



**CSTB**  
le futur en construction



## **Programme d'études et de recherche de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)**

# **Mesure de la contamination de l'air et des poussières au sol dans les écoles par les composés organiques semi-volatils**

**Phase pilote de la campagne nationale dans les écoles**

**Élaboration des protocoles de prélèvement et d'analyse**

### **Rapport final**

Gaëlle Raffy, Fabien Mercier, Delphine Chauvin,  
Philippe Glorennec, Olivier Blanchard, Nathalie Bonvallot,  
Barbara Le Bot, Claire Dassonville, Corinne Mandin, Mickaël Derbez

**2011**

## **Programme d'études et de recherche de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)**

# **Mesure de la contamination de l'air et des poussières au sol dans les écoles par les composés organiques semi-volatils**

**Phase pilote de la campagne nationale dans les écoles**

**Élaboration des protocoles de prélèvement et d'analyse**

**Rapport final**

Gaëlle Raffy<sup>1,2,3</sup>, Fabien Mercier<sup>1,2,3</sup>, Delphine Chauvin<sup>1,2,3</sup>,  
Philippe Glorennec<sup>1,2</sup>, Olivier Blanchard<sup>1,2</sup>, Nathalie Bonvallot<sup>1,2</sup>,  
Barbara Le Bot<sup>1,2,3</sup>, Claire Dassonville<sup>4</sup>, Corinne Mandin<sup>4</sup>, Mickaël Derbez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> EHESP – École des Hautes Études en Santé Publique, Sorbonne Paris Cité

<sup>2</sup> Inserm U1085 – Institut de recherche santé environnement travail (IRSET)

<sup>3</sup> LERES – Laboratoire d'étude et recherche en environnement et santé,  
plateforme technologique de l'IRSET et de l'EHESP

<sup>4</sup> Université Paris-Est, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB),  
Direction Santé – Confort

**Rapport ESE-SB / 2011-067**

© 2011 OQAI

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document, faite sans l'autorisation du CSTB est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

Toute citation d'extraits ou reproduction doit obligatoirement faire apparaître la référence de ce document sous la forme : **G. Raffy, F. Mercier, D. Chauvin, P. Glorennec, O. Blanchard, N. Bonvallot, B. Le Bot, C. Dassonville, C. Mandin, M. Derbez. Détermination de la contamination de l'air et des poussières des écoles par les composés organiques semi-volatils, 2011, Rapport final n° ESE-SB / 2011-067, 46 pages.**

## RESUME

Dans le cadre de sa future campagne nationale de mesure de la qualité de l'air et du confort dans les écoles, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a confié à l'Ecole des hautes études en santé publique (EHESP) un développement méthodologique pour mesurer des composés organiques semi-volatils (COSV) dans les écoles maternelles et élémentaires.

Après la définition d'une liste de molécules prioritaires, des protocoles de prélèvements et d'analyses dans l'air et les poussières sédimentées ont été élaborés, puis testés dans 90 classes de 30 écoles d'Ille-et-Vilaine.

Le recrutement des écoles, les enquêtes de terrain et les prélèvements ont été réalisés d'octobre 2009 à juin 2010. Deux méthodes de prélèvement ont été mises en œuvre et comparées pour les poussières sédimentées : le prélèvement par lingette (exprimé en  $\text{ng}/\text{m}^2$ ) et le prélèvement par aspirateur (exprimé en  $\text{ng}/\text{g}$  et  $\text{ng}/\text{m}^2$ ). Les résultats d'analyses décrivent les concentrations de 55 COSV dans l'air et dans les poussières sédimentées.

**Mots clés :** Écoles, COSV (Composés Organiques Semi-Volatils), Prélèvement, GC/MS/MS, Air, Poussières déposées

## ABSTRACT

As part of its next nationwide survey on indoor air quality and comfort in schools, the French indoor air quality observatory (OQAI) asked to the French school of public health (EHESP) to develop a method to measure semi-volatile organic compounds (SVOC) in primary schools.

A list of priority molecules was defined prior to the development and testing of standard operating procedures for the sampling and analysis of air and settled dust in 90 classrooms of 30 schools located in the Ille-et-Vilaine department.

School recruitment, field surveys and samplings were carried out between October 2009 and June 2010. Two dust sampling methods were used and compared: wipe sampling method (results in  $\text{ng}/\text{m}^2$ ) and vacuum cleaner method (results in  $\text{ng}/\text{m}^2$  and  $\text{ng}/\text{g}$ ). The results describe the concentrations of 55 SVOCs in indoor air and settled dust.

**Keywords:** Schools, SVOC (Semi-Volatile Organic Compounds), Sampling, GC/MS/MS, Air, Settled Dust

---

**Table des matières**


---

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>2. SELECTION DES SUBSTANCES A MESURER.....</b>	<b>6</b>
<b>3. PROCOLES .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Méthodes de prélèvement.....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Air.....	8
3.1.2 Poussières sédimentées .....	8
<b>3.2 Transport, stockage et prétraitement des échantillons.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Extraction et analyse .....</b>	<b>11</b>
3.3.1 Extraction .....	11
3.3.2 Analyses chromatographiques.....	11
<b>4. ECOLES INSTRUMENTEES .....</b>	<b>12</b>
<b>5. RESULTATS .....</b>	<b>13</b>
<b>5.1 Concentrations en COSV dans l'air.....</b>	<b>13</b>
5.1.1 Caractéristiques des prélèvements d'air .....	13
5.1.2 Polluants et niveaux de concentration dans l'air .....	13
<b>5.2 Concentrations en COSV dans les poussières sédimentées.....</b>	<b>19</b>
5.2.1 Caractéristiques des prélèvements par aspirateur.....	19
5.2.2 Polluants et niveaux de concentration dans les poussières prélevées avec un aspirateur .....	20
5.2.2.1 Concentrations des COSV exprimées par unité de masse (ng/g) .....	20
5.2.2.2 Concentrations des COSV exprimées par unité de surface (ng/m <sup>2</sup> ) .....	25
5.2.3 Polluants et concentrations dans les poussières prélevées avec des lingettes .....	29
5.2.4 Comparaison des méthodes de prélèvement de poussières.....	33
5.2.4.1 Mise en œuvre et évolution des matériels.....	33
5.2.4.2 Résultats de la comparaison des méthodes de prélèvement.....	36
<b>6. DISCUSSION ET CONCLUSION .....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Techniques de prélèvement et d'analyse .....</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Composés organiques semi-volatils mesurés .....</b>	<b>40</b>
<b>7. LISTE DES RÉFÉRENCES .....</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>44</b>

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 5-1 : Concentrations en COSV (ng/m <sup>3</sup> ) dans l'air des salles de classe (Ille-et-Vilaine 2010) .....	15
Tableau 5-2 : Distribution des concentrations en galaxolide et en DiBP (ng/m <sup>3</sup> ) dans l'air des salles de classe, après dilution des extraits (Ille-et-Vilaine 2010) .....	18
Tableau 5-3 : Caractéristiques des prélèvements de poussières.....	19
Tableau 5-4 : Comparaison de la quantité de poussières prélevée selon le type de sol.....	20
Tableau 5-5 : Concentrations en COSV (ng/g) dans les poussières prélevées par aspirateur (Ille-et-Vilaine 2010) .....	22
Tableau 5-6 : Distribution des concentrations en COSV (µg/g) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010) .....	24
Tableau 5-7 : Concentrations surfaciques en COSV (ng/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe (Ille-et-Vilaine 2010) .....	26
Tableau 5-8 : Concentrations en phtalates (µg/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010) .....	28
Tableau 5-9 : Concentrations surfaciques en COSV (ng/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par lingette dans les salles de classe (Ille-et-Vilaine 2010) .....	30
Tableau 5-10 : Distribution des concentrations surfaciques en phtalates (µg/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par lingette dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010) .....	32
Tableau 5-11 : Évolution de la mise en œuvre des prélèvements de poussières par aspirateur .....	34
Tableau 5-12 : Comparaison des quantités de poussières tamisées ou brutes obtenues avec ou sans tête d'aspiration .....	35
Tableau 5-13 : Fréquence de quantification des 55 substances pour chacune des deux méthodes de prélèvement de poussières .....	36
Tableau 5-14 : Corrélation entre les concentrations de 11 composés (ng/m <sup>2</sup> ) obtenues par aspirateur et par lingette.....	38
Tableau 6-1 : Synthèse des résultats analytiques des prélèvements d'air et de poussières des 90 salles de classe investiguées pour les 55 composés organiques semi-volatils sélectionnés (en gras, COSV communs à l'air et aux poussières) .	42

---

## Liste des figures

---

Figure 3-1 : Dispositif de prélèvement avec trépied .....	8
Figure 3-2 : Prélèvement de poussières sédimentées avec aspirateur.....	9
Figure 3-3 : Prélèvement de poussières au moyen d'une lingette.....	10
Figure 4-1 : Localisation géographique des 30 écoles instrumentées .....	12
Figure 5-1 : Distribution des concentrations dans l'air des 12 composés dont la majorité des concentrations sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification .....	17
Figure 5-2 : Distribution des concentrations en galaxolide et en DiBP (ng/m <sup>3</sup> ) dans l'air des salles de classe (après dilution des extraits) .....	18
Figure 5-3 : Distributions des concentrations dans les poussières des 10 composés dont la majorité des teneurs sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification dans les poussières prélevées par aspirateur.....	24
Figure 5-4 : Concentrations en phtalates (ng/g) dans les poussières prélevées par aspirateur (après dilution des extraits) .....	25
Figure 5-5 : Distribution des concentrations surfaciques (ng/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par aspirateur .....	28
Figure 5-6 : Distribution des concentrations surfaciques (ng/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par lingette.....	32
Figure 5-7 : Distribution des concentrations surfaciques en phtalates (ng/m <sup>2</sup> ) dans les poussières prélevées par lingette .....	33
Figure 5-8 : Variation du ratio poussières tamisées / poussières brutes en fonction de la quantité de poussières brutes pour des prélèvements réalisés avec ou sans tête d'aspiration .....	35

---

## Liste des annexes

---

Annexe 1. Liste des 62 COSV retenus : caractéristiques et n°cas	45
---	----

## 1. INTRODUCTION

En France, les connaissances sur la qualité de l'air dans les écoles, qui représentent le second lieu de vie pour les enfants après le logement, sont aujourd'hui limitées à quelques substances (formaldéhyde et benzène) ou à quelques établissements. Aucune des études disponibles ne permet d'avoir une vision représentative à l'échelle nationale des niveaux de concentrations des polluants présents dans ces espaces.

Ainsi, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) engage une campagne nationale, coordonnée par le Centre scientifique et technique du bâtiment, afin d'acquérir des connaissances sur la qualité de l'environnement intérieur et le confort dans un échantillon représentatif des écoles françaises. Cette campagne vise 300 écoles maternelles et élémentaires tirées au sort.

Dans la phase préparatoire de cette campagne nationale, l'OQAI a identifié et classé en quatre groupes, des polluants ou indicateurs de pollution d'intérêt à mesurer dans les écoles maternelles et élémentaires.

Pour le premier groupe « polluants ou indicateurs de pollution d'intérêt », un protocole harmonisé de prélèvement et d'analyse a été élaboré pour les substances choisies. Une phase pilote, préliminaire à la campagne nationale de mesures dans les écoles a été réalisée en 2010 dans 17 écoles de Clermont-Ferrand et de ses alentours.

Parmi les composés du second groupe « polluants ou indicateurs de pollution d'intérêt nécessitant un développement méthodologique », l'OQAI a souhaité **développer des protocoles de prélèvement et d'analyse pour les composés organiques semi-volatils (COSV) et en tester la mise en œuvre** dans le cadre d'une étude pilote menée dans 30 écoles.

La connaissance des expositions de la population aux COSV fait aujourd'hui l'objet d'un intérêt majeur. En effet, l'utilisation accrue depuis les années 70 de nouveaux produits, matériaux et équipements électroniques a rendu les COSV (phtalates, polybromodiphényléthers, polychlorobiphényles, pyréthriinoïdes, etc.) ubiquitaires dans les environnements intérieurs. Parallèlement, ces substances font l'objet d'une attention particulière du fait des effets sanitaires suspectés sur la santé humaine, notamment des effets de perturbation endocrinienne. Les expositions à ces composés sont par ailleurs multi-voie : par inhalation, mais également par ingestion de poussières déposées au sol et par contact cutané. Les jeunes enfants sont ainsi plus particulièrement exposés du fait, par exemple, de leurs portages main-bouche fréquents. A ce jour, aucune donnée relative à la présence de COSV n'existe dans les écoles françaises.

Cette étude a été confiée au LERES, Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé (EHESP/Inserm U 1085-IRSET). Elle a pour objectifs :

- d'élaborer les protocoles de prélèvement et d'analyse des COSV dans l'air et les poussières déposées ;
- de comparer les méthodes de prélèvement par lingette et aspirateur ;
- d'évaluer les concentrations en COSV dans l'air et les poussières sédimentées de 30 écoles.



## 2. SELECTION DES SUBSTANCES A MESURER

Les substances figurant parmi le groupe « polluants ou indicateurs de pollution d'intérêt nécessitant un développement méthodologique » proposé par l'OQAI et qui comporte deux phtalates (DEHP et DBP) et cinq biocides (aldrine, dieldrine, lindane, heptachlore et dichlorvos) ont été incluses d'emblée à la sélection.

D'autres composés (phtalates, pesticides organochlorés et organophosphorés, pyréthriinoïdes, esters phosphoriques, muscs polycycliques, hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles et polybromodiphényléthers) ont été ajoutés à cette liste sur la base d'une **hiérarchisation sanitaire** des polluants dans les poussières domestiques réalisée par l'EHESP et le CSTB (Bonvallet et al., 2010). Une liste de 62 molécules a été établie.

