b>Rural</b>	1 ng/kg
<b>Urbain</b>	10 ng/kg
<b>Industriel</b>	100 ng/kg

Tableau 7 Taux de dioxines dans les sols en ng/kg de matières sèches

Les dioxines s'accumulent dans les sols parce qu'elles font partie, avec les hydrocarbures aromatiques polycycliques contenant 5 noyaux aromatiques ou plus et les biphényles polychlorés (PCB), des molécules qui se décomposent peu et de manière extrêmement lente.

#### c. Dans l'eau

Les dioxines contaminent les milieux aquatiques via les retombées atmosphériques, l'érosion des sols, les rejets industriels dans l'eau. Elles s'associent aux particules en suspension et sédimentent.

De part leur propriété hydrophobe, leurs concentrations dans l'eau sont très souvent non détectables.

#### d. Dans les organismes

A cause de leur forte tendance à la bioaccumulation, les dioxines et furanes se retrouvent chez les hommes, mais aussi chez les crabes, les insectes, les poissons, les oiseaux et les mammifères.

Animal	LD <sub>50</sub> <sup>6</sup> (en µg/kg)
<b>Cochon d'inde</b>	0,6...2,0
<b>Rat</b>	20...45
<b>Singe</b>	70
<b>Chien</b>	100...200
<b>Souris</b>	110...280
<b>Hamster</b>	110...5000

Tableau 8 Valeurs LD<sub>50</sub> de la 2,3,7,8-TCDD chez différentes familles d'animaux (Bliefert C, Perraud R. Chimie de l'environnement)

## 4. Risques sanitaires

L'agent Orange et Seveso, un peu d'histoire...

Les connaissances sur la toxicité des dioxines sont issues de l'expérimentation animale et de l'observation de l'effet sur l'homme dans le cas de fortes expositions (exposition à l'agent orange au Viêt-Nam, exposition à la 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine lors de l'accident de Seveso).

L'agent orange a d'abord été utilisé comme herbicide aux Etats Unis dans les années 50 et comme agent défoliant pendant la guerre du Viet-Nam. Ce défoliant contenait deux molécules herbicides mais aussi une impureté dérivant de la fabrication d'un des deux herbicides. Cette impureté, découverte bien plus tard, est la 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine ( 2,3,7,8 TCDD) aussi connue sous le nom de dioxine de Seveso.

<sup>6</sup> LD50, dose létale moyenne pour un composé, elle représente la dose calculée statistiquement qui lors d'une expérience a une probabilité de provoquer la mort de 50% des animaux traités par le composés



Figure 2 La dioxine de Seveso, la 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine ou 2,3,7,8 TCDD

L'accident de Seveso en Italie en 1976, libéra dans l'atmosphère une quantité de dioxine estimée entre 1 et 5 kg suite à la surchauffe d'un réacteur produisant des herbicides. Quatre jours plus tard, les premières lésions sur la peau des populations furent observées. Des impacts furent aussi observés sur la végétation et les animaux familiers.

Un bilan, établi 7 ans plus tard, montra que 193 personnes, essentiellement des enfants, furent atteintes de chloacné. Sur le plan environnemental, l'accident fut majeur avec la mort de 3300 animaux domestiques ; 70000 têtes de bétail contaminées furent abattues, des sols et des maisons durent être décontaminés.

Cette catastrophe ne causa pas de décès humains directs mais a suscité d'importantes réflexions sur les risques liés aux dioxines et sur les risques industriels au point qu'elle fut à l'origine d'une réglementation européenne en matière de prévention des risques technologiques (directive européenne « Seveso » de 1982 et « Seveso 2 » de 1996).

## 5. Les émissions de dioxines en Rhône-Alpes

Les AASQA disposent actuellement d'un cadastre régional des émissions de dioxines pour les années 2000 à 2007. Ce cadastre a été spécialement développé dans le cadre de ce programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds. Il permet aujourd'hui de disposer pour l'ensemble de la région d'un inventaire spatialisé (maille de 1km) des émissions de dioxines. Le tableau suivant illustre l'évolution des émissions de dioxines en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Agriculture et sylviculture</b>	0,00306	0,00302	0,00298	0,00293	0,0029	0,00285	0,0028	0,00275
<b>Autres sources mobiles</b>	0,00243	0,0025	0,0026	0,00263	0,00265	0,00267	0,00255	0,00234
<b>Industrie Manufacturière</b>	42,5	40,9	23,1	28,4	21,6	15,5	3,91	3,54
<b>Résidentiel/Tertiaire</b>	7,65	7,41	7,17	7,21	7,29	7,32	7,13	7,01
<b>Sources biotiques</b>	2,01	0,858	0,731	4,07	0,685	2,04	0,39	0,222
<b>Transformation d'énergie</b>	0,0615	0,0609	0,0622	0,335	0,0522	0,0474	0,0428	0,0378
<b>Transport routier</b>	0,792	0,774	0,76	0,736	0,722	0,69	0,662	0,642

Tableau 9 Répartition des émissions de dioxines en gITEQ en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1)

Entre 2000 et 2007, les émissions de dioxines ont quasiment été divisées par 5 en Rhône-Alpes (53 grammes en 2000 et 11,4 grammes en 2007).

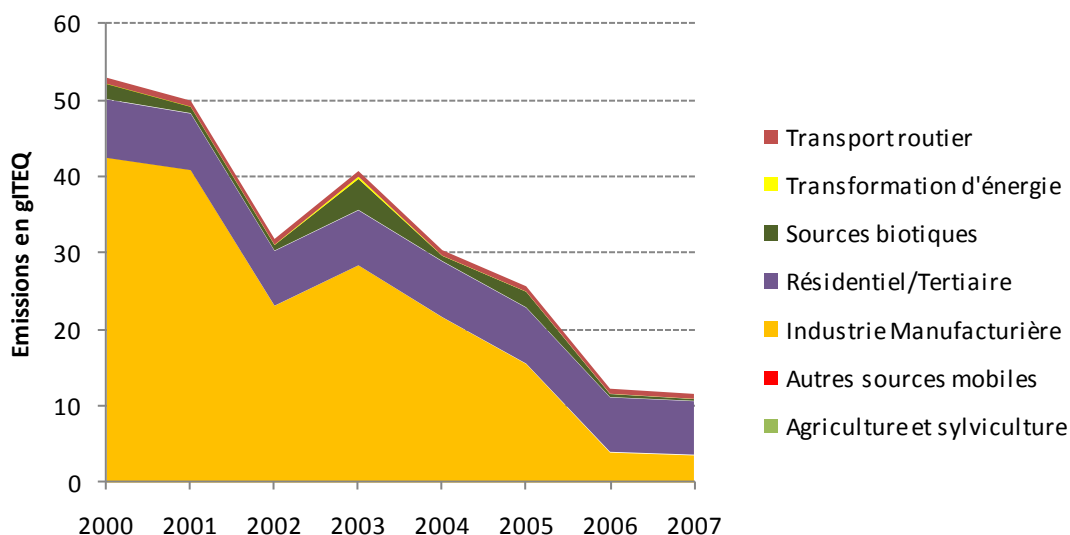


Figure 3 Répartition sectorielle des émissions de dioxines en gITEQ en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1)

Cette diminution s'explique par la baisse importante des émissions du secteur de **l'industrie manufacturière**. En 2000, ce secteur représentait 80% des émissions totales de dioxines (42,5g sur un total de 53g). En 2007 il ne représente plus que 31% des émissions totales (3,5g sur un total de 11,4g).

Avec la diminution des émissions du secteur industriel et la stagnation des émissions du secteur **résidentiel/tertiaire**, ce dernier est devenu en 2007 le premier émetteur régional de dioxines (61% avec 7g).

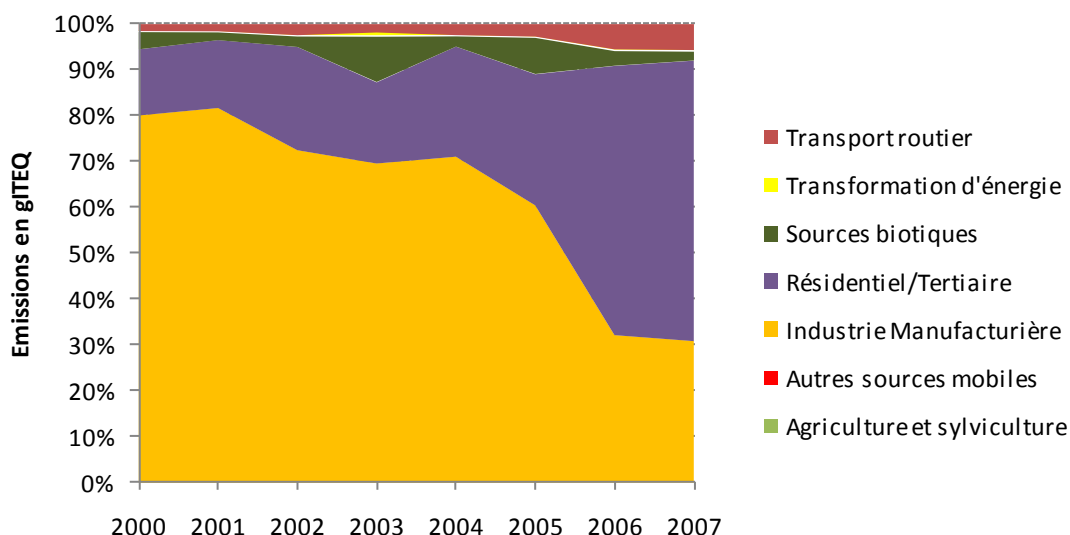


Figure 4 Répartition sectorielle des émissions de dioxines en % en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1)

La figure suivante illustre uniquement les émissions de dioxines du secteur industriel en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007. Entre 2000 et 2005, les émissions de dioxines liées à **l'incinération des déchets** représentaient la plus grande partie des émissions de dioxines du secteur industriel.



A partir de 2005, la diminution la plus importante concerne l'incinération des déchets qui émettait 30,7 grammes ITEQ en 2000 et seulement 1,3 gramme ITEQ en 2007.

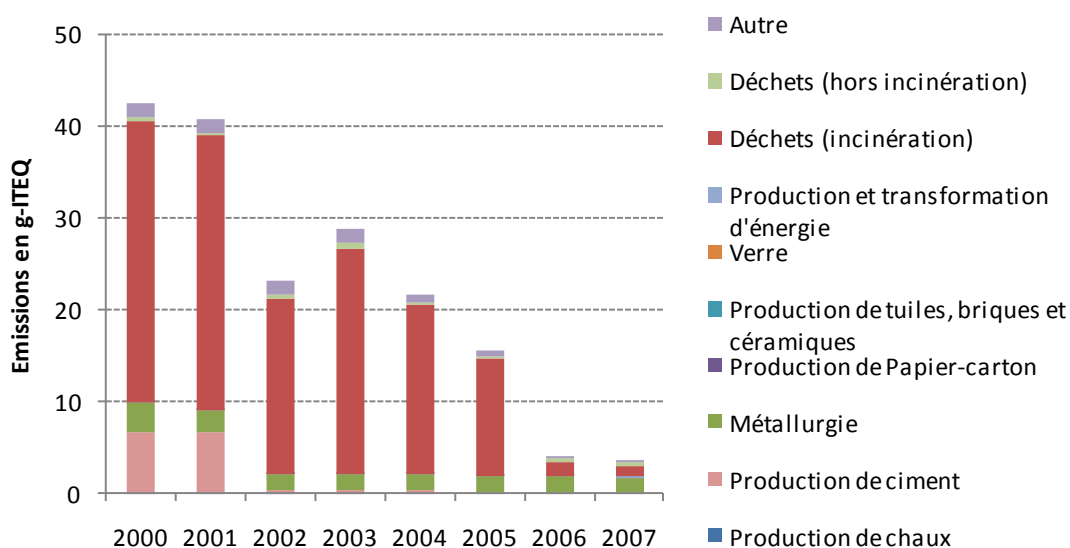


Figure 5 Emissions de dioxines du secteur industriel en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (version 2010-1)

La répartition géographique des émissions de dioxines et furanes n'est pas uniforme en Rhône-Alpes : **1% du territoire émet 46% des émissions régionales de dioxines et furanes**. Ces secteurs sont représentés en rouge sur la carte suivante (Figure 6).

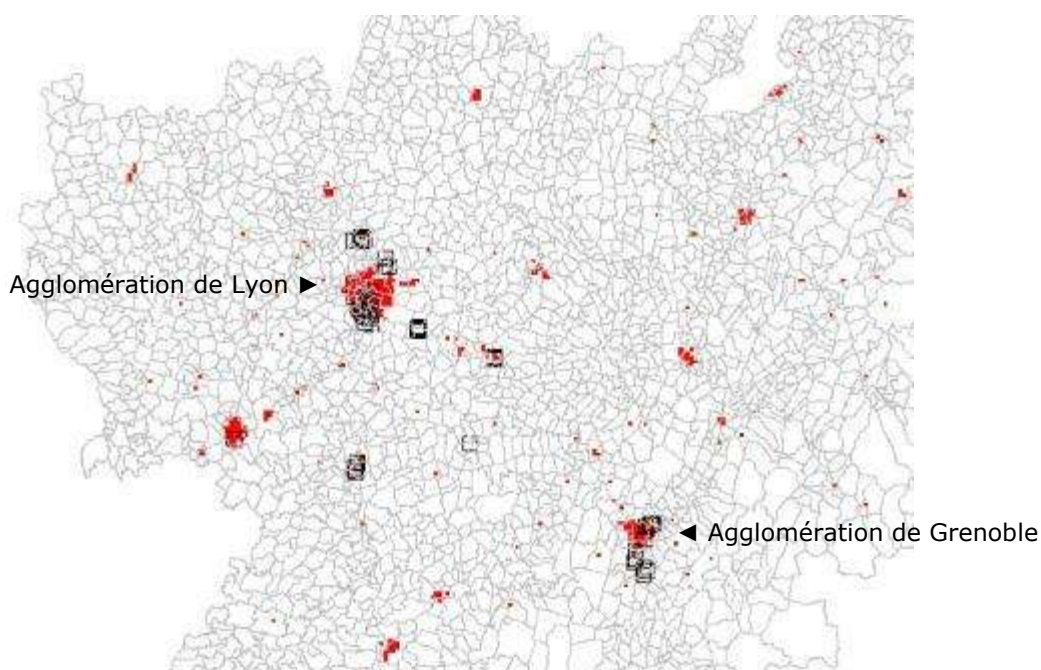


Figure 6 Carte des **secteurs** dont la somme des émissions représente 46% des émissions régionales totales de dioxines et furanes. Les carrés noirs correspondent aux sites de mesures des dioxines et métaux lourds

Pour d'autres polluants comme le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) qui est émis essentiellement par des sources ponctuelles (le secteur industriel représente 76% des émissions régionales de dioxyde de soufre), les émissions se concentrent aussi sur de petites

surfaces. Ainsi, en Rhône-Alpes, 1% du territoire émet 77% des émissions régionales de dioxyde de soufre.

Pour les particules (PM<sub>10</sub>) dont les sources sont nombreuses et mieux réparties sur l'ensemble du territoire, 1% du territoire émet « seulement » 23% des émissions régionales de particules.

## 3. Métaux lourds

### 1. Les métaux lourds – définitions

Les métaux lourds se trouvent à l'état de trace dans tous les compartiments de l'environnement (air, eau et les sols). Comme le pétrole, le charbon et le bois contiennent pratiquement tous les éléments chimiques dont les métaux lourds, leur combustion émet dans l'air ces métaux lourds sous forme adsorbée sur les aérosols. Ils peuvent ensuite atteindre le sol sous forme absorbée dans les eaux de précipitations.

Les émissions de métaux lourds peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique.

Pour les métaux lourds d'origine anthropogénique, ceux-ci proviennent principalement du transport routier et dans une moindre mesure du secteur de l'industrie manufacturière. Ils sont émis lors de la combustion du charbon et du pétrole, de l'incinération des ordures ménagères et de certains procédés industriels. Le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le nickel, le sélénium et le zinc sont les principaux métaux lourds émis dans l'atmosphère par les activités humaines.

Ainsi pour le plomb, les émissions anthropogéniques sont environ 350 fois plus importantes que les émissions naturelles. La généralisation de l'essence sans plomb a considérablement fait diminuer les concentrations de ce polluant dans l'air.

Dans l'atmosphère, les métaux lourds se retrouvent généralement adsorbés à la surface des particules (sauf pour le mercure qui est essentiellement gazeux).

### 2. Les métaux lourds – risque sanitaire

Ils peuvent être inhalés directement par l'homme, ou bien contaminer les sols, les eaux avant d'entrer dans la chaîne alimentaire et ainsi être ingérés par l'homme. Ils présentent la faculté de s'accumuler dans les organismes vivants et ont des effets toxiques à court terme et long terme.

L'impact toxicologique des métaux lourds dépend de leur forme chimique, de leur concentration, du contexte environnemental, de leur biodisponibilité et de la possibilité de passage dans la chaîne du vivant (le réseau trophique).

Chez l'homme, ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, ou autres. Certains métaux comme le cadmium sont cancérigènes. En effet, l'exposition professionnelle au cadmium peut être considérée comme responsable d'une augmentation significative du cancer du poumon.

### 3. La persistance des métaux lourds

Contrairement aux polluants organiques, les **métaux lourds** ne peuvent être dégradés biologiquement ou chimiquement. Ils peuvent être transportés dans l'air et dans l'eau sur de grandes distances sans subir de transformation. Dans l'environnement, un **composé métallique** peut être transformé en un autre composé dans lequel le métal subsistera. Par exemple, le mercure, présent dans les sédiments sous forme de sulfure (HgS) ou métallique (Hg) peu soluble peut être transformé naturellement en forme gazeuse et toxique (méthylation du mercure) ou en forme hydrophyle (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>).

Certains compartiments de l'environnement (sols argileux, composés humiques) ont la faculté d'accumuler les métaux lourds. Une fois ces derniers accumulés dans les sols et les sédiments des cours d'eau, ils peuvent être transformés, à l'instar du mercure, et atteindre la chaîne alimentaire par le biais des plantes ou des poissons.

### 4. Les émissions de métaux lourds

Les AASQA disposent actuellement d'un cadastre régional des émissions de métaux lourds pour les années 2000 à 2007 concernant une liste de 15 métaux lourds.

Le graphique suivant illustre l'évolution des émissions totales de métaux lourds en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007.

Depuis 2000, les émissions totales de métaux lourds ont peu varié en Rhône-Alpes (230 tonnes en 2000 et 216 tonnes en 2007).

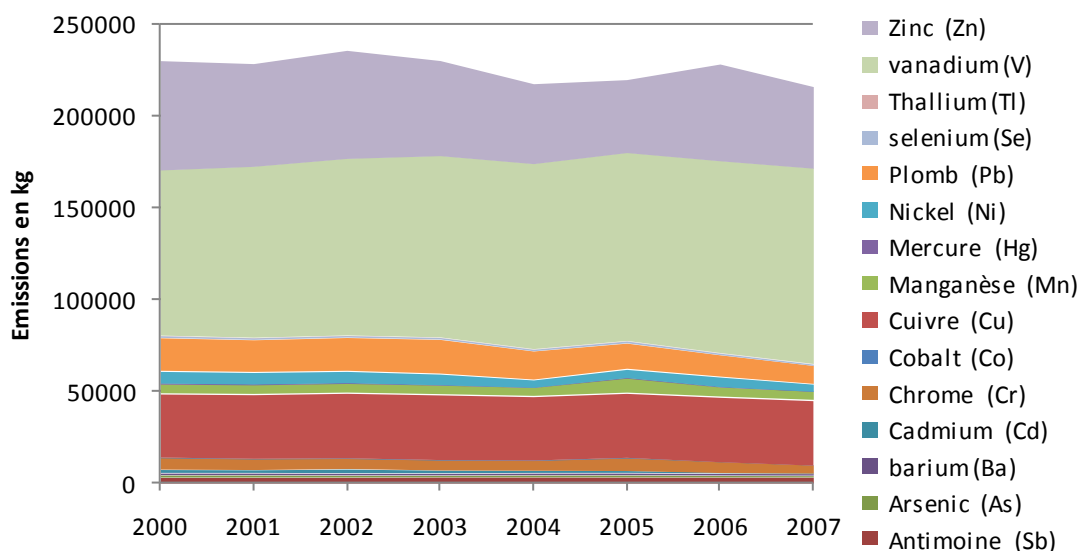


Figure 7 Emissions totales de métaux lourds en kg en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1)

En termes de quantité émises, le zinc, le vanadium, le plomb et le cuivre représentent 91% des métaux lourds émis.

Les deux secteurs d'activité qui émettent le plus de métaux sont le **transport routier** (71% des émissions totales en 2007) et le **secteur industriel** (19% en 2007).

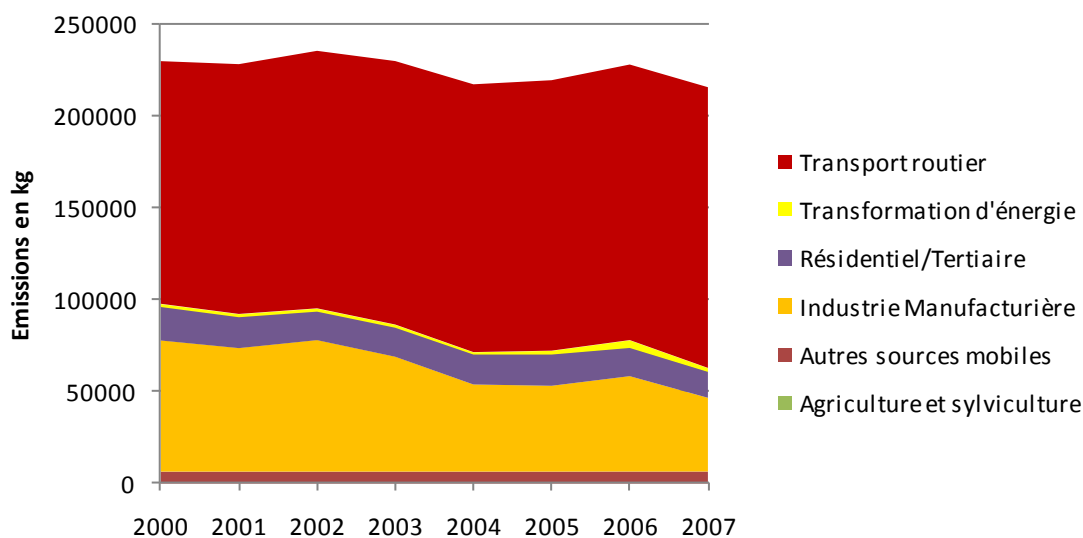


Figure 8 Répartition sectorielle des émissions totales de métaux lourds en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007

Il est intéressant de noter la diminution de 43% des émissions totales de métaux lourds (-31,2 tonnes) du secteur industriel entre 2000 (71,2 tonnes) et 2007 (39,9 tonnes). Au

niveau régional, les émissions totales de métaux lourds ont peu évolué car la contribution du transport routier a augmenté sur la même période (+20 tonnes entre 2000 et 2007).

Selon le secteur d'activité, la nature des métaux lourds émis varie. Les émissions de métaux lourds par le transport routier concernent essentiellement le **zinc**, le **cuivre** et le **vanadium**. Ces trois métaux représentent 96% des émissions totales de métaux lourds de ce secteur. De plus, le transport routier est responsable de 98% des émissions totales de Vanadium en Rhône-Alpes.

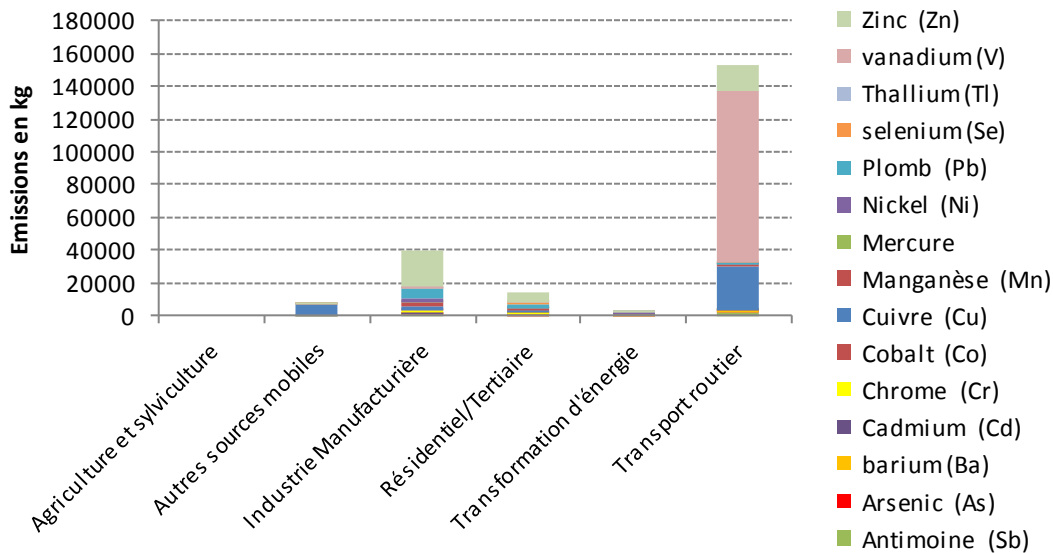


Figure 9 Répartition sectorielle des émissions de métaux lourds en Rhône-Alpes

La figure suivante illustre la différence entre les émissions de métaux lourds des secteurs de l'industrie et du transport routier. Le spectre d'émissions du transport routier est dominé par 3 éléments (zinc, cuivre et vanadium) alors que le spectre d'émission du secteur industriel est dominé par le zinc (54%).

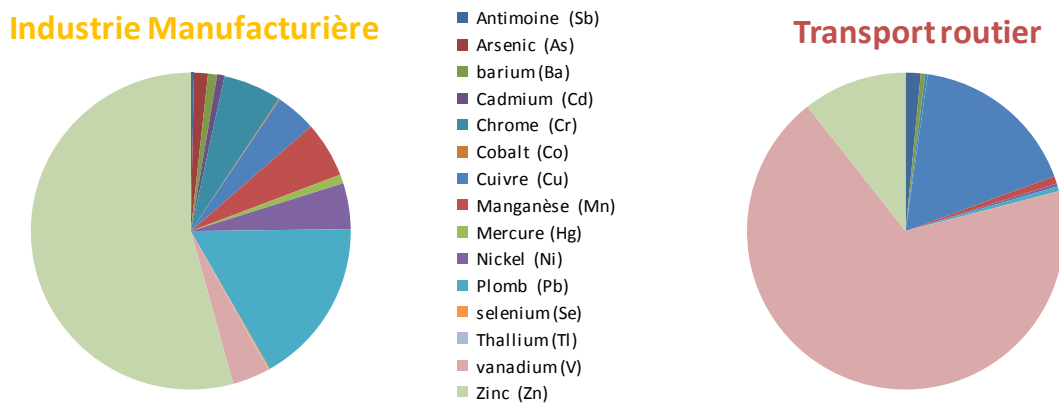


Figure 10 Répartition des émissions de métaux en 2007

La plupart des autres métaux lourds sont aussi représentés dans les émissions de ce secteur de sorte que le secteur industriel représente en Rhône-Alpes la majorité des émissions d'arsenic (69% des émissions totales), cadmium (59%), chrome (54%), mercure (84%), plomb (68%).

La contribution de l'activité **d'incinération des déchets** (essentiellement l'incinération des déchets ménagers et industriels) est différente selon le métal considéré. Elle est

significative pour les émissions de mercure (19% des émissions du secteur industriel), le cadmium (15%) et le zinc (10%).

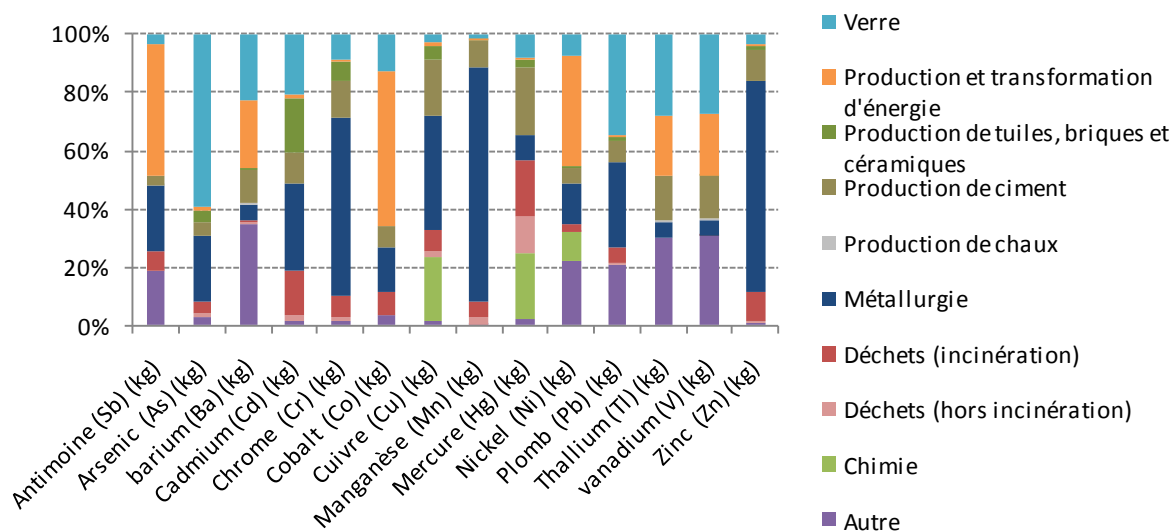


Figure 11 Contribution de chaque secteur industriel dans les émissions de métaux lourds en Rhône-Alpes en 2007

Concernant le plomb, l'activité d'incinération des déchets ne représente que 5% des émissions du secteur industriel derrière la métallurgie et l'industrie du verre.

## 4. Stratégie de surveillance

### 1. Matériel et type de mesures

Du fait de la présence des dioxines et des furanes mais aussi des métaux lourds dans tous les compartiments de l'environnement, de leur persistance et de leur accumulation le long de la chaîne alimentaire, différents types de mesures peuvent être mis en œuvre pour évaluer les teneurs de ces composés : les mesures à l'émissions, les mesures dans l'air ambiant, les mesures dans les retombées atmosphériques, les mesures dans les sols et les sédiments, et les mesures d'imprégnation.

Compte tenu des intérêts que présentent chaque technique, COPARLY, ASCOPARG et SUP'Air ont proposé de décliner le plan de surveillance en se basant sur les plusieurs méthodes.

#### a. Mesures dans l'air ambiant

La réalisation de mesures en air ambiant et l'obtention de données de concentration permettent les analyses suivantes :

- La comparaison aux valeurs réglementaires notamment pour les métaux lourds qui sont réglementés
- La comparaison par rapport à des mesures effectuées sur d'autres sites où sont effectuées les mêmes mesures (sites de référence)
- Identification potentielle de la source en comparant notamment les profils de congénères pour les dioxines et les furanes avec les mesures à l'émission
- La constitution d'une base de données sur les niveaux en air ambiant, utilisable le cas échéant pour l'élaboration de valeurs seuils ou réglementaires ainsi que pour des évaluations d'impacts sanitaires.

#### b. Mesures dans les retombées atmosphériques totales par collecteurs de précipitations dits « jauges Owen »

La collecte des retombées atmosphériques a fait l'objet d'une norme française (AFNOR NF X 43-014).



Figure 12 Jauges de mesures des retombées atmosphériques, dites « jauges Owen »

#### c. Analyse

Les analyses des dioxines et des métaux lourds récoltés sur filtre (prélèvements en air ambiant) et dans les jauges (retombées atmosphériques) sont effectuées par un laboratoire externe.



## 2. Les composés mesurés

### a. Dioxines et furanes

Le suivi en air ambiant et dans les retombées atmosphériques concerne **plusieurs familles de congénères** (une famille est caractérisée par le nombre d'atomes de chlore contenu dans la molécule).

Au sein de chaque famille, les **congénères** qui participent au calcul de la toxicité globale du mélange exprimée en équivalent toxique (ITEQ) ont aussi été mesurés : ils sont au nombre de 17 et sont indiqués en gras dans le Tableau 10.

	Nombre d'atomes de chlore	Composés	Description
Dioxines	4	Tetrachlorodibenzodioxines	Famille de congénères à 4 chlores
	5	Pentachlorodibenzodioxines	Famille de congénères à 5 chlores
	6	Hexachlorodibenzodioxines	Famille de congénères à 6 chlores
	7	Heptachlorodibenzodioxines	Famille de congénères à 7 chlores
	8	<b>Octachlorodibenzodioxines</b>	Famille de congénères à 8 chlores
	4	<b>2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine</b>	Congénère (Dioxine de Seveso)
	5	<b>1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzodioxine</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzodioxine</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzodioxine</b>	Congénère
	7	<b>1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine</b>	Congénère
Furanes	4	Tetrachlorodibenzofuranes	Famille de congénères à 4 chlores
	5	Pentachlorodibenzofuranes	Famille de congénères à 5 chlores
	6	Hexachlorodibenzofuranes	Famille de congénères à 6 chlores
	7	Heptachlorodibenzofuranes	Famille de congénères à 7 chlores
	8	<b>Octachlorodibenzofuranes</b>	Famille de congénères à 8 chlores
	4	<b>2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	5	<b>1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	5	<b>2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	6	<b>2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	6	<b>1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane</b>	Congénère
	7	<b>1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane</b>	Congénère

Tableau 10 Liste des dioxines et furanes mesurées dans le cadre de ce programme

Dans la suite du rapport, l'ITEQ est exprimé en  $\text{pg.m}^{-3}$  pour caractériser la toxicité des dioxines en air ambiant et en  $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  pour caractériser les dioxines dans les retombées atmosphériques.

