

Rapport d'étude

n°FVEN001/008/2015/R

Campagne de mesure de la Qualité de l'Air



Etude des perturbateurs
endocriniens dans l'air en Picardie



Campagne de mesure de la Qualité de l'Air

Etude des perturbateurs endocriniens dans l'air en Picardie

Mesures réalisées au cours de l'année 2015

Rapport d'essai n° FVEN001/008/2015/R/Version du 26 septembre 2016

Approbation	Fonction	Signature
Benoit ROCQ	Directeur	



Atmo Picardie
22 bd Michel Strogoff
80440 BOVES

www.atmo-picardie.com
T : 03 22 33 66 14 F : 03 22 33 66 96
M : mail@atmo-picardie.com

SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	4
AVANT PROPOS	5
A. RECLAMATIONS.....	5
B. RESPONSABILITE	5
C. NON-EXCLUSIVITE	5
D. AVERTISSEMENT	5
ENJEU DE LA QUALITE DE L'AIR	6
A. ATMOSPHERE ET POLLUTION	6
B. EFFETS DE LA POLLUTION SUR LA SANTE.....	6
C. EFFETS DE LA POLLUTION SUR L'ENVIRONNEMENT	6
D. MESURES REGLEMENTAIRES	7
E. PARTENAIRES DE LA QUALITE DE L'AIR	7
F. ROLE DES AASQA.....	8
LES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS	10
PRESENTATION DE L'ETUDE	12
A. OBJET DE LA CAMPAGNE DE MESURE.....	12
B. AUTORISANTS	12
C. LES SITES DE MESURE.....	13
MATERIEL ET METHODE	19
A. LISTE DES MOLECULES ETUDIEES.....	19
B. DESCRIPTION DE LA METHODE DE PRELEVEMENT	22
C. DESCRIPTION DES METHODES D'ANALYSE.....	25
D. EXPRESSION DES RESULTATS	26
E. TESTS STATISTIQUES	26
RESULTATS	27
A. REPARTITION ENTRE LA PHASE GAZEUSE ET LA PHASE PARTICULAIRE	27
B. HIERARCHISATION DES COMPOSES PAR FAMILLE CHIMIQUE	28
C. COMPOSES MAJORITAIRES PAR FAMILLE ET SELON LES SITES DE MESURE.....	32
D. DIFFERENCES SIGNIFICATIVES DE CONTAMINATION ENTRE LES SITES	38
SYNTHESE ET CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES	55

Ce rapport d'essai a été rédigé par Emmanuel ESCAT avec la collaboration du personnel du service technique d'Atmo Picardie et Elodie MOREAU-GUIGON dans le cadre d'un partenariat (convention de recherche C14/0122) avec le laboratoire EPHE de l'Unité Mixte de Recherches 7619 METIS, unité commune de l'Université Pierre et Marie Curie, (UPMC Univ. Paris 6), du CNRS et de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE).

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

<i>Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage sur Amiens Métropole</i>	13
<i>Figure 2 : Schéma du dispositif de prélèvement</i>	22
<i>Figure 3 : Illustration d'une cartouche de rétention des composés à l'état gazeux</i>	22
<i>Figure 4 : Répartition entre la phase gazeuse et la phase particulaire selon les groupes chimiques</i>	27
<i>Figure 5 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille - sites intérieurs</i>	28
<i>Figure 6 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille et par site - sites intérieurs</i>	29
<i>Figure 7 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille - sites intérieurs vs sites extérieurs</i>	30
<i>Figure 8 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille et par sites - sites extérieurs</i>	31
<i>Figure 9 : Médiane des concentrations obtenues par composé individuel et par site suivant les sites intérieurs</i>	35
<i>Figure 10 : Médiane des concentrations obtenues par composé individuel et par site selon les sites extérieurs (zone urbaine et référence en forêt)</i>	37
<i>Figure 11 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en phtalates</i>	38
<i>Figure 12 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en phtalates</i>	39
<i>Figure 13 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en bisphénol A</i>	40
<i>Figure 14 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en galaxolide®</i>	41
<i>Figure 15 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en alkylphénols</i>	42
<i>Figure 16 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en alkylphénols</i>	43
<i>Figure 17 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en HAP</i>	44
<i>Figure 18 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en DEET</i>	45
<i>Figure 19 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en parabènes</i>	46
<i>Figure 20 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en triclosan</i>	47
<i>Figure 21 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en PCB</i>	48
<i>Figure 22 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en PBDE</i>	50
<i>Tableau 1 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements extérieurs</i>	14
<i>Tableau 2 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements intérieurs - caractéristiques techniques</i>	15
<i>Tableau 3 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements intérieurs - paramètres de confort</i>	16
<i>Tableau 4 : Périodes de prélèvements</i>	17
<i>Tableau 5 : Distance entre les sites</i>	18
<i>Tableau 6 : Liste des composés étudiés et sources associées</i>	21
<i>Tableau 7 : Critères de validation des prélèvements</i>	24

AVANT PROPOS

A. RECLAMATIONS

Les réclamations sur la non-conformité de la livraison exécutée en regard de la commande doivent être formulées par écrit dans les huit jours de la livraison des résultats. Il appartient à l'acheteur de fournir toute justification quant à la réalité des vices ou anomalies constatées. Il devra laisser à Atmo Picardie toute facilité pour procéder à la constatation de ces vices pour y apporter éventuellement remède. En cas de litige, la résolution de celui-ci s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

B. RESPONSABILITE

Il est rappelé que les informations d'Atmo Picardie ne traduisent que la mesure d'un certain nombre d'éléments en un nombre de points définis au préalable.

Atmo Picardie, par ailleurs, ne saurait être tenue pour responsable des évènements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation par le client, directe ou indirecte, des informations fournies. En conséquence, l'utilisateur s'engage à ne pas poursuivre Atmo Picardie au titre de l'interprétation qu'il pourra faire des dites informations.

C. NON-EXCLUSIVITE

Aucun acquéreur ne pourra se prévaloir d'un usage exclusif sur les résultats d'Atmo Picardie.

D. AVERTISSEMENT

Ce rapport d'essai ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans autorisation écrite préalable de Atmo Picardie. Toute utilisation de ce rapport et de ces données doit faire référence à Atmo Picardie dans les termes suivants **"Source Atmo Picardie, Rapport d'essai/FVEN001/008/2015/Etude des perturbateurs endocriniens dans l'air en Picardie/R/version du 26 septembre 2016 "**.

ENJEU DE LA QUALITE DE L'AIR

A. ATMOSPHERE ET POLLUTION

L'atmosphère est le milieu avec lequel l'homme a les échanges les plus importants. Il constitue le premier des éléments nécessaires à la vie. Chaque jour environ 15 000 litres d'air transitent par nos voies respiratoires.

Il est composé principalement de 78 % d'azote et de 21 % d'oxygène. Le 1 % restant rassemble les gaz rares, la vapeur d'eau, le gaz carbonique, l'hydrogène et les polluants atmosphériques.

La pollution de l'air se caractérise par une altération des niveaux de qualité et de pureté de l'air liée à l'augmentation anormale des concentrations de polluants dans l'atmosphère, ceux-ci pouvant être directement ou indirectement introduits par l'homme (pollution anthropique).

La pollution anthropique est constituée d'un mélange de gaz nocifs et de particules étant :

- soit émis directement par volatilisation à température ambiante ou lors de combustion à partir de sources ou vecteurs fixes ou mobiles telles que les installations de combustion, les activités domestiques, industrielles, agricoles, le transport routier de personnes et de marchandises,
- soit le résultat de réactions chimiques, comme celles conduisant à la formation d'ozone sous l'effet d'un fort ensoleillement.

Les effets de la pollution de l'air se manifestent à tous les niveaux : à l'intérieur des locaux, à l'échelle locale, régionale (environnement urbain et industriel), continentale (pollution photochimique par l'ozone, pluies acides...) ou planétaire (effet de serre, dégradation de la couche d'ozone...).

B. EFFETS DE LA POLLUTION SUR LA SANTE

Au cours des dix dernières années, de nombreuses études épidémiologiques ont montré que des niveaux même faibles de pollution atmosphérique ambiante avaient un impact détectable sur la santé de la population sans toutefois pouvoir préciser la contribution individuelle des familles de contaminants (Pascal et al., 2013).

Une exposition à la pollution atmosphérique peut provoquer de l'inconfort ou des maux divers tels que des gênes respiratoires, des toux, des maux de gorge, des maux de tête, des irritations oculaires. Il existe d'autres effets, beaucoup plus graves, comme des crises d'asthmes, de maladies cardio-vasculaires (infarctus du myocarde, angine de poitrine ou trouble du rythme cardiaque) et de cancers broncho-pulmonaires. Certains troubles comme l'insuffisance respiratoire, pulmonaire ou cardiaque sont également aggravés par la pollution atmosphérique.