Cette liste a ensuite été confrontée à la **faisabilité technique** du prélèvement à l'analyse et a abouti à une proposition de stratégies d'échantillonnage et d'analyse. Une seule filière analytique a été retenue de façon à ne pas induire, autant que possible, de surcoût financier ou du moins à le limiter. Cette filière regroupe les molécules jugées prioritaires (phtalates et pesticides) et permet l'analyse simultanée d'un grand nombre d'autres COSV. Cette filière est la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem. Elle a été préférée à la chromatographie en phase liquide pour sa résolution supérieure. Cette technique est le meilleur choix pour une analyse multi-résidus. De plus, le couplage avec la spectrométrie de masse en tandem (triple quadripôle) permet d'obtenir une excellente spécificité et de bons seuils de quantification.

Les essais analytiques ont conduit à éliminer sept molécules. Le folpet, le propoxur, le malathion, le parathion éthyl et le parathion méthyl ont dû être écartés car non analysables dans les mêmes conditions d'injection (dégradation), tandis que le BDE 209 a dû être écarté pour cause de dégradation lors de la séparation chromatographique. Enfin, le benzo[ghi]perylène est élué en toute fin de chromatogramme, environ 20 minutes après l'avant dernière substance. Pour le détecter, le four reste à haute température (300°C) pendant environ 40 minutes, ce qui occasionne une détérioration de la colonne capillaire et un encrassement prématuré du détecteur. Afin de préserver le système analytique, il a été décidé d'écarter également le benzo[ghi]perylène. La conséquence directe est la réduction du temps d'analyse d'environ 20 minutes.

La liste finale comprend donc **55 substances** :

➤ *Pesticides organochlorés* :

Aldrine, cis et trans-chlordane, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, dieldrine, alpha-endosulfan, endrine, heptachlore, alpha-HCH, gamma-HCH et métolachlore

➤ *Pesticides organophosphorés* :

Chlorpyrifos éthyl, diazinon et dichlorvos

➤ *Autres pesticides* :

Atrazine et oxadiazon

➤ *Pyréthriinoïdes* :

Cyfluthrine, cyperméthrine, deltaméthrine, perméthrine et tétraméthrine

➤ *Esters phosphoriques :*

Tributylphosphate

➤ *Muscs polycycliques :*

Galaxolide (HHCB) et tonalide (AHTN)

➤ *Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :*

Acénaphène, anthracène, benzo[a]pyrène, fluoranthène, fluorène, phénanthrène et pyrène

➤ *Polychlorobiphényles (PCB) :*

PCB 28, 31, 52, 77, 101, 105, 118, 126, 138, 153 et 180

➤ *Phtalates :*

BBP, DBP, DEHP, DEP, DiBP, DiNP, DMEP et DMP

➤ *Polybromodiphényléthers (PBDE) :*

BDE 85, 99, 100 et 119 (penta)

Les caractéristiques des composés retenus sont présentées en Annexe 1.

### 3. PROTOCOLES

#### 3.1 MÉTHODES DE PRÉLÈVEMENT

##### 3.1.1 AIR

L'air de chaque pièce investiguée est prélevé pendant 4,5 jours en continu (du lundi au vendredi) (Figure 3-1). Une pompe à un débit de 2 L/min est utilisée avec un support filtrant composé d'un tube en verre garni d'une mousse de polyuréthane (PolyUrethane Foam : PUF) et complété par un filtre en fibre de quartz. Le support filtrant est connecté à la pompe par l'intermédiaire d'un tuyau en silicone.



Figure 3-1 : Dispositif de prélèvement avec trépied

##### 3.1.2 POUSSIÈRES SEDIMENTÉES

Concernant la stratégie d'échantillonnage, deux méthodes ont été retenues :

- prélèvement avec un aspirateur commercial, spécifiquement équipé pour éviter toute contamination, qui permet de collecter une quantité suffisamment importante de poussières pour analyser l'ensemble des molécules prioritaires, y compris les phtalates ;
- prélèvement avec des lingettes, ce qui permet de collecter la poussière la plus représentative de celle qui est en contact avec la main d'un enfant.

Les résultats de ces deux méthodes pourront être comparés.

### Poussières prélevées avec un aspirateur :

La méthode consiste à collecter les poussières sédimentées à l'aide d'un aspirateur commercial spécifiquement modifié de sorte que la poussière ne rentre jamais en contact avec les éléments en plastique de l'aspirateur, source potentielle de contamination notamment pour certains phtalates. Pour ce faire, une cartouche d'extraction en cellulose et une tête d'aspiration recouverte de papier aluminium sont positionnées à l'extrémité du tube de l'aspirateur. Après avoir sélectionné dans la classe les zones de plus grande activité ou de temps de présence des enfants, une surface délimitée par des murs, des meubles ou des motifs au sol est déterminée. Le prélèvement est réalisé sur l'intégralité de cette zone (Figure 3-2). Enfin la quantité de poussières collectée est contrôlée visuellement : si elle n'est pas suffisante, une seconde zone de prélèvement est délimitée et le prélèvement se poursuit jusqu'à obtention d'une quantité de poussières suffisante (cartouche remplie au moins à 50 %, ce qui correspond à environ 700 mg).



Figure 3-2 : Prélèvement de poussières sédimentées avec aspirateur

### Poussières prélevées au moyen d'une lingette :

La méthode consiste à collecter les poussières sédimentées à l'aide d'une lingette sur une surface délimitée. Afin d'éviter tout risque de contamination de l'échantillon au cours du prélèvement ou du transport, l'opérateur utilise des gants et prépare un échantillon témoin sur le site de prélèvement afin de vérifier la non contamination des lingettes utilisées lors de leur préparation (blanc de terrain). Le prélèvement est réalisé au moyen d'une lingette « vierge » au centre de la zone la plus fréquentée par les enfants ou, par défaut, au centre de la pièce, si possible sur un sol lisse tel que carrelage, revêtement plastique ou plancher (Figure 3-3). Dans chaque salle de classe, 3 prélèvements sont réalisés afin d'augmenter la quantité de poussières prélevées et de permettre la détection des composés faiblement concentrés.



Figure 3-3 : Prélèvement de poussières au moyen d'une lingette

### **3.2 TRANSPORT, STOCKAGE ET PRETRAITEMENT DES ECHANTILLONS**

#### Transport des échantillons

Tous les échantillons sont disposés dans une glacière munie de pains de glace pour la durée du transport (conservation à l'abri de la lumière et à une température inférieure à 4°C).

#### Stockage

Les mousses de polyuréthane et les filtres en fibre de quartz sont retirés de leur cartouche de verre, enveloppés dans du papier aluminium et stockés au congélateur à -18°C dans des flacons en verre brun.

Les cartouches de cellulose contenant les échantillons de poussières prélevés avec un aspirateur sont enveloppées dans du papier aluminium, puis stockées au congélateur à -18°C dans des sachets zippés.

Les lingettes sont pliées, roulées, puis insérées dans des tubes en verre brun et stockées au congélateur à -18°C.

#### Prétraitement des échantillons prélevés par aspirateur

Une étape de tamisage des échantillons de poussières prélevés avec un aspirateur est nécessaire afin d'éliminer les grosses particules (poils, cheveux...). Or cette étape a un impact sur la quantification des polluants. Plusieurs études ont montré que la concentration d'une substance dans les poussières augmente généralement lorsque la taille des particules diminue. C'est le cas pour quelques polluants, pesticides et HAP dont la distribution en fonction de la taille des particules a été étudiée (Lewis et al., 1999). D'autre part, dans le cas d'étude de l'ingestion de poussières par contact main-bouche, il a été identifié que les plus fines particules (< 246  $\mu\text{m}$ ) adhèrent mieux aux mains des enfants (Que Hee et al., 1985). Malgré ces arguments, à notre connaissance, il n'existe pas à ce jour de consensus sur le tamisage.

Le matériau de référence (poussière étalon) certifié SRM 2585 étant tamisé à 100 µm, un **tamissage à 100 µm** est choisi. Pour ce faire, la poussière est déposée dans un tamis en acier inoxydable muni d'un fond de tamis et d'un couvercle. L'ensemble est installé sur une tamiseuse qui assure une agitation régulière pendant un quart d'heure. La fraction cible est alors récupérée dans le fond du tamis, conditionnée dans un flacon en verre ambré et stockée au congélateur à -18°C.

### **3.3 EXTRACTION ET ANALYSE**

#### **3.3.1 EXTRACTION**

##### Echantillons d'air

L'extraction des mousses de polyuréthane et des filtres en fibre de quartz ayant servi au prélèvement d'air se fait par solvant à haute température et à haute pression sur le système ASE 350 (Accelerated Solvent Extraction) (Dionex). L'extrait est stocké au congélateur à -18°C jusqu'à l'analyse.

##### Echantillons de poussières tamisés

L'extraction des poussières tamisées se fait également par solvant à haute température et à haute pression sur l'ASE 350 (Dionex). L'extrait est stocké au congélateur à -18°C jusqu'à l'analyse.

##### Echantillons de poussières prélevés au moyen d'une lingette

La lingette enrichie d'un traceur d'extraction subit un processus d'extraction en plusieurs étapes. L'extrait ainsi conditionné est stocké au congélateur à -18°C jusqu'à l'analyse.

#### **3.3.2 ANALYSES CHROMATOGRAPHIQUES**

Les extraits sont analysés par chromatographie en phase gazeuse, couplée à la spectrométrie de masse en tandem.

## 4. ECOLES INSTRUMENTEES

Trente écoles ont été incluses dans l'étude. Trois classes par école ont été investiguées, soit un total de **90 classes**.

Les écoles sélectionnées sont à 77 % des écoles publiques.

La répartition selon le niveau scolaire est de 52 % d'écoles maternelles et 48 % d'écoles élémentaires.

Au niveau géographique (Figure 4-1), elles sont situées majoritairement dans un rayon de 30 km autour de Rennes (27 écoles sur 30, dont 12 à Rennes), sur un axe nord-nord-est allant de Rennes à St Malo.

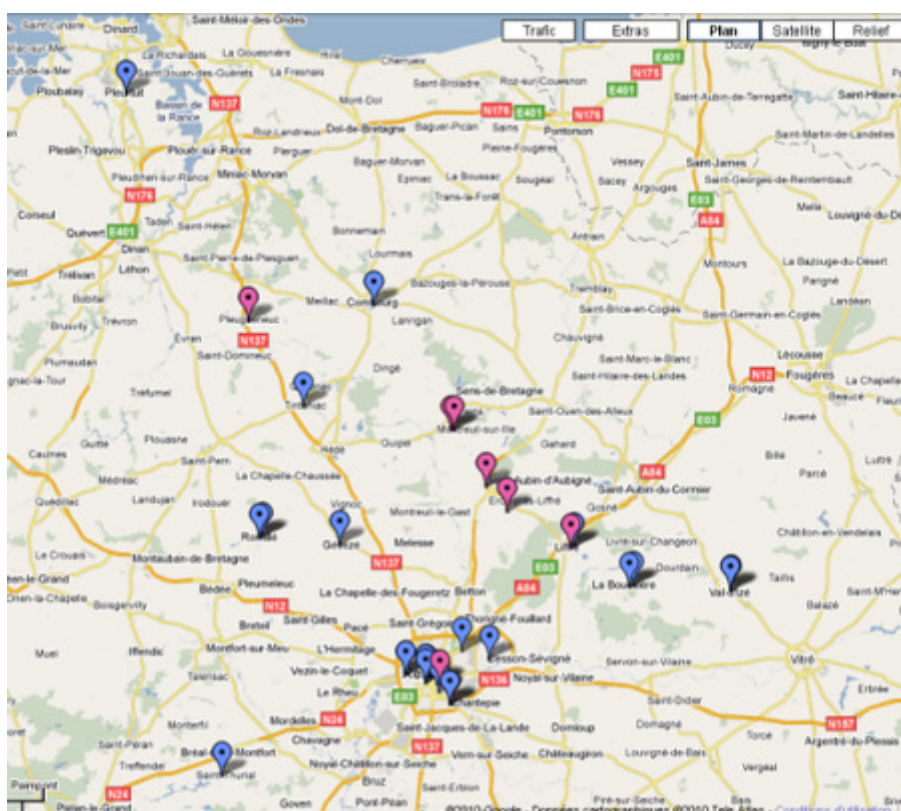


Figure 4-1 : Localisation géographique des 30 écoles instrumentées

## 5. RESULTATS

### 5.1 CONCENTRATIONS EN COSV DANS L'AIR

#### 5.1.1 CARACTERISTIQUES DES PRELEVEMENTS D'AIR

Les échantillonnages d'air sont réalisés sur une semaine de présence scolaire, soit du lundi 8h00 au vendredi 17h00. Le volume d'air ainsi prélevé est de 12,6 m<sup>3</sup>. Ce volume est appelé volume optimal. En effet, des événements mineurs tels que démarrage ou arrêt tardif des pompes, débit légèrement différent de 2 L/min (calibrage réalisé à 1 % près) peuvent être responsables de faibles écarts entre le prélèvement réel et ce prélèvement optimal.

Par ailleurs, le prélèvement peut s'achever prématurément, par exemple par défaut d'alimentation de la pompe, par compression accidentelle des tuyaux de silicone ou par défaillance technique de la pompe. Ces événements, lorsqu'ils surviennent, compromettent la représentativité du prélèvement. Les classes concernées ont fait l'objet de revisites.

A l'issue de ces revisites, l'ensemble des données a été considéré et les prélèvements dont le volume était inférieur à 11,5 m<sup>3</sup> ont été écartés, ce qui a concerné 6 classes sur les 90 investiguées.

Un blanc terrain est réalisé dans chaque école. Il permet de vérifier l'absence de contamination lors de la préparation du matériel et pendant le transport des échantillons. Si les concentrations dans le blanc de terrain excède 30 % de celles rencontrées dans les échantillons, les résultats associés à ce blanc de terrain sont rejetés (invalidés).

#### 5.1.2 POLLUANTS ET NIVEAUX DE CONCENTRATION DANS L'AIR

Les résultats des 84 échantillons dont le prélèvement a été validé sont présentés dans le Tableau 5-1.