### b. Métaux lourds

Le suivi en air ambiant et dans les retombées atmosphériques concerne **14 métaux lourds**.

Polluant	Symbole	Polluant	Symbole
<b>Antimoine</b>	Sb	<b>Manganèse</b>	Mn
<b>Arsenic</b>	As	<b>Mercure</b>	Hg
<b>Baryum</b>	Ba	<b>Nickel</b>	Ni
<b>Cadmium</b>	Cd	<b>Plomb</b>	Pb
<b>Chrome</b>	Cr	<b>Thallium</b>	Tl
<b>Cobalt</b>	Co	<b>Vanadium</b>	Vn
<b>Cuivre</b>	Cu	<b>Zinc</b>	Zn

Tableau 11 Liste des métaux lourds mesurés dans le cadre de ce programme

## 3. Périodes de mesures

### a. Mesures des retombées atmosphériques

La mesure des retombées atmosphériques s'effectue chaque année lors de deux campagnes d'une durée de 2 mois chacune. Cet échantillonnage temporel (33% de l'année) permet une bonne estimation de la moyenne annuelle.

### b. Mesures en air ambiant

La mesure en air ambiant s'effectue en 4 campagnes de deux semaines, à raison d'une campagne par saison. Cet échantillonnage temporel (15% de l'année) permet une bonne estimation de la moyenne annuelle et donc une évaluation par rapport aux valeurs réglementaires exprimées en moyenne annuelle.

## 4. Sites de mesures

### a. Sites de référence

Dans le cadre de ce programme, deux sites avaient été choisis pour caractériser des environnements de référence:

- Référence **urbaine** installée dans la station de « Lyon Centre » qui se situe en plein cœur du 3<sup>ème</sup> arrondissement de Lyon. Cette station mesure aussi plusieurs une large gamme de polluants (dioxyde d'azote, poussières en suspension, ozone etc.).
- Référence **rurale** à Saint Germain au Mont d'Or à environ 20 km au nord de Lyon. Cette station rurale était spécifique au programme concernant les dioxines et les métaux lourds.

En 2010, ce réseau de stations de référence a évolué :

- Transfert du site rural de Saint Germain au Mont d'Or qui présentait des résultats très proches de ceux obtenus à Lyon centre. Les mesures de retombées (jauges) sont déplacées à Faramans sur la station rurale régionale « plaine de la Bièvre ».
- Mise en place d'une référence urbaine des retombées atmosphériques de métaux lourds et dioxines à Grenoble. Ces mesures sont installées dans la station urbaine de « Grenoble les Frênes » dans le quartier de la Villeneuve au sud de la commune de Grenoble.

La station rurale « Plaine de la Bièvre » se situe à environ 30 km à l'Est de Vienne et 50 km au Nord Ouest de Grenoble.



Figure 13 Jauges de mesures des retombées atmosphériques installées dans la station rurale de la plaine de la Bièvre

Avec la station de Lyon Centre, le site de « Grenoble les Frênes » constitue donc la 2<sup>ème</sup> référence urbaine pour le suivi en continu des retombées atmosphériques.



Figure 14 Jauges de mesures des retombées atmosphériques installées sur le toit de la station urbaine de fond « Grenoble les Frênes »

D'autres sites en Rhône-Alpes permettent le suivi continu des métaux lourds en air ambiant:

- Site « Grenoble les Frênes », station urbaine de fond dans l'agglomération de Grenoble
- Site « Saint-Etienne Sud », station urbaine de fond dans l'agglomération de Saint Etienne
- Site « Drôme Rural Sud », station rurale régionale située à Dieulefit dans le département de la Drôme.

#### **b. Sites de mesures du programme**

Le programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds comprend pour chaque partenaire des mesures en air ambiant et dans les retombées atmosphériques.

La carte suivante illustre l'ensemble des sites de mesures du programme depuis sa création en 2006. La plupart des sites est concentré dans des zones à proximité des partenaires du programme.





Figure 15 Carte des sites de mesures du programme depuis 2006

Les partenaires n'étant pas répartis uniformément sur le territoire d'étude, celui-ci a été divisé en plusieurs zones ; chaque zone comprenant un ou plusieurs partenaires :

Nom zone	Nombre de partenaires	Description
<b>Sud Lyonnais</b>	5	Zone <b>industrielle</b> au sud de l'agglomération de Lyon Communes: Saint Fons, Pierre Bénite, etc....
<b>Vallée de la Saône</b>	1	Zone située au Nord de l'agglomération lyonnaise Commune: Neuville sur Saône
<b>Agglomération grenobloise</b>	3	Agglomération grenobloise Communes : Grenoble, La Tronche, Pont de Claix, Jarrie, etc....
<b>Vallée du Rhône</b>	1	Vallée du Rhône dans le secteur de Roussillon Communes : Salaise sur Sanne, Roussillon, etc...
<b>Côtière de l'Ain</b>	1	Zone située au Nord Est de l'agglomération lyonnaise Commune : Rillieux la Pape
<b>Est lyonnais</b>	1	Zone située à l'Est de l'agglomération lyonnaise Commune : Saint Pierre de Chandieu
<b>Nord Isère</b>	1	Nord du département de l'Isère Commune : Bourgoin Jallieu

Tableau 12 Liste des zones

Pour l'ensemble des partenaires, les sites de mesures ont été installés de façon à prendre en compte dans la mesure du possible des critères de dispersion et de l'orientation générale des vents.

Ainsi, dans le sud lyonnais, l'implantation des sites de mesures suit la direction principale des vents avec un site au nord et au sud de chaque partenaire. La Figure 16 illustre pour la zone du sud lyonnais l'emplacement des 5 partenaires industriels (■) ainsi que les sites de mesures (■). Le site DIOX\_ML\_012 (station urbaine de Lyon centre) constitue la référence urbaine pour les mesures en air ambiant et dans les retombées atmosphériques.



Figure 16 Carte des partenaires et des sites de mesures dans le sud lyonnais

Dans la zone de Grenoble (Figure 17), les sites de mesures (■) ont été aussi installés de façon à prendre en compte les critères de dispersion et l'orientation générale des vents qui n'est pas la même selon les partenaires (■) de cette zone (Répartition des sites selon l'axe Est Ouest pour Athanor et Nord Sud pour Teris à Pont de Claix).

Depuis 2010, le site de « Grenoble les Frênes » (DIOX\_ML\_053) constitue la station de référence urbaine pour les retombées atmosphériques dans l'agglomération grenobloise.



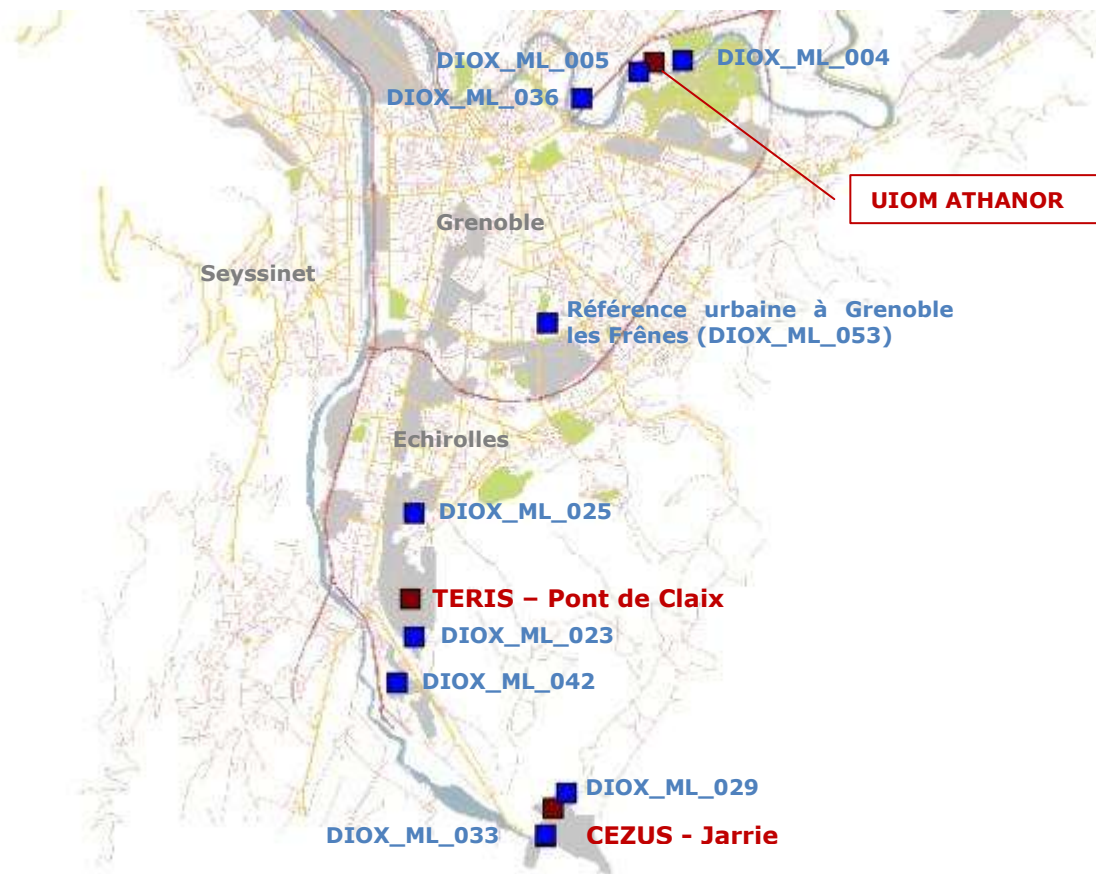


Figure 17 Carte des 3 partenaires et des sites de mesures dans l'agglomération de Grenoble

### Mesures en air ambiant

En 2008 et 2009, les mesures en air ambiant ont eu lieu sur 12 sites et concerné 12 partenaires industriels (Tableau 13):

Année	Code site	Partenaire	Position du site	Distance en m	Commune / Zone
2009	DIOX_ML_001	ARKEMA - PIERRE-BENITE	Sud	804	Pierre Bénite / Sud lyonnais
		STEP - PIERRE-BENITE	Nord	922	
2009	DIOX_ML_033	CEZUS - JARRIE	Sud	443	Jarrie / Agglomération de Grenoble
2009	DIOX_ML_034	UIOM GERLAND - LYON	Nord	1240	Lyon / Sud lyonnais
2009	DIOX_ML_036	UIOM ATHANOR - LA TRONCHE	Sud Ouest	1265	La Tronche / Agglomération de Grenoble
2009	DIOX_ML_040	GRS VALTECH - SAINT-PIERRE-DE-CHANDIEU	Sud	402	Saint Pierre de Chandieu / Est lyonnais
2009	DIOX_ML_042	TERIS - PONT-DE-CLAIX (LE)	Sud	1321	Le Pont de Claix / Agglomération de Grenoble
2008	DIOX_ML_003	STEP - SAINT-FONS	Nord	643	Saint Fons / Sud lyonnais
2008	DIOX_ML_003	RHODIA ORGANIQUE - SAINT-FONS	Sud	1340	Saint Fons / Sud lyonnais
2008	DIOX_ML_021	TREDI - SALAISE-SUR-SANNE	Nord	838	Salaise sur Sanne / Nord Isère
2008	DIOX_ML_024	SANOFI CHIMIE - NEUVILLE-SUR-SAÔNE	Nord	511	Neuville sur Saône / Val de Saône

Année	Code site	Partenaire	Position du site	Distance en m	Commune / Zone
2008	DIOX_ML_025	TERIS - PONT-DE-CLAIX (LE )	Nord	1333	Le Pont de Claix / Agglomération de Grenoble
2008	DIOX_ML_028	VALORLY - RILLIEUX-LA-PAPE	Sud	759	Neyron / Côtière de l'Ain

Tableau 13 Sites de mesures en air ambiant en 2008 et 2009

La figure suivante illustre ces sites de mesures en air ambiant en 2008 et 2009:

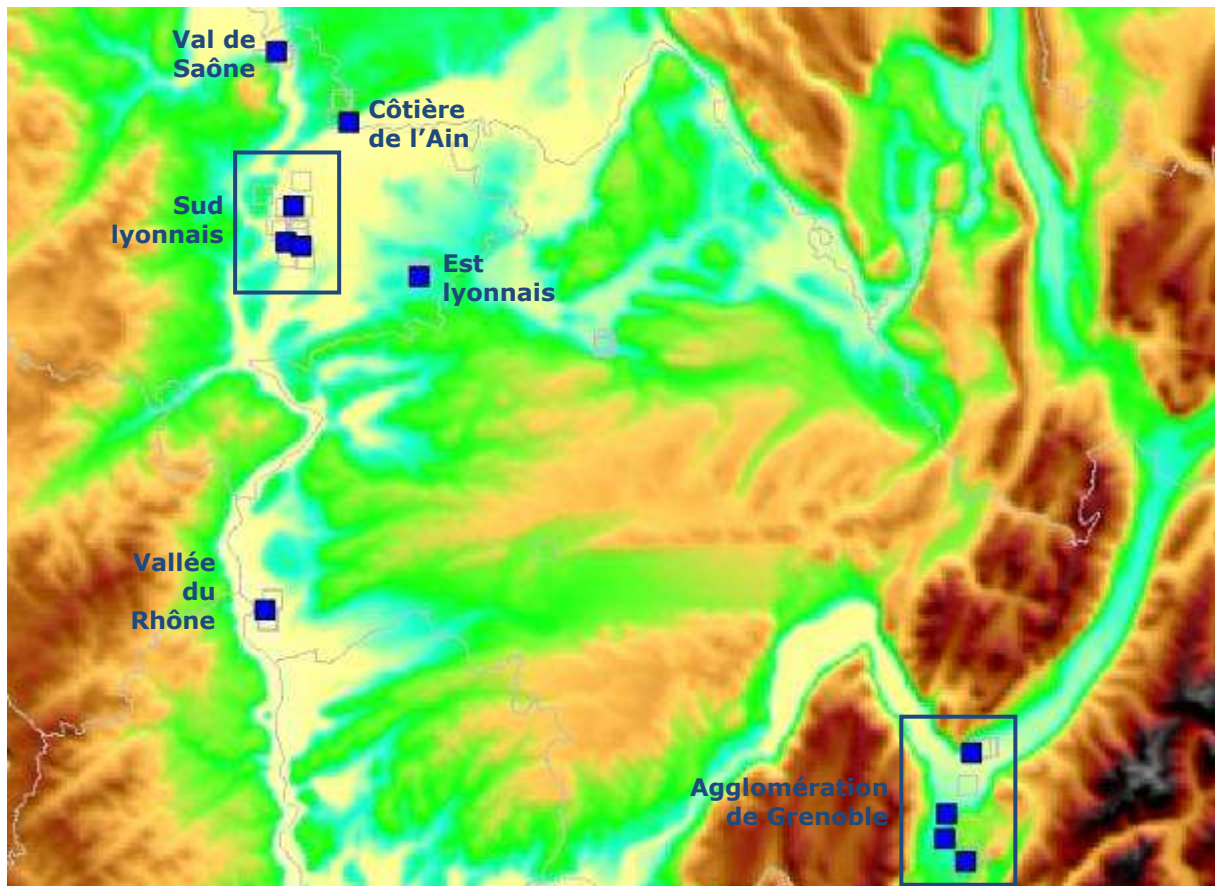


Figure 18 Sites ayant fait l'objet de mesures en air ambiant en 2008 et 2009

Sur chaque site de mesures, les mesures en air ambiant ont été effectuées au cours de 4 campagnes de mesures d'une durée de 2 semaines chacune.

### **Mesures dans les retombées atmosphériques totales**

Depuis le début du programme, les mesures de dioxines et de métaux lourds dans les retombées ont été effectuées sur plus d'une trentaine de sites.

Pour chaque partenaire, les mesures dans les retombées atmosphériques sont implantées sur deux sites choisis de façon à pouvoir représenter le maximum de retombées atmosphériques en lien avec l'activité du partenaire concerné.



Date début des mesures	Code site	Partenaire	Position du site	Distance en m	Commune / Zone
oct.-06	DIOX_ML_001	ARKEMA - PIERRE-BENITE	Sud	804	Pierre Bénite / Sud lyonnais
		STEP - PIERRE-BENITE	Nord	922	Pierre Bénite / Sud lyonnais
oct.-06	DIOX_ML_003	STEP - SAINT-FONS	Nord	643	Saint Fons / Sud lyonnais
		RHODIA ORGANIQUE - SAINT-FONS	Sud	1340	Saint Fons / Sud lyonnais
sept.-07	DIOX_ML_004	UIOM ATHANOR - LA TRONCHE	Sud-Ouest	309	Saint Martin d'Hères / Agglomération de Grenoble
oct.-06	DIOX_ML_005	UIOM ATHANOR - LA TRONCHE	Est	547	Meylan/ Agglomération de Grenoble
oct.-06	DIOX_ML_006	RHODIA ORGANIQUE - SAINT-FONS	Sud	454	Saint Fons / Sud lyonnais
oct.-06	DIOX_ML_007	RURAL			Saint Germain au Mont d'Or
oct.-06	DIOX_ML_008	STEP - SAINT-FONS	Sud	843	Feyzin / Sud lyonnais
oct.-06	DIOX_ML_009	STEP - PIERRE-BENITE	Sud	792	Irigny / Sud lyonnais
oct.-06	DIOX_ML_012	URBAIN			Lyon
oct.-06	DIOX_ML_013	UIOM GERLAND - LYON	Nord	3841	Sainte Foy les Lyon/ Sud lyonnais
oct.-06	DIOX_ML_014	SANOFI CHIMIE - NEUVILLE-SUR-SAÔNE	Nord	970	Genay / Val de Saône
juin-07	DIOX_ML_020	TREDI - SALAISE-SUR-SANNE	Sud	465	Salaise sur Sanne / Vallée du Rhône
juin-07	DIOX_ML_021	TREDI - SALAISE-SUR-SANNE	Nord	838	Salaise sur Sanne / Vallée du Rhône
oct.-07	DIOX_ML_022	ARKEMA - PIERRE-BENITE	Nord	475	Pierre Bénite / Sud lyonnais
févr.-08	DIOX_ML_025	TERIS - PONT-DE-CLAIX (LE )	Nord	1333	Le Pont de Claix / Agglomération de Grenoble
févr.-08	DIOX_ML_026	VALORLY - RILLIEUX-LA-PAPE	Ouest	1046	Rillieux La Pape / Côtière de l'Ain
févr.-08	DIOX_ML_027	VALORLY - RILLIEUX-LA-PAPE	Nord	1730	Rillieux La Pape / Côtière de l'Ain
févr.-08	DIOX_ML_028	VALORLY - RILLIEUX-LA-PAPE	Sud	759	Neyron / Côtière de l'Ain
sept.-08	DIOX_ML_029	CEZUS - JARRIE	Nord	150	Jarrie / Agglomération de Grenoble
sept.-08	DIOX_ML_030	CEZUS - JARRIE	Sud	476	Jarrie / Agglomération de Grenoble
août-08	DIOX_ML_032	GRS VALTECH - SAINT-PIERRE-DE-CHANDIEU	Sud	161	Saint Pierre de Chandieu / Est lyonnais
févr.-09	DIOX_ML_041	SANOFI CHIMIE - NEUVILLE-SUR-SAÔNE	Sud	720	Neuville sur Saône / Val de Saône
mars-09	DIOX_ML_042	TERIS - PONT-DE-CLAIX (LE)	Sud	1321	Le Pont de Claix / Agglomération de Grenoble
févr.-09	DIOX_ML_043	GRS VALTECH - SAINT-PIERRE-DE-CHANDIEU	Nord	545	Saint Bonnet de Mure / Est lyonnais
févr.-09	DIOX_ML_044	RHODIA ORGANIQUE - SAINT-FONS	Nord	453	Saint Fons / Sud lyonnais
août-09	DIOX_ML_045	SITOM NORD ISERE - BOURGOIN-JALLIEU	Nord	358	Bourgoin Jallieu / Nord Isère
oct.-09	DIOX_ML_046	SITOM NORD ISERE - BOURGOIN-JALLIEU	Sud	456	Bourgoin Jallieu / Nord Isère
août-09	DIOX_ML_047	VALORLY - RILLIEUX-LA-PAPE	Sud	847	Neyron / Côtière de l'Ain

Tableau 14 Liste des sites de mesures des retombées atmosphériques en activité entre 2006 et 2009

Dès le début du programme, deux sites de référence ont été choisis afin de pouvoir caractériser les retombées atmosphériques : un site en milieu urbain dans l'agglomération de Lyon (site DIOX\_ML\_012 à Lyon Centre) et un autre en zone rurale (site DIOX\_ML\_007 à Saint Germain au Mont d'Or au Nord de l'agglomération lyonnaise de 2006 à 2009).

Certains sites (DIOX\_ML\_011, DIOX\_ML\_15 et DIOX\_ML\_023) ne figurent pas dans le tableau précédent (Tableau 14) car les mesures ont été arrêtées sur ces sites pour des raisons techniques (DIOX\_ML\_011 et DIOX\_ML\_015) ou de représentativité des mesures (DIOX\_ML\_023).

## 5. Résultats des mesures de dioxines

### 1. Dioxines en air ambiant – Principales statistiques

Le tableau suivant récapitule les principales statistiques de l'ensemble des mesures de dioxines réalisées en air ambiant. Ces statistiques concernent 319 observations (prélèvements d'une semaine) réalisées entre 2006 et 2009. Ces résultats sont exprimés en  $\text{pg.m}^{-3}$  en équivalent toxique dans les référentiels OMS (ITEQ OMS 97) et OTAN (ITEQ NATO/CCMS 98).

	Nbre prlvs	Moyenne	Médiane (P50)	Minimum	Maximum	1er quartile (P25)	3ème quartile (P75)	Variance	Ecart-type
I_TEQ OMS 97	319	<b>0,0404</b>	0,026	0,002	0,347	0,013	0,049	0,002	0,0435
I_TEQ NATO/CCMS 98	319	<b>0,0377</b>	0,025	0,002	0,411	0,013	0,045	0,002	0,0426

Tableau 15 Statistiques de l'ensemble des prélèvements de dioxines en air ambiant réalisés entre 2006 et 2009 sur tous les sites du programme

La distribution des résultats ne suit pas une loi de distribution normale. En effet, les résultats des prélèvements ne sont pas centrés autour de la valeur moyenne ( $\sim 0,04 \text{ pg.m}^{-3}$ ). Ils sont pour la plupart inférieurs à  $0,1 \text{ pg.m}^{-3}$  (92% des prélèvements ont eu un ITEQ OMS inférieur à  $0,1 \text{ pg.m}^{-3}$  : seuil au-delà duquel un prélèvement pourra être considéré comme influencé directement par une source).

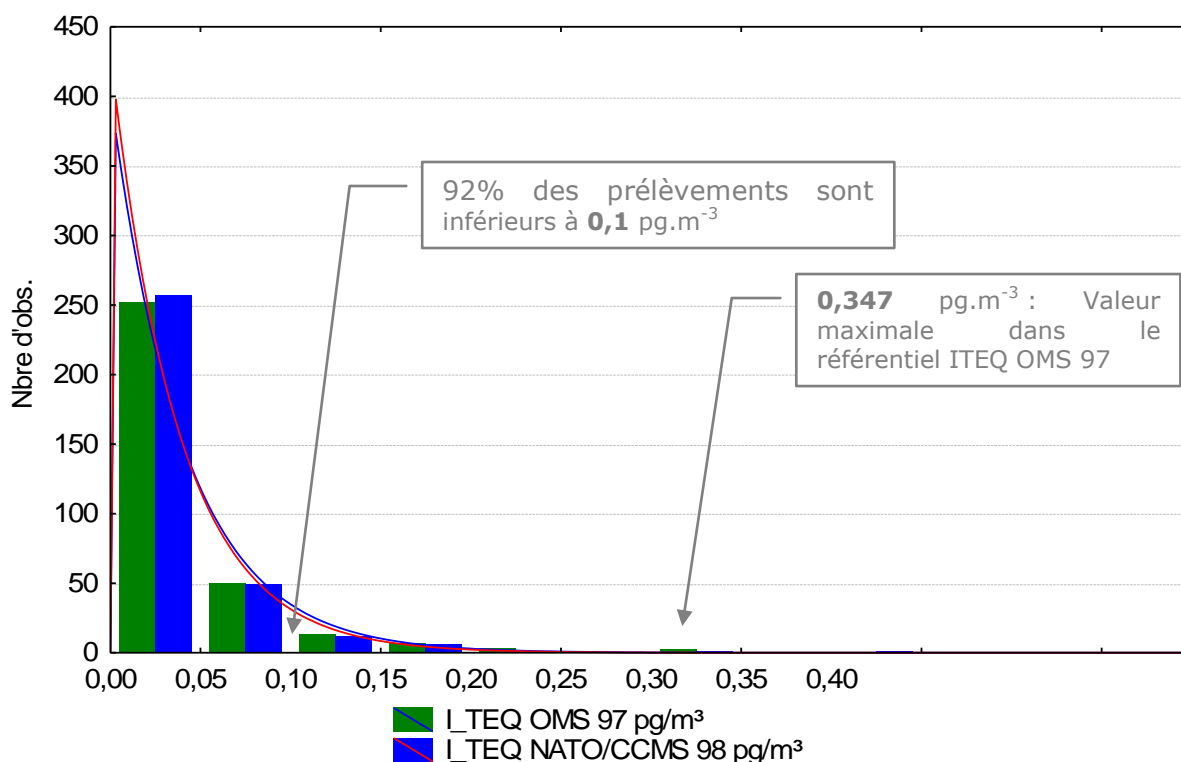


Figure 19 Distribution des concentrations de dioxines en air ambiant

Ce programme comprend, pour les mesures en air ambiant, 2 typologies de sites :

- ✓ la référence urbaine située à Lyon centre représentative des niveaux de fond de l'agglomération lyonnaise
- ✓ les sites implantés à proximité des partenaires industriels du programme.

Les niveaux en dioxines sont légèrement supérieurs sur les sites en proximité industrielle (Tableau 16). Mais l'analyse plus fine des résultats montrera une grande disparité entre les sites de proximité industrielle.

Typologie	Nombre de prélèvements	Moyenne	Minimum	Maximum
Urbain (Lyon Centre)	186	0,0348	0,0052	0,2174
Proximité Industrielle	141	<b>0,0470</b>	0,0043	<b>0,3467</b>

Tableau 16 Statistiques des prélèvements de dioxines en air ambiant classés par typologie de site – Les résultats sont exprimés en  $\text{pg}/\text{m}^3$  dans le référentiel ITEQ OMS 97

La Figure 20 illustre à l'aide d'une boîte à moustaches les résultats des mesures de dioxines en air ambiant groupés par **sites de mesures**. Le mode de construction des boîtes à moustaches est défini en annexe 3 du document.

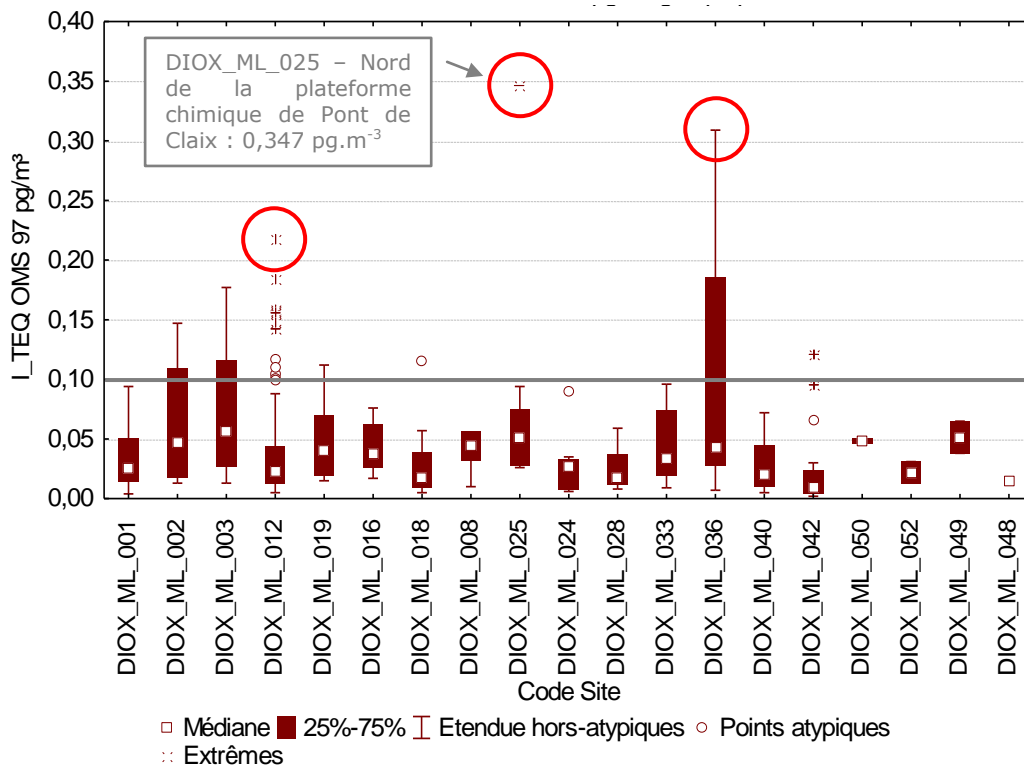


Figure 20 Principales statistiques de l'ITEQ OMS 97 dans l'air ambiant

Ce mode de représentation permet d'identifier pour chaque site des valeurs « extrêmes » du point de vue statistique; elles sont représentées par un astérisque rouge (\*) sur la Figure 20. Ces résultats de prélèvements sont pour la plupart des sites supérieures à  $0,1 \text{ pg}/\text{m}^3$ . Les 3 valeurs les plus importantes mesurées dans le cadre de ce programme :

- En mai 2008 sur le site au Nord de la plateforme de Pont de Claix ( $0,347 \text{ pg}/\text{m}^3$  sur le site DIOX\_ML\_025).
- En novembre 2009 sur le site au Sud Ouest de l'incinérateur d'Athador ( $0,309 \text{ pg}/\text{m}^3$  sur le site DIOX\_ML\_036)
- En janvier 2008 sur le site de **Lyon Centre** ( $0,217 \text{ pg}/\text{m}^3$  sur le site DIOX\_ML\_012)

Le tableau suivant résume les principales statistiques de l'ITEQ OMS97 en air ambiant pour tous les sites de mesures depuis le début du programme.

Code site	Nom	Nombre de prélèvements	Moyenne	Min	Max
DIOX_ML_001	Sud Lyonnais - STEP Pierre Bénite Nord & Arkema Pierre Bénite Sud	13	0,035	0,004	0,094
DIOX_ML_002	Neuville sur Saône - Sud	4	0,064	0,013	0,147
DIOX_ML_003	Sud Lyonnais - STEP St Fons Nord, Rhodia Operations Sud	13	0,073	0,013	0,177
DIOX_ML_008	Sud Lyonnais - STEP St Fons Sud	6	0,040	0,010	0,056
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	176	0,036	0,005	0,217
DIOX_ML_016	UIOM La Tronche - Est	8	0,043	0,017	0,076
DIOX_ML_018	Sud Lyonnais - UIM Gerland - Nord	16	0,029	0,005	0,115
DIOX_ML_019	Plateforme de Salaise sur Sanne - Nord	10	0,046	0,015	0,112
DIOX_ML_024	Neuville sur Saône - Nord Ouest	8	0,029	0,006	0,090
DIOX_ML_025	Plateforme de Pont de Pont de Claix - Nord	8	0,085	0,026	0,347
DIOX_ML_028	UIOM Rillieux la Pape - Sud	8	0,025	0,008	0,059
DIOX_ML_033	Plateforme de Jarrie - Sud	8	0,045	0,009	0,096
DIOX_ML_036	UIOM Athanor - Sud Ouest	8	0,104	0,007	0,309
DIOX_ML_040	Saint Pierre de Chandieu - Sud	8	0,029	0,005	0,072
DIOX_ML_042	Plateforme de Pont de Claix - Sud	8	0,051	0,010	0,216

Tableau 17 Principales statistiques de l'ITEQ OMS 97 dans l'air ambiant pour tous les sites depuis le début du programme en 2006

Les résultats des mesures de dioxines sur les deux sites DIOX\_ML\_036 et DIOX\_ML\_025 ont donné lieu à des investigations complémentaires :

- campagnes de mesures supplémentaires pour le site DIOX\_ML\_036 en 2010 et 2011,
- Prise en compte de la pollution historique par les dioxines dans le sol à Pont de Claix.

La moitié des sites du programme présente un ITEQ moyen inférieur à 0,05 pg.m<sup>-3</sup> (Figure 21). Le site DIOX\_ML\_036 (UIOM Athanor – Sud Ouest) est le site qui présente l'ITEQ moyen le plus élevé (0,104 pg.m<sup>-3</sup>).