Ces effets varient en fonction du niveau et de la durée d'exposition, du volume d'air inhalé mais aussi du type d'individu. La réaction aux polluants atmosphériques des personnes est très hétérogène et est également fonction de leur sensibilité et de leur état de santé.

Les enfants, les personnes âgées et celles présentant une pathologie respiratoire y ont une sensibilité plus importante.

C. EFFETS DE LA POLLUTION SUR L'ENVIRONNEMENT

La pollution de l'air porte atteinte au patrimoine bâti, contribue à appauvrir la diversité biologique et à diminuer le rendement des récoltes agricoles ainsi qu'à faire disparaître des espaces naturels (pluie acide, dépôt sec et pollution photo oxydante).

D. MESURES REGLEMENTAIRES

La prise de conscience de la dégradation de la qualité de l'air dans les années 70, a fait apparaître des textes de loi relatifs à la prévention et à la surveillance de cette qualité. En France, la loi du 30 décembre 1996 et le Code de l'Environnement sont aujourd'hui en vigueur.

La Loi sur l'Air du 30 décembre 1996, prévoit :

- le droit pour chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé
- une surveillance et une information sur la qualité de l'air
- des mesures d'urgence en cas de dépassement des seuils de concentration préconisés pour maintenir l'état sanitaire de la population générale
- des contrôles et des sanctions
- des plans destinés à protéger la qualité de l'air.

L'Article R221-1 du Code de l'Environnement, porte sur la transposition des différentes directives européennes relatives :

- à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement ;
- aux objectifs de la qualité de l'air ;
- aux seuils d'alerte¹, recommandation² et valeurs limites.

De plus, des arrêtés préfectoraux, portant approbation de la disposition spécifique ORSEC relative à la gestion des épisodes de pollution atmosphérique, ont été signés pour chaque département. En Picardie, sont en vigueur les arrêtés suivants :

- **Arrêté préfectoral du 12 juillet 2004** modifié par l'**Arrêté préfectoral du 2 janvier 2012** pour le département de l'Aisne ;
- **Arrêté préfectoral du 16 octobre 2015** pour le département de l'Oise ;
- **Arrêté préfectoral du 18 juin 2014** pour le département de la Somme.

E. PARTENAIRES DE LA QUALITE DE L'AIR

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou World Health Organization (WHO) élabore les valeurs guides qui constituent la référence principale pour la fixation des normes de la qualité de l'air. Le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) qui anime le dispositif français de surveillance de la qualité de l'air, élabore également les politiques de surveillance de la qualité de l'air à mettre en œuvre en liaison avec le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), constitué de l'INERIS, du Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE) et de l'École des Mines de Douai.

Le LCSQA assure la coordination technique du dispositif de surveillance (article L.221-1 du code de l'environnement). Il répond aux attentes du bureau de la qualité de l'air et des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) en réalisant les développements techniques nécessaires à la surveillance de la qualité de l'air, l'analyse des résultats et l'appui méthodologique à cette surveillance.

¹ Les seuils d'alerte, correspondent aux seuils pour lesquels en cas de dépassement, les Pouvoirs Publics prennent des mesures propres à limiter l'ampleur et les effets de la pointe de pollution sur la population.

² Les seuils de recommandation, correspondent aux seuils pour lesquels en cas de dépassement, les Pouvoirs Publics mettent en garde les personnes sensibles et émettent des recommandations de comportement destinées à la limitation des émissions d'origine automobile, industrielle, artisanale et domestique.

Le **programme européen de surveillance et d'évaluation (EMEP)**, est réalisé dans le cadre de la Convention de Genève sur le transfert de polluants atmosphériques à longue distance. Il comporte en France dix stations de surveillance de la qualité des retombées atmosphériques dont certaines sont directement gérées par des AASQA dans le cadre du dispositif de **Mesure des Retombées Atmosphériques (MERA)**. Ce dispositif **MERA** constitue la contribution française au programme européen de surveillance des retombées atmosphériques longues distances et transfrontalières. Il permet, dans des zones éloignées de toute source de pollution, d'effectuer une surveillance continue des dépôts humides et de certains polluants gazeux et particulaires présents dans l'atmosphère.

Le **Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA)** est une association loi de 1901, créée en 1996 pour poursuivre les travaux réalisés depuis 1985 par le Laboratoire d'Aérobiologie de l'Institut Pasteur à Paris. Ce réseau a pour objet principal l'étude du contenu de l'air en particules biologiques pouvant avoir une incidence sur le risque allergique pour la population, c'est à dire l'étude du contenu de l'air en pollens et en moisissures. Il a également en charge le recueil des données cliniques associées.

F. ROLE DES AASQA



Le dispositif de surveillance de la qualité de l'air assure le suivi de la qualité de l'air et l'information auprès du public. Cette surveillance est réalisée sur tout le territoire national par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) qui emploient environ 430 personnes et qui sont regroupées en fédération.

Ces organismes sont constitués sous forme d'associations « loi 1901 », dont l'organe délibérant doit associer des représentants des quatre collèges suivants :

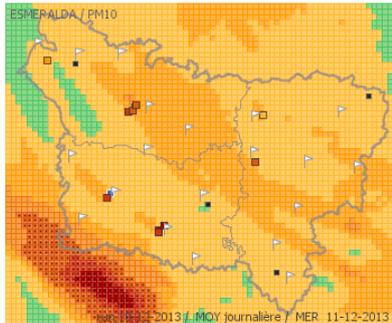
- services de l'État (DREAL, ARS, ADEME, Préfecture)
- collectivités territoriales (Conseil régional, Conseil général, intercommunalité, communes...)
- établissements contribuant à l'émission des substances surveillées (industriels locaux, Chambre de commerce et d'industrie, Chambre d'agriculture...)
- personnalités qualifiées (médecins, scientifiques, chercheurs, associations écologiques, associations de consommateurs, associations de représentants de santé...).

Les AASQA, de par l'originalité de leur structure, constituent des lieux de concertation, d'études et des sources d'information essentielles à la connaissance des mécanismes locaux de pollution atmosphérique. La composition multipartite de ces structures est une garantie de transparence et de crédibilité des informations diffusées. Plusieurs missions de base sont dévolues aux AASQA et définies notamment dans le Code de l'Environnement. Parmi ces missions, on retrouve :

- la mise en œuvre de la **surveillance** et de l'**information** auprès du public sur la qualité de l'air ;
- la diffusion des **résultats** et des **prévisions** ;
- la transmission immédiate aux préfets des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils d'alerte et de recommandations.

Pour qualifier la qualité globale de l'air dans les agglomérations, le MEDDE, l'ADEME, et les associations de surveillance ont développé un indicateur : l'indice ATMO, diffusé de manière quotidienne vers le grand public. Il permet de traduire les nombreuses données de mesure enregistrées chaque jour en un indicateur chiffré simple.

L'indice ATMO fait l'objet de l'arrêté ministériel du 22 juillet 2004. Le calcul de cet indice ATMO a été modifié à partir du 1^{er} janvier 2012 par arrêté ministériel du 21 décembre 2011.



Prévisions :

Atmo Picardie diffuse chaque jour les prévisions de l'indice pour le jour J et J+1 en utilisant les plateformes de prévision *Prévoir* (échelle nationale) et *Esmeralda* (échelle grand nord de la France). Ces plateformes fournissent des prévisions pour les principaux polluants et pour l'indice Atmo.

Fondé en 1978, le réseau de mesure Atmo Picardie possède des appareils de mesure des principaux polluants de l'air. Ceux-ci sont implantés dans des stations fixes et un laboratoire mobile.

Atmo Picardie dispose d'une station de référence équipée d'appareils de contrôle et d'étalons certifiés par un laboratoire de référence.

Comme d'autres AASQA, elle réalise également des campagnes ponctuelles d'étude de la contamination de l'air ambiant par des micropolluants métalliques ou organiques non assujetties à une réglementation et qui fait l'objet de ce document.



LES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS

Qu'est-ce qu'un perturbateur endocrinien ?

« Un perturbateur endocrinien est une substance qui a des effets indésirables sur la santé humaine, qui agit sur le système hormonal et dont le lien entre les deux est prouvé. »

Définition (restrictive à l'Homme) adoptée par l'Union Européenne le 15 juin 2016.

Depuis la déclaration de Wingspread en 1991, la problématique de la diffusion des composés perturbateurs endocriniens (PE) dans l'environnement et de la contamination des écosystèmes aquatiques ou terrestre, a fait l'objet d'études approfondies (Colloque Perturbateurs endocriniens et Biodiversité, 2011). Il s'avère que la contamination des milieux aquatiques en milieu urbain peut aussi bien se réaliser à partir du déversement d'eaux pluviales que du rejet d'effluents d'origine industrielle ou domestique. De même en milieu agricole, les épandages de pesticides sur les cultures et leur fertilisation par épandage de déchets d'élevage ou de boues résiduaires urbaines constituent des sources de contamination des sols. De ce fait, les processus de ruissellement en milieu rural comme en milieu urbain contribuent à la diffusion de perturbateurs endocriniens vers le réseau hydrographique.