Sur les 55 molécules ciblées, **17 n'ont jamais été quantifiées dans l'air**. Il s'agit de :

- 11 pesticides organochlorés (cis-chlordane, trans-chlordane, 4,4'-DDE, endrine, heptachlore et metolachlore), pyréthrinoides (cyfluthrine, deltaméthrine et tétraméthrine) et autres (atrazine et oxadiazon) ;
- 3 polychlorobiphényles (PCB 77, PCB 126 et PCB 180) ;
- 2 polybromodiphényléthers (BDE 85 et BDE 119) ;
- 1 hydrocarbure aromatique polycyclique (benzo(a)pyrène).

Des résultats relativement concordants ont été retrouvés dans l'étude de Rudel *et al.* (2003)<sup>1</sup>. Ces auteurs ont réalisé 120 prélèvements d'air de 24 heures dans 60 domiciles à Cap Code (Massachusetts, Etats-Unis).

---

<sup>1</sup> La mise en perspective des résultats de cette étude avec les données de la littérature doit être considérée avec précaution dans la mesure où les limites de quantification ne sont pas les mêmes en fonction des techniques analytiques mises en œuvre.



Il ressort de ces travaux que le benzo(a)pyrène, l'endrine, le métolachlore et l'atrazine ne sont jamais détectés dans les prélèvements d'air. Le 4,4'-DDE n'est observé que dans 2 % des prélèvements. En revanche, les cis- et trans-chlordane et l'heptachlore sont détectés dans respectivement 51, 53 et 44 % des échantillons d'air.

L'analyse des blancs terrain a mis en évidence une contamination pour cinq molécules de la famille des phtalates (BBP, DEHP, DMP, DiNP et DEP), à des concentrations variables selon les blancs et selon les molécules. Le DiNP est la molécule la plus souvent détectée, ce qui perturbe sa quantification dans les échantillons : 32 résultats de DiNP ont dû être invalidés (ne : non exploitable). Pour les autres phtalates, 5 à 7 résultats ont été invalidés en raison de la contamination des blancs terrains.

La source de contamination en DiNP a été recherchée en lien avec les protocoles. Il a été identifié comme résidu dans les lavages des mousses de polyuréthane. Le protocole de conditionnement des mousses avant usage a donc été revu. Un double nettoyage est maintenant imposé aux mousses neuves avant la première utilisation.

Pour chaque composé, figurent deux limites supérieures de quantification (LS1 et LS2). En effet, les deux premières séries d'échantillons d'air analysées (22 échantillons sur 84) ont été quantifiées par une gamme de calibration dont la limite supérieure est fournie dans la colonne LS1. Les séries d'analyses suivantes (62 échantillons sur 84) ont été quantifiées par une gamme de calibration plus large dont la limite supérieure est notée LS2. Les résultats de quantification supérieurs au point haut de la gamme de calibration sont exprimés par la mention « > LS ».

Les valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ) ont été, pour la description des résultats, remplacées par la moitié de la limite de quantification (LQ/2) (cf. « *Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments*, USEPA, 2000 »).

Il apparaît que sur les **38 composés quantifiés** :

- 17 composés ont des teneurs quasi systématiquement inférieures à la limite de quantification (aldrine, 4,4'-DDT, dieldrine, alpha-endosulfan, chlorpyrifos éthyl, diazinon, dichlorvos, cyperméthrine, perméthrine, anthracène, PCB 105, 118, 138 et 153, DMEP, BDE 99 et BDE 100) ;
- 8 composés ont moins de la moitié de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (alpha-HCH, acénaphthène, fluoranthène, pyrène, PCB 28, 31, 52 et 101) ;
- 11 composés ont la majorité de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (gamma-HCH, tributylphosphate, tonalide, fluorène, phénanthrène, BBP, DBP, DEHP, DEP, DiNP et DMP) ;
- 2 composés ont la majorité de leurs concentrations au-dessus des limites supérieures de quantification (galaxolide et DiBP).

Tableau 5-1 : Concentrations en COSV (ng/m<sup>3</sup>) dans l'air des salles de classe (Ille-et-Vilaine 2010)

Substances	LQ	LS1	LS2	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS1)</sub>	n <sub>(x&gt;LS2)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
Aldrine	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,8
4,4'-DDT	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,5
Dieldrine	1	10	50	84	80	4	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,4
Alpha-endosulfan	1	10	50	84	80	4	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,3
α-HCH	0,4	4	20	81	65	16	0	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,2	2,3	11,7
γ-HCH	1	10	50	84	17	65	2	0	< 1	< 1	< 1	1,1	<b>1,9</b>	2,6	5,7	9,2	>12
Chlorpyrifos-éthyl	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	4,1
Diazinon	1	10	50	84	80	4	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3,1
Dichlorvos	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	28,4
Cyperméthrine	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,9
Perméthrine	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,1
Tributylphosphate	1	10	50	84	1	77	6	0	< 1	2,0	2,5	3,3	<b>4,5</b>	6,9	>10	>11	>28
Galaxolide	1	10	50	84	0	5	22	57	Échantillons retraités, voir Tableau 5-2								
Tonalide	1	10	50	84	0	54	19	11	3,5	9,6	>10	>10	>18	>28	>50	>50	>50
Acénaphène	1	10	50	84	44	40	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,4	2,0	2,5	3,5
Anthracène	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,3
Fluoranthène	1	10	50	84	65	19	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,3	1,5	8,3
Fluorène	1	10	50	84	1	83	0	0	< 1	1,7	2,1	3,3	<b>4,9</b>	6,9	9,1	10,3	18,3
Phénanthrène	1	10	50	84	0	83	0	1	1,6	3,4	4,6	5,8	<b>8,0</b>	9,9	13,9	17,5	>50
Pyrène	1	10	50	84	72	12	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,1	1,2	3,6

Substances	LQ	LS1	LS2	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS1)</sub>	n <sub>(x&gt;LS2)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
PCB28	0,4	4	20	84	68	14	2	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8	1,1	>4,2
PCB31	0,4	4	20	84	70	12	2	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,6	0,8	>4
PCB52	0,4	4	20	84	68	15	1	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,5	0,6	>4
PCB101	0,4	4	20	84	78	5	1	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,5	>4
PCB105	0,4	4	20	84	83	1	0	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,6
PCB118	0,4	4	20	84	82	2	0	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2,4
PCB138	0,4	4	20	84	83	1	0	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8
PCB153	0,4	4	20	84	83	1	0	0	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,0
BBP	1	10	50	73	0	43	11	19	1,5	2,7	4,7	8,1	>10	>50	>50	>50	>50
DBP	8	80	800	84	0	59	22	3	36,9	>80	>80	>80	>169	>280	>500	>698	>800
DEHP	8	80	800	75	0	69	5	1	12,8	33,8	47,0	58,9	<b>81,9</b>	153	242	>380	>800
DEP	8	80	800	73	0	55	18	0	39,7	78,0	80,0	80,0	<b>167</b>	258	>385	>439	>684
DIBP	8	80	800	84	0	22	22	40	Échantillons retraités, voir Tableau 5-2								
DMEP	1	10	50	84	83	1	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,1
DiNP	8	80	800	45	2	40	3	0	< 8	8,9	12,8	19,6	<b>34,6</b>	62,1	>80	>86	>416
DMP	1	10	50	73	0	56	13	4	2,8	4,7	7	9,7	<b>10,5</b>	20,6	>35	>49	>50
BDE99	1	10	50	84	76	8	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3,6	8,5
BDE100	1	10	50	84	79	5	0	0	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,4	3,1

LQ : limite de quantification (concentration minimale quantifiable pour un volume prélevé de 12,6 m<sup>3</sup>)

LS : limite supérieure de quantification (concentration maximale quantifiable pour un volume prélevé de 12,6 m<sup>3</sup>)

n : nombre d'échantillons ; P : percentile

n<sub>(x<LQ)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration inférieure à la limite de quantification

n<sub>(LQ<x<LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration dans la gamme de quantification

n<sub>(x>LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration supérieure à la limite supérieure de quantification

Des représentations graphiques ont été réalisées pour les 12 composés dont la majorité des concentrations sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (Figure 5-1) en séparant les muscs et les phtalates, des autres composés.

Comme précédemment observé dans d'autres études dans des environnements intérieurs français (Bouvier et al., 2006 ; Atmosf'Air Bourgogne, 2006 ; Desmettres, 2006), le lindane ( $\gamma$ -HCH) est quantifié dans la majorité des échantillons d'air (80 %) et présente une concentration médiane proche de  $2 \text{ ng/m}^3$  ( $3,6 \text{ ng/m}^3$  dans les logements (Bouvier et al., 2006)). Les 4 autres composés présentés sont le tributylphosphate et 3 HAP. Il y a actuellement peu de données de concentrations dans l'air pour ces substances.

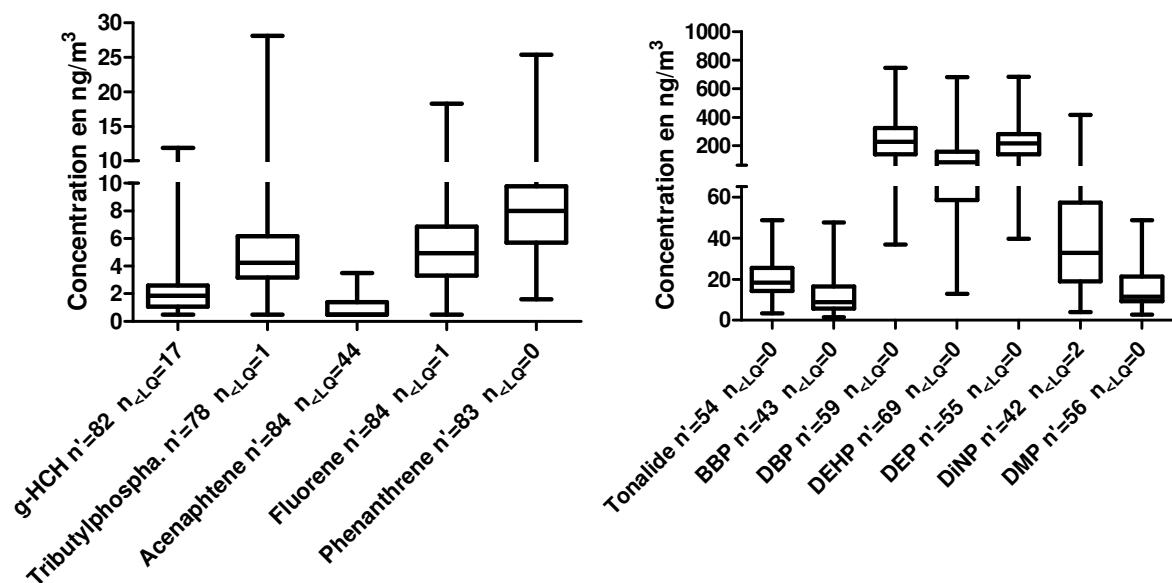


Figure 5-1 : Distribution des concentrations dans l'air des 12 composés dont la majorité des concentrations sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification

$n'$  : nombre de cas de concentrations inférieures à la limite supérieure de quantification ( $n' = n_{(x < LQ)} + n_{(LQ < x < LS)}$ )

Par ailleurs, afin d'évaluer les concentrations détectées au-delà de la limite supérieure de quantification pour la galaxolide et le DiBP, 7 échantillons sur les 84 ont été réanalysés en réalisant des dilutions au vingtième de l'extrait initial. Les 7 classes concernées ont été choisies au hasard parmi celles dont la concentration en galaxolide est supérieure à la LS1 (79 échantillons sur les 84). Les résultats sont présentés dans le Tableau 5-2 et sur la Figure 5-2.

Tableau 5-2 : Distribution des concentrations en galaxolide et en DiBP (ng/m<sup>3</sup>) dans l'air des salles de classe, après dilution des extraits (Ille-et-Vilaine 2010)

	n	Min	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max
<b>Galaxolide</b>	7	54,1	58,6	63,0	75,3	<b>108</b>	124	140	145	150
<b>DiBP</b>	5	594	605	617	653	<b>730</b>	2034	2170	2216	2260

n : nombre total d'échantillons

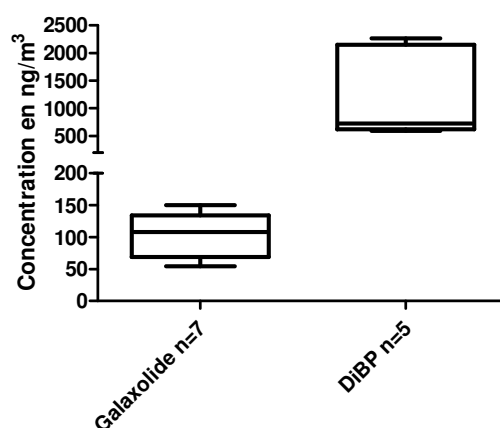


Figure 5-2 : Distribution des concentrations en galaxolide et en DiBP (ng/m<sup>3</sup>) dans l'air des salles de classe (après dilution des extraits)

Les médianes des concentrations en muscs sont assez proches de celles observées en Allemagne dans 74 jardins d'enfants par Fromme *et al.* (2004) (tonalide 44 ng/m<sup>3</sup> et galaxolide 101 ng/m<sup>3</sup>).

De plus, pour les phtalates, le DiBP est le composé le plus abondant avec une médiane de concentration de 730 ng/m<sup>3</sup> (Tableau 5-2), suivi du DBP, du DEP et du DEHP (respectivement 169, 81,9 et 81,9 ng/m<sup>3</sup>). Ces médianes de concentrations sont bien inférieures à celles retrouvées par Fromme *et al.* (2004) dans les 74 jardins d'enfants pour le DBP, DEP et DEHP (respectivement 1188, 353 et 458 ng/m<sup>3</sup>).