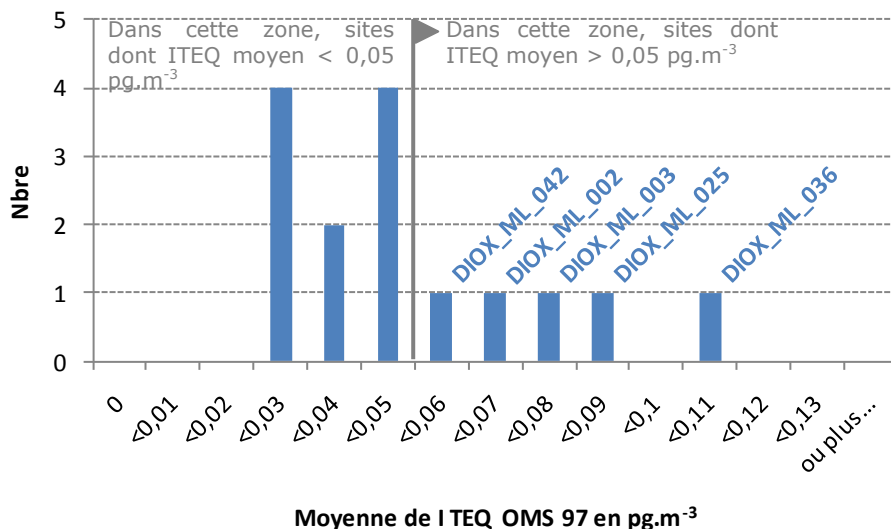


Figure 21 Répartition de l'ITEQ OMS 97 moyen dans l'air ambiant depuis le début du programme

Après avoir visualisé la distribution des résultats en fonction de la typologie puis en fonction des sites, il est intéressant d'étudier les principales statistiques des prélèvements de dioxines en air ambiant pour chaque **zone** du programme. Le chiffre entre parenthèse correspond au nombre de prélèvements qui ont été effectués dans la zone.

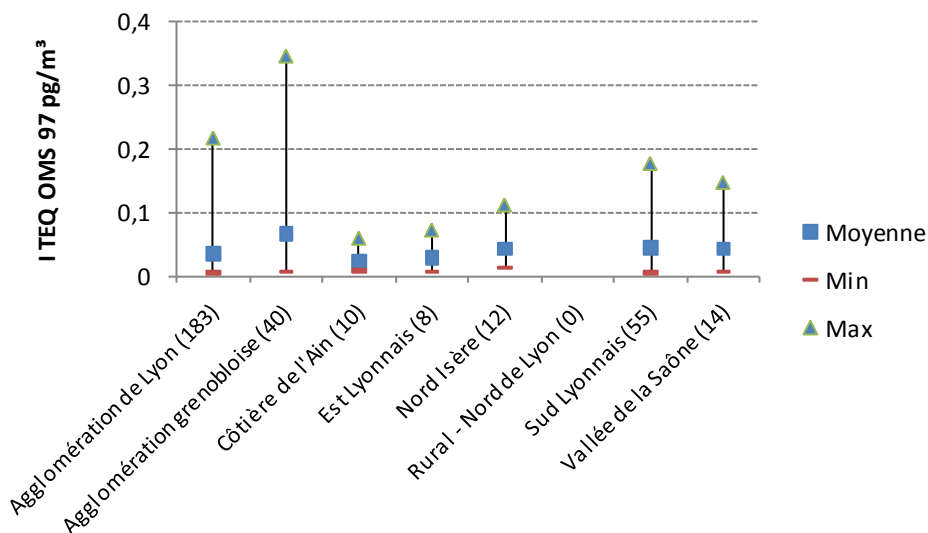


Figure 22 Principales statistiques des prélèvements de dioxines en air ambiant dans les différentes zones

Dans les zones de l'agglomération de Lyon, du sud lyonnais et de l'agglomération grenobloise, le nombre de prélèvements de dioxines a été plus important. Ce nombre plus important de prélèvement permet aussi d'expliquer pour ces zones une plus grande dispersion des résultats. En effet, ces zones comprennent des partenaires qui ont adhéré dès le début du programme en 2006.

Ainsi l'agglomération grenobloise est la zone a enregistré la plus forte concentration moyenne pour un site et la valeur maximale sur un prélèvement.

La poursuite du programme permettra de mieux apprécier la dispersion des résultats dans des zones où le nombre de mesures est plus faible (Côtière de l'Ain, Est lyonnais et Nord Isère). Ces zones concernent des partenaires qui ont adhéré 2 à 3 après le début du programme.

Il n'y a actuellement pas de mesure de dioxines en air ambiant en zone rurale. Les seules mesures de dioxines effectuées en zone rurale concernent les retombées atmosphériques.

## 2. Dioxines dans l'air ambiant – Elaboration de valeurs de référence

Il n'existe pas de valeur réglementaire concernant les dioxines en air ambiant. Cependant l'analyse des résultats va permettre de définir pour les dioxines des valeurs de référence dont le dépassement permet de s'interroger sur l'influence directe d'une source de pollution sur le résultat de la mesure.

L'analyse statistique des résultats (identification de valeurs extrêmes) et des conditions de mesures (identification de sources potentielles susceptibles d'influencer les résultats (pollution historique, dysfonctionnement ponctuels d'installations industrielles) a permis de proposer deux valeurs de référence pour les dioxines en air ambiant.

### a. Valeur de référence en air ambiant sur une semaine

La première valeur proposée est fixée à **0,1 pg.m<sup>-3</sup> sur une semaine**. Cette valeur est exprimée dans le référentiel en picogramme par mètre cube dans le référentiel ITEQ OMS 97.

Cette valeur a été dépassée au moins une fois sur 8 des 12 sites du programme (Tableau 18). Avec 3 dépassements en 8 prélèvements, le site DIOX\_ML\_036, situé dans l'agglomération grenobloise, est celui qui a connu le plus de dépassements.

Code site	Zone	Nbre de dépassements	Nbre total de prélèvements	% de dépassement de la valeur de référence
DIOX_ML_003	Sud lyonnais	3	15	20%
DIOX_ML_012	URBAIN-Grand_Lyon_Lyon centre	12	176	7%
DIOX_ML_002	Val de Saône	1	4	25%
DIOX_ML_019	Vallée du Rhône	1	10	10%
DIOX_ML_025	Agglomération de Grenoble	1	8	13%
DIOX_ML_018	Sud Lyonnais	1	16	6%
DIOX_ML_036	Agglomération de Grenoble	3	8	38%
DIOX_ML_042	Agglomération de Grenoble	1	8	25%

Tableau 18 Liste des sites ayant connu au moins un dépassement de la valeur de référence fixée à 0,1 pg.m<sup>-3</sup> sur une semaine

Ces dépassements de la valeur de référence fixée à 0,1 pg.m<sup>-3</sup> sur une semaine sont illustrés en rouge (●) sur la Figure 23.



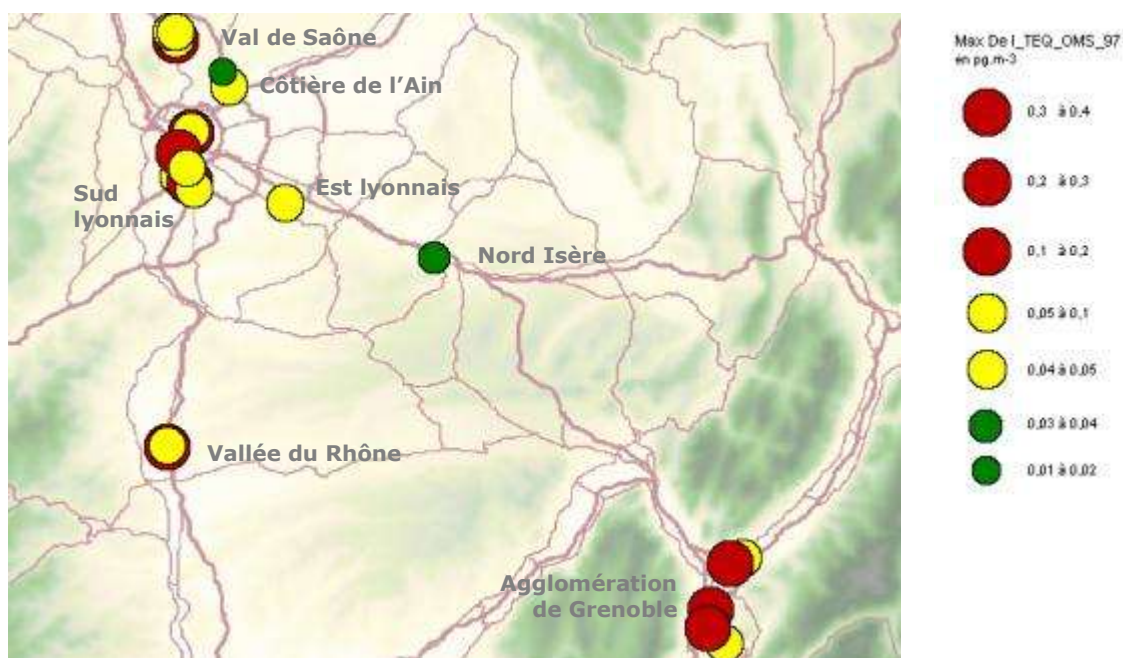


Figure 23 Maximum de l'ITEQ OMS 97 sur l'ensemble des sites du programme

Sur le site de Lyon centre où les dioxines sont suivis de façon continue, ces dépassements de la valeur de  $0,1 \text{ pg.m}^{-3}$  concernent 7% des prélèvements (2 prélèvements en 2007, 3 en 2008 et 4 en 2009).

Il est intéressant de noter que plusieurs dépassements de ce seuil sur des sites industriels, notamment pour les sites DIOX\_ML\_002 (Val de Saône), DIOX\_ML\_003 (Sud Lyonnais) en décembre 2006 et DIOX\_ML\_018 (Sud Lyonnais) en février 2009, ne sont pas l'expression d'une pollution locale par les dioxines. Ces dépassements sont liés à une augmentation globale des niveaux de dioxines sur toute la région de Lyon (Figure 24).

De plus, ces dépassements ont lieu en période automnale et hivernale où les conditions météorologiques sont favorables à l'augmentation des émissions (chauffage) et à l'accumulation des polluants (inversion de température).

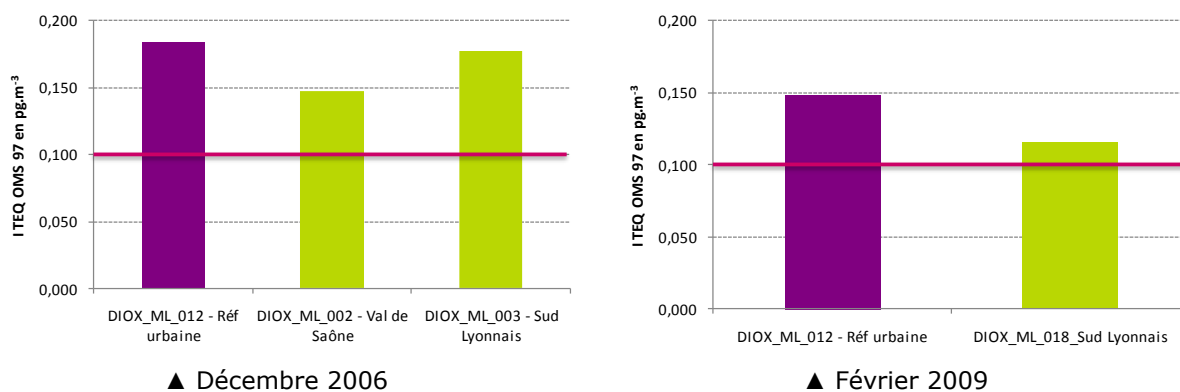


Figure 24 ITEQ OMS 97 en  $\text{pg.m}^{-3}$  en décembre 2006 et février 2009 sur les sites de la région de Lyon

Pour d'autres sites et plus particulièrement ceux de l'agglomération grenobloise (DIOX\_ML\_036 et DIOX\_ML\_025), il est difficile de conclure sur une pollution globale (au niveau de l'agglomération) par les dioxines en l'absence de mesures de référence dans l'agglomération grenobloise.

En effet, la Figure 25 montre que les valeurs maximales enregistrées sur des sites de l'agglomération grenobloise (DIOX\_ML\_036 et DIOX\_ML\_025) ne sont pas corrélées avec les valeurs de la station de Lyon centre.

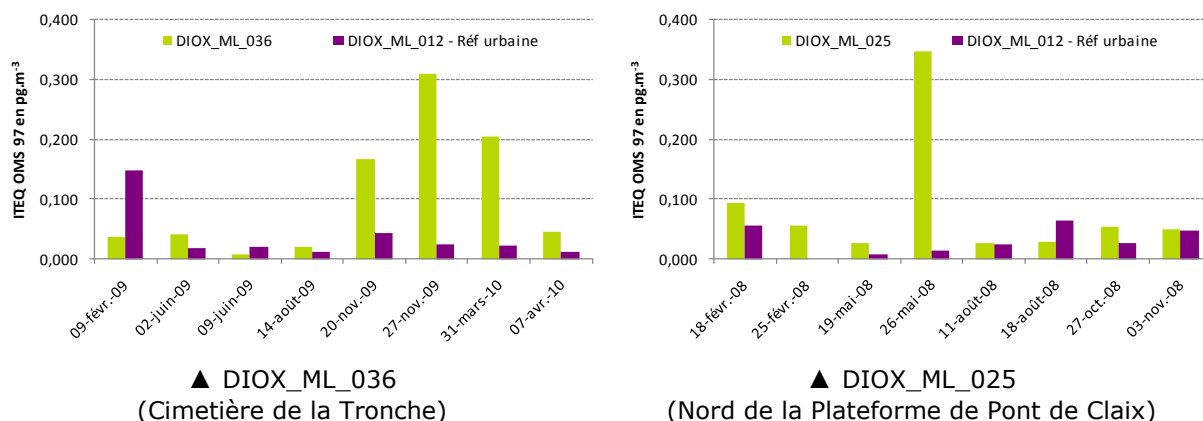


Figure 25 ITEQ OMS 97 en  $\text{pg.m}^{-3}$  sur deux sites de l'agglomération grenobloise

#### b. Valeur de référence en ambiant sur une année

Pour les dioxines en air ambiant, la **deuxième** valeur de référence proposée est fixée à **0,04  $\text{pg.m}^{-3}$  sur une année**. Cette valeur est aussi exprimée en picogramme par mètre cube dans le référentiel ITEQ OMS 97. Cette valeur est estimée à partir de la moyenne annuelle de l'ensemble des prélèvements d'une année pour le site de Lyon Centre et à partir d'une moyenne sur 8 semaines de mesures pour les autres sites.

En 2009, trois sites ont eu une estimation de la moyenne annuelle supérieure à cette valeur de référence ; il s'agit exclusivement de sites de l'agglomération grenobloise (DIOX\_ML\_033, DIOX\_ML\_036 et DIOX\_ML\_042, en **rouge** dans le tableau suivant).

Code site	Zone	Nom site	I_TEQ OMS 97 $\text{pg/m}^3$ Estimation de la moyenne annuelle
DIOX_ML_001	Sud lyonnais	Pierre Bénite - Sud lyonnais	0,029
DIOX_ML_012	Réf urbaine	Réf urbaine - Lyon centre	0,030
DIOX_ML_018	Sud lyonnais	Gerland (Direction de l'eau)	0,032
DIOX_ML_033	Agglomération grenobloise	Sud - Jarrie	<b>0,045</b>
DIOX_ML_036	Agglomération grenobloise	Cimetière de La_Tronche	<b>0,096</b>
DIOX_ML_040	Est lyonnais	Sud - Saint Pierre de Chandieu	0,028
DIOX_ML_042	Agglomération grenobloise	Sud plateforme de Pont de Claix	<b>0,051</b>

Tableau 19 Situation par rapport à la valeur de référence annuelle (0,04  $\text{pg.m}^{-3}$ ) en 2009

Les résultats des prélèvements en air ambiant sur le site DIOX\_ML\_036 (cimetière de la Tronche à l'ouest d'Athador) ont conduit les AASQA à procéder à des prélèvements supplémentaires en 2010 et 2011.

En 2008, deux sites présentent une estimation de la moyenne annuelle supérieure à cette valeur de référence ; il s'agit des sites DIOX\_ML\_003 dans le sud lyonnais et DIOX\_ML\_025 dans l'agglomération grenobloise.

Code site	Zone	Nom site	I TEQ OMS 97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Estimation de la moyenne annuelle
DIOX_ML_003	Sud lyonnais	Sud lyonnais	<b>0,042</b>
DIOX_ML_012	Réf urbaine	Réf urbaine - Lyon centre	0,034
DIOX_ML_019	Nord Isère	Roussillon cité	0,039
DIOX_ML_024	Val de Saône	NO - Neuville sur Saône	0,029
DIOX_ML_025	Agglomération grenobloise	Nord - Pont-de-Claix	<b>0,085</b>
DIOX_ML_028	Côtière de l'Ain	Sud - Rillieux la Pape	0,025

Tableau 20 Situation par rapport à la valeur de référence annuelle ( $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en 2008

Avec une estimation de la moyenne annuelle à  $0,039 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en 2008, le site DIOX\_ML\_019 (site de Roussillon au Nord de l'incinérateur de TREDI) est également très proche de cette valeur.

La carte suivante synthétise pour les années 2008 et 2009 le bilan des mesures de dioxines en air ambiant. Les sites en jaune correspondent aux sites dont l'estimation de la moyenne annuelle est supérieure à la valeur de référence proposée (au moins une moyenne annuelle en 2008 ou 2009 supérieure à  $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour l'ITEQ OMS97).



Figure 26 Bilan des mesures de dioxines en air ambiant pour les années 2008 et 2009 – Comparaison à la valeur de référence annuelle ( $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Cette carte montre qu'entre 2008 et 2009 l'ensemble des sites de mesures de la zone de l'agglomération grenobloise présentent une estimation de la moyenne annuelle qui dépasse cette valeur de référence proposée. **Ces résultats incitent fortement à la mise en place d'un suivi en continu des dioxines en air ambiant dans l'agglomération grenobloise.**

Ailleurs, un seul site implanté dans le sud lyonnais (DIOX\_ML\_003 à Saint Fons) a dépassé cette valeur de référence.

### 3. Dioxines dans l'air ambiant - Evolution temporelle

#### a. Evolution temporelle de l'ensemble des prélèvements en air ambiant

L'évolution temporelle des dioxines en air ambiant montre une variation saisonnière caractérisée par une nette augmentation des niveaux pendant les périodes automnales et hivernales (Figure 27).

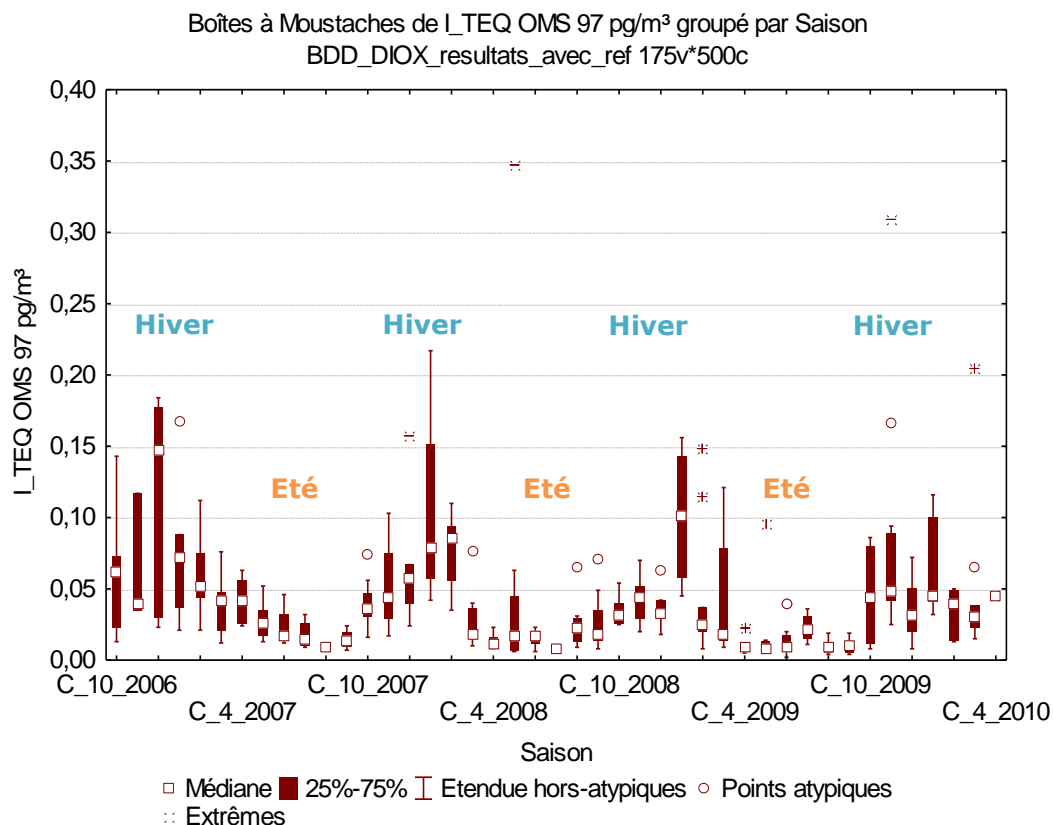


Figure 27 Evolution temporelle des dioxines dans l'air ambiant sur tous les sites de mesures. Les étiquettes des abscisses correspondent au mois et à l'année (C\_4\_2007 = avril 2007)

En été (mois 5, 6, 7 et 8 sur la Figure 28), les ITEQ moyens mensuels sont faibles et homogènes sur l'ensemble des sites (à l'exception du site DIOX\_ML\_025). Le reste de l'année, la dispersion des ITEQ moyens mensuels est plus importante et cela plus particulièrement en hiver (décembre, mois n°12 sur le graphique suivant) où les ITEQ moyens sont compris entre 0,022 et 0,177 pg.m<sup>-3</sup>.

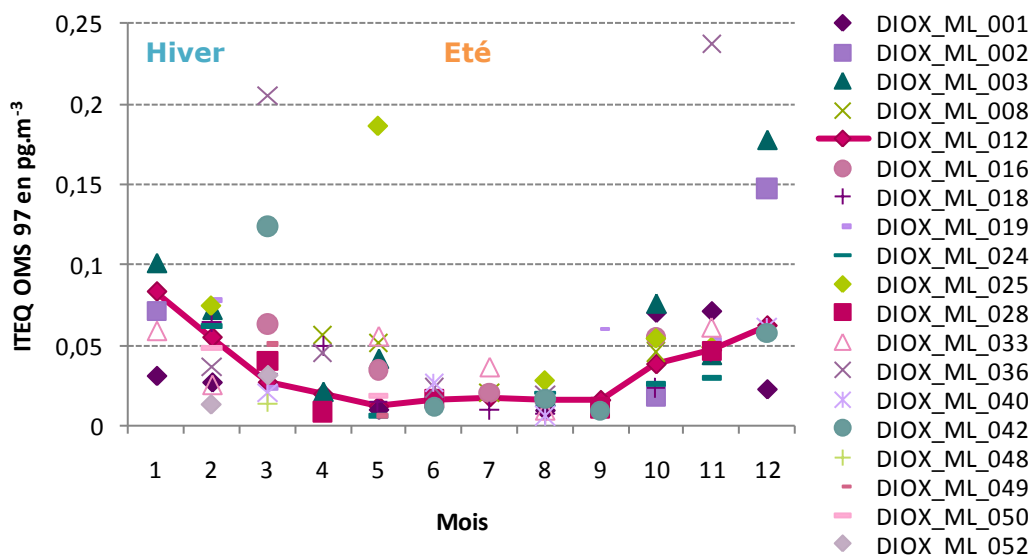


Figure 28 ITEQ OMS 97 moyen mensuel sur l'ensemble des sites

**b. Evolution temporelle sur le site de Lyon Centre (DIOX\_ML\_012)**

Les dioxines en air ambiant sont suivies de manière continue sur le site de urbain de référence de Lyon centre (un prélèvement par semaine depuis octobre 2006). Depuis le début des mesures, les niveaux de dioxines en air ambiant ont peu évolué sur ce site : les niveaux moyens annuels sont restés centrés autour de 0,03  $\text{pg.m}^{-3}$ .

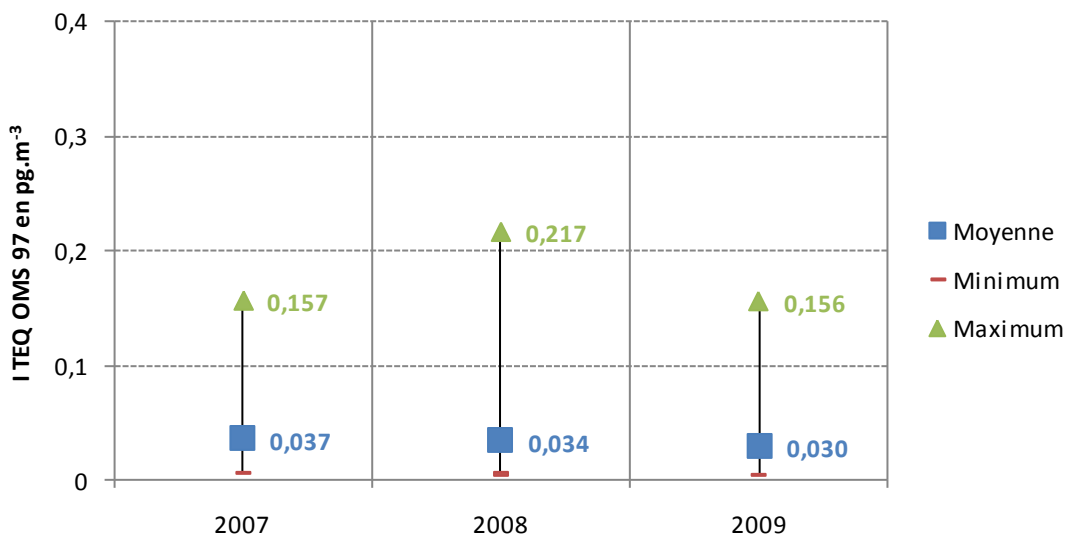


Figure 29 Evolution des niveaux de dioxines en air ambiant sur le site de Lyon Centre entre 2007 et 2009

L'étude statistique de l'homogénéité temporelle des mesures a montré que pour le site de Lyon centre, le facteur année était moins important que le facteur saison<sup>7</sup>. En effet, le facteur année expliquait moins de 2% de la variance totale alors que le facteur saison en explique 39%.

<sup>7</sup> Botero, A. ; *Etude Statistique des Concentrations des Dioxines, Furanes et Métaux Lourds dans l'Air Ambiant en Région Rhône-Alpes* Rapport de stage ; ASCOPARG ; 2010

Le graphique suivant illustre les variations hebdomadaires des dioxines (ITEQ OMS 97) sur ce site entre octobre 2006 et décembre 2009.

Ainsi, les niveaux de dioxines les plus importants ont été mesurés en automne et en hiver.

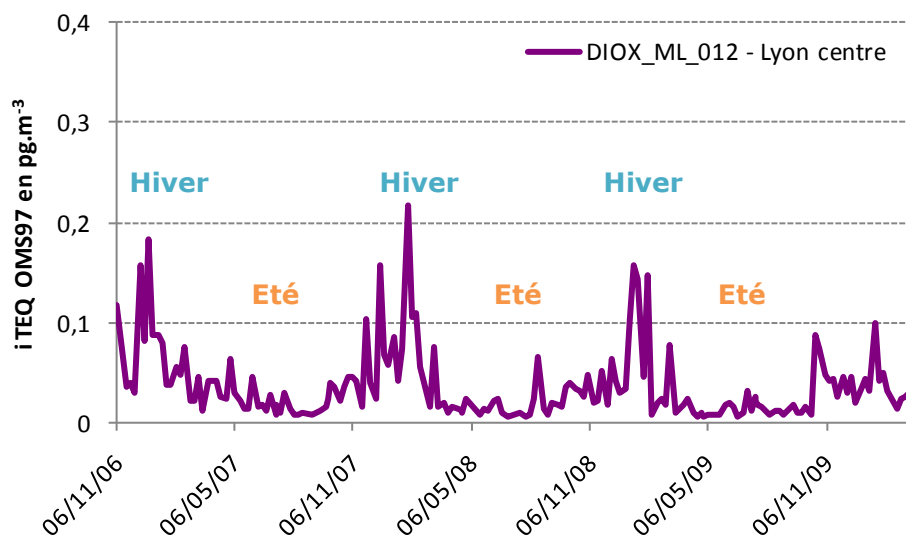


Figure 30 Evolution temporelle des dioxines dans l'air ambiant sur le site urbain de référence de Lyon centre

La Figure 31 illustre la relation entre la température (température moyenne pendant la durée de prélèvement) à Lyon et les résultats des prélèvements de dioxines sur le site de Lyon Centre (ITEQ OMS 97). Ce graphique met en évidence une tendance à l'augmentation des niveaux de dioxines dans l'air ambiant avec la diminution des températures.

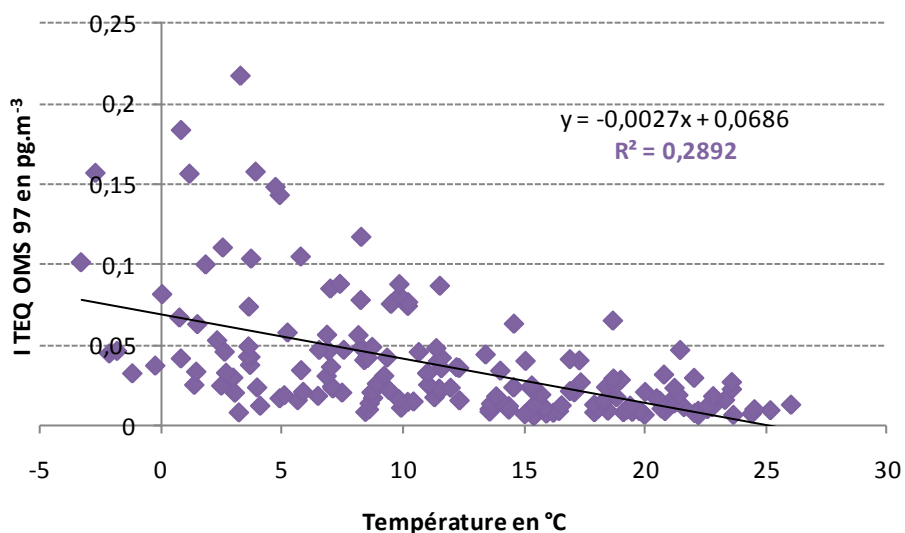


Figure 31 Corrélation entre l'ITEQ OMS 97 en ordonnées et la température en abscisse à Lyon centre

Le lien entre température et dioxines illustre le rôle des émissions du chauffage des secteurs résidentiel et tertiaire dans les concentrations de dioxines. Ces secteurs représentaient en 2007 dans l'agglomération lyonnaise 44% des émissions de dioxines.

Or les émissions liées à l'utilisation du chauffage sont maximales pendant les périodes automnales et hivernales (Figure 3 Répartition sectorielle des émissions de dioxines en gITEQ en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1)). De plus, ces périodes présentent des caractéristiques météorologiques favorables à l'accumulation des polluants avec des inversions de température qui peuvent concentrer les polluants dans les basses couches de l'atmosphère.

Les dioxines sont aussi bien corrélées avec le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et plus particulièrement les poussières en suspension (fraction non volatile des PM<sub>10</sub>).

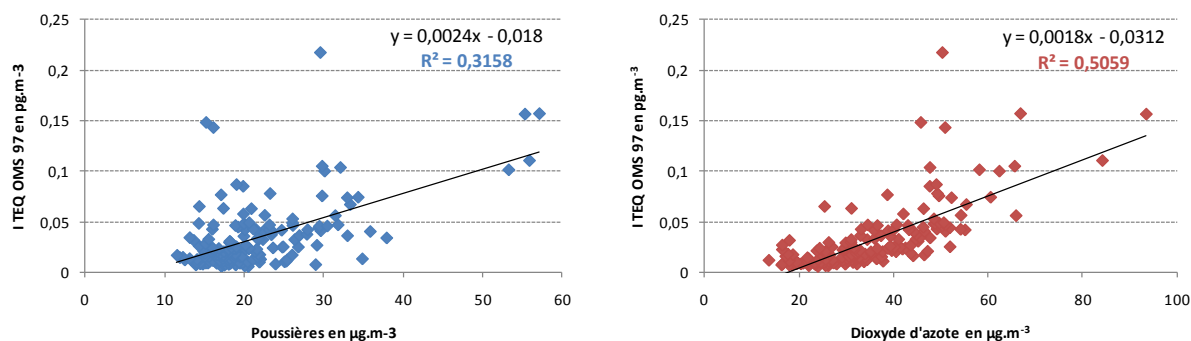


Figure 32 Corrélation entre l'ITEQ OMS 97 en ordonnée et les poussières en suspension (à gauche) et le dioxyde d'azote (à droite)

La Figure 33 illustre le lien entre l'ITEQ OMS 97 et la température moyenne uniquement pour les prélèvements dont la valeur de l'ITEQ a été supérieure à la valeur de référence de 0,1 pg.m<sup>-3</sup>.