Cependant, de nombreux perturbateurs endocriniens sont également des composés organiques semi-volatils (COSV), pouvant être émis dans l'air ambiant par processus de combustion et/ou par volatilisation passive à température ambiante. De ce fait, ils peuvent être diffusés via l'atmosphère et ses retombées, à plus ou moins grande échelle dans tous les milieux. Ce dernier vecteur est cependant estimé être le plus important à l'échelle de certains bassins versants.

Certains composés, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ou les polychlorodibenzo-dioxines (PCDD) sont involontairement synthétisés et diffusés lors de processus de combustion liés au chauffage, au transport et aux activités industrielles. Cependant, la plupart des matériaux et produits de consommation contiennent également des composés aux effets PE. En général, ces derniers ne sont pas chimiquement liés aux matrices et ils peuvent être émis en permanence dans l'air ambiant à l'état gazeux. Par ailleurs, il existe diverses sources d'émission potentielles, gazeuse ou particulaire, au niveau des installations industrielles, des bâtiments et de l'intérieur des locaux. Celles-ci se sont fortement accrues au cours des dernières décennies. Elles résultent par exemple des matériaux et revêtements intérieurs : sols en polychlorure de vinyle (PVC), peintures, revêtements muraux qui constituent des sources d'émission de plastifiants. Ainsi, du diéthylhexylphtalate (DEHP) et du bisphénol A (BPA) peuvent être respectivement émis à l'état gazeux dans l'air à partir de mobiliers en PVC et d'objets usuels en polycarbonates. La plupart des équipements électriques et électroniques notamment anciens et/ou importés constituent également des sources de volatilisation de polychlorobiphényles (PCB) et de retardateurs de flammes bromés : polybromodiphényles éthers (PBDE) et tétrabromobisphénol A (TBBPA). De même, les produits détergents, les polystyrènes et certaines résines plastiques peuvent également être à l'origine d'émissions d'alkylphénols, des composants principalement utilisés comme tensio-actifs.

D'autres composés PE, tels que le DEHP, les PCB, l'hexachlorobenzène (HCB) et le pentachlorobenzène (PeCB), peuvent être émis dans l'air ambiant à la fois lors de combustions et par volatilisation passive. Ainsi en Suède, il a été estimé que les émissions de phtalates dans l'air représentaient environ 90 % des rejets industriels (Thurén A, 1990).

Cette multitude de sources potentielles implique que des substances toxiques persistantes peuvent être émises dans le compartiment atmosphérique en milieu rural comme en milieu urbain, à l'état gazeux et/ou à l'état adsorbé sur particules. Certains PE, à la fois volatils et persistants, peuvent être ainsi omniprésents dans l'air ambiant inhalé par l'Homme, à l'intérieur comme à l'extérieur des locaux. Cette situation soulève de nouvelles interrogations sociétales quant à l'ampleur de l'exposition de l'Homme à des mélanges à faibles doses et aux risques sanitaires qui en découlent.

Cependant, en dépit de l'existence de ces nombreuses sources d'émissions, les études de la contamination de l'air ambiant véritablement multi-résidus restent rares et effectuées à l'étranger (Rudel RA, 2009 ; Rudel RA et al, 2010). Les effets PE de nombreux composés n'étant connus que depuis une quinzaine d'années, il n'existe actuellement pas de protocole normalisé pour leur détermination dans toutes les matrices environnementales. Dans ce contexte, il est nécessaire de parvenir à une meilleure connaissance des transferts de PE dans l'air ambiant, intérieur ou extérieur vers l'Homme, et d'évaluer en parallèle l'importance relative des risques liés à leur inhalation via la phase gazeuse et la phase particulaire. A noter par ailleurs que la voie respiratoire est toujours considérée comme négligeable devant la voie alimentaire, bien que le risque d'absorption de PE par inhalation soit peu ou pas documenté (Inserm, 2010). Seule l'inhalation de particules en suspension est généralement prise en considération, alors qu'il peut s'agir d'une forme mineure d'exposition à l'ensemble des PE, notamment à l'intérieur des locaux d'habitation, dès lors que les concentrations en particules dans l'air soient faibles (Matson U, 2005). A l'opposé, la voie alimentaire est le plus souvent majorée par des scénarios alimentaires qui ne prennent en compte que le niveau de contamination des aliments, sans intégrer les divers facteurs qui atténuent en général les taux d'absorption et d'assimilation réels des composés indésirables : habitudes domestiques (lavage, cuisson), la bio-accessibilité des molécules à partir des matrices ingérées, ou bien encore leur métabolisation potentielle (RSMEH, 2010).

A noter que des travaux récents ont cependant pu démontrer l'importance relative de l'absorption des phtalates volatils par inhalation, qui peut atteindre un niveau équivalent à 40 % de la quantité journalière absorbée par la nourriture (Blanchard et al, 2013).

PRESENTATION DE L'ETUDE

A. OBJET DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Le Programme National de Recherche sur les Perturbateurs Endocriniens (PNRPE) a financé des travaux de recherches sur la "contamination de l'air ambiant par les perturbateurs endocriniens en Ile-de-France et caractérisation d'effets toxiques associés".

Ces travaux, pilotés par un laboratoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes rattaché à l'UMR METIS 7619 (Paris), avaient pour objectif de caractériser les niveaux de contamination de dix groupes de perturbateurs endocriniens (60 molécules) dans l'air extérieur et intérieur dans la phase particulaire et la phase gazeuse et de caractériser la toxicité de ces deux matrices.

Ce projet a répondu aux objectifs fixés et a permis de définir des méthodologies de prélèvement en air intérieur et extérieur.

En partenariat avec l'UMR METIS (UPMC/CNRS/EPHE) de Paris et avec le soutien du Conseil Régional de Picardie, Atmo Picardie a réalisé un état des lieux de la contamination en PE dans l'air intérieur en milieu urbain. Ces mesures ont été complétées par des prélèvements en air ambiant afin d'évaluer l'influence du transfert de la pollution extérieure vers l'intérieur ou l'inverse.

Cette étude s'est déroulée du 29 janvier au 2 décembre 2015. Quatre sites de mesure intérieurs et deux extérieurs sur la ville d'Amiens ainsi qu'un site de référence en forêt de Crécy ont été étudiés à chaque saison sur des périodes de 6 semaines. 72 molécules ont été analysées sur les 76 échantillons prélevés.

B. AUTORISANTS

L'ensemble de cette étude a été réalisé avec la participation financière du Conseil Régional de Picardie selon les termes du programme 2014 d'actions de surveillance de la qualité de l'air en Picardie (n°Esub : 1423001899 - 1423001900).

Les prélèvements en air intérieur ont été réalisés avec l'autorisation des propriétaires et occupants des différents bâtiments.

C. LES SITES DE MESURE

Au cours de cette étude, 7 sites de mesure ont été sélectionnés (4 intérieurs et 3 extérieurs). Cette sélection avait pour objectif de répondre à plusieurs points :

- Caractériser l'air intérieur de bâtiments de typologies suivantes : habitation, enseignement, petite enfance et bureaux
- Comparer les niveaux de contamination entre air ambiant et air intérieur
- Définir la pollution générale de l'agglomération à partir d'un site urbain
- Evaluer l'influence éventuelle d'une zone industrielle sur l'état de contamination d'une habitation
- Déterminer le niveau de base de contamination à partir d'un site de référence non exposé à des sources de pollution identifiées.

Ces différents critères nous ont amenés à sélectionner :

- Un bâtiment d'enseignement situé dans le quartier Saint Leu en centre ville d'Amiens
- Un bâtiment de bureaux se trouvant à proximité du quartier de la gare d'Amiens
- Un bâtiment d'accueil de la petite enfance situé en périphérie du Sud Est de l'agglomération
- Une maison d'habitation située au nord de la ville d'Amiens dans le quartier Saint Ladre (comparaison intérieur/extérieur chez un particulier) à proximité de la Zone Industrielle Nord
- Un site de référence extérieur en forêt à Crécy en Ponthieu
- Un site urbain extérieur représentatif de la contamination de fond situé rue Eloi Morel au centre d'Amiens.

L'implantation des différents sites sur le territoire d'Amiens Métropole est présentée sur la carte ci-dessous (Figure 1). Le site de référence extérieur situé à Crécy en Ponthieu, à proximité de la baie de Somme, n'est pas représenté sur cette carte.