**En résumé**, parmi les 55 molécules sélectionnées, 38 ont été quantifiées dans l'air des salles de classe. Les COSV majoritaires dans l'air (médiane supérieure à 100 ng/m<sup>3</sup>) sont, par ordre décroissant de concentration, le DiBP, le DBP, le DEP, le DEHP et la galaxolide. Les gammes de calibration en chromatographie doivent tenir compte de ces concentrations afin de minimiser les dilutions et les réinjections d'échantillons.

## 5.2 CONCENTRATIONS EN COSV DANS LES POUSSIÈRES SEDIMENTÉES

### 5.2.1 CARACTÉRISTIQUES DES PRÉLEVEMENTS PAR ASPIRATEUR

Les caractéristiques des prélèvements de poussières avec aspirateur sont présentés dans le Tableau 5-3 et le Tableau 5-4. Des revisites ont été réalisées lorsque la quantité de poussières tamisées était inférieure à 10 mg.

Par ailleurs, la prise d'essai garantissant le respect de tous les seuils de quantification est de 200 mg de poussières tamisées. Dans 55 cas sur 90, une masse de 200 mg de poussières ou plus a été atteinte après tamisage. Dans les 45 autres cas, une augmentation des seuils de quantification a été nécessaire pour tenir compte de la petite masse de poussières récupérée.

Tableau 5-3 : Caractéristiques des prélèvements de poussières

	Surface (m <sup>2</sup> )	Masse de poussières (mg)		% poussières < 100 µm	Empoussièrément (mg/m <sup>2</sup> )	
		brute	tamisée à 100 µm		poussières brutes	poussières tamisées
<b>n</b>	91	81	90	80 %	81	88
<b>min.</b>	1,3	120	14	5 %	20	3
<b>perc.5</b>	2	201	26	10 %	25	5
<b>perc.10</b>	2,2	238	40	13 %	35	7
<b>perc.25</b>	4,2	468	90	20 %	51	12
<b>médiane</b>	8	982	202	28 %	97	25
<b>perc.75</b>	11	2184	916	43 %	377	130
<b>perc.90</b>	15	4226	1682	66 %	641	309
<b>perc.95</b>	16,3	6156	2496	77 %	767	411
<b>max.</b>	29	17471	15029	94 %	3065	2637

Le Tableau 5-4 présente la **quantité de poussières prélevée en fonction du type de sol**.

Les plus grandes quantités de poussières sont collectées sur les sols comportant en partie des tapis, les résultats représentant la masse de poussières prélevée sur un ensemble sol lisse et tapis. Les quantités de poussières obtenues sur le carrelage sont très dispersées et peuvent atteindre des masses comparables à celles obtenues sur les ensembles tapis/sols lisses. En revanche, les quantités de poussières prélevées sur les revêtements plastifiés sont en général moins importantes que sur les autres types de sol. Le revêtement plastifié est par ailleurs le plus fréquemment observé dans les écoles avec 43 cas. Quant aux parquets, ils sont peu présents (6 cas) et les quantités collectées sur ce type de sol sont intermédiaires.

Tableau 5-4 : Comparaison de la quantité de poussières prélevée selon le type de sol

	Masse de poussières selon le type de surface (mg/m <sup>2</sup> )			
	carrelage (n=20)	revêtement plastifié (n=43)	parquet (n=6)	Mixte : surface lisse et tapis (n=16)
<b>min</b>	20	23	53	36
<b>Perc.5</b>	29	26	59	59
<b>Perc.10</b>	35	33	65	109
<b>Perc.25</b>	42	49	78	312
<b>Médiane</b>	222	81	84	389
<b>Perc.75</b>	565	149	125	629
<b>Perc.90</b>	704	322	312	1279
<b>Perc.95</b>	735	382	400	1825
<b>Max.</b>	767	1018	488	3065

## 5.2.2 POLLUANTS ET NIVEAUX DE CONCENTRATION DANS LES POUSSIÈRES PRÉLEVÉES AVEC UN ASPIRATEUR

### 5.2.2.1 Concentrations des COSV exprimées par unité de masse (ng/g)

Les résultats des 89 échantillons de poussières prélevés par aspirateur sont présentés dans le Tableau 5-5. Un échantillon n'a pas pu être analysé en raison d'un problème intervenu lors de sa préparation.

Des contaminations aléatoires ont été observées au cours des analyses pour le DMP et DEP, et elles ont entraîné l'invalidation de 35 résultats sur 89 pour le DMP et de 13 sur 89 pour le DEP. Les sources de contamination de ces molécules n'ont pas été identifiées.

Parmi les 55 composés ciblés, **13 n'ont jamais été quantifiés** dans ces échantillons. Il s'agit de :

- 9 pesticides organochlorés (cis-chlordane, aldrine, heptachlore et metolachlore), organophosphorés (dichlorvos), pyréthriinoïdes (cyfluthrine, deltaméthrine et tétraméthrine) et autre (atrazine) ;
- 1 polychlorobiphényle (PCB 126) ;
- 2 polybromodiphényléthers (BDE 85 et BDE 119) ;
- 1 hydrocarbure aromatique polycyclique (acénaphène).

Ces résultats sont similaires à ceux de Rudel *et al.* (2003) aux États-Unis où l'aldrine, l'atrazine et le métochlorure n'ont jamais été détectés dans les poussières. En revanche, l'heptachlore et le cis-chlordane y ont été retrouvés dans respectivement 3 et 39 % des échantillons.

Les valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ) ont été, pour la description des résultats, remplacées par la moitié de la limite de quantification (LQ/2) (selon « *Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments*, USEPA, 2000 »). Les résultats de quantification supérieurs au point haut de la gamme de calibration sont exprimés par la mention « > LS ».

Sur les **42 composés quantifiés** :

- 21 composés ont des teneurs quasi systématiquement inférieures à la limite de quantification (trans-chlordane, 4,4'-DDE, dieldrine, alpha-endosulfan, endrine, alpha-HCH, chlorpyrifos éthyl, diazinon, cyperméthrine, PCB 28, 31, 52, 77, 105, 118, 138, 153 et 180, DMEP, BDE 99 et 100) ;
- 7 composés ont moins de la moitié de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (4,4'-DDT, gamma-HCH (lindane), oxadiazon, anthracène, benzo(a)pyrène, fluorène et PCB 101) ;
- 10 composés ont la majorité de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (perméthrine, tributylphosphate, galaxolide, tonalide, fluoranthène, phénanthrène, pyrène, DBP, DEP et DMP) ;
- 4 composés ont la majorité ou la quasi-totalité de leurs teneurs au dessus des limites supérieures de quantification (BBP, DEHP, DiBP et DiNP).

Des représentations graphiques sont proposées pour les composés dont la majorité des teneurs sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification en séparant les muscs et les phtalates des autres composés (Figure 5-3). Ces derniers sont la perméthrine, le tributylphosphate et 3 HAP. La médiane des niveaux de perméthrine est de l'ordre de 200 ng/g et est similaire à celle observée par Seifert *et al.* (2000) dans 1 215 échantillons de poussières de logements allemands (*German Environmental Survey II*). Il existe actuellement peu de données concernant les autres composés.



Tableau 5-5 : Concentrations en COSV (ng/g) dans les poussières prélevées par aspirateur (Ille-et-Vilaine 2010)

Substances	LQ	LS	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
Trans-chlordane	25	1 250	89	88	1	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	80
4,4'-DDE	25	1 250	89	87	2	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	111
4,4'-DDT	63	3 125	89	76	13	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	80	168	554
Dieldrine	63	3 125	89	87	2	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	314
Alpha-endosulfan	63	3 125	89	88	1	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	137
Endrine	63	3 125	89	85	4	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	576
α-HCH	25	1250	89	87	2	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	32
γ-HCH	63	3 125	89	73	16	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	102	235	458
Chlorpyrifos-éthyl	63	3 125	89	86	3	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	1184
Diazinon	63	3 125	89	87	2	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	152
Oxadiazon	63	3 125	89	81	8	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	104	354
Cyperméthrine	63	3 125	89	85	4	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	2345
Perméthrine	63	3 125	89	35	52	2	< 63	< 63	< 63	< 63	<b>265</b>	694	1339	1863	4277
Tributylphosphate	63	3 125	89	23	64	2	< 63	< 63	< 63	< 63	<b>98</b>	157	236	381	>10965
Galaxolide	63	3 125	89	2	87	0	< 63	289	386	536	<b>916</b>	1290	1735	2081	3306
Tonalide	63	3 125	89	11	78	0	< 63	< 63	< 63	177	<b>320</b>	481	618	869	12109
Anthracène	63	3 125	89	53	36	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	82	103	121	667
Benzo(a)pyrène	63	3 125	89	65	24	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	67	139	163	817
Fluoranthène	63	3 125	89	13	75	1	< 63	< 63	< 63	116	<b>175</b>	306	411	714	>6944
Fluorène	63	3 125	89	53	36	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	105	180	255	441
Phénanthrène	63	3 125	89	7	81	1	< 63	< 63	127	228	<b>345</b>	495	689	861	>6944
Pyrène	63	3 125	89	9	79	1	< 63	< 63	77	185	<b>271</b>	427	637	722	>6944

Substances	LQ	LS	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
PCB28	25	1 250	89	84	4	1	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	21	>1250
PCB31	25	1 250	89	87	1	1	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	13	>1250
PCB52	25	1 250	89	83	5	1	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	46	>1250
PCB77	25	1 250	89	87	2	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	13	198
PCB101	25	1 250	89	77	12	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	44	102	578
PCB105	25	1 250	89	86	3	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	13	277
PCB118	25	1 250	89	82	7	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	40	372
PCB138	25	1 250	89	80	9	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	16	75	529
PCB153	25	1 250	89	81	8	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	70	514
PCB180	25	1 250	89	85	4	0	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	< 25	248
BBP	63	3 125	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-6								
DBP	500	50 000	89	0	64	25	7608	10462	13627	22056	<b>36324</b>	>50000	>50000	>50000	>147059
DEHP	500	50 000	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-6								
DEP	500	50 000	76	5	71	0	250	702	1429	2217	<b>2747</b>	3648	5634	6234	9857
DiBP	500	50 000	89	0	26	63	Échantillons retraités, voir Tableau 5-6								
DMEP	63	3 125	89	85	4	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	5599
DiNP	500	50 000	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-6								
DMP	63	3 125	54	7	47	0	32	32	32	116	<b>239</b>	505	1021	1600	2641
BDE99	63	3 125	89	78	11	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	123	323	546
BDE100	63	3 125	89	82	7	0	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	< 63	133	229

LQ : limite de quantification (concentration minimale quantifiable pour une prise d'essai de 200 mg de poussières)

LS : limite supérieure de quantification (concentration maximale quantifiable pour une prise d'essai de 200 mg de poussières)

n : nombre d'échantillons ; P : percentile

n<sub>(x<LQ)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration inférieure à la limite de quantification

n<sub>(LQ<x<LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration située dans la gamme de quantification

n<sub>(x>LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration supérieure à la limite supérieure de quantification

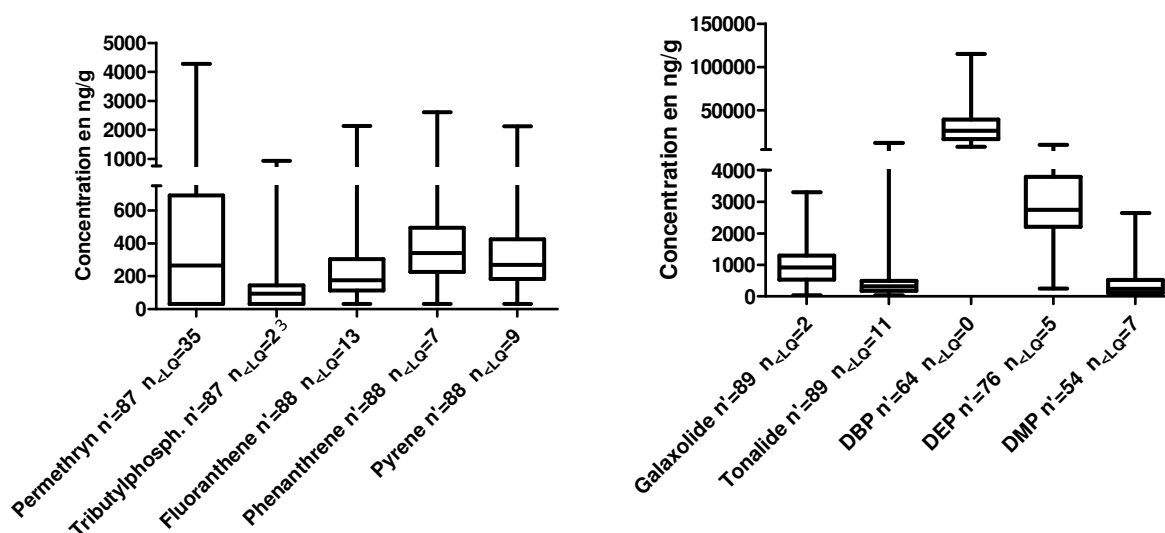


Figure 5-3 : Distributions des concentrations dans les poussières des 10 composés dont la majorité des teneurs sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification dans les poussières prélevées par aspirateur

$n'$  : nombre de cas de concentrations inférieures à la limite supérieure de quantification ( $n' = n_{(x < LQ)} + n_{(LQ < x < LS)}$ )

Les concentrations de trois phtalates (BBP, DEHP et DiNP) dans tous les échantillons sont au delà de la limite supérieure de quantification de la méthode. Il en est de même pour le DiBP pour plusieurs échantillons. Leur détermination aurait nécessité la réanalyse de la totalité des extraits de poussières. Il a donc été décidé d'analyser une trentaine d'échantillons sur les 89 en réalisant des dilutions au vingtième, au quarantième ou au deux centièmes de l'extrait initial. Les classes sélectionnées pour cette réanalyse sont les mêmes que celles choisies pour la réanalyse des échantillons d'air. Les résultats présentés dans le Tableau 5-6 et la Figure 5-4 montrent que le DEHP est le composé ayant les concentrations les plus élevées (médiane à 1,4 mg/g), suivi du DiNP, puis du DiBP et du BBP.