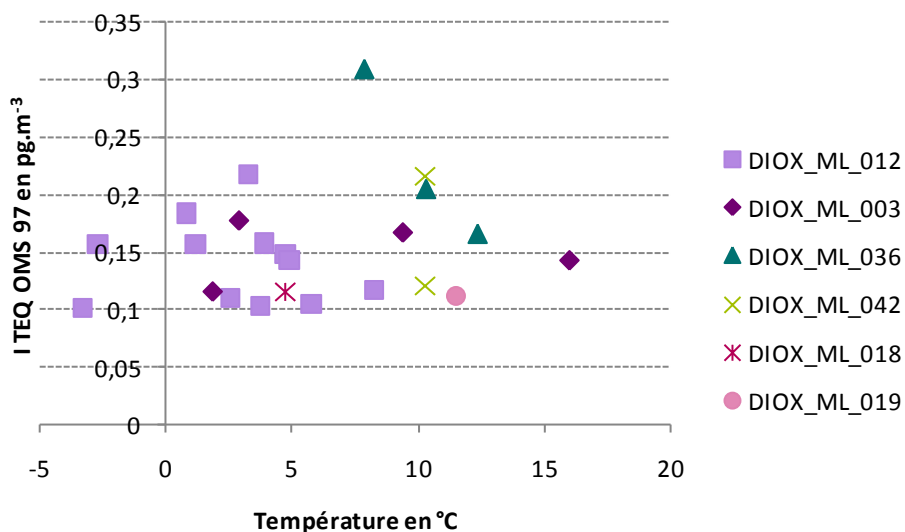


Figure 33 Lien entre ITEQ OMS 97 et température pour les prélèvements supérieurs à 0,1 pg.m<sup>-3</sup>.

Cette figure montre que pour le site urbain de référence (■ **DIOX\_ML\_012**) les prélèvements supérieurs à 0,1 pg.m<sup>-3</sup> ont lieu uniquement lorsque la température moyenne sur une semaine est inférieure à 9°C (saisons automnales et hivernales).

Pour les sites industriels, certains prélèvements supérieurs à 0,1 pg.m<sup>-3</sup> ne montrent pas le même lien entre température et ITEQ. En effet, des prélèvements supérieurs à 0,1 pg.m<sup>-3</sup> ont été mesurés pour des températures supérieures à 10°C.



#### 4. Dioxines dans les retombées – principales statistiques

Le Tableau 21 récapitule les principales statistiques des mesures de dioxines dans les retombées atmosphériques totales. Ces statistiques concernent 180 observations (prélèvements de deux mois) réalisées entre 2006 et 2009. Ces résultats sont exprimés en pg/m<sup>2</sup>/j en équivalent toxique dans le référentiel OMS (I TEQ OMS 97) et OTAN (I TEQ NATO/CCMS 98).

	Nombre de prélèvements	Moyenne	Médiane (P50)	Minimum	Maximum	1er quartile (P25)	3ème quartile (P75)	Variance	Ecart-type
<b>I_TEQ OMS 97</b>	180	<b>10,655</b>	3,585	0,148	531,74	1,796	7,032	1718,2	41,452
<b>I_TEQ NATO/CCMS 98</b>	180	<b>11,768</b>	3,465	0,151	691,61	1,562	6,802	2889,4	53,753

Tableau 21 Statistiques des mesures de dioxines dans les retombées entre 2006 et 2009

La Figure 33 illustre les résultats des mesures de dioxines dans les retombées pour tous les sites. Pour plus de lisibilité, cette figure ne fait pas apparaître les 2 valeurs les plus importantes qui ont été mesurées sur le site DIOX\_ML\_023 au Sud de la plateforme chimique de Pont de Claix (ITEQ OMS 97 à 125 pg/m<sup>2</sup>/j en février 2008 et 531 pg/m<sup>2</sup>/j en août 2008). Néanmoins, ces valeurs ont été prises en compte dans l'élaboration des boîtes à moustaches de ce site.

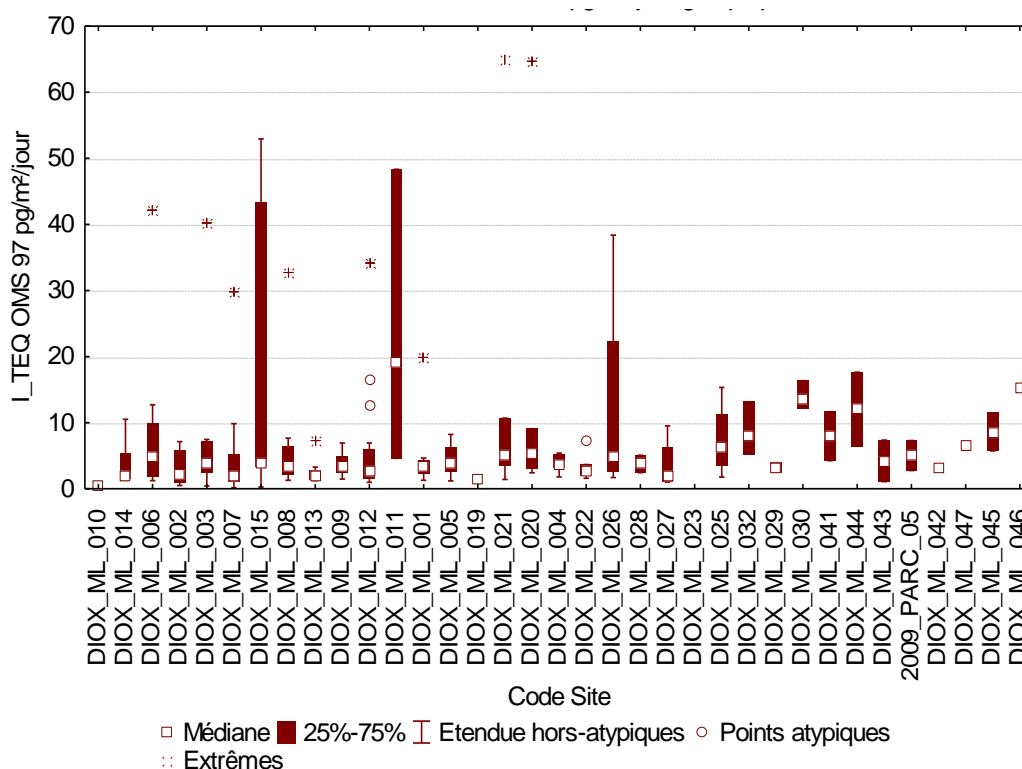


Figure 34 I TEQ 97 OMS dans les retombées atmosphériques pour l'ensemble des sites de mesures

Trois autres sites de mesures sont caractérisés par des distributions atypiques (dont 2 sites dans le sud lyonnais DIOX\_ML\_011 et DIOX\_ML\_015 ainsi que le site de la côtière de l'Ain DIOX\_ML\_026).



Les deux sites (DIOX\_ML\_011 et DIOX\_ML\_015) possèdent une distribution de résultats atypiques qui est liée d'une part à des résultats de prélèvements élevés (2 prélèvements sur 6 supérieurs à 40 pg.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup> pour le site DIOX\_ML\_015 et 1 prélèvement sur 3 supérieur à 40 pg.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup> sur le site DIOX\_ML\_011) et d'autre part à un nombre réduit de prélèvements (arrêt prématuré des mesures sur ces deux sites suite à des problèmes techniques).

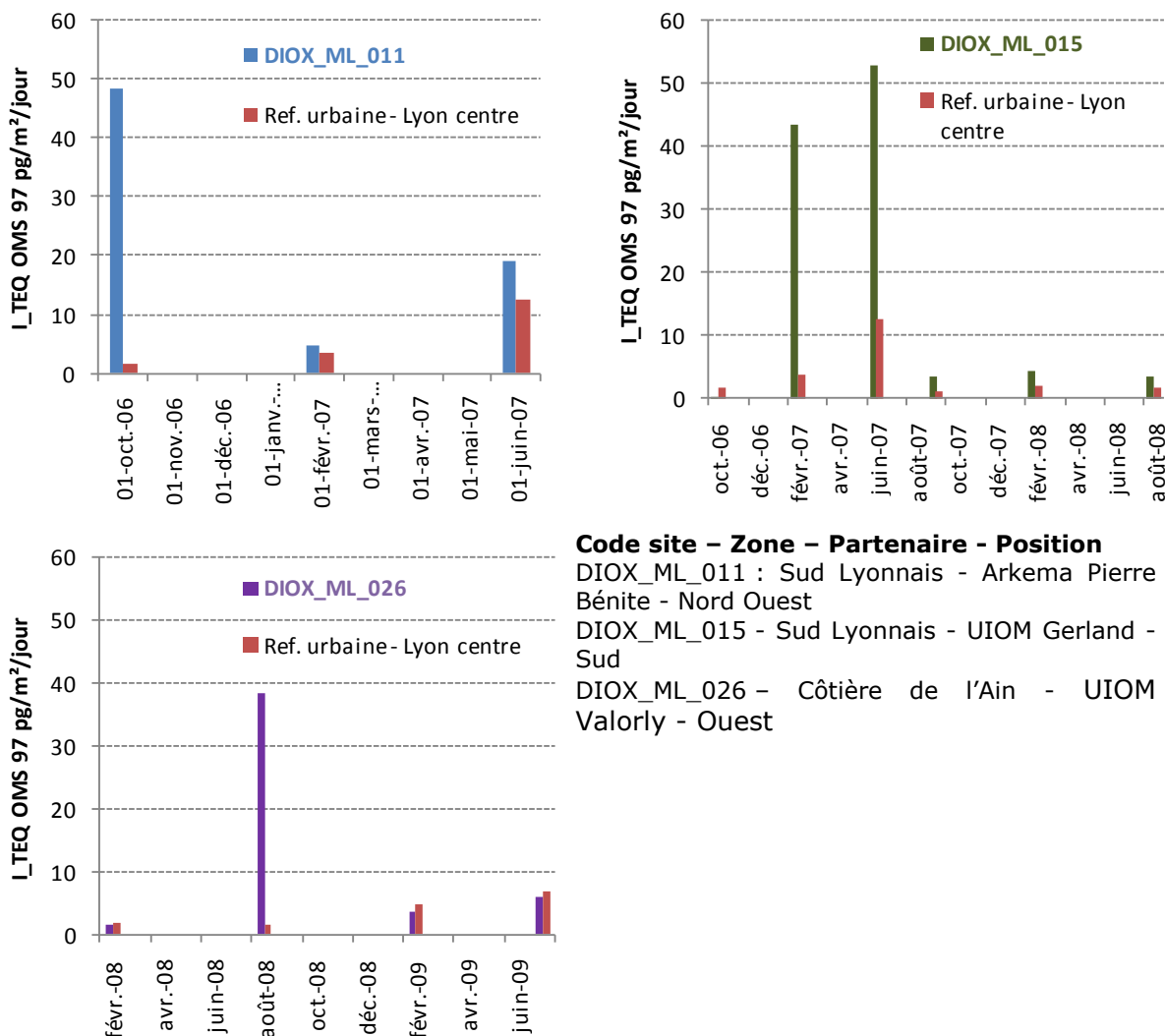


Figure 35 Retombées atmosphériques en dioxines sur les sites DIOX\_ML\_011, DIOX\_ML\_015 et DIOX\_ML\_026

Pour l'ensemble des sites, le **niveau moyen des retombées atmosphériques est d'environ 11 pg/m<sup>2</sup>/jour sur 2 mois**. Seulement 5% des mesures de retombées sur 2 mois ont dépassé la valeur de 40 pg/m<sup>2</sup>/jour. Cette valeur de référence est proposée comme seuil au-delà duquel un prélèvement pourra être caractérisé comme influencé par une source.

La Figure 36 illustre les principales statistiques des retombées atmosphériques de dioxines dans chaque **zone** du programme. Le chiffre entre parenthèse correspond au nombre de prélèvements qui ont été effectués dans la zone.

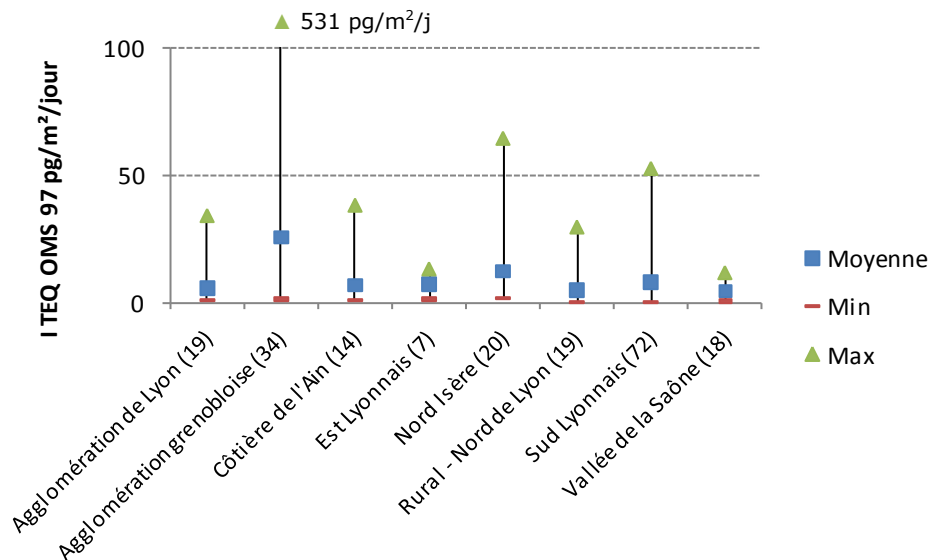


Figure 36 Principales statistiques des retombées atmosphériques de dioxines dans les différentes zones

Pour plus de lisibilité, l'échelle du graphique précédent s'arrête à 100 pg/m<sup>2</sup>/j et ne fait donc pas apparaître la valeur maximale du programme (531 pg/m<sup>2</sup>/j) qui a été enregistré sur un site de l'agglomération grenobloise).

Il est intéressant de noter que l'écart entre la valeur maximale et minimale n'est pas le même selon les zones. Il est très faible sur les zones de l'Est lyonnais et dans le Val de Saône, où les nombres de prélèvements sont réduits. Il est plus important sur d'autres zones comme l'agglomération grenobloise, le Nord Isère et le Sud Lyonnais.

Dans ces zones, les sites sont très hétérogènes en termes d'environnement et de distance par rapport aux sources potentielles. Le nombre de mesures y est aussi plus important du fait que les partenaires qui s'y trouvent avaient adhéré dès le début du programme.

## 5. Dioxines dans les retombées – Evolution temporelle

### a. Evolution temporelle des mesures de retombées atmosphériques sur les sites de référence

Les retombées atmosphériques de dioxines sont suivies de façon continue sur le site de Lyon Centre (référence urbaine) et sur un site de référence rurale (Saint Germain au Mont d'Or de 2006 jusqu'au début de l'année 2010).

Contrairement à l'air ambiant, il est difficile d'établir une règle de saisonnalité des dioxines dans les retombées atmosphériques. En effet, les résultats des mesures montrent deux périodes où les retombées ont été plus importantes (printemps 2007 et hiver 2008).

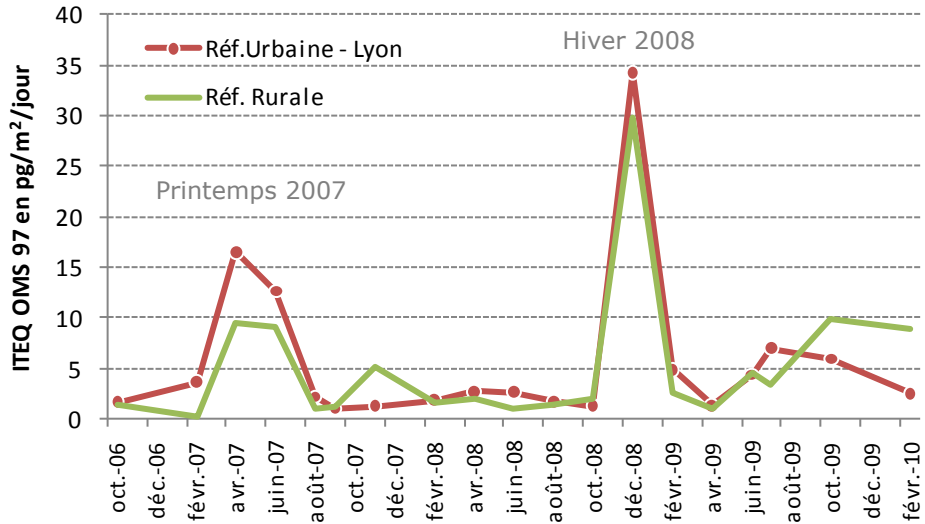


Figure 37 Evolution des retombées atmosphériques de dioxines sur les sites de **Saint Germain au Mont d'Or (référence rurale)** et **Lyon centre (référence urbaine)** entre 2006 et 2010

Les niveaux de dioxines dans les retombées sur le site de référence rurale de Saint Germain au Mont d'Or sont proches des niveaux de dioxines du site de référence urbaine (station de Lyon centre).

Ces niveaux très proches ont motivé au début de l'année 2010 le déplacement de la référence rurale vers une zone (site de Faramans) où les émissions de dioxines seraient moins importantes. En effet, la commune de Faramans est située en zone rurale dans la plaine de la Bièvre et à plusieurs dizaines de kilomètres des grandes agglomérations de la région alors que le site de Saint Germain au Mont d'Or était situé seulement à une vingtaine de kilomètres au nord de Lyon.

Il est intéressant de comparer les quantités de dioxines dans les retombées en fonction des précipitations et des concentrations de poussières pour étudier s'il existe un lien probant entre ces paramètres. En effet, la présence de dioxines dans les retombées pourrait être liée d'une part au lessivage de l'atmosphère (dépôt humide par les précipitations) et d'autre part à la présence de dioxines sur les poussières en air ambiant.

Pour le site de Lyon Centre, l'interaction entre les retombées atmosphériques de dioxines, les niveaux de particules en suspension et les quantités de précipitations est difficile à mettre en évidence.

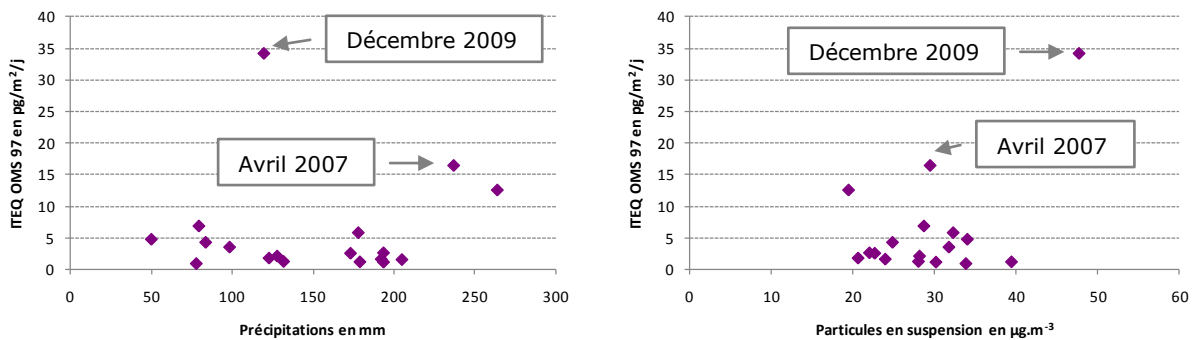


Figure 38 Retombées de dioxines en fonction des précipitations (à gauche) et des particules en suspension (à droite) sur le site de Lyon centre

La Figure 38 met en évidence deux épisodes (avril-mai 2007 et décembre-janvier 2009) pour lesquels les quantités de dioxines dans les retombées ont été plus importantes. Cependant, l'établissement d'une règle simple liant les dioxines, les précipitations et les particules en suspension n'est pas évident.

La poursuite des prélèvements pourrait permettre d'appréhender les facteurs les plus pertinents pouvant expliquer l'augmentation des dioxines dans les retombées atmosphériques.

## 6. Variation des congénères

Pour les 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ, l'étude de la variation de leur concentration permet d'expliquer les variations de la concentration exprimée en équivalent toxique (ITEQ).

En effet, chaque congénère a une contribution différente dans le calcul de la **toxicité** du mélange (exprimée en ITEQ). Les facteurs d'équivalent toxique varient selon les congénères d'un rapport 1 à 10000.

Dans le cas des congénères ne participant au calcul de l'ITEQ, ceux-ci seront aussi caractérisés par une variation pouvant être importante sans toutefois avoir de conséquence sur le calcul de l'ITEQ.

L'étude de la variation des congénères dans l'air ambiant est possible sur les sites où les mesures sont réalisées de façon continue, c'est le cas du site de référence urbaine de Lyon centre et du site rural de référence.

### *Variation des congénères en air ambiant à Lyon Centre*

Pour les familles de dioxines, la Figure 39 met en évidence des pics de **pentachlorodibenzodioxines** en 2009 et 2010 avec des concentrations supérieures à  $5 \text{ pg.m}^{-3}$  d'avril à septembre 2009. Ces hausses sont liées à l'augmentation de congénères des dioxines à 5 atomes de chlore autres que la 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine. En effet, la 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine est le seul congénère mesuré à 5 atomes de chlore inclus dans le calcul de l'ITEQ.

Sur la même période, les concentrations de 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine sont restées inférieures à la limite de détection ( $0,001 \text{ pg.m}^{-3}$ ). De ce fait, ces pics de **pentachlorodibenzodioxines** ont été sans conséquence sur le calcul de l'ITEQ (qui ne prend en compte que la 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine). Il peut donc y avoir une augmentation des concentrations de dioxines et furanes sans que cela soit associé à une augmentation de l'ITEQ.

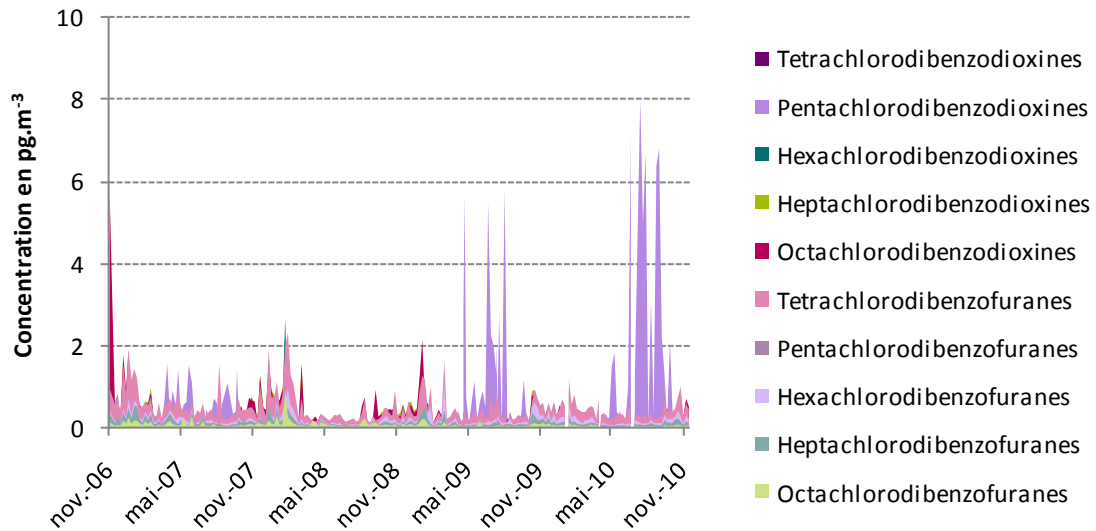


Figure 39 Répartition des familles de dioxines et furanes en air ambiant sur le site de Lyon centre

La répartition des différents congénères participant au calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon centre montre qu'en termes de masse les deux congénères les plus importants sont l'**octachlorodibenzodioxine** et la **1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine** (Figure 40 et Figure 41).

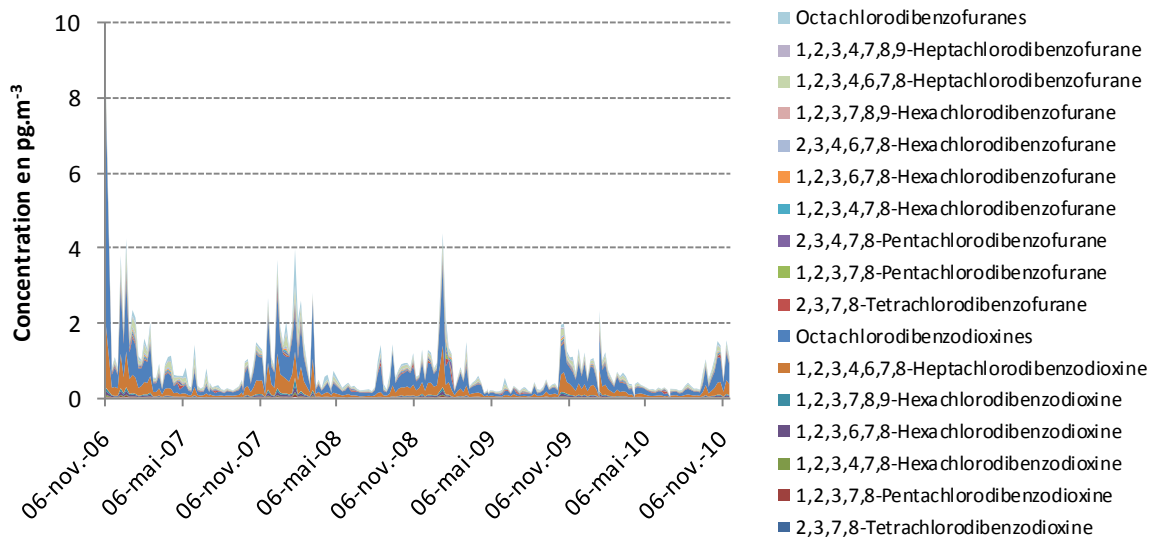


Figure 40 Répartition en masse des différents congénères participant au calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant

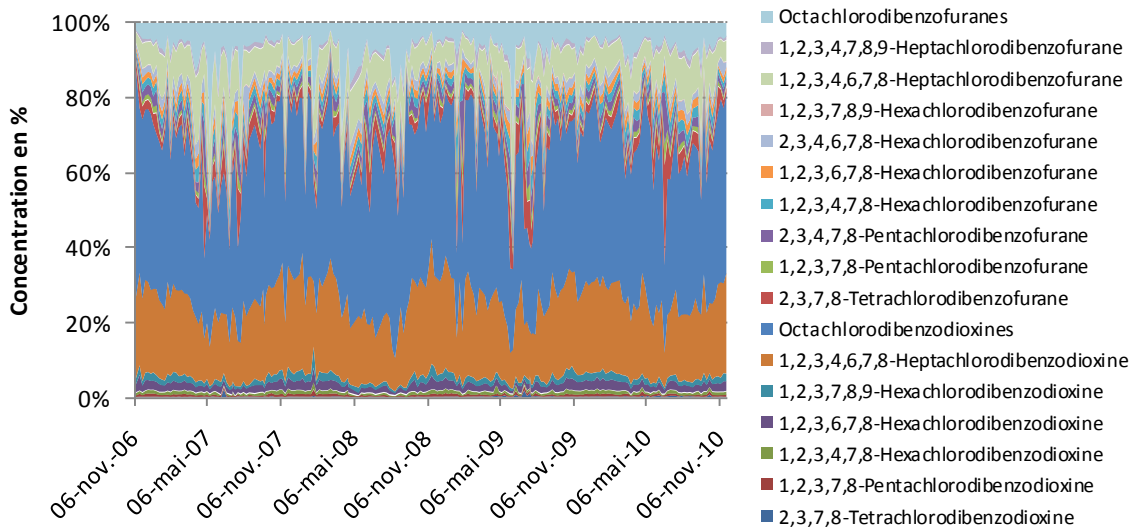


Figure 41 Répartition en pourcentage de masse des différents congénères participant au calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre

Pour le site de Lyon centre, **l'octachlorodibenzodioxine** représente, à lui seul, en moyenne environ 40% de la masse totale de dioxines et furanes (Figure 42).

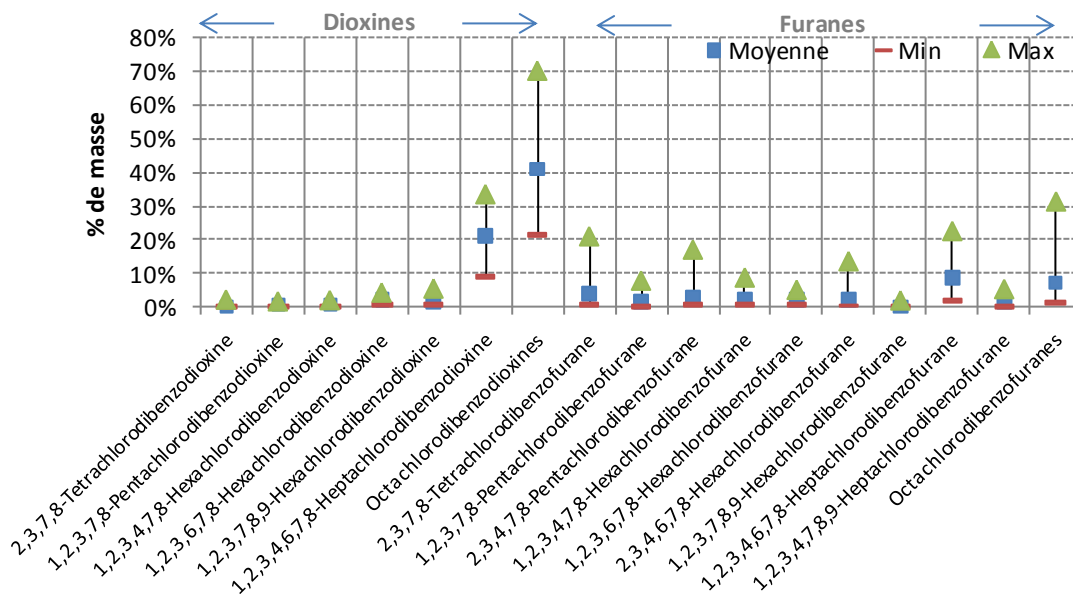


Figure 42 Gamme de contribution en masse de chaque congénère en air ambiant sur le site de Lyon centre – Calcul réalisé sur 176 prélèvements entre novembre 2006 et mars 2010

Cependant, du fait de leur coefficient de toxicité (0,01 pour la **1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine** et 0,0001 pour **l'octachlorodibenzodioxine**) la contribution de ces deux congénères dans le calcul de l'ITEQ est faible.

Les graphiques suivants illustrent la contribution de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon centre : ces graphiques sont obtenus en multipliant les concentrations de chaque congénère par leur facteur équivalent toxique respectif. Les deux congénères qui participent le plus au calcul de l'ITEQ sont **2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane** (coefficient égal à 0,5) et la **1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine** (coefficient égal à 1).

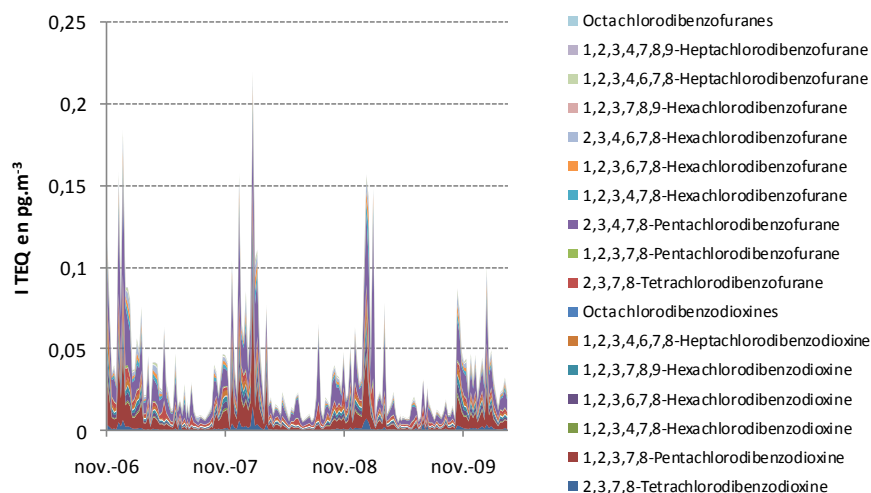


Figure 43 Contribution en masse de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant

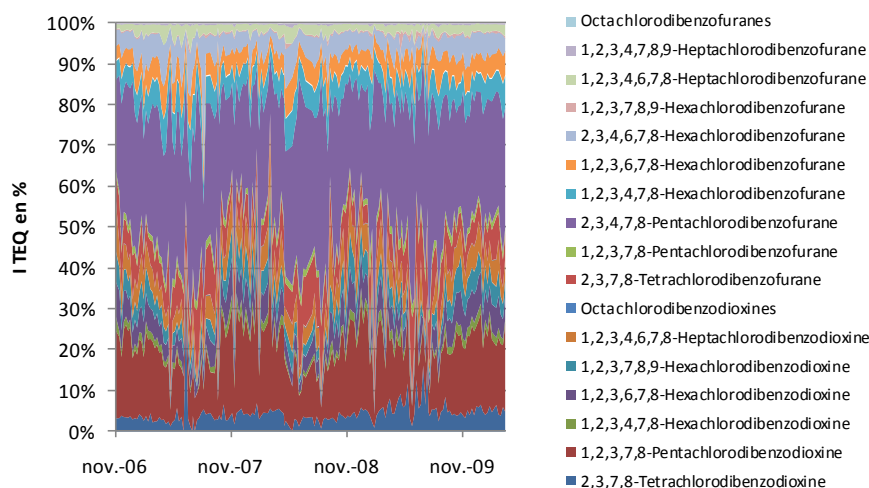


Figure 44 Contribution en pourcentage de masse de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant

Le graphique suivant illustre la gamme de contribution de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ OMS 97.