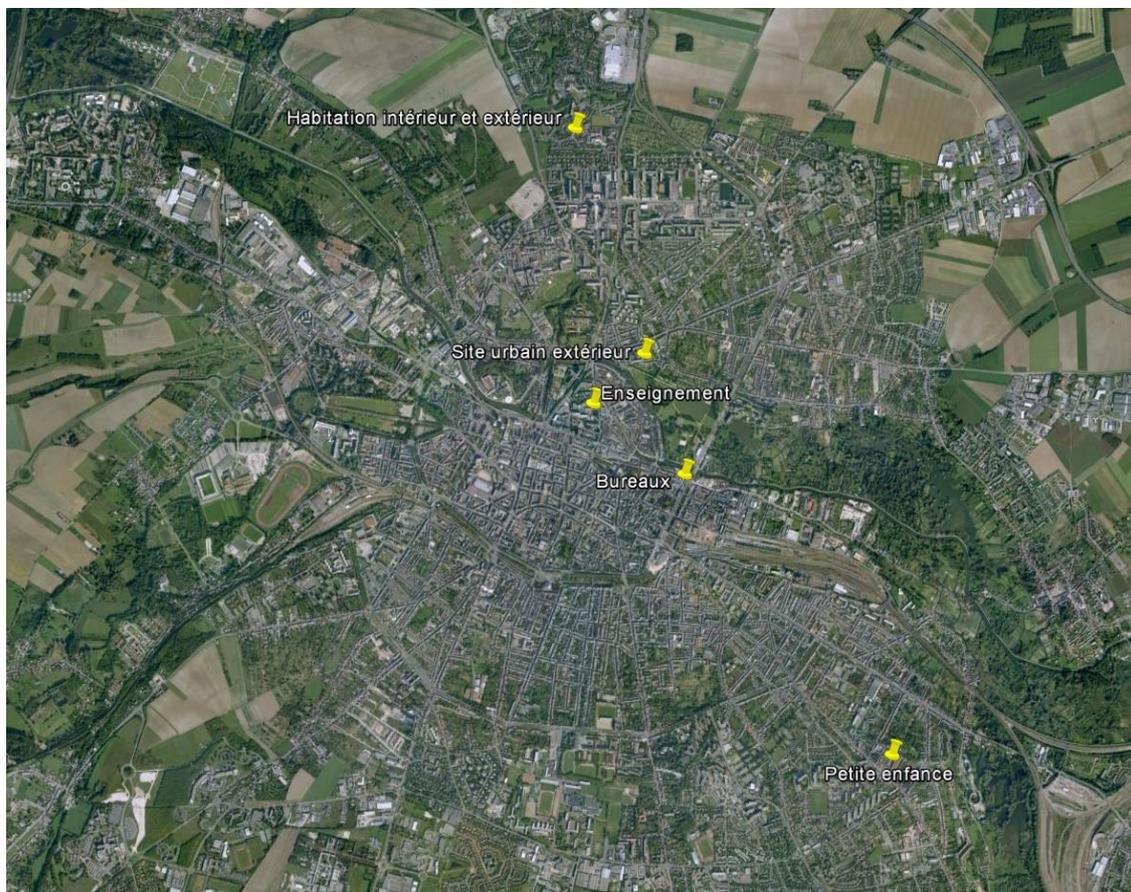


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage sur Amiens Métropole

Les caractéristiques de ces sites extérieurs et intérieurs et les conditions climatiques lors des prélèvements sont détaillées dans les tableaux 1 à 3.

Caractéristiques des différents sites extérieurs de mesure

Sites de mesure extérieurs	Sources à proximité	Température / humidité moyenne / PM10 moyenne / PM2.5 moyenne printemps	Température / humidité moyenne / PM10 moyenne / PM2.5 moyenne été	Température / humidité moyenne / PM10 moyenne / PM2.5 moyenne automne	Température / humidité moyenne / PM10 moyenne / PM2.5 moyenne hiver
Référence	Commune de 1600 hab à 4km, autoroute A16 à 5,6km	12,1°C / 73% / - / -	16,3°C / 76% / - / -	10,9°C / 84% / - / -	4,6°C / 82% / - / -
Habitation	Zone Industrielle Amiens Nord à 1,5km, chaufferie urbaine de l'OPAC à 500m (gaz)	12,6°C / 73% / - / -	17,2°C / 74% / - / -	10,7°C / 86% / - / -	5,6°C / 78% / - / -
Urbain	Voie de circulation avec TMJA ³ de 5000 véh/j à 20m et 14000 véh/j à 130m	12,6°C / 73% / 19 µg/m ³ / 11 µg/m ³	17,2°C / 74% / 15 µg/m ³ / 9 µg/m ³	10,7°C / 86% / 18 µg/m ³ / 11 µg/m ³	5,6°C / 78% / 24 µg/m ³ / 16 µg/m ³

Tableau 1 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements extérieurs

Afin de comprendre le comportement de certains contaminants, nous avons indiqué dans le Tableau 1 les sources de pollution les plus importantes se trouvant à proximité de chaque site, la température et l'humidité moyenne ainsi que les niveaux moyens en PM10⁴ et PM2.5⁵ au cours de chaque série de mesure. Les données de température et d'humidité sont issues de la station Météo-France la plus proche. Les données de PM10 et de PM2.5 ont été relevées par la station de mesure de la qualité de l'air de Saint Pierre à Amiens (station urbaine).

La température et l'humidité ont une incidence sur la volatilisation des molécules. L'augmentation de la température va avoir tendance à favoriser la volatilisation de certaines molécules, tandis que celle de l'humidité aura tendance à la réduire.

Les concentrations moyennes en PM10 et PM2.5 ne sont pas disponibles pour tous les sites extérieurs. Ces informations pourront être utiles afin de suivre l'évolution des pourcentages de composés en phase particulaire.

³ Trafic moyen journalier annuel

⁴ Les PM10 représentent la catégorie de particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (fraction inhalable).

⁵ Les PM2,5, ou très fines particules, ont un diamètre inférieur à 2,5 micromètres. Elles progressent plus profondément dans l'appareil respiratoire.

Caractéristiques des différents sites intérieurs de mesure

Caractéristiques techniques :

Sites de mesure intérieurs	Pièce instrumentée	Revêtements de la pièce instrumentée	Type de ventilation	Type de chauffage	Cuisine à proximité et combustible utilisé	Travaux réalisés dans le bâtiment au cours des 6 derniers mois
Bureaux	Couloir d'accès à des bureaux	Sol : Dalles moquette Mur : peinture Plafond : faux plafond Dalles	CTA ⁶ double flux	CTA double flux	Non	Aucun
Enseignement	Hall d'entrée	Sol : Carrelage Mur : peinture Plafond : structure bois	CTA double flux	CTA double flux	Non	Aucun
Petite enfance	Salle de motricité	Sol : PVC Mur : peinture Plafond : faux plafond Dalles	VMC Simple flux	Individuel électrique	Oui (gaz)	Aucun
Habitation	Salon/Salle à Manger	Sol : parquet stratifié Mur : peinture acrylique Plafond : peinture acrylique	VMC Simple flux	Central gaz	Oui (gaz)	Aucun

Tableau 2 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements intérieurs - caractéristiques techniques

Les informations indiquées dans le Tableau 2 seront considérées lors de l'exploitation des résultats. Les matériaux utilisés, les systèmes de chauffage et de ventilation, les activités de cuisson ainsi que les travaux récemment réalisés à l'intérieur du bâtiment pouvant avoir un impact sur les niveaux de certains contaminants.

⁶ Une centrale de traitement d'air (ou CTA) est un organe technique de traitement d'air. Son principe de fonctionnement est de prendre l'air extérieur, de lui faire subir un traitement (le chauffer ou le refroidir, le purifier) et de l'insuffler via le réseau de gaines aérauliques dans les locaux ayant un besoin en air neuf traité.

Paramètres de confort :

Sites de mesure intérieurs	Température / humidité moyenne / moyenne CO ₂ printemps	Température / humidité moyenne / moyenne CO ₂ été	Température / humidité moyenne / moyenne CO ₂ automne	Température / humidité moyenne / moyenne CO ₂ hiver
Bureaux	22,9°C / 39% / 495 ppm	Pas de données	Pas de données	22,6°C / 26% / 494 ppm
Enseignement	21,0°C / 33% / -	25,4°C / 36% / -	Pas de données	18,1°C / 40% / -
Petite enfance	20,3°C / 55% / 617 ppm	24,5°C / 53% / 784 ppm	Pas de données	18,5°C / 49% / 978 ppm
Habitation	22,2°C / 48,2% / 763 ppm	23,3°C / 60% / 790 ppm	21,1°C / 60% / 1065 ppm	21,1°C / 42% / 782 ppm

Tableau 3 : Caractéristiques des différents sites de prélèvements intérieurs - paramètres de confort

Le Tableau 3 présente les paramètres de confort relevés au cours des différentes campagnes de mesure pour chaque site de mesure intérieur.

Comme indiqué précédemment, la température et l'humidité ont une incidence sur la volatilisation des molécules. L'augmentation de la température va avoir tendance à favoriser la volatilisation de certaines molécules, tandis que celle de l'humidité aura tendance à la réduire.