Tableau 5-6 : Distribution des concentrations en COSV ( $\mu\text{g/g}$ ) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010)

	n	Min	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max
<b>BBP</b>	22	8,1	11	24	50	<b>100</b>	205	393	445	1 835
<b>DEHP</b>	28	215	261	311	674	<b>1 362</b>	2 131	4 249	5 538	8 817
<b>DiBP</b>	30	56	84	93	125	<b>259</b>	846	1 555	1 788	2 187
<b>DiNP</b>	32	158	245	362	586	<b>979</b>	2 042	3 700	3 891	9 089

n = nombre d'échantillons

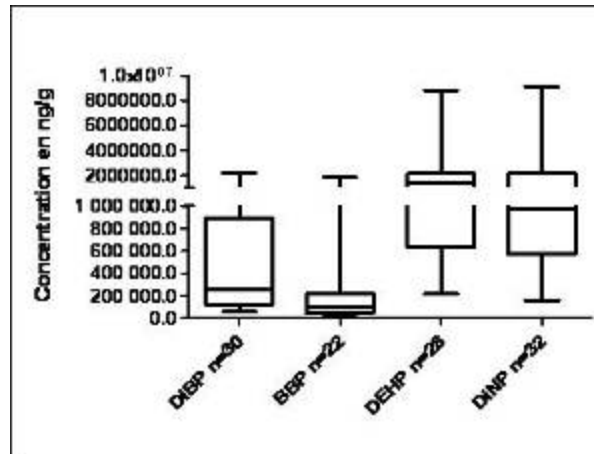


Figure 5-4 : Concentrations en phtalates (ng/g) dans les poussières prélevées par aspirateur (après dilution des extraits)

**En résumé**, parmi les 55 molécules sélectionnées, 42 ont été quantifiées dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe. Les COSV présents dans ces poussières en plus forte concentration (médiane > 5µg/g) sont des phtalates : le BBP, le DBP, le DEHP, le DiBP et le DiNP. Les concentrations élevées de ces molécules par rapport aux autres ne permettent pas leur quantification en une seule injection.

Comme déjà observé, le DEHP est le composé ayant la concentration la plus élevée (Langer et al., 2010). Sa médiane de concentration évaluée sur 28 classes est supérieure à 1 000 µg/g. Des concentrations généralement plus faibles (500 à 1 000 µg/g) ont été notées dans des logements et crèches au Danemark (Langer et al., 2010) et il y a peu de données dans les écoles : seuls Clausen *et al.* (2003) ont analysé le DEHP dans des échantillons de poussières de 15 écoles danoises et ont obtenu une médiane égale à 3 124 µg/g. Ces fortes concentrations pourraient être probablement associées à la présence importante de sols plastifiés dans les écoles puisqu'il a été démontré un transfert direct du DEHP du sol plastifié à la poussière en contact avec ce sol (Clausen et al., 2003).

#### 5.2.2.2 Concentrations des COSV exprimées par unité de surface (ng/m<sup>2</sup>)

En plus des résultats présentés par unité de masse (ng de composé par gramme de poussières aspiré), les 89 échantillons de poussières prélevés par aspirateur peuvent être exprimés en concentration par unité de surface aspirée (ng de composé par m<sup>2</sup>) afin de permettre la comparaison avec les prélèvements réalisés avec les lingettes (paragraphe 5.3.3). Les résultats sont présentés dans le Tableau 5-7.

Les représentations graphiques ont été réalisées pour les composés dont la majorité des teneurs sont comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (Figure 5-5) en séparant les muscs et les phtalates des autres composés.

Tableau 5-7 : Concentrations surfaciques en COSV (ng/m<sup>2</sup>) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe (Ille-et-Vilaine 2010)

Substances	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
Trans-chlordane	89	88	1	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	33
4,4'-DDE	89	87	2	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	33
4,4'-DDT	89	76	13	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	14,9	29,2	83,1
Dieldrine	89	87	2	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
Alpha-endosulfan	89	88	1	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
Endrine	89	85	4	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
α-HCH	89	87	2	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	33
γ-HCH	89	73	16	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	16,7	33	152
Chlorpyrifos-ethyl	89	86	3	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
Diazinon	89	87	2	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
Oxadiazon	89	81	8	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	23,7	83,1
Cyperméthrine	89	85	4	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
Perméthrine	89	35	52	2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>8,5</b>	24,6	98,4	259	>5064
Tributylphosphate	89	23	64	2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	<b>3,0</b>	14,4	58,1	122	298
Galaxolide	89	2	87	0	< LQ	4	6,6	10,9	<b>24,0</b>	74,3	234	447	1930
Tonalide	89	11	78	0	< LQ	< LQ	0,4	3,5	<b>10,9</b>	36,5	99	231	601
Anthracène	89	53	36	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	5,9	22,9	36,4	150
Benzo(a)pyrène	89	65	24	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	15,6	48,5	195
Fluoranthène	89	13	75	1	< LQ	< LQ	0,3	2,4	<b>5,2</b>	24	78,7	143	555
Fluorène	89	53	36	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6,6	18,5	35	265
Phénanthrène	89	7	81	1	< LQ	< LQ	1,6	4,7	<b>10,8</b>	42,9	96,8	171	813
Pyrène	89	9	79	1	< LQ	< LQ	1,1	3,7	<b>8,1</b>	29,9	90,9	218	615

Substances	n	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
PCB28	89	84	4	1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	>225
PCB31	89	87	1	1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	>225
PCB52	89	83	5	1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	10,1	>225
PCB77	89	87	2	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	35,8
PCB101	89	77	12	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	7,2	15,2	119
PCB105	89	86	3	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	50
PCB118	89	82	7	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	8,9	91,7
PCB138	89	80	9	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	8,8	97,9
PCB153	89	81	8	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	9,2	77,8
PCB180	89	85	4	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	33
BBP	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-8								
DBP	89	0	64	25	35,5	142	181	374	<b>1063</b>	> LS	> LS	> LS	> LS
DEHP	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-8								
DEP	76	5	71	0	0,9	7,1	18,6	34,2	<b>90,2</b>	244	729	1420	3110
DIBP	89	0	26	63	Échantillons retraités, voir Tableau 5-8								
DMEP	89	85	4	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	83,1
DiNP	89	0	0	89	Échantillons retraités, voir Tableau 5-8								
DMP	54	7	47	0	< LQ	< LQ	< LQ	2,3	<b>6,3</b>	28,4	71,7	95	2790
BDE99	89	78	11	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	11,7	27,3	628
BDE100	89	82	7	0	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	14,5	257

n : nombre total d'échantillons

n<sub>(x<LQ)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration inférieure à la limite de quantification

n<sub>(LQ<x<LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration située dans la gamme de quantification

n<sub>(x>LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration supérieure à la limite supérieure de quantification

**Note** : les valeurs de LQ et de LS ne sont pas présentées dans ce tableau puisque toutes les valeurs sont ajustées à la surface échantillonnée.

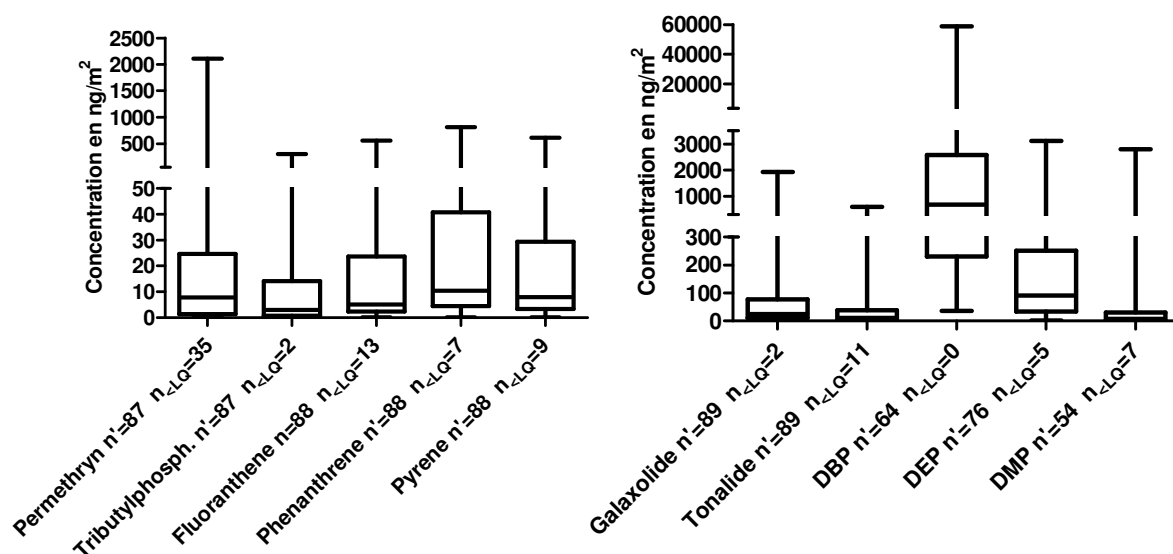


Figure 5-5 : Distribution des concentrations surfaciques ( $\text{ng}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par aspirateur

$n'$  : nombre de cas de concentrations inférieures à la limite supérieure de quantification ( $n' = n_{(x < LQ)} + n_{(LQ < x < LS)}$ )

Les concentrations pour le BBP, le DEHP, le DiNP, le DiBP et le DBP ont été estimées par dilution au vingtième, au quarantième ou au deux centièmes de l'extrait initial selon le niveau de concentration de ces molécules dans les classes sélectionnées. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5-8.

Tableau 5-8 : Concentrations en phtalates ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par aspirateur dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010)

	n	Min	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max
<b>BBP</b>	22	0,174	0,349	0,634	1,36	<b>5,05</b>	10,1	54,8	277	309
<b>DEHP</b>	28	3,71	4,40	7,64	11,5	<b>47,5</b>	222	813	1 100	7 550
<b>DiBP</b>	30	0,841	1,12	1,46	3,14	<b>18,7</b>	58,7	139	280	432
<b>DiNP</b>	32	1,95	6,10	7,02	11,5	<b>58,8</b>	133	376	549	772

Les composés ayant les concentrations surfaciques les plus élevées (médiane supérieure à  $900 \text{ ng}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par aspirateur sont le BBP, le DBP, le DEHP, le DiBP et le DiNP. Le DiNP est le composé retrouvé en plus forte concentration dans ces salles de classe, sa médiane étant supérieure à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2$ . Le DEHP est le second composé retrouvé en forte concentration (médiane supérieure à  $45 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ).

### 5.2.3 POLLUANTS ET CONCENTRATIONS DANS LES POUSSIÈRES PRÉLEVÉES AVEC DES LINGETTES

Sur les 90 prélèvements par lingette réalisés, 9 échantillons n'ont pu être validés en raison de problèmes intervenus lors de leur extraction. Des « effets mémoires » et/ou des contaminations aléatoires dans la filière analytique ont également été observés pour plusieurs molécules : le BBP, le DBP, le DEHP, le DiNP, le DEP, le DIBP, le DMP, la galaxolide, le phénanthrène, le pyrène et le tributylphosphate. La contamination par la galaxolide a entraîné l'invalidation de 15 résultats, et celle par les autres molécules de 21 résultats.

Des blancs terrains ont été réalisés dans chaque école : une lingette est déballée dans l'une des classes de l'école, puis elle est pliée, introduite dans un tube de prélèvement et enfin analysée au laboratoire comme les autres prélèvements. Quelques contaminations des blancs terrains par des phtalates (BBP, DBP, DEHP, DiNP, DEP, DIBP et DMP) ont été observées. Elles touchent 2 à 10 échantillons, selon les molécules. Certains résultats de phtalates (n=36) ne sont donc pas exploitables (N.E.).

Les résultats de 81 échantillons de poussières prélevés avec des lingettes sont présentés dans le Tableau 5-9.

Sur les 55 molécules sélectionnées, **21 n'ont jamais été quantifiées** :

- 13 pesticides organochlorés (cis-chlordane, trans-chlordane, 4,4'-DDE, aldrine, endrine, heptachlore et metolachlore), organophosphorés (dichlorvos et diazinon), pyréthriinoïdes (cyfluthrine, deltaméthrine et tétraméthrine) et autre (atrazine) ;
- 5 polychlorobiphényles (PCB 28, PCB 31, PCB 77, PCB 126 et PCB 180) ;
- 2 polybromodiphényléthers (BDE 85 et BDE 119) ;
- 1 hydrocarbure aromatique polycyclique (acénaphène).

Les valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ) ont été remplacées, pour la description des résultats, par la moitié de la limite de quantification (LQ/2) (cf. « *Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments*, USEPA, 2000 »). Les résultats supérieurs au point haut de la gamme de calibration sont exprimés par la mention « > LS ».

Sur les **34 composés quantifiés** :

- 20 composés ont des teneurs quasi systématiquement inférieures à la limite de quantification (4,4'-DDT, dieldrine, alpha-endosulfan, alpha-HCH, gamma-HCH, chlorpyrifos éthyl, oxadiazon, cyperméthrine, anthracène, benzo[a]pyrène, fluorène, PCB 52, 101, 105, 118, 138 et 153, DMEP, BDE 99 et 100) ;
- 6 composés ont moins de la moitié de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (perméthrine, tributylphosphate, fluoranthène, phénanthrène, pyrène et DMP) ;
- 4 composés ont la majorité de leurs concentrations comprises entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (galaxolide, tonalide, DBP et DEP) ;
- 4 composés ont la majorité de leurs teneurs au dessus des limites supérieures de quantification (BBP, DEHP, DiBP et DiNP).