Les congénères qui ont les coefficients les plus forts sont:

- Le **2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane** (coefficient égal à 0,5) contribue en moyenne pour **32%** au calcul de l'ITEQ alors qu'elle ne représente que **3%** de la masse des congénères.
- La **1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine** (coefficient égal à 1) contribue en moyenne pour **16%** au calcul de l'ITEQ.
- La **1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane** (coefficient à 0,1) contribue en moyenne pour 6% au calcul de l'ITEQ.

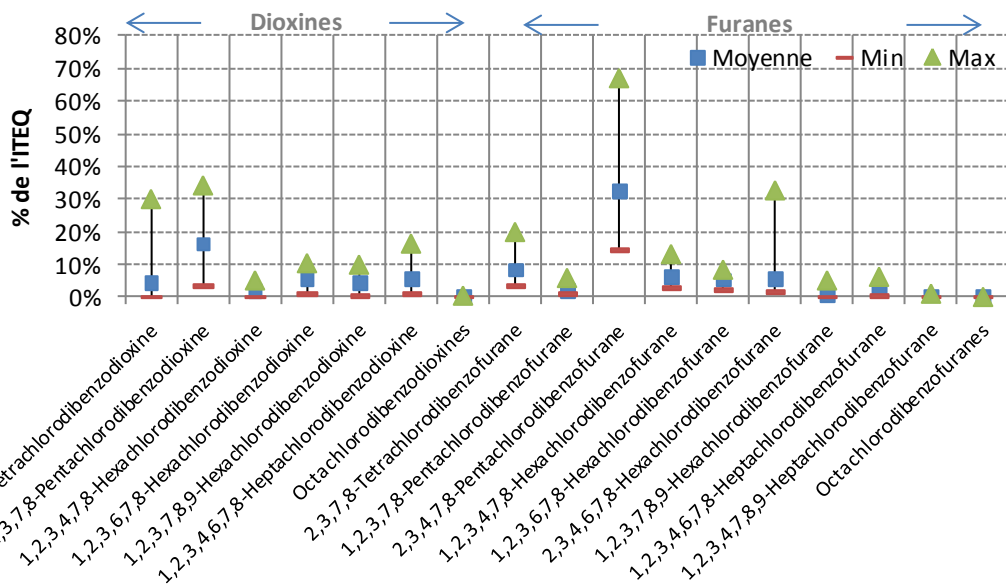


Figure 45 Gamme de contribution de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ en air ambiant

La dioxine de Seveso (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine, coefficient égal à 1) contribue en moyenne au calcul de l'ITEQ pour 4,5%. Sa faible contribution est liée à sa faible présence en masse. En effet, cette dioxine représente en moyenne seulement 0,2% de la masse de dioxines).

La figure suivante (Figure 46) illustre pour le site de Lyon Centre le lien entre quantité de chaque congénère en air ambiant et toxicité (contribution au calcul de l'ITEQ) associée au mélange des 17 congénères.

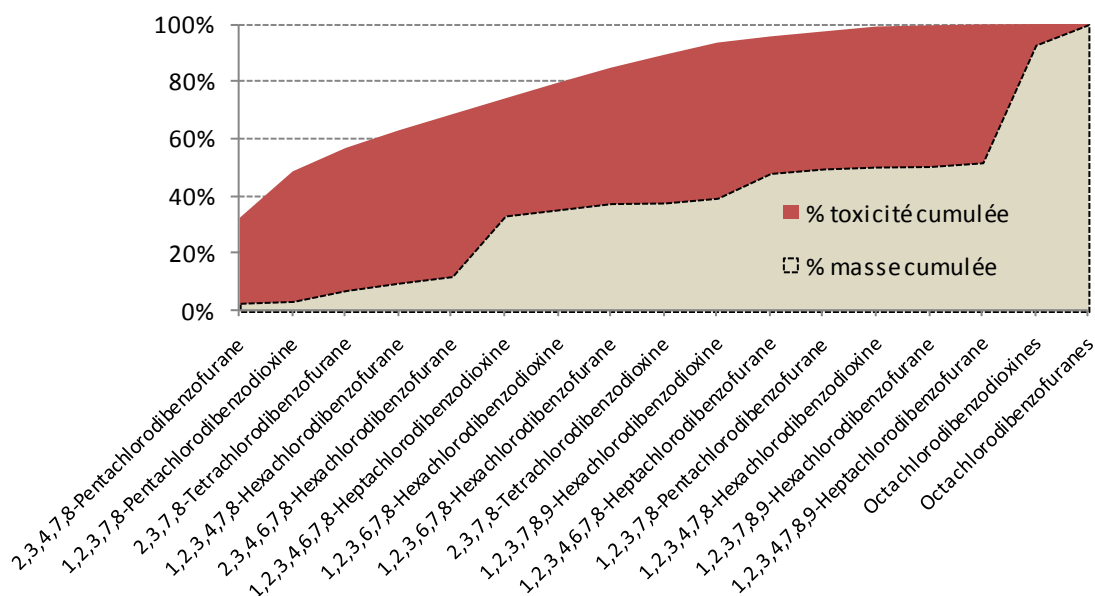


Figure 46 Lien entre quantité et toxicité sur le site de Lyon centre en air ambiant

Ainsi, le 1<sup>er</sup> congénère (**2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane**), situé tout à gauche sur l'axe des abscisses, représente à lui seul 33% de la toxicité du mélange alors qu'il ne représente que 3% de la masse totale des 17 congénères.



Les 2 premiers congénères (**2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane** et **1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzodioxine**) représentent ensemble 49% de la toxicité du mélange alors qu'ils ne représentent que 3,6% de la masse totale des 17 congénères.

Ce graphique montre également que 90% de la toxicité du mélange est expliquée par 9 congénères qui représentent environ 38% de la masse totale des 17 congénères.

Une étude statistique approfondie des liens entre les différents congénères des dioxines et des furanes a été menée en utilisant la technique de l'analyse en composante principale<sup>8</sup>.

Cette étude a montré que les 2 groupes de congénères des dioxines et furanes ont des comportements distincts et particuliers. Cependant, à l'intérieur de chaque groupe, les congénères sont très corrélés entre eux.

#### Répartition des congénères en air ambiant sur l'ensemble des sites du programme

Pour la plupart des sites, la moyenne de la masse totale des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ en air ambiant est comprise entre 0,37 et 2,14  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Le site DIOX\_ML\_025 (Nord de la plateforme chimique de Pont de Claix) se distingue par des quantités totales plus importantes que les autres sites du programme (17,3  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  en moyenne).

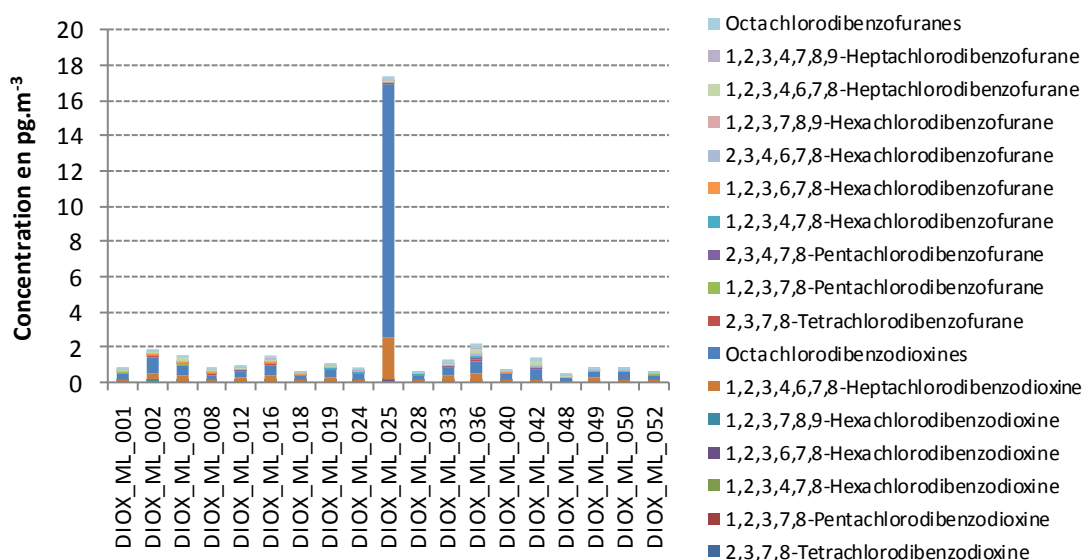


Figure 47 Répartition moyenne en  $\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$  des congénères participant au calcul de l'ITEQ en air ambiant sur l'ensemble des sites du programme

A l'exception du site DIOX\_ML\_025, la répartition en masse des congénères participant au calcul de l'ITEQ est similaire sur l'ensemble des sites. Comme pour le site de Lyon Centre (DIOX\_ML\_012), les deux congénères les plus importants en terme de masse sont l'**octachlorodibenzodioxine** et la **1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine** (Figure 48).

Le site DIOX\_ML\_025 (Nord de la plateforme chimique de Pont de Claix) est caractérisé par une plus forte proportion **d'octachlorodibenzodioxine**.

<sup>8</sup> Botero, A. ; *Etude Statistique des Concentrations des Dioxines, Furanes et Métaux Lourds dans l'Air Ambiant en Région Rhône-Alpes* Rapport de stage ; ASCOPARG ; 2010

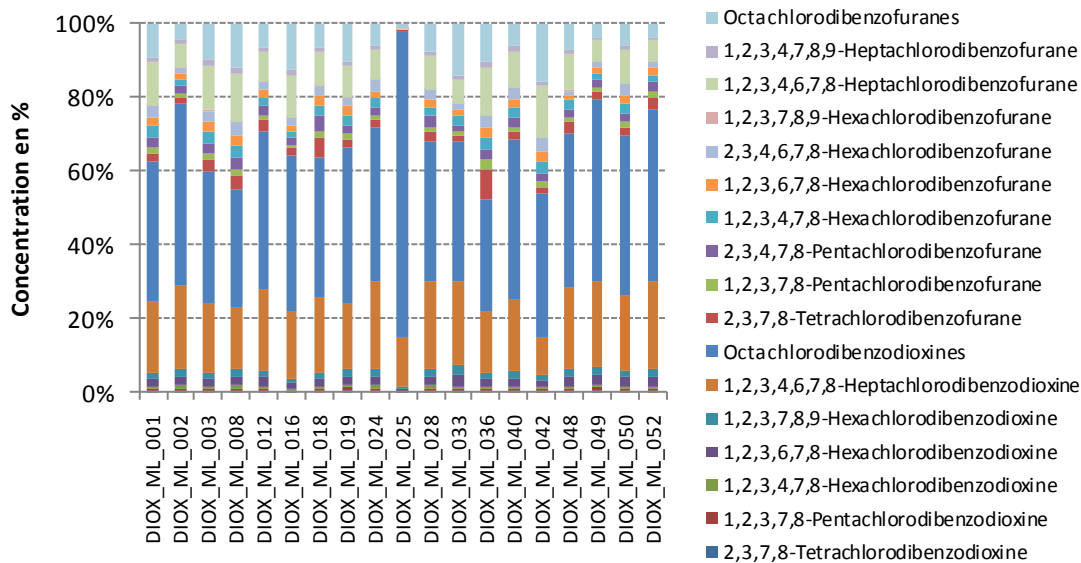


Figure 48 Répartition moyenne des congénères participant au calcul de l'ITEQ en air ambiant sur l'ensemble des sites du programme

La contribution de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ (Figure 49) est obtenue en multipliant chaque concentration de congénère par son coefficient d'équivalence toxique,.

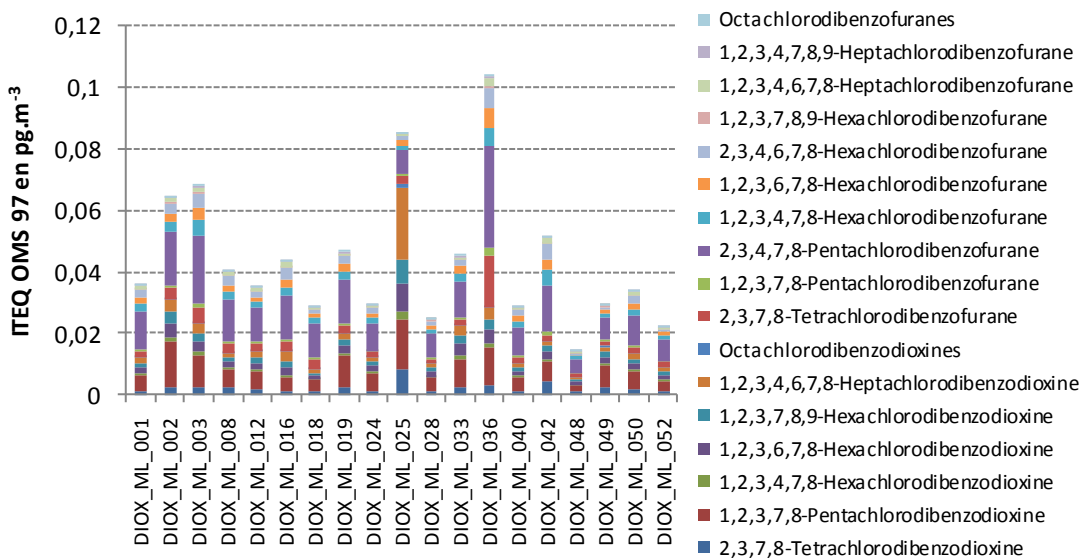


Figure 49 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ en air ambiant pour chaque site du programme

Pour le site de référence urbaine de Lyon Centre comme pour la plupart des autres sites du programme, le **2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane** est le congénère qui intervient le plus dans le calcul de l'ITEQ. En effet, même s'il ne représente que 2 à 6% de la masse totale des 17 congénères, son coefficient d'équivalence toxique (0,5) fait qu'il contribue pour 24 à 40% du calcul de l'ITEQ du mélange. Une exception cependant : le site DIOX\_ML\_025 où l'ITEQ est affectée par la **1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzodioxine**.

### *Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques à Lyon Centre et à Saint Germain au Mont d'Or*

Concernant les retombées atmosphériques, les deux sites de Lyon centre (Figure 50) et de Saint Germain au Mont d'Or (Figure 51) montrent des répartitions de familles similaires.

Ces deux graphiques montrent notamment un pic d'octachlorodibenzodioxines commun aux deux sites en décembre 2008-janvier 2009 et un autre pic d'octachlorodibenzofuranes en février-mars 2009. Ce dernier pic a eu lieu lors d'un important épisode de pollution par les particules entraînant une augmentation de l'ITEQ sur la même période.

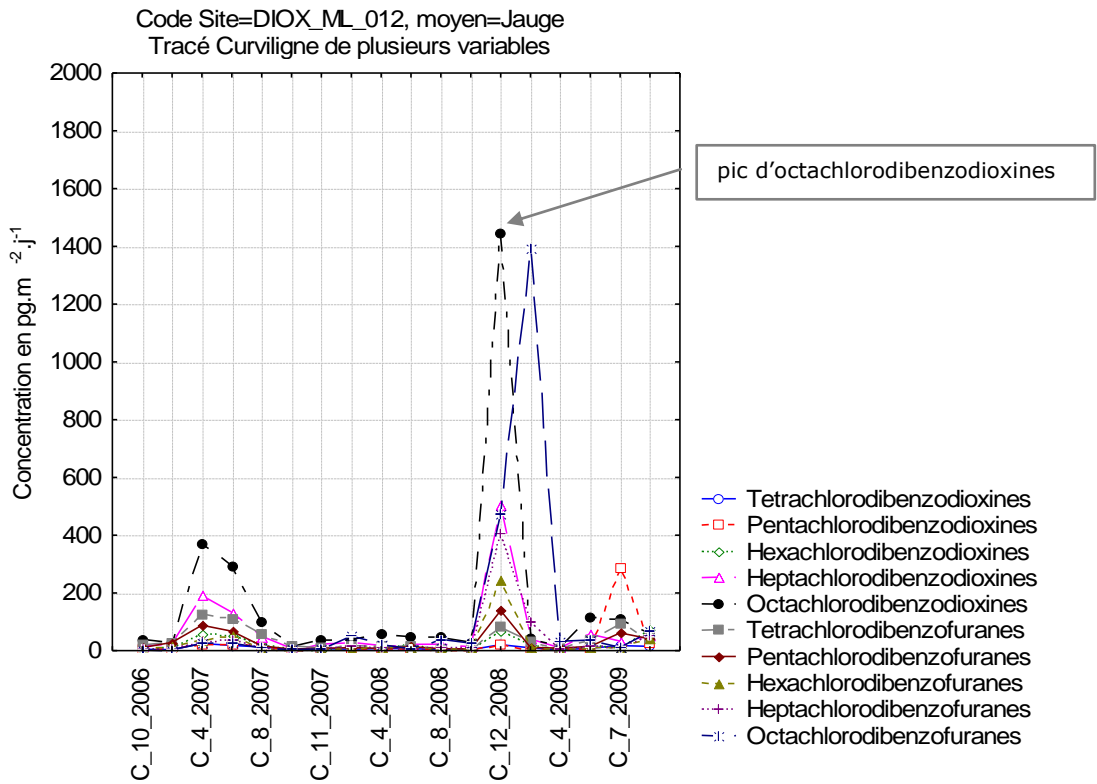


Figure 50 Répartition des familles de dioxines et furanes dans les retombées atmosphériques sur le site de **Lyon centre** (référence urbaine)

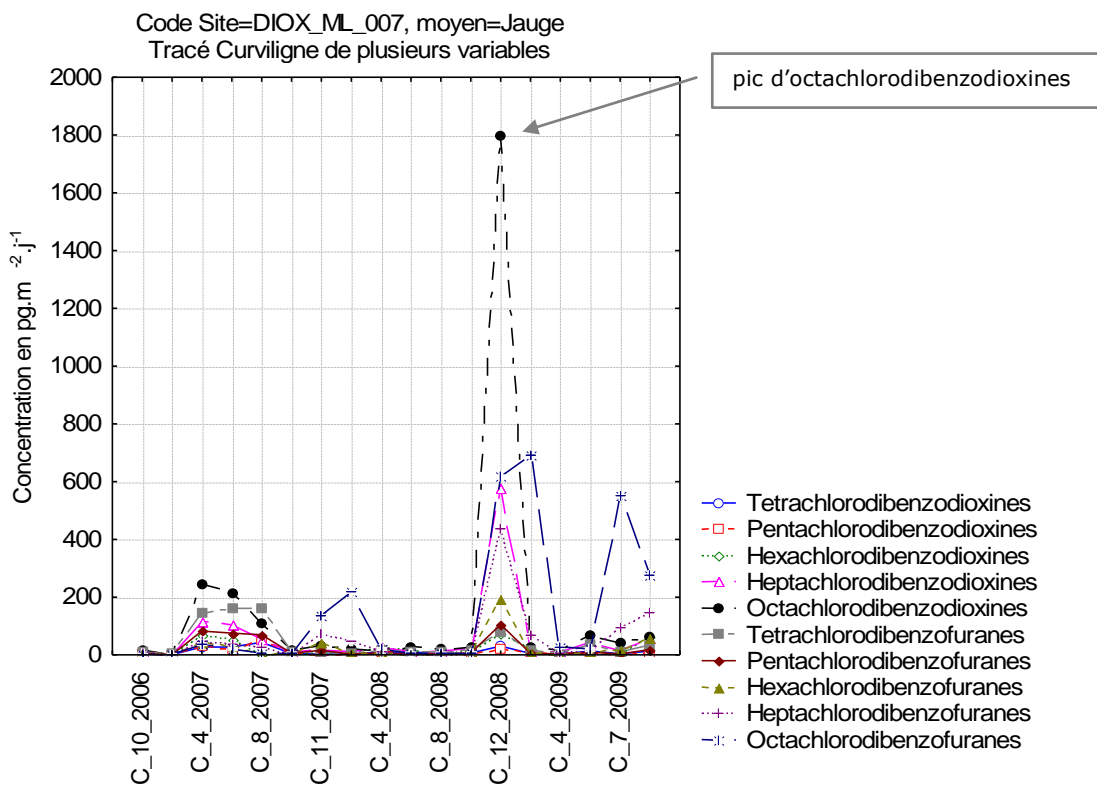


Figure 51 Répartition des familles de dioxines et furanes dans les retombées atmosphériques sur le site de **Saint Germain au Mont d'Or** (référence rurale)

En termes de quantité de retombées, deux périodes présentent des quantités totales atypiques de congénères sur le site de Lyon centre (Figure 52). Il s'agit de prélèvements d'avril à juin 2007 (2 prélèvements) et de décembre à février 2009. Lors de ces périodes, les quantités de dioxines recueillies dans les retombées ont été plusieurs fois supérieures aux quantités moyennes (5 à 25 fois selon les congénères).

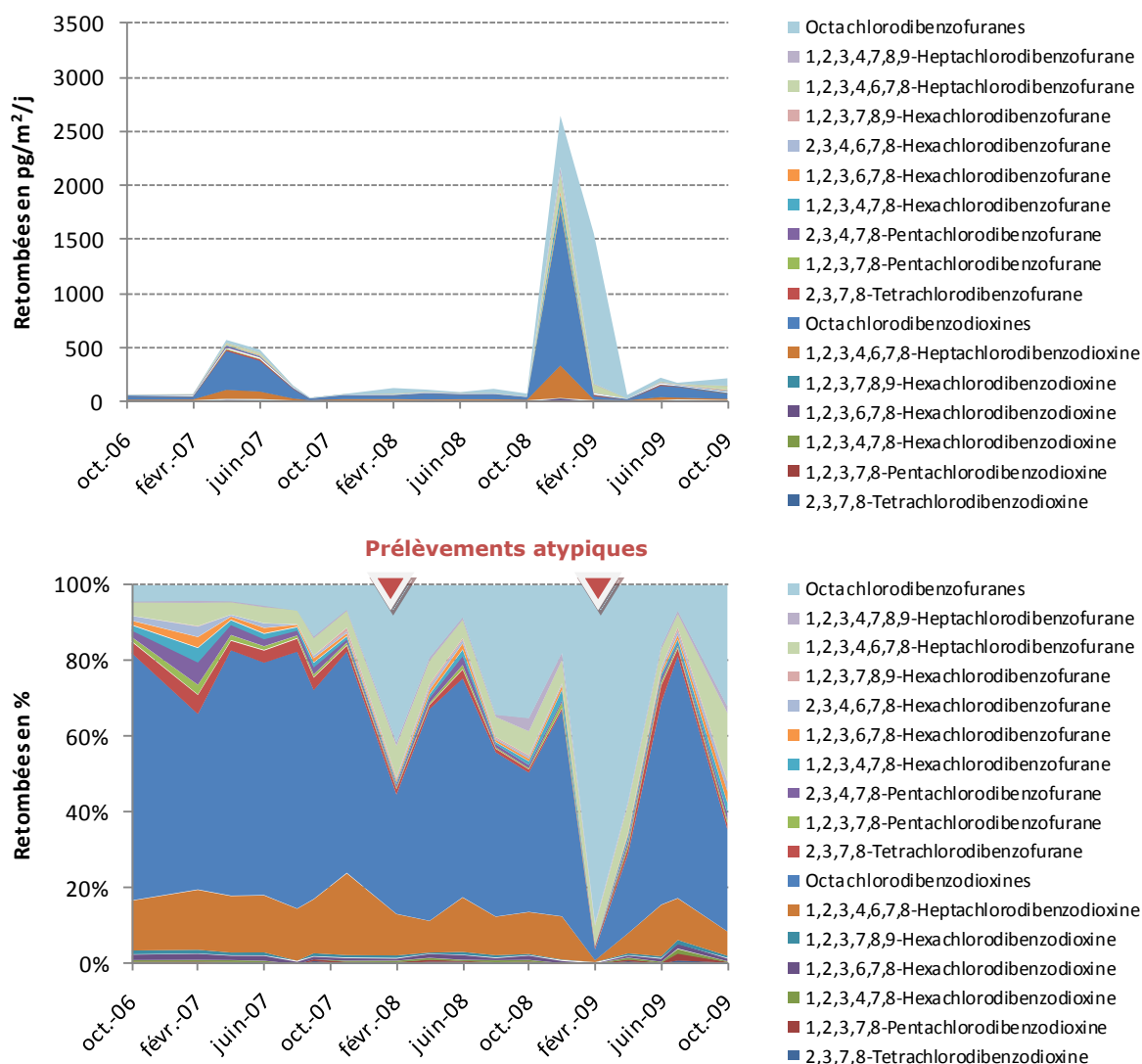


Figure 52 Répartition des différents congénères dans les retombées et participant au calcul de l'ITEQ sur le site de **Lyon centre**

L'observation de la contribution massique de chaque congénère montre aussi quelques prélèvements atypiques (Figure 52). Sur la plupart des résultats de retombées, l'**octachlorodibenzodioxine** constitue le congénère le plus important en terme de masse.

Sur quelques périodes (février-mars 2008, février – mai 2009 et octobre-novembre 2009), l'octachlorodibenzofurane est le congénère le plus important en masse. Ces périodes sont repérées par un triangle rouge sur la figure précédente.

La contribution en masse de chaque congénère dans les retombées atmosphériques sur le site de Lyon Centre (Figure 53) est très proche de la contribution en masse en air ambiant (Figure 42). La différence est essentiellement due à l' octachlorodibenzofurane qui peut s'observer ponctuellement en grande quantité (jusqu'à 90% de la masse totale).

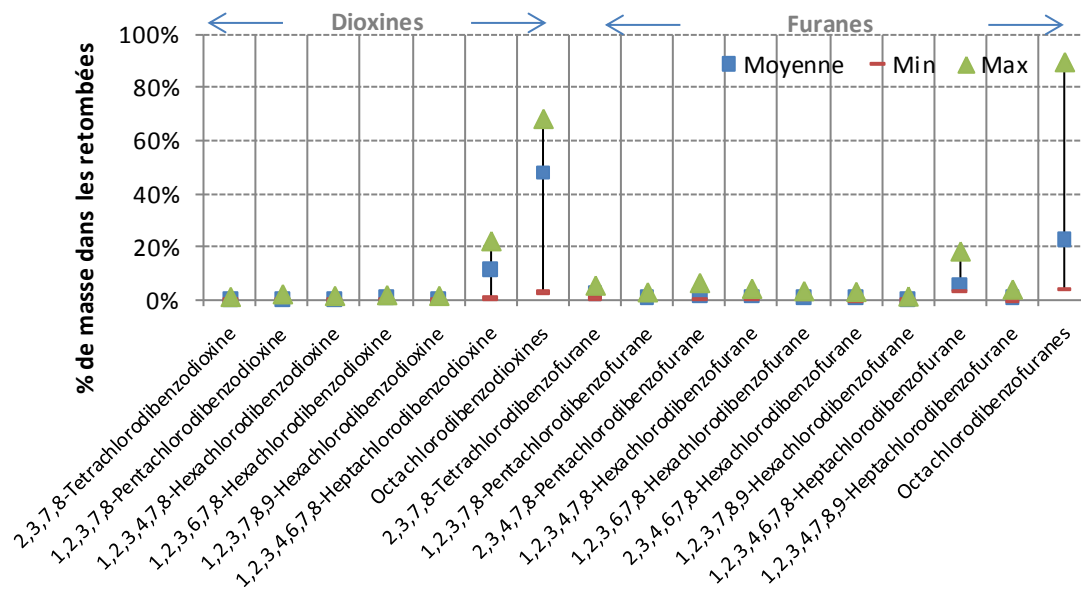


Figure 53 Gamme de contribution en masse de chaque congénère dans les retombées atmosphériques à Lyon centre

Les comportements des congénères participant au calcul de l'ITEQ sont très proches entre les deux sites de référence de Lyon Centre et Saint Germain au Mont d'Or (référence rurale) (Figure 52 et Figure 54). Cette similitude des concentrations de congénères explique le fait que les ITEQ calculés pour ces deux sites aient été proches.

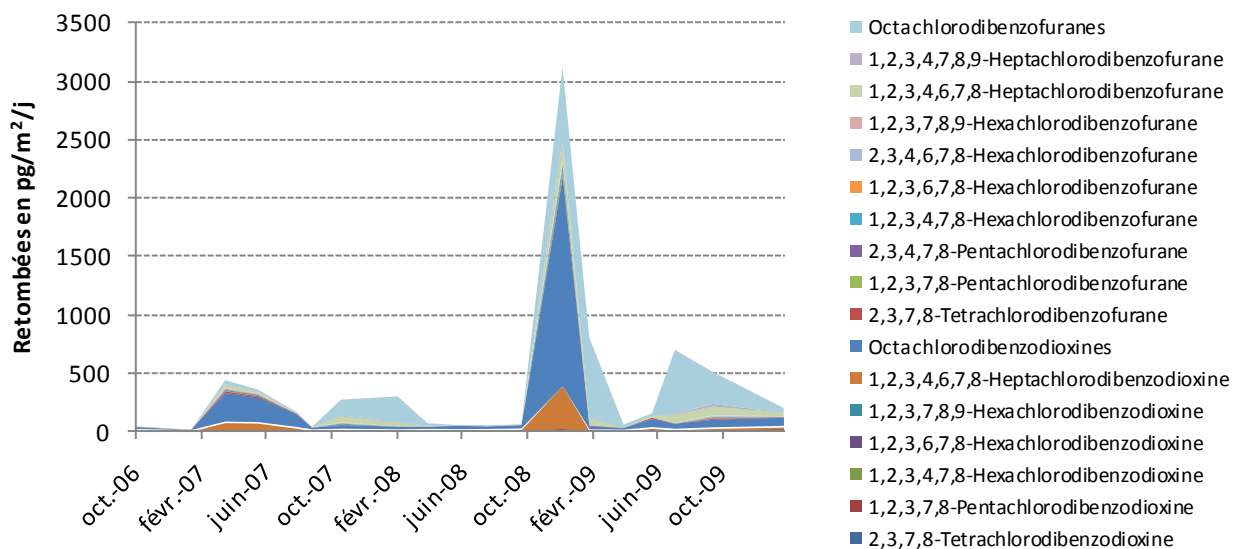


Figure 54 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur le site de **Saint Germain au Mont d'Or** (référence rurale)

**Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble des sites du programme**

La masse moyenne des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques est comprise entre 22 et 1600  $pg.m^{-2}.j^{-1}$ . Les sites DIOX\_ML\_023, DIOX\_ML\_025 et DIOX\_ML\_026 se distinguent par des retombées totales plus importantes que les autres sites du programme.

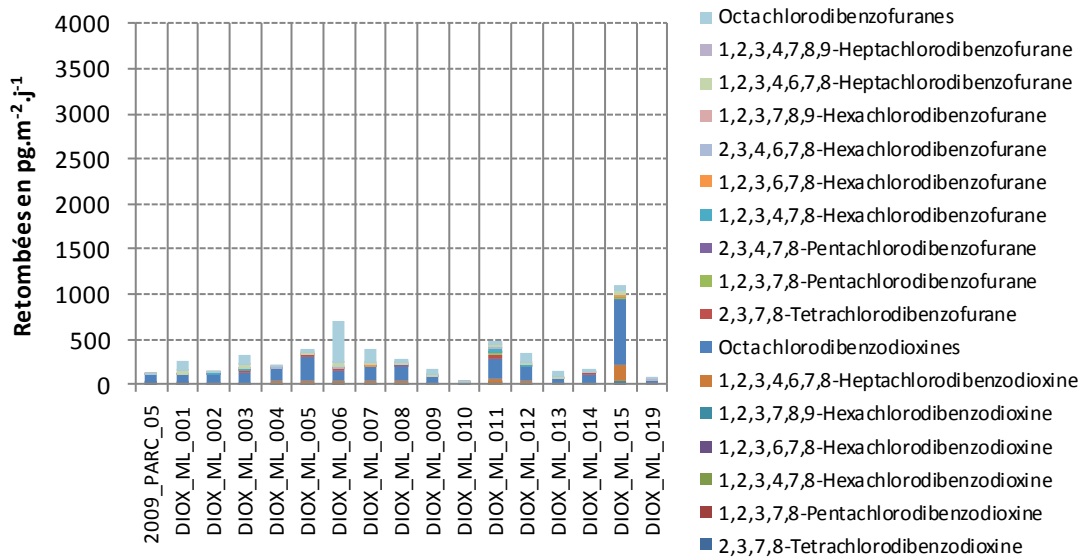


Figure 55 Répartition moyenne en  $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques totales sur l'ensemble des sites du programme (figure 1/2)

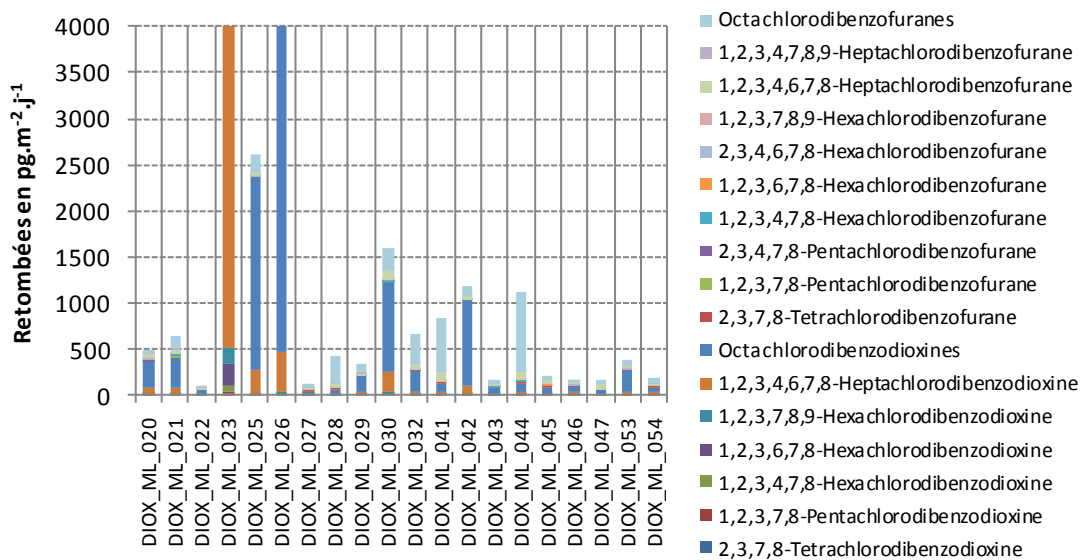


Figure 56 Répartition moyenne en  $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques totales sur l'ensemble des sites du programme (figure 2/2)

En termes de masse, la répartition des congénères dans les retombées atmosphériques montre pour la plupart des sites une plus grande quantité d'**octachlorodibenzodioxine** (Figure 57 et Figure 58). Cette répartition dans les retombées atmosphériques est similaire à celle observée dans l'air ambiant.