La valeur moyenne en CO₂ renseigne l'importance du confinement de la pièce de mesure. Une faible valeur en CO₂ indique une absence de confinement, alors qu'une valeur élevée fait apparaître un problème de ventilation et d'aération de la pièce (valeur généralement supérieure à 1300 ppm).

Pour le site d'enseignement, compte-tenu du volume important de la salle de mesure (hall), le niveau de CO₂ n'a pas été relevé.

Au cours de certaines campagnes, des problèmes techniques ont été rencontrés lors de la mesure de ces paramètres de confort. De ce fait, ces indicateurs n'ont parfois pas pu être mesurés, notamment pour la campagne automnale.

Les 7 sites de mesure que nous avons détaillés précédemment ont été étudiés du 29 janvier au 2 décembre 2015.

Les périodes de mesure sont présentées dans le Tableau 4 pour chaque site.

	Hiver		Printemps			Eté			Automne		
N°série par saison	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Référence	29/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	10/04/15 au 30/04/15	30/04/15 au 21/05/15	21/05/15 au 04/06/15	16/06/15 au 30/06/15	01/07/15 au 15/07/15	14/09/15 au 28/09/15	20/10/15 au 04/11/15	04/11/15 au 17/11/15	17/11/15 au 01/12/15
Habitation extérieur	30/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	13/04/15 au 04/05/15	04/05/15 au 15/05/15	15/05/15 au 27/05/15	19/06/15 au 02/07/15	02/07/15 au 16/07/15	15/09/15 au 29/09/15	21/10/15 au 05/11/15	05/11/16 au 22/11/15	23/11/15 au 02/12/15
urbain extérieur	29/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	09/04/15 au 30/04/15	30/04/15 au 13/05/15	13/05/15 au 27/05/15	16/06/15 au 01/07/15	01/07/15 au 15/07/15	14/09/15 au 28/09/15	20/10/15 au 03/11/15	03/11/15 au 17/11/15	17/11/15 au 01/12/15
Habitation intérieur	30/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	09/04/15 au 04/05/15	04/05/15 au 15/05/15	15/05/15 au 27/05/15	19/06/15 au 02/07/15	02/07/15 au 16/07/15	15/09/15 au 29/09/15	21/10/15 au 05/11/15	05/11/16 au 22/11/15	23/11/15 au 02/12/15
Bureaux	30/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	09/04/15 au 30/04/15	30/04/15 au 13/05/15	-	16/06/15 au 01/07/15	01/07/15 au 15/07/15	14/09/15 au 28/09/15	20/10/15 au 03/11/15	03/11/15 au 17/11/15	17/11/15 au 01/12/15
Enseignement	29/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	09/04/15 au 30/04/15	30/04/15 au 13/05/15	13/05/15 au 27/05/15	16/06/15 au 01/07/15	01/07/15 au 15/07/15	14/09/15 au 28/09/15	20/10/15 au 03/11/15	03/11/15 au 17/11/15	17/11/15 au 01/12/15
Petite enfance	29/01/15 au 17/02/15	17/02/15 au 10/03/15	09/04/15 au 30/04/15	30/04/15 au 13/05/15	13/05/15 au 27/05/15	16/06/15 au 01/07/15	01/07/15 au 15/07/15	14/09/15 au 28/09/15	20/10/15 au 03/11/15	03/11/15 au 17/11/15	17/11/15 au 01/12/15

Tableau 4 : Périodes de prélèvements

Suite à des problèmes techniques lors de la première phase de mesure en hiver, chaque prélèvement a eu une durée de réalisation portée à 3 semaines afin d'atteindre un volume de prélèvement suffisant.

Le problème ayant été résolu au cours du 1^{er} échantillonnage. Les échantillonnages suivants de printemps ont donc été ramenés à deux semaines de prélèvement comme cela avait été prévu à l'origine. Les occupants du bâtiment « Bureaux » n'ont pas souhaité qu'une troisième série de prélèvement soit réalisée lors de cette phase.

Au cours de l'exploitation des résultats les sites intérieurs petite enfance, bureaux et enseignement ont été comparés au site urbain extérieur. Le site habitation intérieur a été comparé au site habitation extérieur. Les sites extérieurs urbain et habitation ont été comparés au site de référence.

Le Tableau 5 présente l'éloignement entre les différents sites. Le surlignage en vert correspond aux sites comparés deux à deux.

Distance entre les sites	Référence	Habitation extérieur	Habitation intérieur	urbain extérieur	Bureaux	Enseignement	Petite enfance
Référence		51 km	51 km	52 km	53 km	52 km	55 km
Habitation extérieur			5 m	1620 m	2490 m	1890 m	4800 m
Habitation intérieur				1620 m	2490 m	1890 m	4800 m
urbain extérieur					880 m	490 m	3250 m
Bureaux						790 m	2390 m
Enseignement							3150 m
Petite enfance							

Tableau 5 : Distance entre les sites

MATERIEL ET METHODE

Le matériel et les méthodes de prélèvement et d'analyse ont été conjointement définis par les personnels d'Atmo Picardie et du laboratoire EPHE (UMR METIS) à partir des données bibliographiques et des précédents travaux du laboratoire sur ce sujet.

La recherche de composés semi-volatils présents dans l'air ambiant à l'état de traces, en phase gazeuse ou particulaire impose de prélever d'importants volumes d'air au minimum de une à quelques centaines de m³ (technique de prélèvement "Grand Volume").

Les travaux ont débuté avec l'amélioration par Atmo Picardie du protocole de prélèvement préalablement développé par le laboratoire EPHE. L'analyse chromatographique multi-résidus de huit groupes de PE halogénés : BDE, TBBPA, PCB, HCB et non halogénés : HAP, phtalates, bisphénol A, alkylphénols a également été améliorée par le laboratoire au cours de l'étude (ajout de nouvelles molécules...).

A. LISTE DES MOLECULES ETUDIEES

En absence de contexte règlementaire sur les émissions de composés PE, hormis celle du benzo(a)pyrène, nous avons choisi de déterminer l'importance de l'exposition humaine par inhalation aux COSV en air intérieur sur une gamme relativement importante de 72 molécules.

Ces molécules appartiennent soit à des familles de molécules dangereuses ou prioritaires de la Directive cadre sur l'eau (Directive n°2000/60/CE, 2000), soit à des molécules dites émergentes, car encore peu étudiées dans notre environnement. Cette liste a été définie sur la base de molécules indicatrices d'utilisations ou d'origines variées, permettant par ailleurs de caractériser des sources potentielles d'émissions internes ou externes aux locaux.

Ces catégories de composés indicateurs sont les suivantes : plastifiants (phtalates et BPA), tensioactifs (alkylphénols), muscs synthétiques, conservateurs, pesticides, molécules issues de combustion et de synthèse accidentelles (HAP, HCB et PeCB), diélectriques (PCB), retardateurs de flamme (PBDE et TBBPA). Dans cette étude, la liste établie devait aussi permettre d'intégrer des molécules représentant une gamme relativement large de pression de vapeur avec des molécules peu volatiles tel le TBBPA : $2,35 \times 10^{-9}$ Pa à 25°C, ou relativement volatiles comme le 4-nonylphénol : 0,3 Pa à 25°C. La liste des pesticides est restée relativement restreinte car elle s'est concentrée sur les molécules principalement utilisées, ou ayant été utilisées, au quotidien par les ménages (répulsifs, insecticides, antibactériens).

La liste des composés étudiés est présentée dans le Tableau 6 (Laborie et al., 2015).