Substances	LQ	LS	n <sub>éch.</sub>	n <sub>(x&lt;LQ)</sub>	n <sub>(LQ&lt;x&lt;LS)</sub>	n <sub>(x&gt;LS)</sub>	Min.	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max.
PCB118	20	830	81	80	1	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	290
PCB138	20	830	81	80	1	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	150
PCB153	20	830	81	80	1	0	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	128
BBP	40	2 080	69	0	0	69	Échantillons retraités, voir Tableau 5-10								
DBP	333	33 333	64	0	46	18	2640	4220	5310	8380	<b>15200</b>	>33333	>33333	>33333	>33333
DEHP	333	33 333	75	0	0	75	Échantillons retraités, voir Tableau 5-10								
DEP	333	33 333	65	22	43	0	< 333	< 333	< 333	< 333	<b>1310</b>	1950	3320	5200	17500
DiBP	333	33 333	71	0	32	39	Échantillons retraités, voir Tableau 5-10								
DMEP	40	2 080	81	74	7	0	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	142	310
DiNP	333	33 333	77	0	4	73	Échantillons retraités, voir Tableau 5-10								
DMP	40	2 080	79	48	31	0	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	161	264	555	1060
BDE99	40	2 080	81	79	2	0	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	406
BDE100	40	2 080	81	80	1	0	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40	193

LQ : limite de quantification, concentration minimale quantifiable pour une surface de 0,3 m<sup>2</sup>

LS : limite supérieure de quantification, concentration maximale quantifiable pour une surface de 0,3 m<sup>2</sup>

n<sub>(x<LQ)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration inférieure à la limite de quantification

n<sub>(LQ<x<LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration située dans la gamme de quantification

n<sub>(x>LS)</sub> : nombre d'échantillons avec une concentration supérieure à la limite supérieure de quantification

Une représentation graphique est réalisée pour les 4 composés dont la majorité des teneurs est comprise entre la limite de quantification et la limite supérieure de quantification (Figure 5-6). Il s'agit des muscs, et de deux phtalates, le DBP et le DEP.

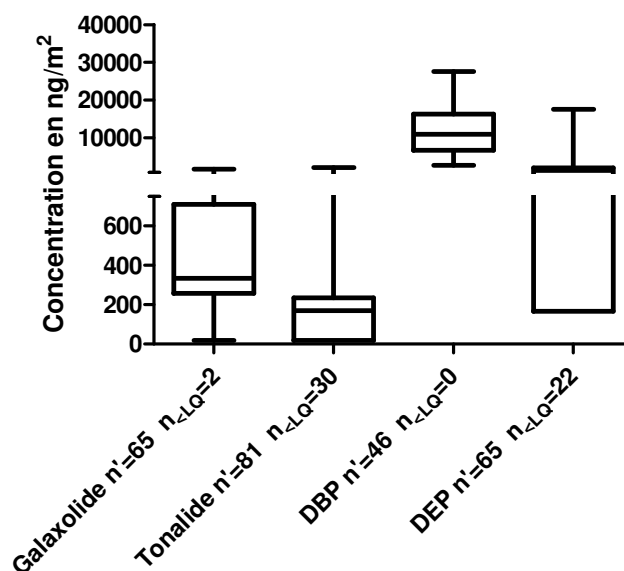


Figure 5-6 : Distribution des concentrations surfaciques ( $\text{ng}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par lingette

$n'$  : nombre de cas de concentrations inférieures à la limite supérieure de quantification ( $n' = n_{(x < LQ)} + n_{(LQ < x < LS)}$ )

Les concentrations pour les autres phtalates (BBP, DEHP, DiBP et DiNP) n'ont pu être estimées du fait de nombreux cas de concentrations au delà de la limite supérieure de quantification. Il a donc été décidé d'analyser une trentaine d'échantillons sur les 81 en réalisant des dilutions au vingtième ou au deux centièmes de l'extrait initial. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5-10 et la Figure 5-7.

Tableau 5-10 : Distribution des concentrations surfaciques en phtalates ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par lingette dans les salles de classe, échantillons dilués (Ille-et-Vilaine 2010)

	n	Min	P5	P10	P25	Médiane	P75	P90	P95	Max
<b>BBP</b>	27	5,24	6,75	7,48	13,8	<b>73,6</b>	404	972	1 940	4 380
<b>DEHP</b>	24	48,2	86,9	94,8	381	<b>1 210</b>	2 350	3 820	4 520	6 400
<b>DiBP</b>	16	41,3	49,1	61,9	87,8	<b>174</b>	340	538	978	1 800
<b>DiNP</b>	21	112	241	280	615	<b>894</b>	1 480	2 180	2 500	6 550

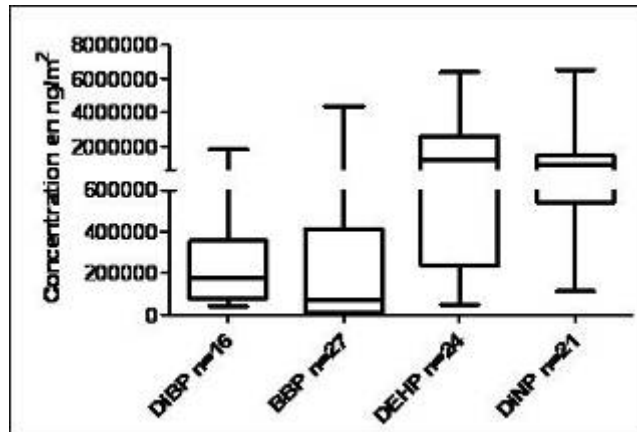


Figure 5-7 : Distribution des concentrations surfaciques en phtalates ( $\text{ng}/\text{m}^2$ ) dans les poussières prélevées par lingette

**En résumé**, parmi les 55 molécules sélectionnées, 34 ont été quantifiées dans les poussières prélevées par lingette dans les salles de classe. Les phtalates (BBP, DBP, DEHP, DiBP et DiNP) sont les composés ayant les concentrations les plus élevées avec une médiane bien supérieure à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^2$ . Le DEHP est le composé observé en plus forte concentration : sa médiane évaluée sur les 24 classes est supérieure à  $1\,200 \mu\text{g}/\text{m}^2$ .

De même que pour l'échantillon de poussières prélevées avec l'aspirateur, l'écart de concentration entre ces phtalates et les autres molécules ne permet pas leur quantification en une seule injection.

## 5.2.4 COMPARAISON DES METHODES DE PRELEVEMENT DE POUSSIÈRES

### 5.2.4.1 Mise en œuvre et évolution des matériels

En termes de praticité, les prélèvements de poussières au moyen d'une lingette sont faciles et rapides à mettre en œuvre (10 minutes maximum par salle de classe). Le matériel nécessaire n'est pas encombrant et les prélèvements ne font pas de bruit.

Les prélèvements de poussières par aspirateur sont plus difficiles à mettre en œuvre puisque la préparation de la tête de prélèvement est délicate, le prélèvement est bruyant, nécessite un matériel encombrant et prend environ 20 minutes par classe. Un inconvénient est que, du fait d'un débit d'aspiration réduit en raison d'une perte de charge importante due à la cartouche de cellulose, l'aspirateur chauffe et s'arrête en milieu de prélèvement. Cependant, au cours de la campagne d'échantillonnage dans les 90 classes, la méthode a évolué et s'est améliorée (Tableau 5-11).

Tableau 5-11 : Évolution de la mise en œuvre des prélèvements de poussières par aspirateur

	<b>Novembre 2009</b>	<b>Décembre 2009</b>	<b>Janvier-Février 2010</b>	<b>Mars-Mai 2010</b>
	<b>5 premières écoles</b>	<b>6 écoles suivantes</b>	<b>10 écoles suivantes</b>	<b>9 écoles suivantes + revisites</b>
<b>Temps disponible / nécessaire</b>	environ 30 minutes	environ 30 minutes	30-40 minutes	environ 20 minutes
<b>Technique</b>	installation de gabarits de 1 m <sup>2</sup> en ficelle	installation de gabarits de 1 m <sup>2</sup> en ficelle	utilisation du terrain (carreaux de carrelage, démarcation du revêtement, séparations matérielles)	utilisation du terrain + embout plastique recouvert de papier aluminium
<b>Surface médiane aspirée (m<sup>2</sup>)</b>	2,0	3,0	6,8	11
<b>Quantité médiane de poussières brutes aspirées (mg)</b>	*	237	722	1040
<b>Quantité médiane de poussières aspirées &lt; 100 µm (mg)</b>	*	*	260	313
<b>Nombre de prélèvements &gt; 200 mg de poussières tamisées à 100 µm</b>	*	4/18 (22 %)	17/30 (56 %)	35/44 (80 %)

\*La mesure de la masse prélevée n'ayant commencé qu'à partir de décembre 2009, il n'y pas de données disponibles pour les 5 premières écoles. De même, la quantité médiane de poussières aspirées < 100µm n'est pas disponible avant janvier car les prélèvements de poussières insuffisants n'ont pas été tamisés (utilisation des échantillons prélevés lors des revisites).

A partir de mars 2010, une tête d'aspiration (embout plastique recouvert de papier aluminium) a été ajoutée au bout du tube de l'aspirateur, ce qui a permis de faciliter l'aspiration (position debout) et d'investiguer des surfaces presque deux fois plus importantes en un temps réduit (20 minutes).

Pour les 44 salles de classes où les prélèvements de poussières ont été réalisés avec la tête d'aspiration, les résultats suivants ont été obtenus :

- 23 prélèvements de surface supérieure à 10 m<sup>2</sup> et 12 prélèvements de surface inférieure à 10 m<sup>2</sup> ont généré chacun plus de 200 mg de poussières tamisées ;
- 5 prélèvements de surface supérieure à 10 m<sup>2</sup> et 4 prélèvements de surface inférieure à 10 m<sup>2</sup> ont généré chacun moins de 200 mg de poussières tamisées.

Au global, 80 % de tous les prélèvements réalisés avec la tête d'aspiration ont permis d'obtenir plus de 200 mg de poussières tamisées, valeur qui atteint 82 % pour les prélèvements réalisés sur une surface de plus de 10 m<sup>2</sup>.

Effet de la tête d'aspiration sur la nature de la poussière aspirée (ratio poussières tamisées / poussières brutes)

L'aspiration sans tête d'aspiration permet d'observer que le pourcentage de poussières tamisées à 100 µm augmente quand la quantité de poussières brutes aspirées augmente. En revanche, quand la tête d'aspiration est utilisée, le pourcentage de poussières tamisées à 100 µm reste stable quelle que soit la quantité aspirée. (Figure 5-8).

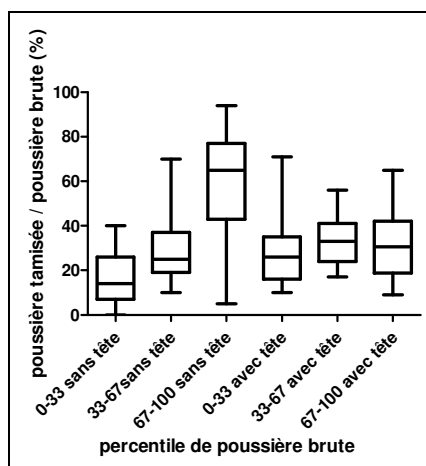


Figure 5-8 : Variation du ratio poussières tamisées / poussières brutes en fonction de la quantité de poussières brutes pour des prélèvements réalisés avec ou sans tête d'aspiration

Deux hypothèses peuvent être émises :

- piégeage par électrostatisme des petites particules au niveau de l'aluminium recouvrant la tête d'aspiration ;
- aspiration des particules les plus profondément enfouies dans les fibres du tapis du fait d'une dépression plus forte sans la tête d'aspiration.

La médiane du ratio de poussières tamisées sur poussières brutes obtenue avec la tête d'aspiration est par ailleurs de 30 % (Tableau 5-12). Ceci corrobore les résultats généralement observés dans la littérature (Butte et al., 2002).

Tableau 5-12 : Comparaison des quantités de poussières tamisées ou brutes obtenues avec ou sans tête d'aspiration

	Sans tête d'aspiration			Avec tête d'aspiration		
	Masse de poussières (mg)		Pourcentage de poussières tamisées à 100 µm	Masse de poussières (mg)		Pourcentage de poussières tamisées à 100 µm
	Brutes	Tamisées (100 µm)		Brutes	Tamisées (100 µm)	
<b>n</b>	45	45	100 %	43	43	100 %
<b>Min</b>	48	0	0 %	318	35	9 %
<b>1<sup>er</sup> tercile</b>	244	49	18 %	868	198	25 %
<b>Médiane</b>	468	99	<b>26 %</b>	1040	313	<b>30 %</b>
<b>2<sup>ème</sup> tercile</b>	1221	442	40 %	1381	434	36 %
<b>Max</b>	17471	15029	94 %	7328	2473	71 %

## 5.2.4.2 Résultats de la comparaison des méthodes de prélèvement

Les résultats obtenus dans 80 classes avec les deux méthodes de prélèvement ont été comparés en termes de **fréquence de quantification**. Le tableau 5-13 présente les fréquences de quantification pour chacune des 55 substances investiguées et pour chacune des deux méthodes de prélèvement.