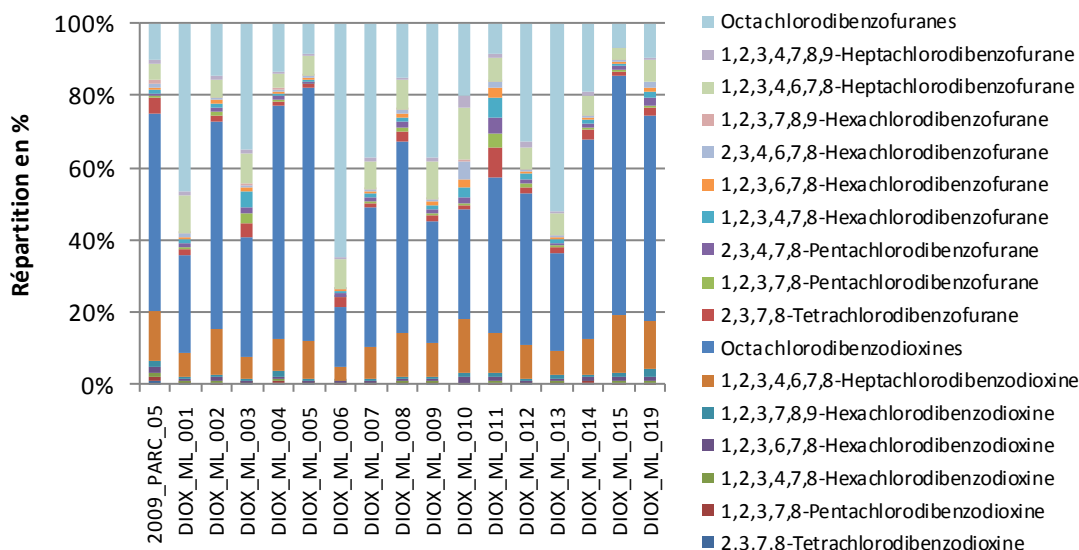


Figure 57 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble des sites du programme (sites DIOX\_ML\_001 à DIOX\_ML\_019) (figure 1/2)

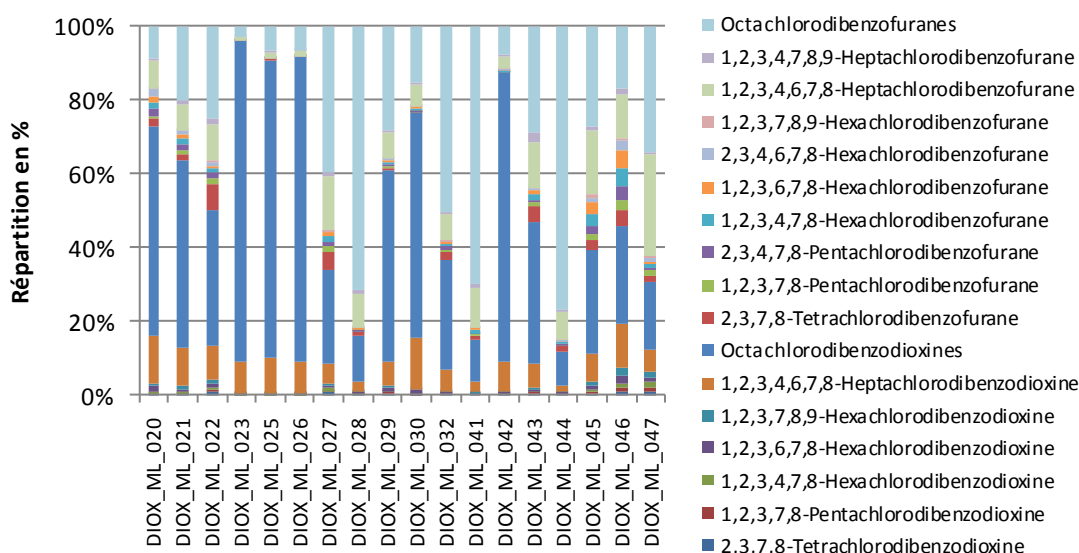


Figure 58 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble des sites du programme (sites DIOX\_ML\_020 à DIOX\_ML\_047) (figure 2/2)

En effet, selon les sites, l'**octachlorodibenzodioxine** représente 9 à 87% de la masse totale des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ.

La contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ n'est pas homogène entre les différents sites du programme (Figure 59 et Figure 60).



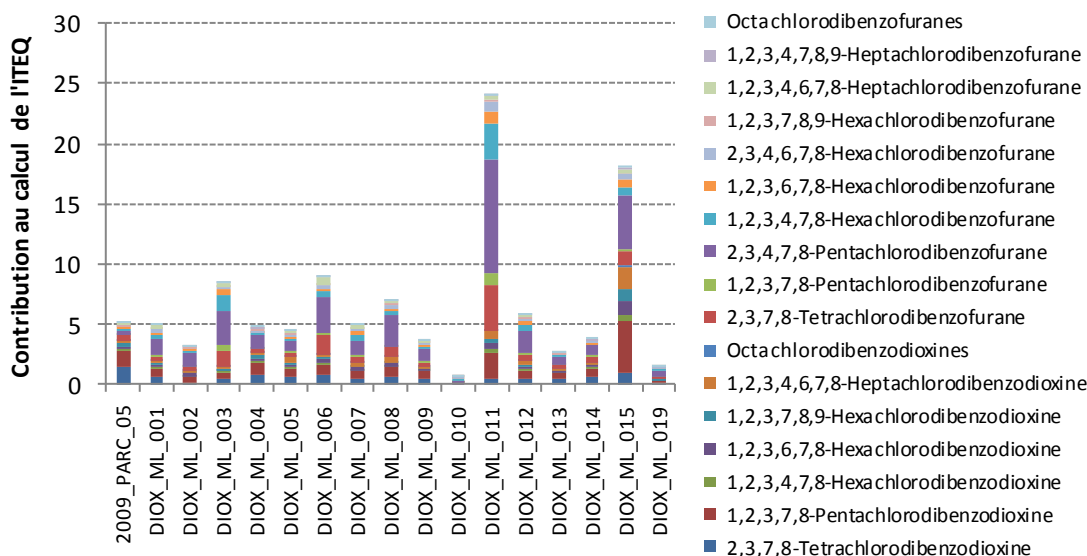


Figure 59 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques pour les sites du programme (DIOX\_ML\_001 à DIOX\_ML\_019)

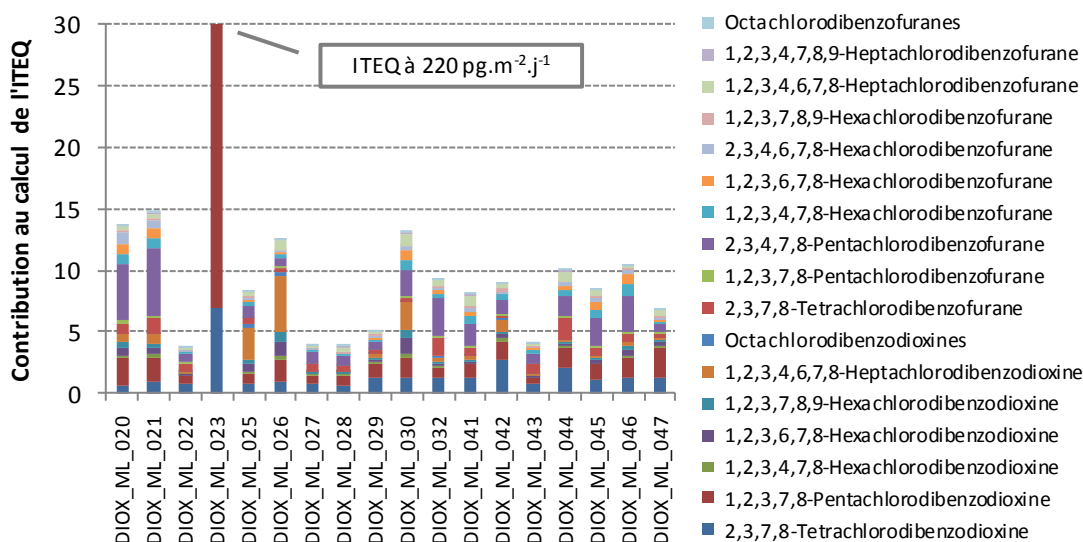


Figure 60 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques pour les sites du programme (DIOX\_ML\_020 à DIOX\_ML\_047)

## 7. Dioxines dans les retombées – Proposition de valeurs de référence

Il n'existe pas de valeur réglementaire concernant les dioxines dans les retombées atmosphériques. Cependant, l'analyse des résultats va permettre de définir pour les dioxines des valeurs de référence dont le dépassement permet de s'interroger sur l'influence directe d'une source de pollution.

L'analyse statistique des résultats (identification de valeurs extrêmes) et des conditions de mesures (identification de sources potentielles susceptibles d'influencer les résultats) a permis de proposer deux valeurs de référence pour les dioxines dans les retombées atmosphériques.

Une première valeur de référence est proposée à **40  $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$**  en moyenne sur deux mois. Cette valeur est calculée dans le référentiel ITEQ OMS 97.

Cette valeur a été dépassée au moins une fois sur 7 des 34 sites du programme.

Site	Zone	Date de début du prélèvement	I TEQ OMS 97 en $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$
DIOX_ML_003	Sud Lyonnais	juin-07	40
DIOX_ML_006	Sud Lyonnais	juin-07	42
DIOX_ML_011	Sud Lyonnais	oct.-06	48
DIOX_ML_015	Sud Lyonnais	févr.-07	43
	Sud Lyonnais	juin-07	53
DIOX_ML_020	Vallée du Rhône	juin-07	65
DIOX_ML_021	Vallée du Rhône	juin-07	65
DIOX_ML_023	Agglomération de Grenoble	févr.-08	125
	Agglomération de Grenoble	août-08	<b>532</b>

Tableau 22 Liste des dépassements du seuil de  $40 \text{ pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$

Il est intéressant de noter, dans le tableau précédent, que 5 des 9 dépassements de la valeur de référence proposée à  $40 \text{ pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  ont eu lieu lors de la campagne d'été 2007. Ils ont concerné les deux sites de la Vallée du Rhône (Salaise sur Sanne) et 3 sites du sud lyonnais.

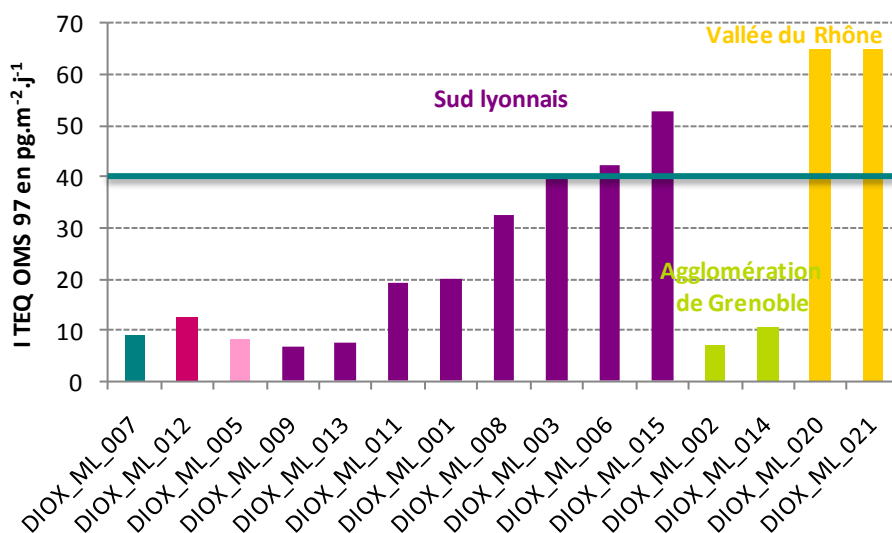


Figure 61 Retombées de dioxines pendant l'été 2007

La carte suivante illustre le bilan des mesures de dioxines dans les retombées entre 2006 et 2009. Les sites en rouge correspondent aux sites qui dépassent la valeur de référence (estimation de la moyenne annuelle supérieure à  $40 \text{ pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  pour l'ITEQ OMS 97).



Figure 62 Bilan des mesures dans les retombées atmosphériques entre 2006 et 2009



Sur le site DIOX\_ML\_023 (sud de la plateforme chimique de Pont de Claix), les résultats les plus élevés (125 et 531  $\text{pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ) sont probablement liés à une pollution historique des sols, à la présence d'un dépôt de gravats d'origine industrielle et aux travaux de déconstruction qui ont eu lieu dans ce secteur pendant la collecte des retombées. Les résultats de ces mesures ont incité à la mise en place de mesures de restriction des activités de déconstruction ainsi que de manipulation des sols dans ce secteur afin d'éviter la remise en suspension des polluants présents dans les gravats et les sols.

Figure 63 Site DIOX\_ML\_023 au sud de la plateforme chimique de Pont de Claix

A la suite de la mise en place de ces mesures, les résultats du 3<sup>ème</sup> prélèvement effectué sur ce site ont permis de mettre en évidence une baisse importante des niveaux de dioxines ( $3,8 \text{ pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$  en 2009).

Pour les dioxines dans les retombées atmosphériques, la **deuxième valeur de référence** est proposée à  **$10 \text{ pg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$**  en moyenne annuelle.

Le tableau suivant illustre l'estimation de la moyenne annuelle de l'ITEQ OMS 97 dans les retombées atmosphériques sur les sites du programme en 2008 et 2009. Cette estimation est basée sur le calcul de la moyenne des deux prélèvements annuels (2 campagnes de deux mois : une en été et l'autre en hiver).

Code site	Nom site	2008		2009	
		Nbre de prélèvements	I TEQ OMS 97	Nbre de prélèvements	I TEQ OMS 97
2009_PARC_05	Hauts plateaux du Vercors	-	-	2	5,0
DIOX_ML_001	Sud Lyonnais - STEP Pierre Bénite Nord & Arkema Pierre Bénite Sud	2	2,4	2	4,0
DIOX_ML_002	Neuville sur Saône - Sud	2	3,7		
DIOX_ML_003	Sud Lyonnais - STEP St Fons Nord, Rhodia Operations Sud	2	3,4	2	7,1
DIOX_ML_004	UIOM La Tronche - Sud Ouest	2	4,3	2	3,6
DIOX_ML_005	UIOM La Tronche - Est	2	5,4	2	4,4
DIOX_ML_006	Sud Lyonnais - Rhodia Operations - Sud	2	1,9	2	8,0
DIOX_ML_007	Réf. Rurale	6	6,3	5	4,3
DIOX_ML_008	Sud Lyonnais - STEP St Fons Sud	2	1,4	2	5,5
DIOX_ML_009	Sud Lyonnais - STEP Pierre Bénite - Sud	2	2,6	2	4,5
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	6	7,4	5	4,7
DIOX_ML_013	Sud Lyonnais - UIOM Gerland - Nord	2	1,3	2	2,7
DIOX_ML_014	Neuville sur Saône - Nord	2	3,6	2	3,5
DIOX_ML_015	Sud Lyonnais - UIOM Gerland - Sud	2	3,9		
DIOX_ML_020	Plateforme de Salaise sur Sanne - Sud	2	7,5	2	2,8
DIOX_ML_021	Plateforme de Salaise sur Sanne - Nord	2	4,0	2	7,2
DIOX_ML_022	Sud Lyonnais - Arkema Pierre Bénite - Nord	2	2,8	2	5,0
DIOX_ML_023	Plateforme de Pont de Claix - Sud	2	328,6	1	3,8
DIOX_ML_025	Plateforme de Pont de Pont de Claix - Nord	2	8,5	2	6,3
DIOX_ML_026	UIOM Rillieux la Pape - Ouest	2	20,0	2	4,9
DIOX_ML_027	UIOM Rillieux la Pape - Nord	2	1,0	2	6,2
DIOX_ML_028	UIOM Rillieux la Pape - Sud	2	3,2	1	5,1
DIOX_ML_029	Plateforme de Jarrie - Nord	1	3,2	2	3,2
DIOX_ML_030	Plateforme de Jarrie - Sud	1	12,2	2	15,0
DIOX_ML_032	Saint Pierre de Chandieu - Sud	1	5,3	2	10,6
DIOX_ML_041	Neuville sur Saône - Sud			2	8,0
DIOX_ML_042	Plateforme de Pont de Claix - Sud			1	3,1
DIOX_ML_043	Saint Pierre de Chandieu - Nord			2	4,2
DIOX_ML_044	Sud Lyonnais - Rhodia Operations - Nord			2	12,1
DIOX_ML_045	UIOM Bourgoin Jallieu - Nord			2	8,6
DIOX_ML_046	UIOM Bourgoin Jallieu - Sud			1	15,2
DIOX_ML_047	UIOM Rillieux la Pape - Sud			1	6,6

Figure 64 I TEQ OMS 97 moyen et comparaison avec la valeur de référence concernant les retombées atmosphériques

Entre 2008 et 2009, **6 sites ont dépassé cette valeur de référence en moyenne annuelle.**

## 6. Résultats des mesures de métaux lourds

### 1. Métaux lourds dans l'air ambiant

La Figure 65 illustre les principales statistiques des mesures de métaux totaux (somme des 14 métaux) en air ambiant sur les sites du programme ainsi que sur les sites de référence (Grenoble les Frênes, Saint Etienne Sud, Drôme Rural Sud et Vénissieux Village).

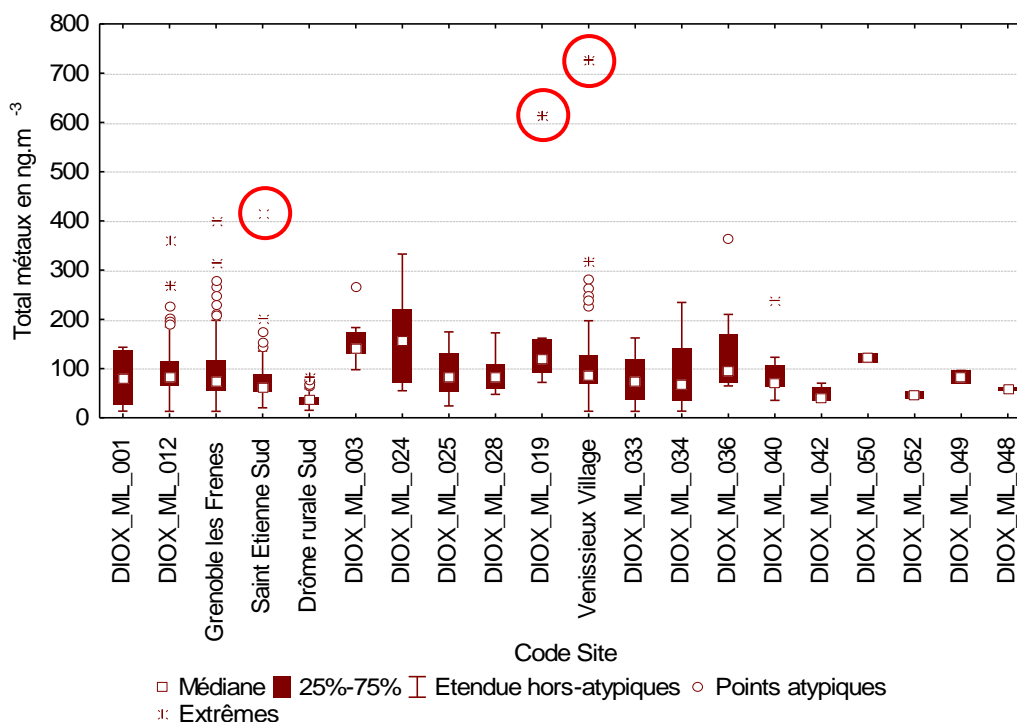


Figure 65 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) en air ambiant. Les résultats sont exprimés en ng.m<sup>-3</sup>.

Les concentrations maximales de métaux totaux en air ambiant (**cercle rouge** sur la Figure 65) ont été mesurées sur le station fixe de « Vénissieux village » (site en proximité industrielle), sur le site DIOX\_ML\_019 (site industriel à proximité de la plateforme chimique de Roussillon) et sur le site de Saint Etienne Sud (site urbain dans l'agglomération de Saint Etienne).

Les concentrations moyennes sont hétérogènes même pour des sites qui sont situées dans la même zone. Les concentrations moyennes les plus importantes ont été mesurées sur les sites DIOX\_ML\_003 (site implanté dans le sud lyonnais) et DIOX\_ML\_024 (site à Neuville sur Saône) (Figure 66).





Figure 66 Concentration moyenne en métaux lourds sur les sites du programme dans l'air ambiant entre 2006 et 2009

Les concentrations totales de métaux les plus faibles sont mesurées sur le site Drôme Rural Sud. La classification de ces résultats en fonction de la **typologie** confirme qu'en air ambiant les quantités totales de métaux sur le site rural de référence sont inférieures aux quantités mesurées sur les sites urbains et de proximité industrielle.

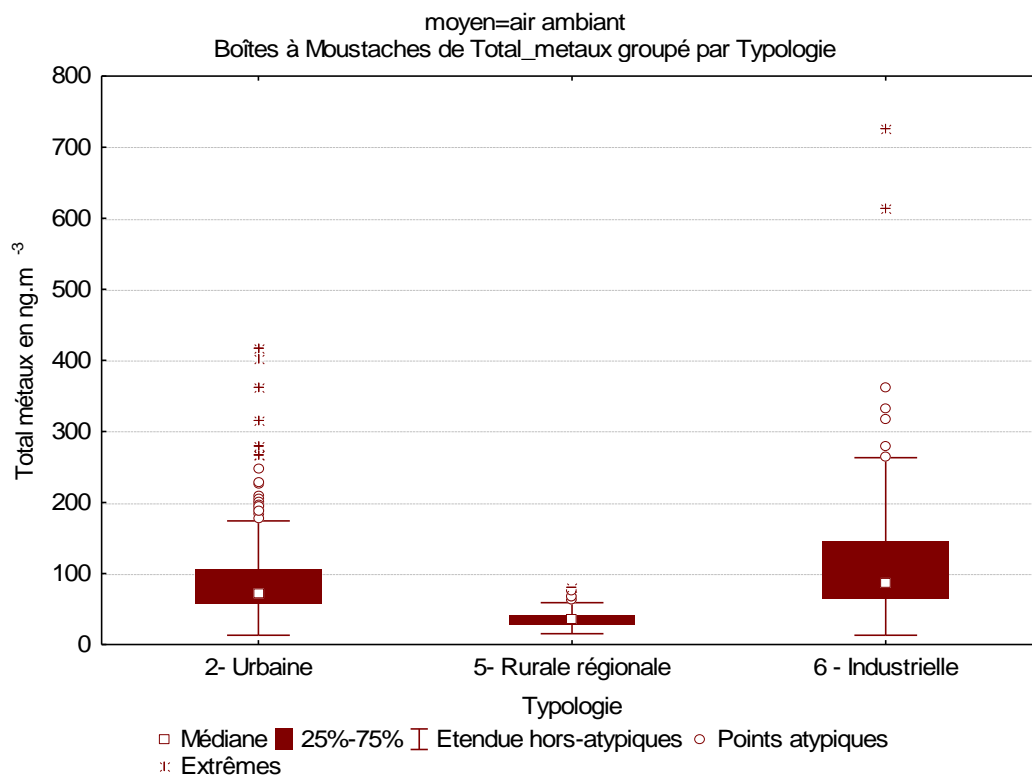


Figure 67 Concentration totale des métaux en fonction de la typologie entre 2006 et 2009



Les niveaux moyens annuels de métaux totaux mesurés sur les sites urbains et les sites de proximité industrielle sont proches. Néanmoins, les niveaux sur une semaine les plus élevés ont été mesurés sur des sites en proximité industrielle.

**a. Métaux lourds dans l'air ambiant sur les stations de référence**

La réglementation française impose depuis plusieurs années une surveillance des métaux lourds dans l'air ambiant. Dans le cadre de cette surveillance réglementaire, les métaux lourds sont surveillés en Rhône-Alpes en continu sur plusieurs stations de typologies différentes (stations urbaines de fond à Lyon, Grenoble et Saint-Etienne, station rurale de Dieulefit et station de proximité industrielle de Vénissieux).

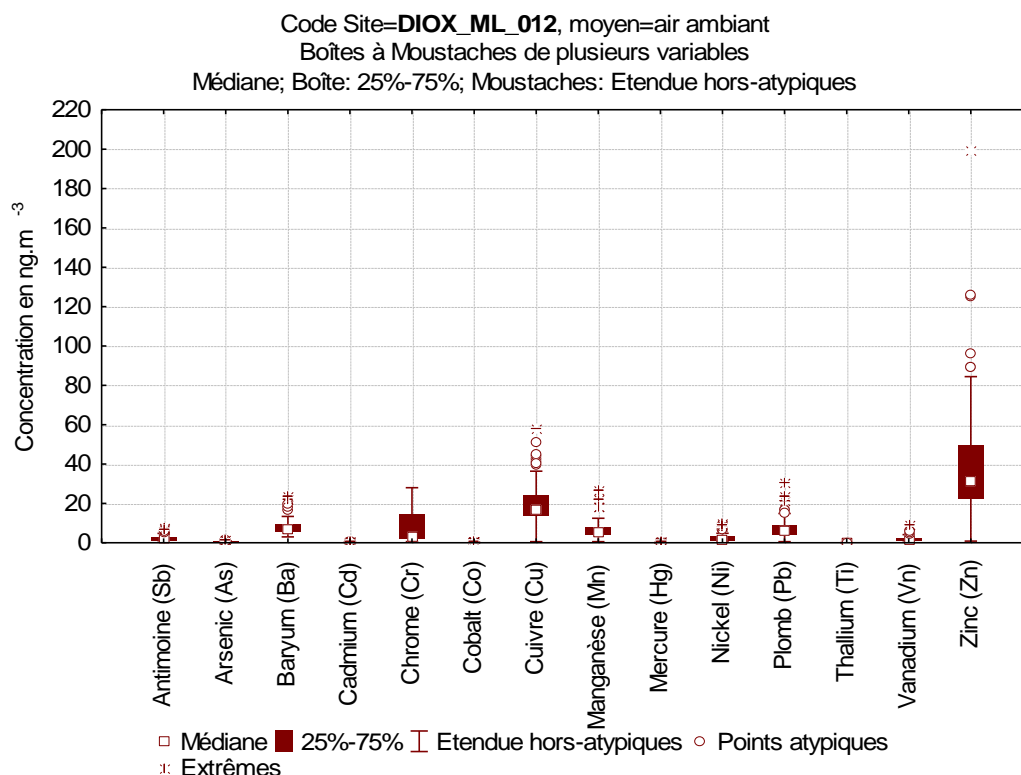


Figure 68 Concentration en métaux lourds sur le site de référence urbaine de Lyon Centre (DIOX\_ML\_012) entre 2006 et 2009

A l'image des dioxines et des autres polluants, il semble exister une certaine saisonnalité des métaux lourds sur le site de Lyon Centre (DIOX\_ML\_012)(Figure 69) : les niveaux moyens en métaux varient d'une année à l'autre et les concentrations maximales sont enregistrées pendant les périodes d'automne et d'hiver.

Cependant, l'analyse statistique de l'homogénéité temporelle des métaux lourds a montré des différences entre les métaux lourds et les dioxines. Ainsi pour le site de Lyon Centre (DIOX\_ML\_012), les facteurs année et saison intervenaient respectivement à hauteur de 10,6% (2% pour les dioxines) et 18,2% (39% pour les dioxines) dans la variance totale. Ces deux pourcentages sont certes significatifs. Mais il est clair que le plus grand pourcentage expliquant la variance appartient aux aléas où à d'autres facteurs non pris en compte pour cette analyse. En effet, l'interaction des deux paramètres saison et année n'explique que 6,7% de la variance totale.

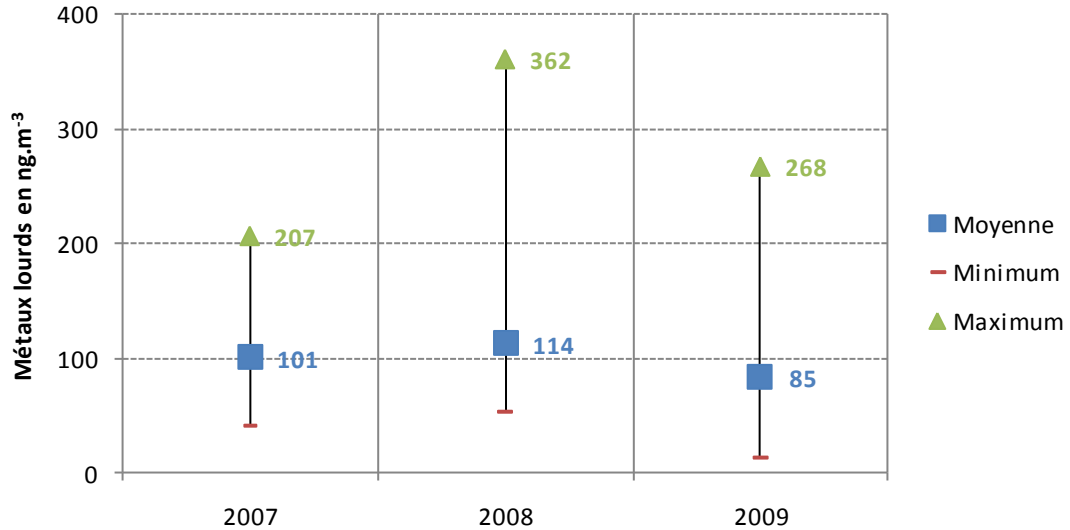


Figure 69 Evolution des niveaux de métaux lourds dans l'air ambiant sur le site de Lyon Centre entre 2007 et 2009

Les graphiques suivants illustrent les concentrations en air ambiant des 14 métaux lourds sur 3 autres sites de référence.

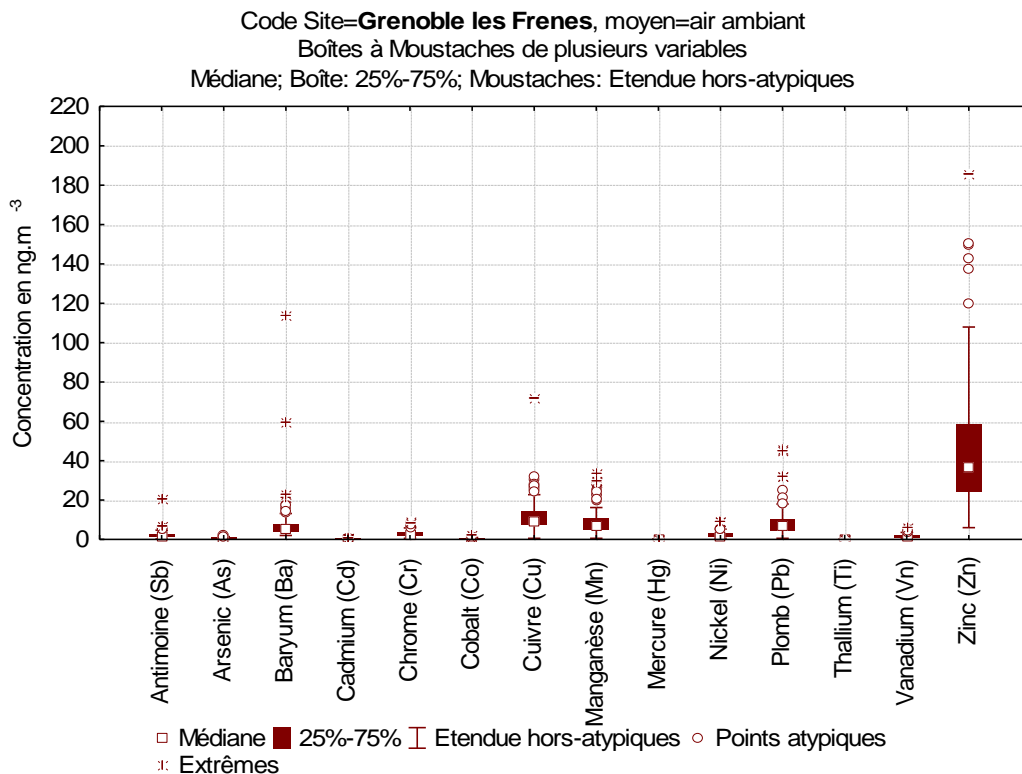


Figure 70 Concentration en métaux lourds sur le site urbain de Grenoble les Frènes (urbain de fond).