Groupe	Composés	Sources	Réglementation des usages
Phtalates	dimethyl phthalate (DMP), diethyl phthalate (DEP), di-n-butyl phthalate (DnBP), di-iso-butyl phthalate (DiBP), butylbenzyl phthalate (BBP), diethylhexyl phthalate (DEHP), di-n-octyl phthalate (DnOP) di-iso-nonyl-phthamates (DiNnP), di-iso-décylphthalate (DiDP)	Plastifiants : DEHP étant principalement utilisé dans le chlorure de polyvinyle (PVC) : fenêtres, ballons, colle, lubrifiants, câbles, contenant alimentaire...	<ul style="list-style-type: none"> Jouets et matériel de puériculture : DEHP, DBP et BBP < 0,1 % en masse (Directive européenne 2005/84/CE) Jouets et matériel de puériculture pouvant être mis en bouche : DiNP, DiDP et DnOP < 0,1 % en masse (Directive européenne 2005/84/CE) Cosmétiques : DBP, DEHP et DMEP interdits (Directive européenne 2007/47/CE) Matière plastique en contact avec des denrées alimentaires : limite de migration pour plusieurs phtalates (Directive européenne 2007/19/CE)
Alkylphénols	4-ter-octylphénol (OP), 4-nonylphénol (NP), alkylphénols éthoxylates (OPIEO, OP2EO, NP1EO, NP2EO)	Fabrication de NPEO, détergents, plastiques (NP) Résines phénoliques ou de formaldéhyde (OP)	<ul style="list-style-type: none"> Directive 2003/53/CE : Interdiction de l'emploi de NP et NPEO > 0,1 % pour certains usages (tannerie, textile)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Acénaphthène (ACE), Acénaphthylène (ACY), Phénanthrène (PHE), Fluorène (FLU), Anthracène (ANT), Fluorathène (FTH), Pyrène (PYR), Benzo(a)Anthracène(BaA), Chrysène (CHR), Benzo(b)Fluoranthène (BbF), Benzo(k)Fluoranthène (BkF), Benzo(A)Pyrène (BaP), Dibenzo(a,h)Anthracène (DahA), Benzo(g,h,i)Pérylène (BghiP), Indéno(1,2,3,c,d)Pyrène (IcdP)	Synthèse accidentelle lors de processus de combustion	<ul style="list-style-type: none"> Rejet de benzo(a)pyrène < 0,5 g.h-1. Obligation de bilan annuel de rejet atmosphérique si consommation de plus de 10 tonnes.an⁻¹ de Benzo(a)pyrène.
Muscs synthétiques	Galaxolide© (HHCB), Tonalide© (AHTN)	Fragrances dans les produits cosmétiques, les parfums, les désodorisants, les savons, les détergents, les produits d'hygiène, les bougies parfumées...	<ul style="list-style-type: none"> Aucune réglementation
Conservateurs	Méthylparabène, Ethylparabène, Propylparabènes, Butylparabènes Triclosan	Antifongiques et antimicrobien dans les cosmétiques et l'alimentaire Antifongique et antimicrobien dans les produits ménagers, de soins, industrie textile, plastiques	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction de l'isopropyl-, du butyl-, de l'isobutyl-, et du benzylparabène en tant qu'additif alimentaire (Directive européenne 95/2/CE) Limitation dans les cosmétiques (Directive européenne 76/768/CEE) : 0,8 % de la concentration totale en parabènes (concentration de chaque parabène limitée à 0,4 %)
Pesticides	DEET, Deltaméthrine, Cyperméthrine, Lindane	Insecticides	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation du lindane interdite en usage agricole en France (1998) et à partir de 2008 pour le traitement du bois et la formulation de produits antiparasitaires
Phénols	Bisphénol A	Fabrication de plastiques (PVC, plastifiants), de résines : contenants alimentaires, vaisselles en plastiques, revêtement intérieur boîte de conserve...	<ul style="list-style-type: none"> Interdit dans les cosmétiques (Directive 76/768/CEE) Matériaux en contact avec des denrées alimentaires : limite de migration spécifique de 0,6 mg.kg-1 dans les aliments (Règlement UE 321/2011).

Groupe	Composés	Sources	Réglementation des usages
			<ul style="list-style-type: none"> • Interdit dans la fabrication de biberons en polycarbonate (Règlement UE 321/2011) • En France : suspension de la fabrication, de l'importation, de l'exportation et de la mise sur le marché de tout conditionnement à vocation alimentaire (Loi 2012-1442)
Polychlorobiphényles (PCB) indicateurs/ Dioxin Like (DL)	28, 52, 77, 81, 101, 105, 110, 114, 118, 123, 126, 138, 153, 156, 157, 167, 169, 180, 189	Fluides diélectriques dans les transformateurs et condensateurs, fluides hydraulique ou caloporteurs	<ul style="list-style-type: none"> • La vente et l'acquisition de PCB ou d'appareils contenant des PCB ainsi que la mise sur le marché de tels appareils neufs sont interdites en France depuis le décret du 2 février 1987 • Préparation d'un second plan d'élimination des PCB (décret du 18 janvier 2001)
Chlorobenzènes	Hexachlorobenzène (HCB), Pentachlorobenzène (PeCB)	Fongicides et associés aux PCB dans les fluides diélectriques	<ul style="list-style-type: none"> • HCB : Utilisation comme fongicide interdite en France depuis 1972
Polybromodiphénylethers (PBDE)	28, 47, 99, 100, 153, 154, 183, 209	Retardateurs de flammes dans mousse de polyuréthane, plastiques, rembourrage de meubles, tapis, textiles non destinés à l'habillement, isolants électriques, ordinateurs, téléphones et téléviseurs	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction de commercialisation d'articles ayant des concentrations > 0,1 % en masse de penta-BDE et d'octa-BDE (Directive européenne 2003/11/CE)
Produits de substitution des PBDE	HBCDs	Retardateur de flamme dans les mousses de polystyrène extrudé et choc, matériaux d'isolation de construction, textile d'ameublement, équipements électriques	<ul style="list-style-type: none"> • Soumis à autorisation sans exemption d'usage par REACH

Tableau 6 : Liste des composés étudiés et sources associées

B. DESCRIPTION DE LA METHODE DE PRELEVEMENT

B.1 Principe de prélèvement

Le prélèvement est effectué sans sélection des particules par taille : nous avons fait un prélèvement « toutes particules ».

Les molécules ont été piégées d'une part sur un filtre en fibre de quartz (porosité 0,3 µm) de 47 mm de diamètre (conditionné par Atmo Picardie) et d'autre part par de la résine XAD-2 (de granulométrie 20-60 mesh⁷, préalablement purifiée par le laboratoire d'analyse) contenue dans une cartouche de prélèvement en inox. Ce dispositif permet de déterminer les concentrations des molécules en phase particulaire (sur le filtre) et en phase gazeuse (sur la résine).

Afin de piéger les molécules, un système de prélèvement a été conçu spécialement pour cette étude. A savoir un piégeage à l'aide d'une aspiration réalisée par une pompe à un débit constant de 10 à 25 L/min selon le lieu de prélèvement (intérieur ou extérieur) (Figure 2). Un régulateur et enregistreur de débit est également présent afin de contrôler et stabiliser le débit tout au long du prélèvement.

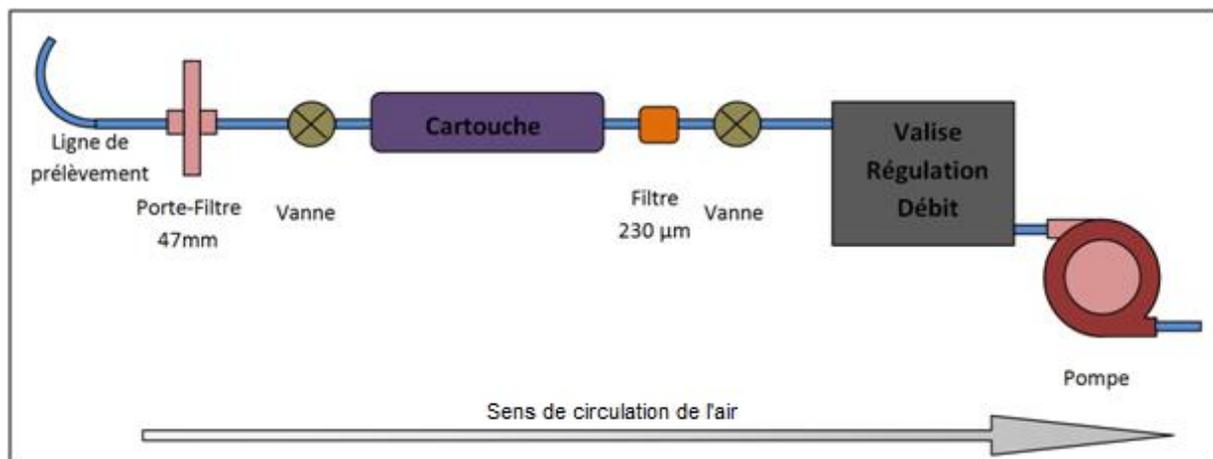


Figure 2 : Schéma du dispositif de prélèvement

Les débits ont été définis en amont afin de pouvoir échantillonner environ 500 m³ par prélèvement pour l'air extérieur et 200 m³ pour l'air intérieur sur une période de 2 semaines.

La cartouche contenant la résine possède deux vannes de part et d'autre afin d'assurer avant et après le prélèvement une non-contamination de l'échantillon. Un tamis de 230 µm est inséré juste après la cartouche afin de retenir les billes de résine.

Afin de maintenir les billes de résine XAD-2 et éviter une perte de charge trop importante de la laine de quartz est préalablement introduite en sortie de la cartouche (Figure 3).



Figure 3 : Illustration d'une cartouche de rétention des composés à l'état gazeux

⁷ En granulométrie, le mesh (ou US mesh) est une convention américaine de mesure de maille (« mesh », en anglais) d'un tamis.