Tableau 5-13 : Fréquence de quantification des 55 substances pour chacune des deux méthodes de prélèvement de poussières

	Prélèvement par aspirateur			Prélèvement par lingette		
	Nombre d'échantillons	Nombre total d'échantillons	Fréquence de quantif. (%)	Nombre d'échantillons	Nombre total d'échantillons	Fréquence de quantif. (%)
<b>Pesticides organochlorés</b>						
γ-HCH	16	80	20	2	80	3
4,4'-DDT	13	80	16	2	80	3
Endrine	4	80	5	0	80	0
4,4'-DDE	3	80	4	0	80	0
α-HCH	3	80	4	0	80	0
Dieldrine	2	80	3	1	80	1
Alpha-endosulfan	1	80	1	1	80	1
Aldrine	0	80	0	0	80	0
Cis-chlordane	0	80	0	0	80	0
Trans-chlordane	0	80	0	0	80	0
Heptachlore	0	80	0	0	80	0
Métolachlore	0	80	0	0	80	0
<b>Pesticides organophosphorés</b>						
Chlorpyrifos-ethyl	3	80	4	2	80	3
Diazinon	2	80	3	0	80	0
Dichlorvos	0	80	0	0	80	0
<b>Pyréthroïdes</b>						
Perméthrine	47	80	59	22	80	28
Cyperméthrine	3	80	4	1	80	1
Cyfluthrine	0	80	0	0	80	0
Deltaméthrine	0	80	0	0	80	0
Tétraméthrine	0	80	0	0	80	0
<b>Autres pesticides</b>						
Oxadiazon	8	80	10	1	80	1
Atrazine	0	80	0	0	80	0
<b>Esters phosphoriques</b>						
Tributylphosphate	60	80	75	16	78	21
<b>Muscs</b>						
Galaxolide	78	80	98	63	65	97
Tonalide	69	80	86	50	80	63
<b>HAP</b>						
Phenanthrène	73	80	91	34	75	45
Pyrène	72	80	90	31	79	39
Fluoranthène	68	80	85	25	80	31
Anthracène	34	80	43	1	80	1
Fluorène	29	80	36	7	80	9
Benzo(a)pyrène	24	80	30	4	80	5
Acénaphthène	0	80	0	0	80	0
<b>Polychlorobiphényles</b>						
PCB 101	11	80	14	1	80	1
PCB 138	8	80	10	1	80	1
PCB 118	7	80	9	1	80	1
PCB 153	7	80	9	1	80	1
PCB 52	6	80	8	2	80	3

	Prélèvement par aspirateur			Prélèvement par lingette		
	Nombre d'échantillons	Nombre total d'échantillons	Fréquence de quantif. (%)	Nombre d'échantillons	Nombre total d'échantillons	Fréquence de quantif. (%)
PCB 28	4	80	5	0	80	0
PCB 180	4	80	5	0	80	0
PCB 105	3	80	4	1	80	1
PCB 31	2	80	3	0	80	0
PCB 77	2	80	3	0	80	0
PCB 126	0	80	0	0	80	0
<b>Phtalates</b>						
BBP	80	80	100	69	69	100
DBP	80	80	100	63	63	100
DEHP	80	80	100	74	74	100
DiBP	80	80	100	70	70	100
DiNP	80	80	100	76	76	100
DEP	64	68	94	42	64	66
DMP	45	51	88	30	78	38
DMEP	5	80	6	7	80	9
<b>Polybromodiphényléthers</b>						
BDE 99	6	80	8	2	80	3
BDE 100	3	80	4	1	80	1
BDE 85	0	80	0	0	80	0
BDE 119	0	80	0	0	80	0

**La fréquence de quantification est plus élevée dans les échantillons prélevés par aspirateur pour toutes les substances à l'exception du DMEP.** Lorsqu'une substance est quantifiée dans un échantillon prélevé au moyen d'une lingette, elle est également quantifiée dans l'échantillon prélevé par aspirateur. Douze composés (perméthrine, galaxolide, tonalide, benzo[a]pyrène, fluoranthène, fluorène, phénanthrène, pyrène, DEP, DMEP, DMP et BDE 99) sont bien présents dans les échantillons de poussières prélevés par aspirateur, mais non quantifiables (concentrations inférieures aux limites de quantification).

Les **médianes** des concentrations de 11 molécules (4 phtalates, 3 HAP et 2 pesticides) ayant au moins 14 valeurs exploitables sont systématiquement plus élevées dans les prélèvements par lingette par rapport aux prélèvements par aspirateur, dans des rapports de concentration allant de 5 à 25.

Deux hypothèses peuvent être avancées :

- la lingette récupère les particules les plus fines ayant une grande surface d'adsorption et par conséquent une grande quantité de COSV ;
- à la différence du prélèvement par aspirateur, le prélèvement par lingette n'induit pas de différence de pression et n'entraîne pas l'évaporation des COSV.

Les **corrélations entre les concentrations surfaciques** de ces composés (ng/m<sup>2</sup>) obtenues par les deux méthodes de prélèvement ont ensuite été étudiées à l'aide du test non paramétrique de Spearman (Tableau 5-14) pour les composés ayant le plus de valeurs exploitables. Des relations significatives entre les deux méthodes de prélèvement sont observées pour les muscs, les HAP et un seul phtalate, le DBP. Aucune corrélation significative n'est observée pour les autres phtalates, la perméthrine et le tributylphosphate.



Tableau 5-14 : Corrélation entre les concentrations de 11 composés (ng/m<sup>2</sup>) obtenues par aspirateur et par lingette

	Effectif n	Test de Spearman	
		Coefficient de corrélation (r)	p
<b>Perméthrine</b>	17	0,07	0,3
<b>Tributylphosphate</b>	14	-0,2	0,6
<b>Galaxolide</b>	61	<b>0,32</b>	<b>0,01</b>
<b>Tonalide</b>	45	<b>0,55</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>Fluoranthène</b>	22	<b>0,58</b>	<b>0,005</b>
<b>Phénanthrène</b>	30	0,32	0,09
<b>Pyrène</b>	27	<b>0,65</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>DMP</b>	18	0,41	0,09
<b>DEP</b>	34	0,15	0,4
<b>DBP</b>	37	<b>0,35</b>	<b>0,03</b>
<b>DiBP</b>	14	0,29	0,3

## 6. DISCUSSION ET CONCLUSION

### 6.1 TECHNIQUES DE PRÉLÈVEMENT ET D'ANALYSE

Des protocoles de prélèvement et d'analyse de l'air et des poussières sédimentées pour la mesure de 55 COSV ont été élaborés et testés sur 30 écoles (90 salles de classe).

Deux techniques de prélèvements des poussières sédimentées ont été testées (aspirateur et lingette). Les prélèvements de poussières au moyen d'une lingette sont faciles et rapides à mettre en œuvre par rapport aux prélèvements par aspirateur, plus long et nécessitant la préparation de la tête d'aspiration. La fréquence de quantification pour la majorité des COSV est plus élevée dans les échantillons prélevés par aspirateur que dans ceux prélevés par lingette (même si le choix d'utiliser trois lingettes au lieu d'une a permis de détecter plus de molécules). Pour les composés quantifiés, les concentrations sont systématiquement plus élevées dans les prélèvements par lingette par rapport aux prélèvements par aspirateur, dans des rapports de concentration allant de 5 à 25 pour quelques molécules. Des corrélations significatives entre les deux types de prélèvement ont été retrouvées pour les muscs, les HAP et un seul phtalate.

Bien que le prélèvement par lingette soit facile et rapide à mettre en œuvre dans des études à grande échelle, il ne permet pas de fournir directement des résultats en quantité de substances par masse de poussières récoltées (ng/g). Cela nécessite une conversion des concentrations surfaciques (ng/m<sup>2</sup>), soit avec un facteur de conversion moyen (30 mg de poussières par lingette) calculé par l'équipe de l'EHESP sur 35 lingettes (Glorennec et al., 2007, Le Bot et al., 2010), soit, pour chaque lingette, avec une pesée après prélèvement (cette dernière solution étant actuellement difficile à mettre en pratique).

Plusieurs limites techniques au protocole de mesure des phtalates ont pu être mises en évidence et des améliorations ont ainsi été apportées. En effet, il ressort que pour les prélèvements par aspirateur, une prise d'essai de 200 mg de poussières tamisées à 100 µm n'est pas nécessaire pour déterminer des concentrations dans une gamme élevée (cas des phtalates). Ainsi une prise d'essai de 10 mg peut suffire pour ces derniers composés. Pour les prélèvements par lingette, une seule lingette suffit pour l'analyse des phtalates, ce qui n'est pas le cas pour les autres molécules. Afin de récolter la même quantité de poussières qu'avec le prélèvement par aspirateur (soit 200 mg), il conviendrait d'utiliser 7 lingettes au total (7 x 30 mg poussières/lingette = 210 mg). Ainsi le protocole d'analyse multi-résidus développé initialement pour réduire les coûts d'analyse ne s'avère pas réalisable au vu de ces résultats et implique deux prélèvements de poussières et deux analyses indépendantes, l'une pour les phtalates et l'autre pour les autres composés.

Au niveau des résultats analytiques (voir la synthèse dans le Tableau 6-1), une contamination des blancs terrain pour les phtalates a été mise en évidence pour les deux types d'échantillons (air et poussières prélevées par lingette). Les blancs terrain concernant les échantillons d'air sont principalement contaminés par le DiNP et la source suspectée est la mousse de polyuréthane. Le protocole

de prélèvement a été adapté en conséquence. Par contre, pour les échantillons de poussières prélevés par lingette, les contaminations observées sur les blancs terrain ont entraîné l'invalidation d'un pourcentage non négligeable de résultats et la source, qui n'a pas encore été identifiée, doit être recherchée avant de mettre en place le protocole sur le terrain. De façon générale, les concentrations élevées en phtalates constituent une source possible de contamination de la filière analytique (effets mémoires).

## 6.2 COMPOSES ORGANIQUES SEMI-VOLATILS MESURES

Il ressort de cette étude que sur les 55 composés sélectionnés (voir la synthèse dans le Tableau 6-1) :

- **10 composés** (cis-chlordane, heptachlore, métolachlore, atrazine, cyfluthrine, deltaméthrine, tétraméthrine, PCB 126, BDE 85 et BDE 119) n'ont **jamais été quantifiés** au dessus du seuil de quantification pour les trois types d'échantillon (air, poussières lingette et poussières aspirateur) ;
- **11 composés** (dieldrine, alpha-endosulfan, chlorpyrifos éthyl, cyperméthrine, DMEP, PCB 105, PCB 118, PCB 138, PCB 153, BDE 99 et BDE 100) sont **difficilement quantifiables** car la majorité de leurs teneurs sont en dessous du seuil de quantification pour les trois types d'échantillons (air, poussières lingette et poussières aspirateur) ;
- **8 composés sont quantifiables** (BBP, DBP, DEHP, DEP, DiBP, DiNP, galaxolide et tonalide) **dans les trois types d'échantillons** (air, poussières lingette et poussières aspirateur) ;
- **26 composés sont quantifiables dans l'air ou dans les poussières** (4,4'-DDE, 4,4'-DDT, trans-chlordane, aldrine, endrine, alpha-HCH, gamma-HCH (lindane), dichlorvos, diazinon, perméthrine, oxadiazon, tributylphosphate, DMP, acénaphène, anthracène, benzo[a]pyrène, phénanthrène, pyrène, fluoranthène, fluorène, PCB 28, PCB 31, PCB 52, PCB 77, PCB 101 et PCB 180).

Parmi les composés quantifiables, **les composés présentant les plus fortes concentrations quel que soit le milieu de prélèvement (air ou poussières) sont six phtalates (BBP, DBP, DEHP, DEP, DiBP et DiNP) et dans une moindre mesure deux muscs (galaxolide et tonalide).**

Du fait des concentrations élevées en phtalates, leur analyse a nécessité des dilutions au deux centièmes qui impactent les incertitudes de mesure et donc la qualité des résultats. Les phtalates les plus volatils, comme le DBP et le DEP, sont présents à des concentrations plus élevées dans l'air que des phtalates moins volatils, comme le DEHP ou le BBP qui sont plus abondants dans les poussières (Rudel et al., 2009 et Fromme et al., 2004). Le DEHP est le composé majoritairement retrouvé dans les poussières déposées à des concentrations très élevées mais similaires à celles retrouvées dans des écoles danoises par Clausen *et al.* (2003). Ces concentrations pourraient être associées à la présence importante de sols plastifiées dans les 30 écoles investiguées (48 % des salles de classe). Enfin, le DiBP est un composé retrouvé assez abondamment à la fois dans l'air et dans les poussières, mais peu de données dans la littérature existent sur ce composé.

Quant aux muscs, ils sont plus fréquemment retrouvés dans l'air que dans la poussière comme l'ont montré Fromme *et al.* (2004) en Allemagne. Les données concernant ces composés dans l'air comme dans la poussière sont plutôt rares actuellement.

Concernant les HAP, le pyrène et le benzo(a)pyrène sont le plus souvent observés dans la poussière car ils sont peu volatils et s'adsorbent préférentiellement sur les particules déposées (Weschler *et al.*, 2008). Les niveaux de ces deux composés sont globalement proches de ceux observés dans la littérature dans des crèches ou des maisons au Danemark (Langer *et al.*, 2010). Leurs principaux déterminants sont la proximité au trafic routier et la présence de sources intérieures de combustion.

Sur les 23 pesticides recherchés, seuls l'alpha-HCH, le gamma-HCH (ou lindane) et un ester phosphorique, le tributylphosphate sont quantifiables dans l'air, alors que la perméthrine et le gamma-HCH sont quantifiables dans la poussière.

Les congénères de BDE sont soit non quantifiés, soit difficilement quantifiables dans l'air comme dans la poussière. Les concentrations mesurées dans cette étude sont très faibles par rapport à celles observées dans des logements européens (Fromme *et al.*, 2009). Peu de données existent actuellement dans les écoles.

Enfin, en ce qui concerne les PCB, la majorité des congénères sont difficilement quantifiables dans l'air et les poussières. Seuls les congénères 28, 31 et 52 sont quantifiés dans l'air et le PCB 101 l'est à la fois dans l'air et dans les poussières.

Au final, cette étude a permis de mettre en place des protocoles de prélèvement et d'analyse des COSV dans l'air et les poussières déposées dans les salles de classe. Suite à cette étude de faisabilité, les mesures des COSV dans l'air et les poussières vont être déployées dans les 300 écoles (600 salles de classe) de la campagne nationale de l'OQAI qui démarre en 2013. Par ailleurs, ces premières données françaises de concentrations mesurées dans les salles de classe peuvent d'ores et déjà être utilisées dans la hiérarchisation sanitaire des polluants de l'environnement intérieur des écoles (Almeras, 2010).