Les deux autres graphiques illustrent des sites de typologie très opposée : un site à proximité d'un émetteur industriel et un site en zone rurale.

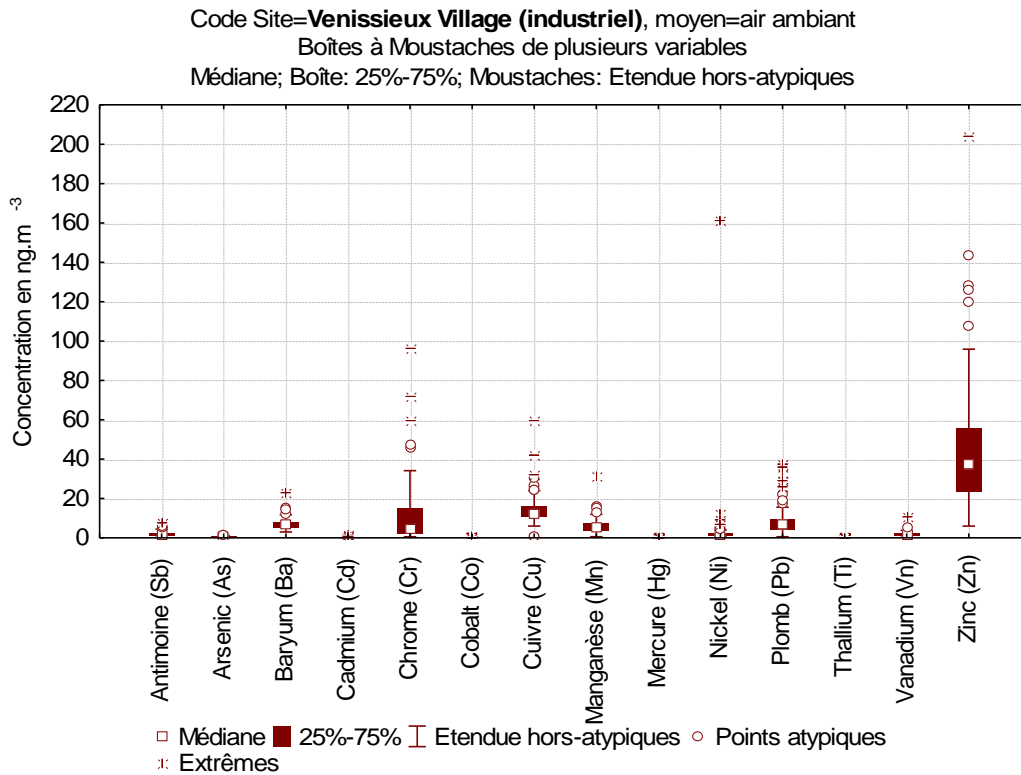


Figure 71 Concentration en métaux lourds sur le site de Vénissieux village (proximité industrielle)

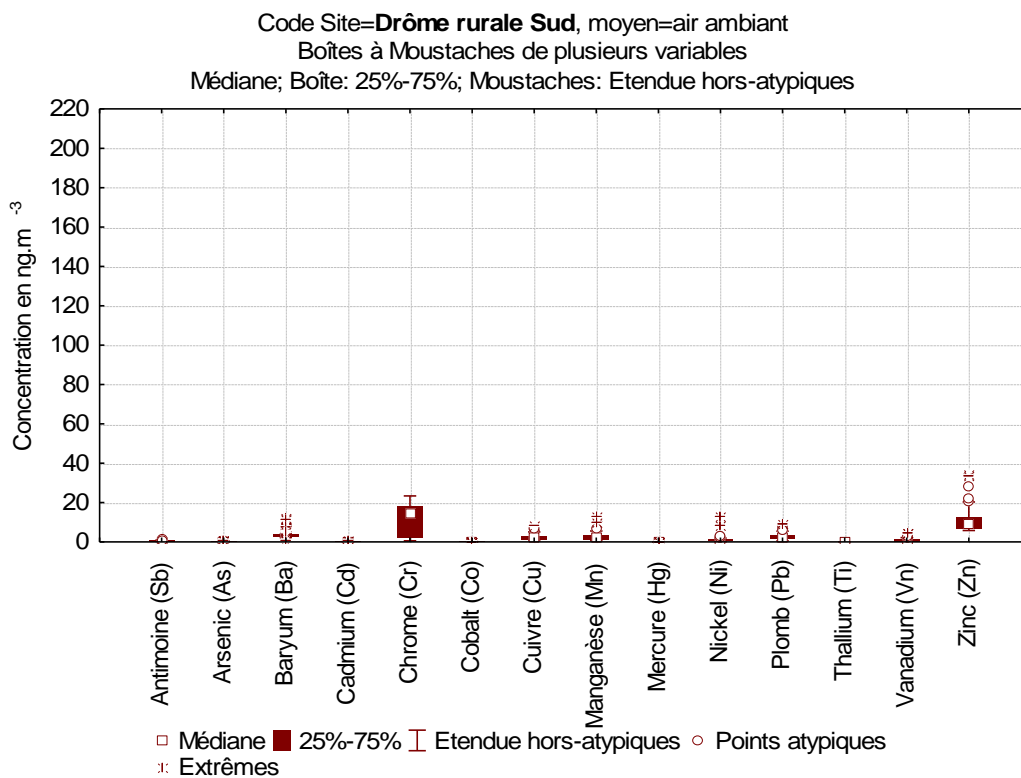


Figure 72 Concentration en métaux lourds sur le site de Drôme Rural Sud (Dieulefit - 26)

En termes de masse, les métaux les plus présents en air ambiant sont le zinc, le cuivre, le chrome et le plomb. Pour l'ensemble des prélèvements, ces 4 métaux représentent environ 76% de la masse totale des métaux mesurés en l'air ambiant.

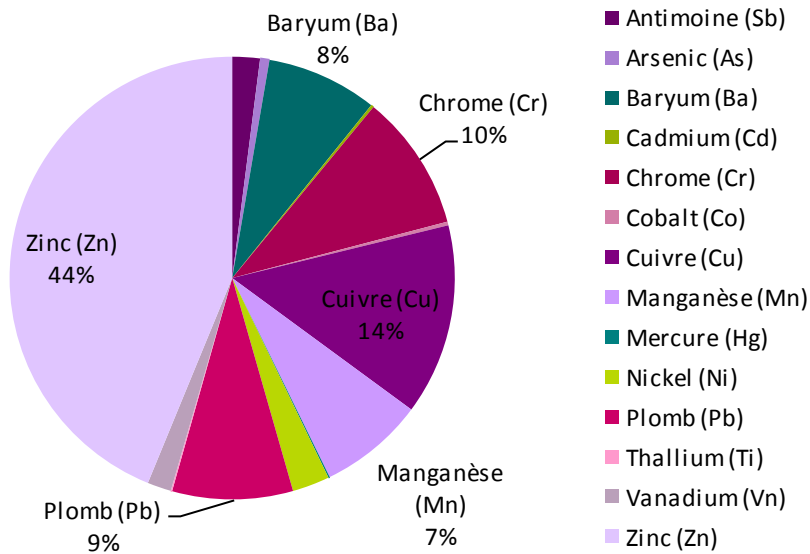
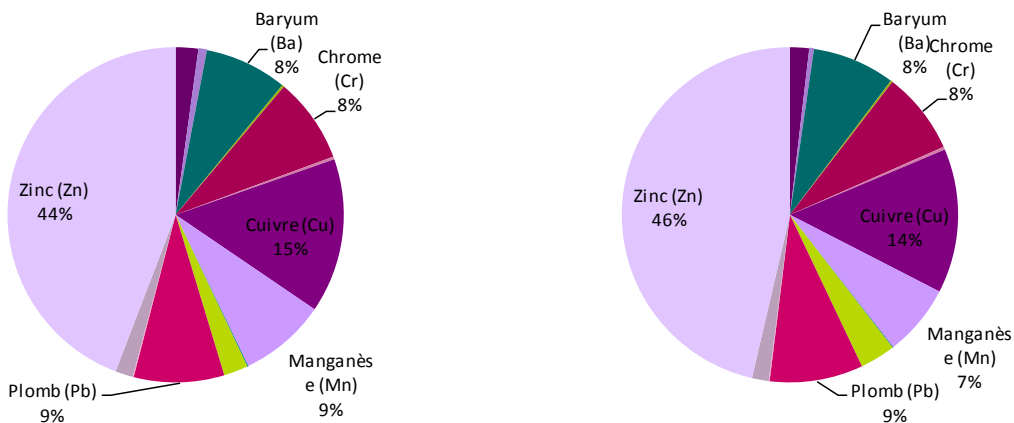


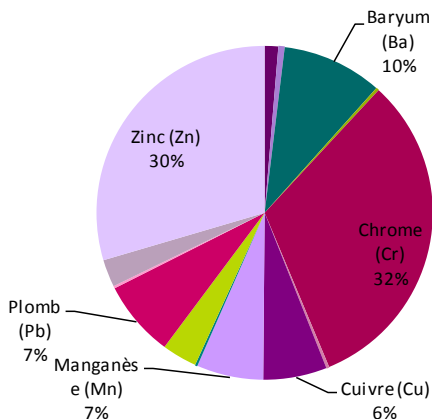
Figure 73 Répartition des métaux dans l'air ambiant pour l'ensemble des prélèvements effectués sur les stations de référence



▲ Sites urbains (moyenne sur les sites urbains de Lyon, Grenoble et Saint-Etienne)

▲ Site industriel

En considérant les concentrations moyennes annuelles, la répartition des métaux est très proche entre les sites urbains et le site industriel.



▲ Site rural de Dieulefit (26)

Cette différence faible entre ces 2 typologies peut s'expliquer par le fait que les sites industriels sont dans la plupart des cas situés en zone urbaine où ils sont donc sous l'influence urbaine et industrielle.

Figure 74 Répartition moyenne des métaux lourds en fonction de la typologie

Il est intéressant de noter que pour le site rural de référence, les quantités totales de métaux lourds sont d'une part inférieures aux autres typologies et d'autre part la répartition des métaux y est aussi différente.

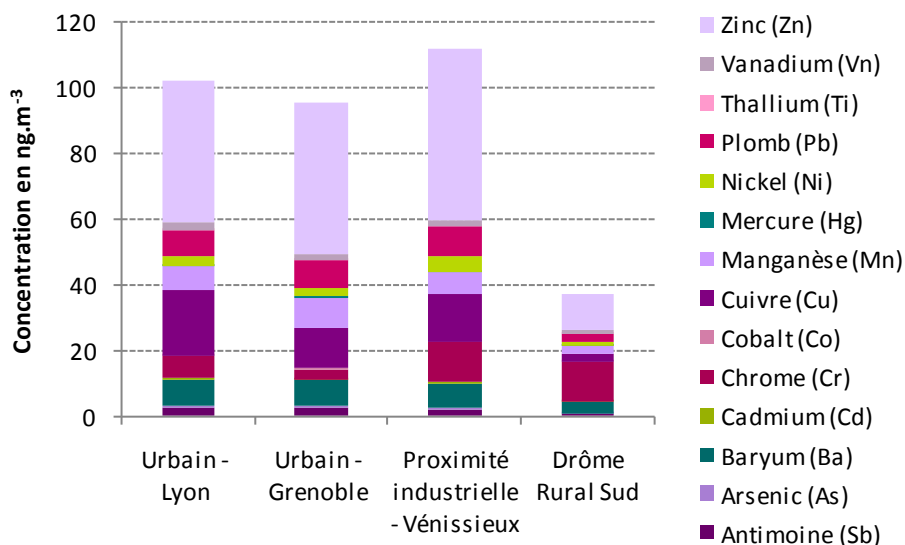


Figure 75 Métaux lourds dans l'air ambiant sur les 4 sites de référence

Les teneurs en chrome sur le site rural sont importantes : il représente 32% de la masse total des métaux sur ce site alors qu'il ne représente que 8% pour les autres sites. Une étude des conditions de prélèvement sur ce site rural en cours ; elle doit statuer sur la validité des résultats de chrome sur ce site.

#### b. Métaux lourds dans l'air ambiant sur les sites du programme

La figure suivante illustre les concentrations moyennes de métaux mesurés en air ambiant uniquement sur les sites du programme. Sur les sites du programme, les concentrations en métaux lourds dans l'air ambiant sont très différentes (Figure 76) : elles vont de 45 ng.m<sup>-3</sup> pour le site le moins chargé (DIOX\_ML\_042 au sud de la plateforme de Pont de Claix) à 178 ng.m<sup>-3</sup> (au nord de la plateforme de Roussillon).

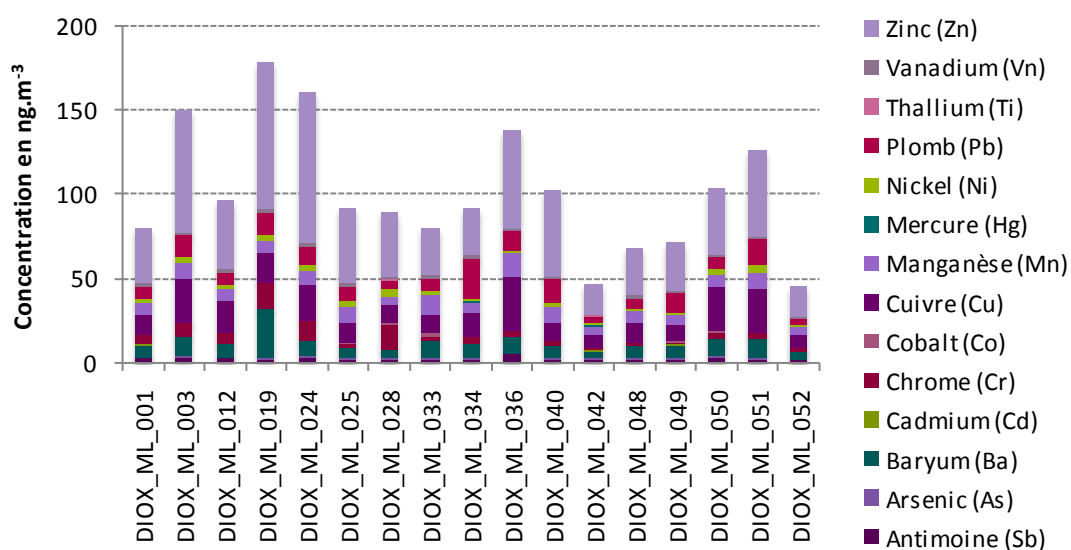


Figure 76 Concentration moyenne de chaque métal en air ambiant sur les sites du programme

Néanmoins, la répartition des métaux reste sensiblement la même entre tous les sites ; les métaux les plus présents sont le zinc (30 à 56%), le cuivre (10 à 25%), le plomb (6 à 26%) et le baryum (5 à 17%).

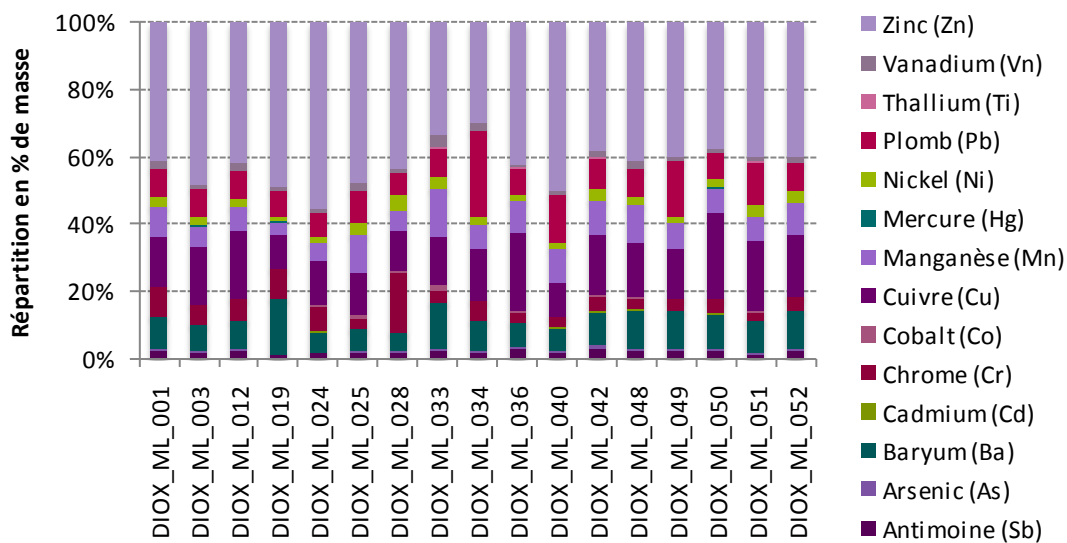


Figure 77 Répartition des métaux en air ambiant sur les sites du programme

### c. Métaux lourds dans l'air ambiant – comparaison aux valeurs réglementaires

Le tableau suivant (Tableau 23) compare l'estimation des moyennes annuelles d'arsenic, de cadmium et de plomb aux valeurs réglementaires dans l'air ambiant.

Code site	Nom rapport	Année	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)
<b>Valeur réglementaire en ng.m<sup>-3</sup> en moyenne annuelle</b>			<b>6</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>250</b>
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	2007	0,64	0,49	2,98	9,57
DIOX_ML_003	Sud Lyonnais - STEP St Fons Nord, Rhodia Operations Sud	2008	0,44	0,24	5,06	12,09
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	2008	0,56	0,19	2,63	7,85
DIOX_ML_019	Plateforme de Salaise sur Sanne - Nord	2008	0,78	0,21	3,02	13,67
DIOX_ML_024	Neuville sur Saône - Nord Ouest	2008	0,44	0,23	2,93	11,28
DIOX_ML_025	Plateforme de Pont de Pont de Claix - Nord	2008	0,44	0,18	3,19	8,63
DIOX_ML_028	UIOM Rillieux la Pape - Sud	2008	0,40	0,20	4,14	5,83
DIOX_ML_001	Sud Lyonnais - STEP Pierre Bénite Nord & Arkema Pierre Bénite Sud	2009	0,43	0,17	2,33	6,68
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	2009	0,44	0,17	2,32	6,51
DIOX_ML_033	Plateforme de Jarrie - Sud	2009	0,51	0,15	3,02	6,73
DIOX_ML_034	Sud Lyonnais - UIOM Gerland - Nord	2009	0,37	0,20	2,16	23,44
DIOX_ML_036	UIOM Athanor - Sud Ouest	2009	0,65	0,18	1,81	11,33
DIOX_ML_040	Saint Pierre de Chandieu - Sud	2009	0,43	0,30	1,71	13,34
DIOX_ML_042	Plateforme de Pont de Claix - Sud	2009	0,49	0,11	1,54	4,28
DIOX_ML_012	Réf. Urbaine - Agglo de Lyon	2010	0,53	0,18	2,12	8,00

Tableau 23 Comparaison aux valeurs réglementaires concernant l'arsenic, le cadmium et le plomb dans l'air ambiant

L'ensemble des sites de mesures respecte les valeurs réglementaires concernant l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb dans l'air ambiant

## 2. Métaux lourds dans les retombées atmosphériques

La figure suivante (Figure 78) illustre les résultats des mesures de métaux totaux dans les retombées atmosphériques. Cette figure met en évidence deux sites dont la distribution des quantités totales de métaux est atypique : il s'agit des deux sites de Saint Pierre de Chandieu (DIOX\_ML\_032 et DIOX\_ML\_043).



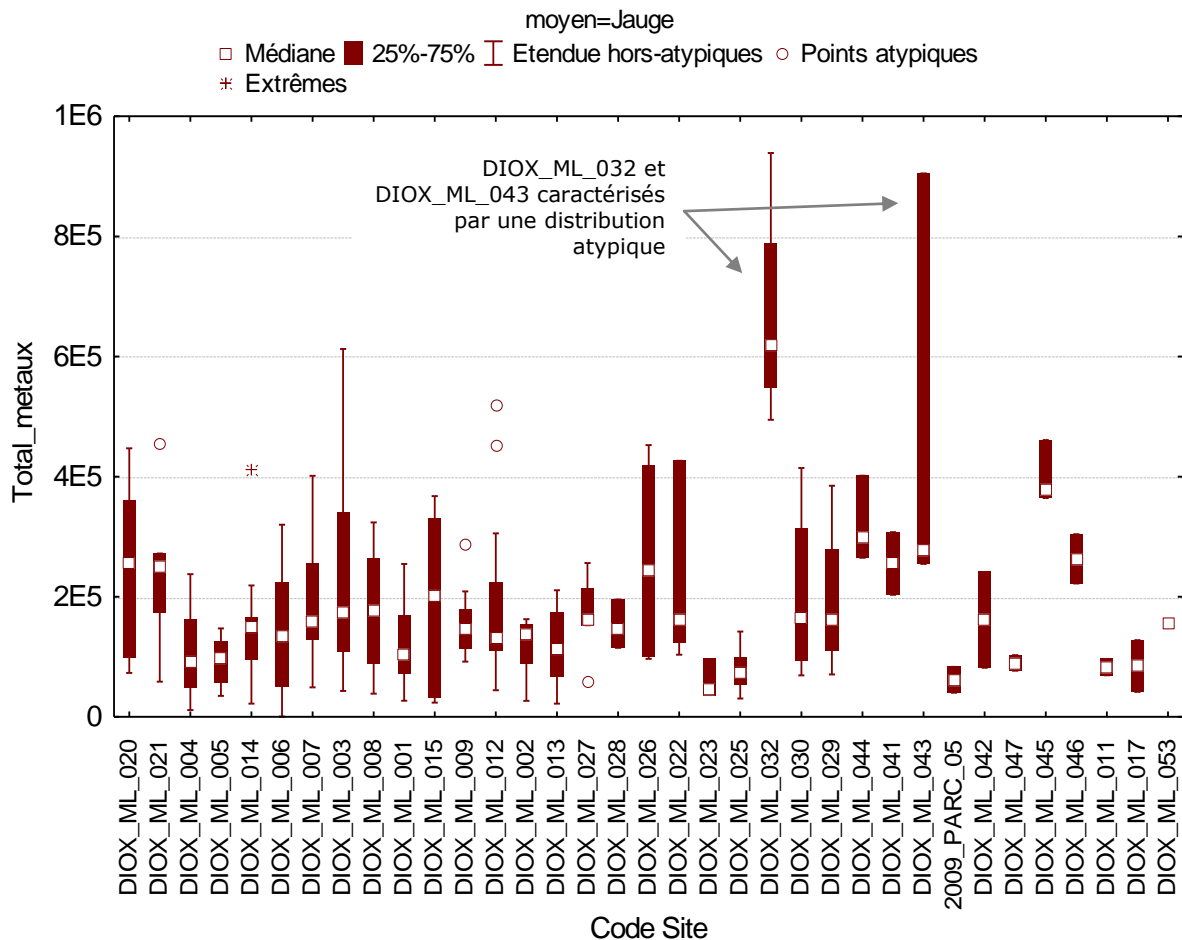


Figure 78 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) dans les retombées atmosphériques

Les quantités totales de métaux dans les retombées sont hétérogènes entre les différents sites de mesures (Figure 79).



Figure 79 Retombées moyennes en métaux lourds depuis 2006

La figure suivante (Figure 80) classe les quantités totales de métaux en fonction des différentes zones. Les niveaux de métaux lourds les plus élevés dans les retombées sont

mesurés sur la zone de Saint Pierre de Chandieu puis sur celle Bourgoin jallieu. Dans les deux cas, les niveaux observés peuvent être influencés par d'autres activités à proximité des sites de mesures.

En effet, à Saint Pierre de Chandieu, les activités des entreprises voisines ou la présence de dépôts de terres polluées peuvent expliquer les niveaux mesurés. Le stockage de terres polluées peut être à l'origine d'une remise en suspension de poussières grossières par le vent qui sont ensuite collectées dans les jauges. Cette hypothèse de l'influence de la remise en suspension de poussières grossières à Saint Pierre de Chandieu est confortée par le fait que les niveaux de métaux lourds dans l'air ambiant (phase particulaire inférieure à 10 microns,  $PM_{10}$ ) n'étaient pas élevés.

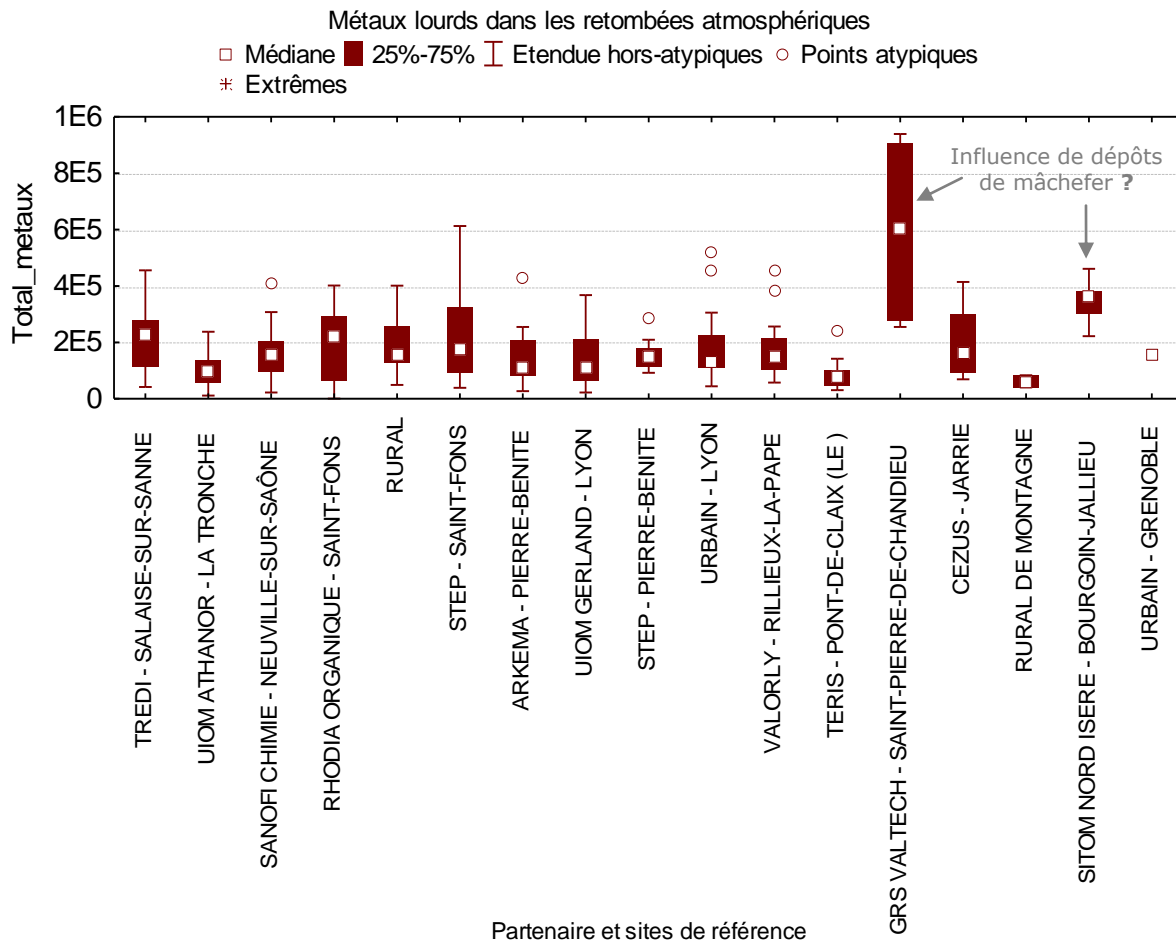


Figure 80 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) dans les retombées atmosphériques à proximité des différents partenaires

L'hypothèse de l'influence des dépôts de mâchefer et gravats est aussi à prendre en compte pour les deux sites de Bourgoin Jallieu où les données de métaux dans les retombées sont plus élevées (Figure 80).

Comme pour l'air ambiant, les quantités totales de métaux lourds dans les retombées sont hétérogènes (Figure 81).

Néanmoins, la répartition moyenne des métaux dans les retombées atmosphériques est similaire sur la plupart des sites sauf pour deux sites qui présentent des quantités de zinc importantes dans les retombées. Il s'agit d'un site à Pierre Bénite (DIOX\_ML\_022) et de deux sites à Saint Pierre de Chandieu (Figure 81).

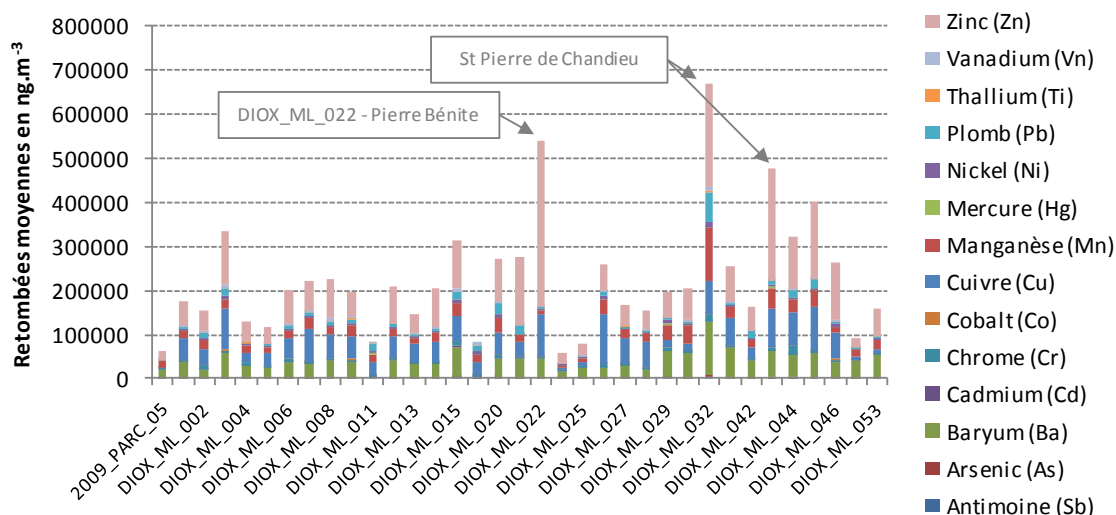


Figure 81 Retombées moyennes en métaux lourds depuis 2006

**a. Métaux lourds dans les retombées atmosphériques sur les sites de référence**

Dans le cadre de ce programme, les métaux lourds sont surveillés en continu dans les retombées atmosphériques sur une station de référence urbaine (DIOX\_ML\_012 à Lyon centre) et une station rurale (DIOX\_ML\_007 à Saint Germain au Mont d'Or).

En termes de quantité, les métaux les plus présents dans les retombées sur ces deux sites sont le zinc, le cuivre et le baryum.