B.2 Préparation et installation

1. Préparation des supports de prélèvement

Les filtres utilisés pour piéger la phase particulaire sont préalablement « calcinés » (passage dans un four à 400°C pendant 4 heures) avant leur utilisation. La résine XAD-2 contenue dans les cartouches de prélèvement est également conditionnée par le laboratoire d'analyse. La résine est purifiée au cours d'une séquence d'extraction à l'aide d'un extracteur automatique (ASE350 Thermo, Dionex). Trois extractions consécutives sont réalisées avec du méthanol, de l'acétone puis de l'hexane/dichlorométhane (50/50 v/v⁸). La résine est ensuite séchée sous vide. La résine est remplacée à chaque campagne de mesure (Annexe 1).

Le matériel permettant l'échantillonnage (pompe, ligne, porte filtre, régulateur de débit) est vérifié afin d'assurer un bon fonctionnement du prélèvement. Les capteurs de température et humidité et de CO₂ font l'objet d'un suivi métrologique (étalonnage). Les capteurs de CO₂ sont contrôlés en début et fin de chaque campagne.

2. Installation du dispositif

Le système de prélèvement est assemblé sur place lors de l'installation. Avant le démarrage du prélèvement, un test de fuite est effectué, puis le débit est relevé au niveau de la ligne de prélèvement à l'aide d'un débitmètre. Le débit est pris en litre par minute (L/min) mais également en normaux-litres⁹ par minute (NL/min) afin de comparer les débits réels et les débits mesurés par le régulateur de débit. Les données de température et de pression sont également relevées.

Le débit relevé doit être aux alentours de 25 L/min pour un prélèvement d'air extérieur et d'environ 10 L/min pour un prélèvement d'air intérieur.

La cartouche de prélèvement est positionnée verticalement pour garantir un échantillonnage homogène et éviter tout chemin préférentiel.

Une sonde de température et d'humidité et un capteur de CO₂ sont ajoutés au système afin d'avoir un suivi de température et un suivi du confinement de la pièce où se trouve le prélèvement (uniquement pour le prélèvement en intérieur).

B.3 Récupération et traitement des échantillons

Une fois le prélèvement terminé, un test de fuite est à nouveau effectué puis les débits sont vérifiés à l'aide d'un débitmètre et relevés en L/min et en NL/min. Le système est alors arrêté et les vannes de la cartouche sont hermétiquement fermées. La cartouche de prélèvement et le filtre du porte-filtre sont retirés, le filtre est placé dans une boîte de petri pour le transport. La cartouche et le filtre sont regroupés dans une pochette plastique afin de les appairer. Tous les prélèvements seront conservés au froid dans une glacière durant le transport.

La sonde de température et humidité et le capteur de CO₂ (pour le prélèvement de l'air intérieur) sont également récupérés.

Tous les éléments associés aux prélèvements (identification de la cartouche, du filtre, des sondes, date de début et fin de prélèvement, débit de début et de fin ...) sont notés sur un formulaire de prélèvement afin d'avoir une traçabilité complète de chaque séquence de prélèvement. Tous les échantillons sont ensuite enregistrés dans un fichier de gestion des enregistrements.

Dès le retour des échantillons et avant envoi au laboratoire d'analyse, les échantillons (cartouches et filtres) sont placés au congélateur. La conservation au congélateur ne doit pas excéder un mois.

Les échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire d'analyse dans une caisse réfrigérée.

⁸ Volume par volume. Utilisé lorsque les deux produits chimiques sont des liquides. Dans ce cas, le mélange est composé de 50% d'hexane et 50% de dichlorométhane.

⁹ Le volume dit normal exprimé en Nm³ ou NL correspondant à un volume de gaz ramené sous une pression de 1013,25 hPa (pression d'une atmosphère normale ou 1 atm) et une température de 0 °C.

B.4 Validation des prélèvements

Afin de valider les différents prélèvements réalisés, des critères de validation ont été appliqués. Ceux-ci portent sur les tests de fuite, la variation des débits de prélèvement avant et après échantillonnage ainsi que sur les volumes de prélèvement.

Le Tableau 7 reprend ces différents critères.

Élément vérifié	Critère de validation
Tests de fuite entre la sortie de la cartouche et la tête de prélèvement	Absence de fuite
Variation de débit entre début et fin de prélèvement pour les débit > 10 l/min	Variation inférieure à 5%
Variation de débit entre début et fin de prélèvement pour les débit < 10 l/min	Variation inférieure à 10%
Volume prélèvement air intérieur	Volume total supérieur à 150 m ³
Volume prélèvement air extérieur	Volume total supérieur à 300 m ³

Tableau 7 : Critères de validation des prélèvements

C. DESCRIPTION DES METHODES D'ANALYSE

Les résines et les filtres sont stockés à -18°C dès leur arrivée au laboratoire jusqu'à la réalisation de leurs extraction et analyse.

C.1 Extraction et préparation des échantillons

Les deux types de matrices (filtres et résines) sont extraits avec un appareil d'extraction automatique d'échantillon (ASE 350, Dionex), qui permet de désorber les molécules recherchées avec un mélange de solvants Dichlorométhane/Méthanol (2/1 ; v/v) à température et pression élevées. Avant l'extraction, différentes molécules marquées servant d'étalons internes sont ajoutées pour améliorer la précision de la quantification ultérieure. Les extraits récupérés, contenant les molécules à analyser, sont ensuite concentrés jusqu'à environ 500 µL par chauffage à 70°C sous un flux d'azote puis déposés dans un vial¹⁰ d'injection de 2 mL avant d'être analysés (détails en annexe 1).

C.2 Analyses

Les extraits, contenus dans du méthanol, sont tout d'abord analysés sur une chaîne chromatographique en phase liquide couplée à un double spectromètre de masse en tandem (LC-MS/MS). Trois injections sont successivement réalisées : la première pour l'analyse des parabènes, du TBBPA, du triclosan et des HBCDs ; la seconde pour l'analyse des alkylphénols et du Bisphénol A et la troisième pour l'analyse des alkylphénols éthoxylates. L'extrait est ensuite évaporé à sec sous flux d'azote et par chauffage à 70°C puis repris avec 500 µL d'hexane.

Les analyses suivantes utilisent une chaîne chromatographique en phase gazeuse couplée à un simple ou double spectromètre de masse en tandem. (GC-MS ou GC-MS/MS).

Une première séquence d'analyse utilise le GC-MS pour analyser successivement la cyperméthrine et les insecticides, les muscs, les phtalates, les HAP.

L'extrait est ensuite reconcentré une nouvelle fois, puis transféré dans un nouveau vial avec restricteur avant les analyses sur le GC-MS/MS pour les PCB et les PBDE.

Ces analyses permettent de donner une quantification précise et sensible des molécules recherchées grâce à l'utilisation d'étalons internes et d'étalons de calibration injectés avant les échantillons pour chaque cycle analytique. Pour chaque composé, les résultats sont exprimés en ng dans le vial et divisés par le volume d'air prélevé pour obtenir sa concentration dans l'air en ng/m³.

C.3 Validation méthodologique : blancs analytiques, rendements extraction, limites de quantification , efficacité du piégeage

En chimie analytique, une méthode d'analyse doit être validée pour être sûr que la justesse et la précision des résultats puissent répondre aux contraintes imposées par la mesure de molécules présentes à l'état de trace dans des matrices environnementales comme les phases gazeuse et particulaire de l'air ambiant. Pour cela, des tests préalables ont été effectués en ajoutant aux deux matrices étudiées des quantités connues de chaque contaminant étudié. Ceci a permis d'obtenir les rendements d'extraction de la méthode ainsi que les limites de détection et de quantification (Laborie et al, 2015). De plus afin de s'assurer que tous les contaminants à l'état gazeux étaient efficacement « piégés » par la résine, des tests consistant en des analyses séparées des deux cartouches en série ont permis de valider que la très grande majorité des contaminants étaient déjà bien adsorbée sur la première cartouche (annexe 2).

Enfin pour chaque série de huit échantillons, un échantillon « blanc » est réalisé en parallèle à partir de supports de prélèvement (filtre et résine) non utilisés. Ces derniers sont ensuite extraits et analysés comme les autres afin de déterminer l'existence d'un risque de contamination originel des matériaux vis-à-vis des contaminants étudiés. Si la contamination observée dans l'échantillon « blanc » est supérieure à un quart de la valeur dans l'échantillon, alors celle-ci est corrigée en soustrayant la valeur de l'échantillon « blanc » (détails en annexe 3).

¹⁰ Flacon de petit volume (quelques mL) contenant l'extrait à analyser.

Les limites de quantification (LQ) des différents composés analysés sont présentées en annexe 3.

D. EXPRESSION DES RESULTATS

Unité	ng/m ³
Limite de quantification de la méthode (LQ)	ng/m ³

Les résultats sont exprimés en concentration totale dans l'air, ce qui correspond à la somme des concentrations dans la phase gazeuse (adsorbée sur résine) et dans la phase particulaire (retenue sur filtres).

Les composés sont exprimés soit individuellement, soit en somme de composés d'une même famille.