Tableau 6-1 : Synthèse des résultats analytiques des prélèvements d'air et de poussières des 90 salles de classe investiguées pour les 55 composés organiques semi-volatils sélectionnés (en gras, COSV communs à l'air et aux poussières)

	Air	Poussières	
		Prélèvement par aspirateur	Prélèvement par lingettes
Filière analytique		Risques de contaminations aléatoires pour les phtalates dans la filière analytique au cours de leurs analyses : DMP et DEP Source non identifiée	Risques « d'effets mémoires » et ou de contaminations aléatoires dans la filière analytique au cours de leurs analyses pour: BBP, DBP, DEHP, DiNP, DEP, DIBP et DMP, galaxolide, phénanthrène, pyrène et tributyl phosphate.
Blancs terrains	Contamination en particulier pour le DiNP (fréquence) et pour 4 autres phtalates (BBP, DEHP, DMP et DEP) Source suspectée : mousses de polyuréthane neuves (deux lavages sont nécessaires avant la première utilisation)		Contamination des blancs terrains uniquement pour les phtalates (BBP, DBP, DEHP, DiNP, DEP, DIBP et DMP)  Source non identifiée
Composés non quantifiés	4,4'-DDE, <b>Atrazine</b> , <b>BDE 85</b> , <b>BDE 119</b> , Benzo(a)pyrene, <b>Cis-chlordane</b> , <b>Cyfluthrine</b> , <b>Deltaméthrine</b> , Endrine, <b>Heptachlore</b> , <b>Metolachlore</b> , Oxadiazon, PCB 77, <b>PCB 126</b> , PCB 180, <b>Tétraméthrine</b> , Trans-chlordane	Acenaphtene, Aldrine, <b>Atrazine</b> , <b>BDE 85</b> , <b>BDE 119</b> , <b>Cis-chlordane</b> , <b>Cyfluthrine</b> , <b>Deltaméthrine</b> , Dichlorvos, <b>Heptachlore</b> , <b>Metolachlore</b> , <b>PCB 126</b> , <b>Tétraméthrine</b>	4,4'-DDE, Acenaphtene, Aldrine, <b>Atrazine</b> , <b>BDE 85</b> , <b>BDE 119</b> , <b>Cis-chlordane</b> , <b>Cyfluthryne</b> , <b>Deltaméthryne</b> , Diazinon, Dichlorvos, Endrine, <b>Heptachlore</b> , <b>Metolachlore</b> , PCB 28, PCB 31, PCB 77, <b>PCB 126</b> , PCB 180, <b>Tétraméthrine</b> , Trans-chlordane
Composés difficilement quantifiables (majorité des données < LQ)	4,4'-DDT, aldrine, <b>alpha-endosulfan</b> , anthracène, <b>BDE 99</b> , <b>BDE 100</b> , <b>chlorpyrifos éthyl</b> , <b>cyperméthrine</b> , diazinon, dichlorvos, <b>dieldrine</b> , <b>DMEP</b> , <b>PCB 105</b> , <b>PCB 118</b> , <b>PCB 138</b> , <b>PCB 153</b> , perméthrine	4,4'-DDE, <b>alpha-endosulfan</b> , alpha-HCH, <b>BDE 99</b> , <b>BDE 100</b> , <b>Chlorpyrifos éthyl</b> , <b>cyperméthrine</b> , diazinon, <b>dieldrine</b> , <b>DMEP</b> , endrine, PCB 28, PCB 31, PCB 52, PCB 77, <b>PCB 105</b> , <b>PCB 118</b> , <b>PCB 138</b> , <b>PCB 153</b> et PCB 180, trans-chlordane	4,4'-DDT, <b>alpha-endosulfan</b> , alpha-HCH, anthracène, benzo[a]pyrène <b>BDE 99</b> , <b>BDE 100</b> , <b>chlorpyrifos éthyl</b> , <b>cyperméthrine</b> , <b>dieldrine</b> , <b>DMEP</b> , fluorène, gamma-HCH, oxadiazon, PCB 52, PCB 101, <b>PCB 105</b> , <b>PCB 118</b> , <b>PCB 138</b> , <b>PCB 153</b>
Composés possiblement quantifiables (plus de la moitié des mesures > LQ)	alpha-HCH, fluoranthène, pyrène, PCB 28, PCB 31, PCB 52, PCB 101	4,4'-DDT, anthracène, benzo[a]pyrène, fluorène, gamma-HCH, oxadiazon, PCB 101	DMP, fluoranthène, perméthrine, phénanthrène, pyrène, tributylphosphate
Composés quantifiables (classés par ordre décroissant des médianes des concentrations)	<b>DiBP</b> (730*), <b>DBP</b> (170*), <b>galaxolide</b> (108*), <b>DEHP</b> (82*), <b>DEP</b> (82*), <b>DiNP</b> (35*), <b>tonalide</b> (18*), <b>DMP</b> (11*), <b>BBP</b> (>10*), phénanthrène(8*), fluorène(5*), tributylphosphate (5*), $\gamma$ -HCH(2*), acénaphtène (1*)	<b>DEHP</b> (1 362 373 <sup>#</sup> ), <b>DiBP</b> (978 510 <sup>#</sup> ), <b>DiNP</b> (259 214 <sup>#</sup> ), <b>BBP</b> (99 549 <sup>#</sup> ), <b>DBP</b> (>1 064 <sup>#</sup> ), <b>DEP</b> (90 <sup>#</sup> ), <b>galaxolide</b> (24 <sup>#</sup> ), <b>tonalide</b> (11 <sup>#</sup> ), phénanthrène (11 <sup>#</sup> ), perméthrine (9 <sup>#</sup> ), pyrène (8 <sup>#</sup> ), <b>DMP</b> (6 <sup>#</sup> ), fluoranthène (5 <sup>#</sup> ), tributylphosphate (3 <sup>#</sup> )	<b>DEHP</b> (1 211 636 <sup>#</sup> ), <b>DiNP</b> (894 214 <sup>#</sup> ), <b>DiBP</b> (173 943 <sup>#</sup> ), <b>BBP</b> (73 628 <sup>#</sup> ), <b>DBP</b> (15 197 <sup>#</sup> ), <b>DEP</b> (1 314 <sup>#</sup> ), <b>galaxolide</b> (335 <sup>#</sup> ), <b>tonalide</b> (170 <sup>#</sup> )

\* en ng/m<sup>3</sup> / #en ng/m<sup>2</sup>

## 7. LISTE DES RÉFÉRENCES

Alm ras C. Hiérarchisation sanitaire des polluants de l'environnement intérieur : mise   jour pour le cas des logements et extrapolation   d'autres environnements intérieurs. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. 2010.

Atmosf'Air Bourgogne. Campagne de mesures de pesticides en air extérieur et intérieur. 2006, 37 p. <http://www.atmosfair-bourgogne.org>

Butte W, Heinzow B. Pollutants in house dust as indicators of indoor contamination. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2002;175:1-46.

Bonvallot N., Mandin C., Mercier F., Le Bot B., Glorennec P. Health ranking of semi-volatile organic compounds in house dust: an application to France. *Indoor Air*. 2010;20:458-472.

Bouvier G, Blanchard O, Momas I, Seta N. Pesticide exposure of non-occupationally exposed subjects compared to some occupational exposure: a French pilot study. *Sci Total Environ*. 2006 31;366(1):74-91.

Desmettres P. Comit  d partemental d'habitat et d'aménagement rural Pas-de-Calais, Phase 1 du programme Habit'air Nord-Pas-de-Calais. 2006, 78 p.

Fromme H, Lahrz T, Piloty M, Gebhart H, Oddoy A, R den H. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany). *Indoor Air*. 2004 14(3):188-95.

Fromme H, Körner W, Shahin N, Wanner A, Albrecht M, Boehmer S, Parlar H, Mayer R, Liebl B, Bolte G. Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany. *Environ Int*. 2009;35(8):1125-35.

Glorennec P, Bemrahb N, Tardb A, Robinc A, Le Bot B, Bard B. Probabilistic modeling of young children's overall lead exposure in France: Integrated approach for various exposure media. *Environ Int* 2007;33(7):937-45.

Langer S, Weschler CJ, Fischer A, Bek  G, Toftum G, Clausen G. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers. *Atmos Environ*. 2010;44(19):2294-2301.

Lewis RG, Fortune CR, Willis RD, Camann DE, Antley JT. Distribution of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in house dust as a function of particle size. *Environ Health Perspect*. 1999;107(9):721-6.

Le Bot B, Gilles E, Durand S and Glorennec P. Bioaccessible and quasi-total metals in soil and indoor dust. *Eur J Mineral*. 2010; 22: 651-657.

Office of Pesticide Programs, U.S. Environmental Protection Agency. Assigning values to non-detected/non-quantified pesticide residues in human health food exposure assessments. 2000, March 23.

Que Hee S *et al*. Evolution of efficient methods to sample lead sources, such as house dust and hand dust, in the homes of children. *Environ Res*. 1985;38:75-95.

Rudel RA, Camann DE, Spengler JD, Korn LR, Brody JG. Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust. *Environ Sci Technol*. 2003;37(20):4543-53.

Seifert B, Becker K, Helm D *et al*. The German Environmental Survey 1990/92 (GerES II): reference concentrations of selected environmental pollutants in blood, urine, hair, house dust, drinking water, and indoor air. *J Expos Anal Environ Epidemiol*. 2000;10:552-565.

---

# **ANNEXE**

---

## Annexe 1. Liste des COSV retenus : caractéristiques et n°CAS

- **Pesticides**

	Numéro CAS	Type
<b><i>Pesticides organochlorés</i></b>		
Aldrine	309-00-2	Insecticide
Dieldrine	60-57-1	Insecticide
Endrine	72-20-8	Insecticide/avicide
Cis-chlordane	5103-71-9	Insecticide
Trans-chlordane	5103-74-2	Insecticide
4,4'-DDE	72-55-9	Insecticide
4,4'-DDT	50-29-3	Insecticide
Alpha-HCH	319-84-6	Insecticide
Gamma-HCH/lindane	58-89-9	Insecticide/rodenticide
Alpha-endosulfan	959-98-8	Insecticide
Heptachlore	76-44-8	Insecticide
Métolachlore	51218-45-2	Herbicide
<b><i>Pesticides organophosphorés</i></b>		
Chlorpyrifos éthyl/Chlorpyrifos	2921-88-2	Insecticide/nématicide
Diazinon	333-41-5	Insecticide
Dichlorvos/DDVP	62-73-7	Insecticide
Malathion	121-75-5	Insecticide
Méthyl parathion	298-00-0	Insecticide/nématicide
Ethyl parathion /Parathion	56-38-2	Insecticide
<b><i>Pyréthroïdes</i></b>		
Cyfluthrine	68359-37-5	Insecticide
Cyperméthrine	52315-07-8	Insecticide
Deltaméthrine	52918-63-5	Insecticide
Perméthrine	52645-53-1	Insecticide
Tétraméthrine	7696-12-0	Insecticide
<b><i>Triazines</i></b>		
Atrazine	1912-24-9	Herbicide
<b><i>Thiophthalimides</i></b>		
Folpet	133-07-3	Fongicide
<b><i>Carbamates</i></b>		
Propoxur	114-26-1	Insecticide
<b><i>Autres pesticides</i></b>		
Oxadiazon	19666-30-9	Herbicide
<b><i>Esters phosphoriques</i></b>		
Tributylphosphate	126-73-8	--



- **Autres composés**

	<b>Numéro CAS</b>
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>	
Anthracène	120-12-7
Acénaphène	83-32-9
Benzo[a]pyrène	50-32-8
Benzo[ghi]perylène	191-24-2
Fluoranthène	206-44-0
Fluorène	86-73-7
Phénanthrène	85-01-8
Pyrène	129-00-0
<b>Muscs polycycliques</b>	
1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexaméthylcyclopenta-(g)-2-benzopyran / HHCB / Galaxolide	1222-05-5
6-Acetyl-1,1,2,4,4,7-hexaméthyltetraline / AHTN / Tonalide	1506-02-01
<b>Phtalates</b>	
Benzyl butyl phtalate (BBP)	85-68-7
Dibutyl phtalate (DBP)	84-74-2
Diisobutyl phtalate (DiBP)	84-69-5
Diéthyl phtalate (DEP)	84-66-2
Di (2-éthylhexyl) phtalate (DEHP)	117-81-7
Diméthylphtalate (DMP)	131-11-3
Bis (2-méthoxyéthyl) phtalate (DMEP)	117-82-8
Diisononylphtalate (DiNP)	28553-12-0
<b>Polychlorobiphényles (PCB)</b>	
2,4,4'-trichlorobiphényl (PCB 28)	7012-37-5
2,4',5-trichlorobiphényl (PCB 31)	16862-07-4
3,3',4,4'-tétrachlorobiphényl (PCB 77)	32598-13-3
2,2',4,5,5'-pentachlorobiphényl (PCB 101)	37680-73-2
2,3,3',4,4'-pentachlorobiphényle (PCB 105)	32598-14-4
2,3',4,4',5-pentachlorobiphényl (PCB 118)	31508-00-6
3,3',4,4',5-pentachlorobiphényl (PCB 126)	57465-28-8
2,2',3,4,4',5'-hexachlorobiphényl (PCB 138)	35065-28-2
2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphényl (PCB 153)	35065-27-1
2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphényl (PCB 180)	35065-29-3
<b>Polybromodiphényléthers (PBDE)</b>	
2,2',3,4,4'-pentabromo diphényl éther (BDE 85)	182346-21-0
2,2',4,4',5-pentabromo diphényl éther (BDE 99)	60348-60-9
2,2',4,4',6-pentabromo diphényl éther (BDE 100)	189084-64-8
2,3',4,4',6-pentabromo diphényl éther (BDE 119)	189084-66-0
Décabromodiphényléther (BDE 209)	1163-19-5