Code Site=DIOX\_ML\_012, moyen=Jauge  
Boîtes à Moustaches de plusieurs variables  
Médiane; Boîte: 25%-75%; Moustaches: Etendue hors-atypiques

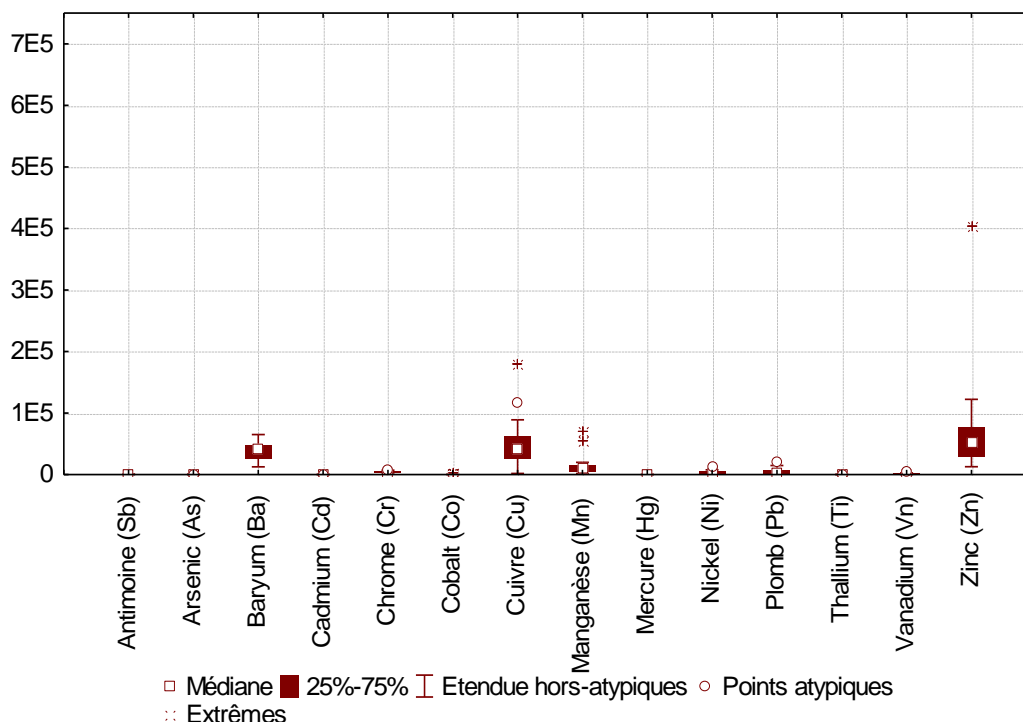


Figure 82 Retombées atmosphériques de métaux sur le site de référence urbaine (DIOX\_ML\_012 dans le centre de Lyon). Les retombées atmosphériques sont exprimées en  $\text{ng.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$

Code Site=DIOX\_ML\_007, moyen=Jauge  
Boîtes à Moustaches de plusieurs variables  
Médiane; Boîte: 25%-75%; Moustaches: Etendue hors-atypiques

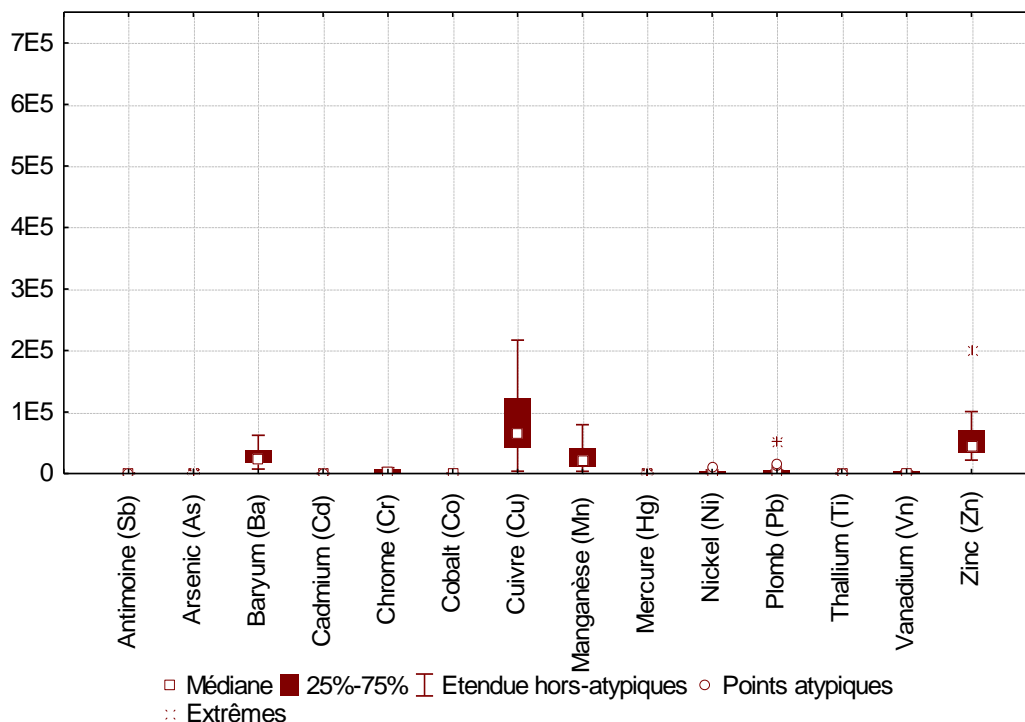
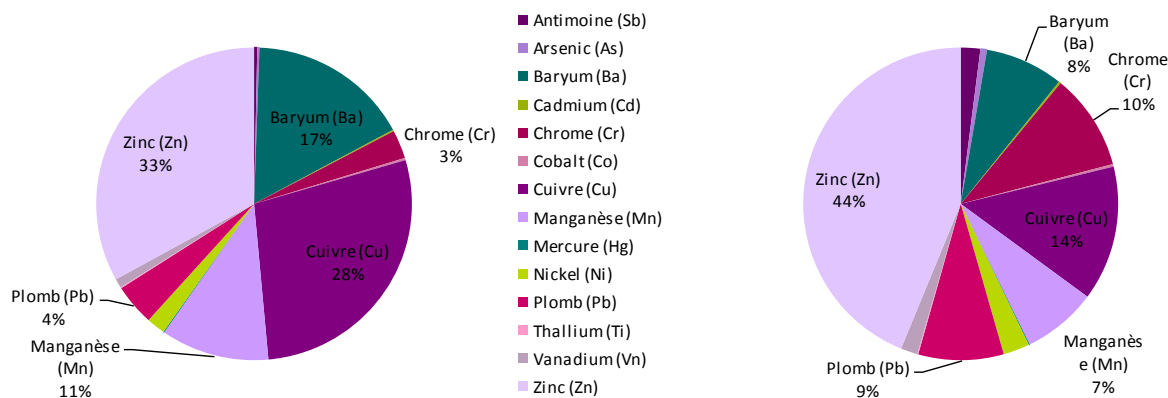


Figure 83 Retombées atmosphériques de métaux sur le site de référence rurale (DIOX\_ML\_007 à Saint Germain au Mont d'Or)

Sur les deux sites de référence, ces 3 métaux (zinc, cuivre et baryum) représentent 76% des métaux mesurés dans les retombées atmosphériques.

La répartition des métaux lourds entre les retombées atmosphériques et l'air ambiant est légèrement différente (Figure 84).



Retombées atmosphériques

Air ambiant (PM<sub>10</sub>)

Figure 84 Répartition des métaux dans les retombées atmosphériques (à gauche) et dans l'air ambiant (à droite)

Cette différence de profil peut s'expliquer par les propriétés physiques des métaux et par les différences météorologiques. La mesure en air ambiant n'évalue que les métaux lourds présents dans les particules inférieures à 10 microns qui sont émises principalement par les activités humaines (cendres et suies issues des processus de combustion).

La mesure des retombées atmosphériques évalue, quant à elle, les métaux lourds présents dans l'ensemble des poussières **sédimentables**. Cette mesure concerne donc les particules de toute taille qui comprennent une partie des particules de taille inférieures à 10 microns qui sédimentent en un jour ainsi que les particules grossières (diamètre compris entre 10 et 200 microns) qui sédimentent beaucoup plus rapidement. Les particules grossières peuvent être issues de l'érosion des sols par le vent : elles font partie de l'aérosol terrigène qui est mis en suspension lorsque le vent dépasse 3 mètres par seconde. Cet aérosol est principalement constitué d'oxydes métalliques (fer, manganèse) et d'aluminosilicates (oxydes d'aluminium et de silicium)<sup>9</sup>. Des particules grossières peuvent aussi être remises en suspension par les activités humaines (usure des pneus ou des caténaires, chantiers, etc.).

En cas de pollution des sols pour un site, la mesure des retombées atmosphériques par jauges peut donc être influencée par cette pollution locale.

**b. Métaux lourds dans les retombées – Comparaison aux valeurs réglementaires**

Le tableau suivant (Tableau 23) récapitule les **dépassements des valeurs réglementaires** allemandes concernant cadmium, mercure, arsenic, plomb, nickel et thallium dans les retombées. Pour les valeurs maximales, le tableau indique l'année correspondante et le site de mesures (code site et nom du site).

	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Thallium (Tl)
<b>Valeur réglementaire (ng.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>)</b>	4000	2000	1000	15000	100000	2000
<b>Nbre de sites ne respectant pas la valeur réglementaire</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	0	0	0	0
<b>Moyenne de l'ensemble des sites</b>	552	316	195	4541	9855	238
<b>Minimum pour l'ensemble des sites</b>	18	18	18	147	186	18
<b>Maximum pour l'ensemble des sites</b>	<b>4142</b>	<b>4355</b>	428	12681	64851	609
<b>Année</b>	2009	2008	2008			
<b>Code site</b>	DIOX_ML_032	DIOX_ML_015	DIOX_ML_014	DIOX_ML_020	DIOX_ML_032	DIOX_ML_017
<b>Nom du site</b>	Saint Pierre de Chandieu - Sud	Sud Lyonnais - UIOM Gerland - Sud	Neuville sur Saône - Nord	Plateforme de Salaise sur Sanne - Sud	Saint Pierre de Chandieu - Sud	Plateforme de Salaise sur Sanne - Nord

Tableau 24 Dépassements des valeurs réglementaires concernant les métaux lourds depuis 2006

Depuis le début du programme en 2006, les dépassements de valeurs réglementaires allemandes concernant les retombées atmosphériques ont été enregistrés sur le site de Saint Pierre de Chandieu pour l'arsenic en 2009 et un site du sud lyonnais pour le cadmium en 2008.

<sup>9</sup> Masclat, P. ; Cachier, H. L'aérosol atmosphérique Caractéristiques physico-chimiques, Analisis Magazine, 1998, 26, N°9

Les valeurs réglementaires concernant le mercure, le plomb et le thallium ont été respectées sur l'ensemble des sites depuis 2006.

## 7. Conclusion

**2006-2009, un programme qui a évolué...** : Ce programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds qui a débuté en 2006 a connu plusieurs phases. La première phase, réalisée sur les années 2006 et 2007, a permis d'élaborer une stratégie de surveillance puis de dresser un premier état des lieux des dioxines et des métaux lourds dans l'air, les retombées dans des zones sous l'influence potentielle d'unités émettrices de ces polluants. Ce programme comprenait en parallèle l'élaboration d'un cadastre régional concernant ces polluants.

Depuis 2007, ce programme s'est étoffé de nouveaux partenaires dont l'intégration a permis d'agrandir le champ d'investigation à d'autres zones de la région.

Ce programme répond aujourd'hui à un des ses principaux objectifs qui est la constitution d'une base de mesures comparable sur les dioxines, furanes et métaux lourds. Avec le temps, cette base s'est considérablement étoffée.

**De l'observation à l'interprétation...** : La multiplication des mesures contribue à l'amélioration des connaissances sur les dioxines et les furanes. Ainsi, l'interprétation de ces mesures a aussi permis de proposer des **valeurs de référence** pour ces polluants qui ne sont pas actuellement réglementés dans l'air ambiant, ni dans les retombées atmosphériques.

	Valeurs de référence en ITEQ OMS 97	Période de calcul
<b>Air ambiant (pg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0,1</b>	7 jours
	<b>0,04</b>	1 année
<b>Retombées atmosphériques totales (pg/m<sup>2</sup>/j<sup>-1</sup>)</b>	<b>40</b>	2 mois
	<b>10</b>	1 année

Tableau 25 Valeurs de référence proposées pour les dioxines et furanes en air ambiant et dans les retombées atmosphériques totales. Ces valeurs sont exprimées dans le référentiel ITEQ OMS 97.

**De l'interprétation à l'action...** : Ces valeurs de référence ainsi que les valeurs réglementaires pour les métaux lourds ont mis en évidence dans certains cas des secteurs où les niveaux mesurés, supérieurs à ces valeurs, ont provoqué la mise en place d'actions complémentaires. Dans certains cas comme à Pont de Claix (38), ces actions comprenaient notamment des mesures visant directement à réduire les niveaux de dioxines dans les émissions et l'air ambiant.

**En 2010 et après...** : Parmi les perspectives de ce programme, cette base de mesures a été améliorée au cours de l'année 2010 afin de permettre une analyse statistique plus poussée des résultats. Cette analyse s'est attachée à caractériser la variance temporelle des mesures ainsi que les éventuels liens qui existent entre dioxines, furanes, métaux lourds et d'autres paramètres mesurés.

Le programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds servira aussi de support à la constitution d'autres actions ponctuelles, comme par exemple l'élargissement des composés surveillés en 2010 avec une évaluation du Chrome VI sur plusieurs sites du programme. Enfin, le dispositif de mesures a évolué en 2010 avec, pour les retombées



atmosphériques, le déplacement de la référence rurale et la mise en place d'une nouvelle référence urbaine à Grenoble. Il sera encore susceptible d'évoluer après 2010.

## Annexes 1 : Partenaires du programme

Au 1<sup>er</sup> janvier 2010, le programme comptait 13 partenaires.

Partenaires	Activité	Commune	Zone	Année d'entrée dans le programme
<b>Station d'épuration de Pierre Bénite</b>	Station de traitement des Eaux (STEP)	Pierre Bénite (69)	Sud lyonnais	2006
<b>Station d'épuration de Saint Fons</b>	Station de traitement des Eaux (STEP)	Saint Fons (69)	Sud lyonnais	2006
<b>Usine de Lyon Sud</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Lyon (69)	Sud lyonnais	2006
<b>Athanor</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	La Tronche (38)	Agglomération de Grenoble	2006
<b>Arkema</b>	Chimie	Pierre Bénite (69)	Sud lyonnais	2006
<b>Rhodia Operations</b>	Chimie	Saint Fons (69)	Sud lyonnais	2006
<b>Sanofi Chimie</b>	Industrie pharmaceutique	Neuville sur Saône (69)	Val de Saône	2006
<b>TREDI</b>	Usine de traitement thermique de différents types de déchets	Salaise Sur Sanne (38)	Vallée du Rhône	2007
<b>TERIS</b>	Usine de traitement thermique de différents types de déchets	Pont de Claix (38)	Agglomération de Grenoble	2008
<b>GRS Valtech</b>	Usine de traitement thermique des terres	Saint Pierre de Chandieu (69)	Est lyonnais	2008
<b>CEZUS</b>	Chimie minérale et métallurgie	Jarrie (38)	Agglomération de Grenoble	2008
<b>VALORLY</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Rillieux La Pape (69)	Côtière de l'Ain	2008
<b>SITOM Nord Isère</b>	Usine d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)	Bourgoin Jallieu (38)	Nord Isère	2009

Tableau 26 Liste des partenaires du programme

## Annexes 2 : Sites de mesures des retombées atmosphériques

Depuis le début du programme, les mesures de dioxines et métaux lourds dans les retombées ont été effectuées sur 34 sites et concernent 197 prélèvements de deux mois.

Code site	partenaire(s)	Début mesures	Dernières mesures	Nombre de mesures
DIOX_ML_001	ARKEMA Pierre Bénite; STEP Pierre Bénite	24-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_002	SANOFI Chimie	24-oct-06	11-août-08	5
DIOX_ML_003	STEP Saint Fons; RHODIA Operations - Saint Fons	24-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_004	UIOM Athanor - La Tronche	06-févr-07	02-févr-10	8
DIOX_ML_005	UIOM Athanor - La Tronche	30-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_006	RHODIA Operations - Saint Fons	23-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_007	Rural	24-oct-06	08-déc-09	16
DIOX_ML_008	STEP Saint Fons	24-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_009	STEP Pierre Bénite	24-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_011	ARKEMA Pierre Bénite	25-oct-06	06-févr-07	2
DIOX_ML_012	URBAIN - Lyon	24-oct-06	02-févr-10	17
DIOX_ML_013	UIOM Gerland	24-oct-06	02-févr-10	8
DIOX_ML_014	SANOFI Chimie	25-oct-06	02-févr-10	9
DIOX_ML_015	RHODIA Operations - Saint Fons; UIOM Gerland	24-oct-06	05-août-08	6
DIOX_ML_017	TREDI Salaise sur Sanne	24-oct-06	05-févr-07	2
DIOX_ML_020	TREDI Salaise sur Sanne	10-juin-07	03-févr-10	7
DIOX_ML_021	TREDI Salaise sur Sanne	10-juin-07	03-févr-10	7
DIOX_ML_022	ARKEMA Pierre Bénite	27-févr-08	02-févr-10	5
DIOX_ML_023	TERIS Pont de Claix	28-févr-08	02-mars-09	3
DIOX_ML_025	TERIS Pont de Claix	28-févr-08	03-févr-10	5
DIOX_ML_026	VALORLY Rillieux la Pape	27-févr-08	29-juil-09	4
DIOX_ML_027	VALORLY Rillieux la Pape	27-févr-08	02-févr-10	5
DIOX_ML_028	VALORLY Rillieux la Pape	27-févr-08	20-févr-09	3
DIOX_ML_029	CEZUS Jarrie	15-sept-08	04-févr-10	4
DIOX_ML_030	CEZUS Jarrie	15-sept-08	05-févr-10	4
DIOX_ML_032	GRS Valtech - Saint Pierre de Chandieu	05-août-08	02-févr-10	4
DIOX_ML_041	SANOFI Chimie	20-févr-09	02-févr-10	3
DIOX_ML_042	TERIS Pont de Claix	29-juil-09	06-févr-10	2
DIOX_ML_043	GRS Valtech - Saint Pierre de Chandieu	23-févr-09	02-févr-10	3
DIOX_ML_044	RHODIA Operations - Saint Fons	20-févr-09	02-févr-10	3
DIOX_ML_045	SITOM Nord Isère	03-août-09	02-févr-10	3
DIOX_ML_046	SITOM Nord Isère	09-oct-09	02-févr-10	2
DIOX_ML_047	VALORLY Rillieux la Pape	02-août-09	02-févr-10	2
DIOX_ML_053	URBAIN - Grenoble	01-févr-10	01-févr-10	1

Tableau 27 Liste des sites de mesures des retombées atmosphériques – Ces prélèvements concernent la mesure des retombées atmosphériques totales sur une durée de 2 mois.

### Annexes 3 : Sites de mesures en air ambiant

Depuis le début du programme, les mesures de dioxines et métaux lourds en air ambiant ont été effectuées sur 16 sites et concernent 256 prélèvements d'une semaine.

Code site	Incinérateur(s) surveillé(s) / Environnement surveillé	Début des mesures	Dernières mesures	Nombre de prélèvements
DIOX_ML_001	ARKEMA Pierre Bénite; STEP Pierre Bénite	16-févr-09	23-nov-09	8
DIOX_ML_003	STEP Saint Fons; RHODIA Operations - Saint Fons	18-févr-08	25-janv-10	10
DIOX_ML_012	URBAIN - Lyon	06-janv-07	05-avr-10	158
DIOX_ML_019	TREDI Salaise sur Sanne	17-mars-08	24-nov-08	8
DIOX_ML_024	SANOFI Chimie	18-févr-08	02-nov-08	8
DIOX_ML_025	TERIS Pont de Claix	18-févr-08	03-nov-08	8
DIOX_ML_028	VALORLY Rillieux la Pape	17-mars-08	24-nov-08	8
DIOX_ML_033	CEZUS Jarrie	26-janv-09	13-nov-09	8
DIOX_ML_034	UIOM Gerland	02-févr-09	23-nov-09	8
DIOX_ML_036	UIOM Athanor - La Tronche	09-févr-09	27-nov-09	8
DIOX_ML_040	GRS Valtech - Saint Pierre de Chandieu	02-mars-09	28-déc-09	8
DIOX_ML_042	TERIS Pont de Claix	03-mars-09	16-déc-09	8
DIOX_ML_048	VALORLY Rillieux la Pape	22-mars-10	29-mars-10	2
DIOX_ML_049	SANOFI Chimie	01-mars-10	08-mars-10	2
DIOX_ML_050	RHODIA Operations - Saint Fons; UIOM Gerland	08-févr-10	15-févr-10	2
DIOX_ML_052	SITOM Nord Isère	23-févr-10	02-mars-10	2

Tableau 28 Liste des sites de mesures en air ambiant – Ces mesures concernent des prélèvements en air ambiant d'une durée d'une semaine

## Annexes 4 : Lecture des boîtes à moustache

Dans les Boîtes à Moustaches (le terme a été utilisé pour la première fois par Tukey en 1970), les étendues ou les valeurs caractéristiques de la distribution d'une ou de plusieurs variables sélectionnées sont tracées séparément par groupes définis d'observations selon les valeurs d'une variable catégorielle (classement). La tendance centrale (par exemple, la médiane dans notre cas ou la moyenne), et l'étendue ou la dispersion statistique (par exemple les quartiles dans notre cas, erreurs-types, ou écarts-types) sont calculées pour chaque groupe d'observations et les valeurs sélectionnées sont représentées dans le type de boîtes à moustaches sélectionné.

### Atypiques et Extrêmes

Les valeurs "éloignées" du centre de la distribution sont appelées **points atypiques et valeurs extrêmes** si elles répondent aux conditions ci-dessous :

- **Points atypiques** : Dans les boîtes à moustaches, un point est considéré comme atypique s'il respecte les conditions suivantes :

valeur du point de données  $> VSB + c.a.*(VSB - VIB)$

ou

valeur du point de données  $< VIB - c.a.*(VSB - VIB)$

avec :

**VSB** représentant la valeur supérieure de la boîte à moustaches (par exemple : moyenne + erreur-type ou le 3ème quartile).

**VIB** représentant la valeur inférieure de la boîte à moustaches (par exemple : moyenne - erreur-type ou le 1er quartile).

**c.a** représentant le coefficient aberrant et égal à 1,5

- **Points Extrêmes** : Dans les boîtes à moustaches, un point est considéré comme extrême s'il respecte les conditions suivantes :

valeur du point de données  $> VSB + 2*c.a.*(VSB - VIB)$

ou

valeur du point de données  $< VIB - 2*c.a.*(VSB - VIB)$

avec :

**VSB** représentant la valeur supérieure de la boîte à moustaches (par exemple : moyenne + erreur-type ou le 3ème quartile).

**VIB** représentant la valeur inférieure de la boîte à moustaches (par exemple : moyenne - erreur-type ou le 1er quartile).

**c.a** représentant le coefficient aberrant et égal à 1,5 ; par conséquent, les valeurs extrêmes sont celles qui se situent en dehors d'un intervalle égal à 3 fois la longueur de

la boîte, c'est-à-dire 3 fois l'intervalle entre la valeur inférieure et la valeur supérieure de la boîte.

Le diagramme suivant illustre les étendues de points aberrants et extrêmes dans une boîte à moustaches "classique" où la valeur supérieure de la boîte (VSB) représente le 3ème quartile, la valeur inférieure de la boîte (VIB) représente le 1er quartile et le coefficient aberrant est égal à 1,5.

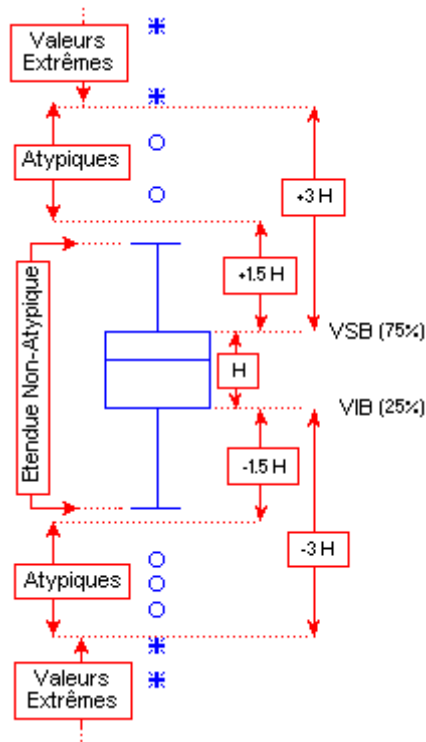


Figure 85 Construction d'une boîte à moustaches

## Table des illustrations

Figure 1 Localisation des partenaires engagés dans le programme en 2009 .....	7
Figure 2 La dioxine de Seveso, la 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxine ou 2,3,7,8 TCDD...13	13
Figure 3 Répartition sectorielle des émissions de dioxines en gITEQ en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1).....	14
Figure 4 Répartition sectorielle des émissions de dioxines en % en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1) .....	14
Figure 5 Emissions de dioxines du secteur industriel en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (version 2010-1) .....	15
Figure 6 Carte des <b>secteurs</b> dont la somme des émissions représente 46% des émissions régionales totales de dioxines et furanes. Les carrés noirs correspondent aux sites de mesures des dioxines et métaux lourds .....	15
Figure 7 Emissions totales de métaux lourds en kg en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007 (Version 2010-1).....	18
Figure 8 Répartition sectorielle des émissions totales de métaux lourds en Rhône-Alpes entre 2000 et 2007.....	18
Figure 9 Répartition sectorielle des émissions de métaux lourds en Rhône-Alpes .....	19
Figure 10 Répartition des émissions de métaux en 2007.....	19
Figure 11 Contribution de chaque secteur industriel dans les émissions de métaux lourds en Rhône-Alpes en 2007 .....	20
Figure 12 Jauges de mesures des retombées atmosphériques, dites « jauges Owen »...21	21
Figure 13 Jauges de mesures des retombées atmosphériques installées dans la station rurale de la plaine de la Bièvre .....	24
Figure 14 Jauges de mesures des retombées atmosphériques installées sur le toit de la station urbaine de fond « Grenoble les Frênes » .....	24
Figure 15 Carte des sites de mesures du programme depuis 2006 .....	25
Figure 16 Carte des partenaires et des sites de mesures dans le sud lyonnais .....	26
Figure 17 Carte des 3 partenaires et des sites de mesures dans l'agglomération de Grenoble .....	27
Figure 18 Sites ayant fait l'objet de mesures en air ambiant en 2008 et 2009 .....	28
Figure 19 Distribution des concentrations de dioxines en air ambiant .....	31
Figure 20 Principales statistiques de l'ITEQ OMS 97 dans l'air ambiant .....	32
Figure 21 Répartition de l'ITEQ OMS 97 moyen dans l'air ambiant depuis le début du programme.....	34
Figure 22 Principales statistiques des prélèvements de dioxines en air ambiant dans les différentes zones .....	34
Figure 23 Maximum de l'ITEQ OMS 97 sur l'ensemble des sites du programme .....	36
Figure 24 ITEQ OMS 97 en $\text{pg.m}^{-3}$ en décembre 2006 et février 2009 sur les sites de la région de Lyon .....	36
Figure 25 ITEQ OMS 97 en $\text{pg.m}^{-3}$ sur deux sites de l'agglomération grenobloise .....	37
Figure 26 Bilan des mesures de dioxines en air ambiant pour les années 2008 et 2009 – Comparaison à la valeur de référence annuelle ( $0,04 \text{ pg.m}^{-3}$ ).....	38
Figure 27 Evolution temporelle des dioxines dans l'air ambiant sur tous les sites de mesures. Les étiquettes des abscisses correspondent au mois et à l'année (C_4_2007 = avril 2007).....	39
Figure 28 ITEQ OMS 97 moyen mensuel sur l'ensemble des sites .....	40
Figure 29 Evolution des niveaux de dioxines en air ambiant sur le site de Lyon Centre entre 2007 et 2009.....	40
Figure 30 Evolution temporelle des dioxines dans l'air ambiant sur le site urbain de référence de Lyon centre .....	41
Figure 31 Corrélation entre l'ITEQ OMS 97 en ordonnées et la température en abscisse à Lyon centre .....	41
Figure 32 Corrélation entre l'ITEQ OMS 97 en ordonnée et les poussières en suspension (à gauche) et le dioxyde d'azote (à droite) .....	42



Figure 33 Lien entre ITEQ OMS 97 et température pour les prélèvements supérieurs à 0,1 pg.m <sup>-3</sup> .....	42
Figure 34 I TEQ 97 OMS dans les retombées atmosphériques pour l'ensemble des sites de mesures.....	43
Figure 35 Retombées atmosphériques en dioxines sur les sites DIOX_ML_011, DIOX_ML_015 et DIOX_ML_026 .....	44
Figure 36 Principales statistiques des retombées atmosphériques de dioxines dans les différentes zones .....	45
Figure 37 Evolution des retombées atmosphériques de dioxines sur les sites de <b>Saint Germain au Mont d'Or (référence rurale)</b> et <b>Lyon centre (référence urbaine)</b> entre 2006 et 2010.....	46
Figure 38 Retombées de dioxines en fonction des précipitations (à gauche) et des particules en suspension (à droite) sur le site de Lyon centre .....	46
Figure 39 Répartition des familles de dioxines et furanes en air ambiant sur le site de Lyon centre .....	48
Figure 40 Répartition en masse des différents congénères participant au calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant.....	48
Figure 41 Répartition en pourcentage de masse des différents congénères participant au calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre .....	49
Figure 42 Gamme de contribution en masse de chaque congénère en air ambiant sur le site de Lyon centre – Calcul réalisé sur 176 prélèvements entre novembre 2006 et mars 2010.....	49
Figure 43 Contribution en masse de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant .....	50
Figure 44 Contribution en pourcentage de masse de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ sur le site de Lyon Centre en air ambiant .....	50
Figure 45 Gamme de contribution de chaque congénère dans le calcul de l'ITEQ en air ambiant .....	51
Figure 46 Lien entre quantité et toxicité sur le site de Lyon centre en air ambiant .....	51
Figure 47 Répartition moyenne en pg.m <sup>-3</sup> des congénères participant au calcul de l'ITEQ en air ambiant sur l'ensemble des sites du programme .....	52
Figure 48 Répartition moyenne des congénères participant au calcul de l'ITEQ en air ambiant sur l'ensemble des sites du programme .....	53
Figure 49 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ en air ambiant pour chaque site du programme .....	53
Figure 50 Répartition des familles de dioxines et furanes dans les retombées atmosphériques sur le site de <b>Lyon centre</b> (référence urbaine) .....	55
Figure 51 Répartition des familles de dioxines et furanes dans les retombées atmosphériques sur le site de <b>Saint Germain au Mont d'Or</b> (référence rurale) .....	55
Figure 52 Répartition des différents congénères dans les retombées et participant au calcul de l'ITEQ sur le site de <b>Lyon centre</b> .....	56
Figure 53 Gamme de contribution en masse de chaque congénère dans les retombées atmosphériques à Lyon centre.....	57
Figure 54 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur le site de <b>Saint Germain au Mont d'Or</b> (référence rurale) .....	57
Figure 55 Répartition moyenne en pg.m <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup> des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques totales sur l'ensemble des sites du programme (figure 1/2) .....	58
Figure 56 Répartition moyenne en pg.m <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup> des 17 congénères participant au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques totales sur l'ensemble des sites du programme (figure 2/2) .....	58
Figure 57 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble des sites du programme (sites DIOX_ML_001 à DIOX_ML_019) (figure 1/2).....	59
Figure 58 Répartition des congénères dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble des sites du programme (sites DIOX_ML_020 à DIOX_ML_047) (figure 2/2).....	59
Figure 59 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques pour les sites du programme (DIOX_ML_001 à DIOX_ML_019) .....	60

Figure 60 Contribution de chaque congénère au calcul de l'ITEQ dans les retombées atmosphériques pour les sites du programme (DIOX_ML_020 à DIOX_ML_047) .....	60
Figure 61 Retombées de dioxines pendant l'été 2007 .....	61
Figure 62 Bilan des mesures dans les retombées atmosphériques entre 2006 et 2009...	62
Figure 63 Site DIOX_ML_023 au sud de la plateforme chimique de Pont de Claix .....	62
Figure 64 I TEQ OMS 97 moyen et comparaison avec la valeur de référence concernant les retombées atmosphériques .....	63
Figure 65 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) en air ambiant. Les résultats sont exprimés en $\text{ng.m}^{-3}$ . .....	64
Figure 66 Concentration moyenne en métaux lourds sur les sites du programme dans l'air ambiant entre 2006 et 2009 .....	65
Figure 67 Concentration totale des métaux en fonction de la typologie entre 2006 et 2009.....	65
Figure 68 Concentration en métaux lourds sur le site de référence urbaine de Lyon Centre (DIOX_ML_012) entre 2006 et 2009.....	66
Figure 69 Evolution des niveaux de métaux lourds dans l'air ambiant sur le site de Lyon Centre entre 2007 et 2009 .....	67
Figure 70 Concentration en métaux lourds sur le site urbain de Grenoble les Frênes (urbain de fond). .....	67
Figure 71 Concentration en métaux lourds sur le site de Vénissieux village (proximité industrielle) .....	68
Figure 72 Concentration en métaux lourds sur le site de Drôme Rural Sud (Dieulefit - 26) .....	68
Figure 73 Répartition des métaux dans l'air ambiant pour l'ensemble des prélèvements effectués sur les stations de référence.....	69
Figure 74 Répartition moyenne des métaux lourds en fonction de la typologie.....	69
Figure 75 Métaux lourds dans l'air ambiant sur les 4 sites de référence .....	70
Figure 76 Concentration moyenne de chaque métal en air ambiant sur les sites du programme.....	70
Figure 77 Répartition des métaux en air ambiant sur les sites du programme .....	71
Figure 78 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) dans les retombées atmosphériques.....	73
Figure 79 Retombées moyennes en métaux lourds depuis 2006 .....	73
Figure 80 Quantité totale de métaux (somme des 14 métaux) dans les retombées atmosphériques à proximité des différents partenaires .....	74
Figure 81 Retombées moyennes en métaux lourds depuis 2006 .....	75
Figure 82 Retombées atmosphériques de métaux sur le site de référence urbaine (DIOX_ML_012 dans le centre de Lyon). Les retombées atmosphériques sont exprimées en $\text{ng.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ .....	75
Figure 83 Retombées atmosphériques de métaux sur le site de référence rurale (DIOX_ML_007 à Saint Germain au Mont d'Or) .....	76
Figure 84 Répartition des métaux dans les retombées atmosphériques (à gauche) et dans l'air ambiant (à droite) .....	76
Figure 85 Construction d'une boîte à moustaches .....	85