Phtalates = somme de 7 phtalates

Alkylphénols = somme des alkylphénols (OP + NP)

Alkylphénols éthoxylates = somme des 4 alkylphénols éthoxylates

HAP = somme des 15 HAP

Parabènes = somme de 4 parabènes

PCB ind = somme des 7 PCB indicateurs (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

PBDE = somme des 8 PBDE

E. TESTS STATISTIQUES

Afin de déterminer si les différences de concentrations observées entre les sites et les saisons étaient significatives, des tests statistiques ont été réalisés sous le logiciel R (R Core Team, 2015).

La comparaison des sites a été effectuée avec un test de comparaison non paramétrique multiple (nparcomp package) et celle des saisons avec le test de Kruskal-Wallis (kruskal.test) en considérant un risque α de 5%.

RESULTATS

L'exploitation présentée ci-après est basée sur les résultats des analyses réalisées sur les phases gazeuse et particulaire. Cette exploitation a été réalisée en collaboration avec le laboratoire d'analyse sur la base de l'expérience acquise au cours de précédentes études.

La répartition des concentrations entre la phase gazeuse et la phase particulaire, puis la hiérarchisation des contaminants regroupés par famille sont présentées en milieux intérieurs et extérieurs.

Les composés principalement mesurés par site sont examinés et comparés avec les sites extérieurs correspondant.

Enfin, les différentes familles de composés et certains composés sont étudiés afin de comprendre la répartition selon les sites, les milieux et les saisons en fonction des sources potentielles.

A. REPARTITION ENTRE LA PHASE GAZEUSE ET LA PHASE PARTICULAIRE

La Figure 4 présente la répartition des familles de polluants par phase selon le milieu.

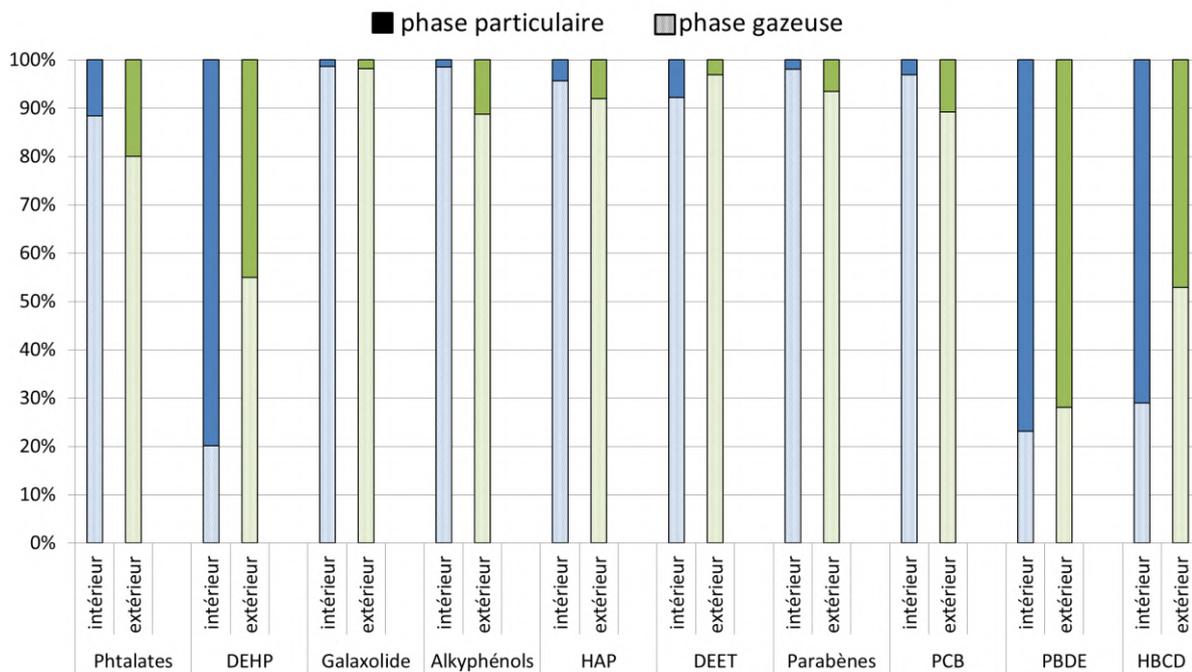


Figure 4 : Répartition entre la phase gazeuse et la phase particulaire selon les groupes chimiques

Les composés étudiés ont été majoritairement quantifiés dans la phase gazeuse. Cette distribution varie légèrement entre l'air intérieur et l'air extérieur, avec une proportion plus importante en phase particulaire généralement liée à la présence de particules plus élevée à l'extérieur.

Cette distribution est principalement dépendante des propriétés physico-chimiques des molécules. Dans l'air intérieur, les composés ayant une pression de vapeur supérieure à 0,001 Pa, seront à plus de 80% en phase gazeuse (Moreau-Guigon et al., 2016). Les composés les moins volatils comme le DEHP, les PBDE et l'HBCD seront par contre préférentiellement présents dans la phase particulaire.

B. HIERARCHISATION DES COMPOSES PAR FAMILLE CHIMIQUE

Afin d'apprécier la hiérarchisation des différentes familles de contaminants étudiées, les concentrations obtenues pour les différents composés ont été sommées par famille.

La Figure 5 présente les résultats obtenus pour les 4 sites intérieurs. Celui-ci montre que les phtalates sont les contaminants les plus abondants suivis du galaxolide®, des alkylphénols et des HAP.

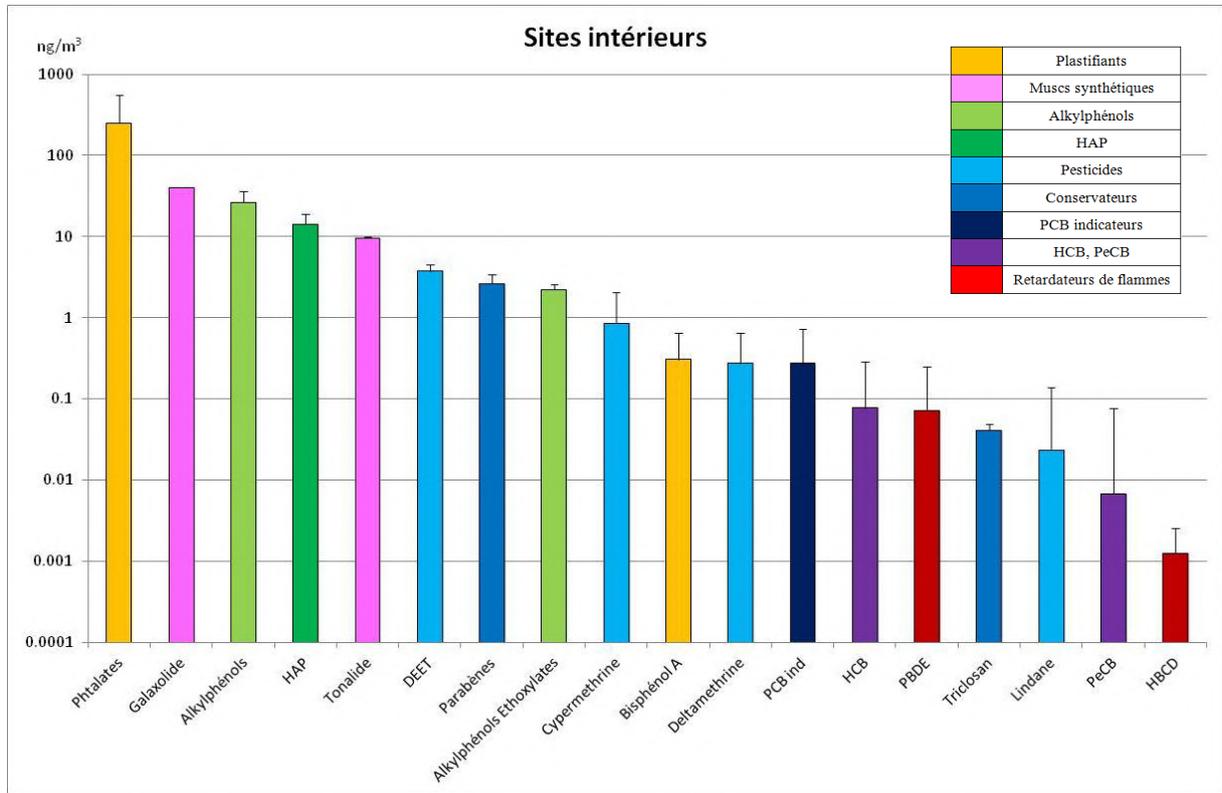


Figure 5 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille - sites intérieurs

La représentation individuelle des 4 sites intérieurs montre que le site « Petite enfance » est le plus contaminé en phtalates, galaxolide®, alkylphénols, parabènes et triclosan (Figure 6). Cette contamination correspond à une présence plus importante de matériaux et objets en plastiques et à un usage plus fréquent de désinfectants et indirectement d'additifs de produits d'hygiène.

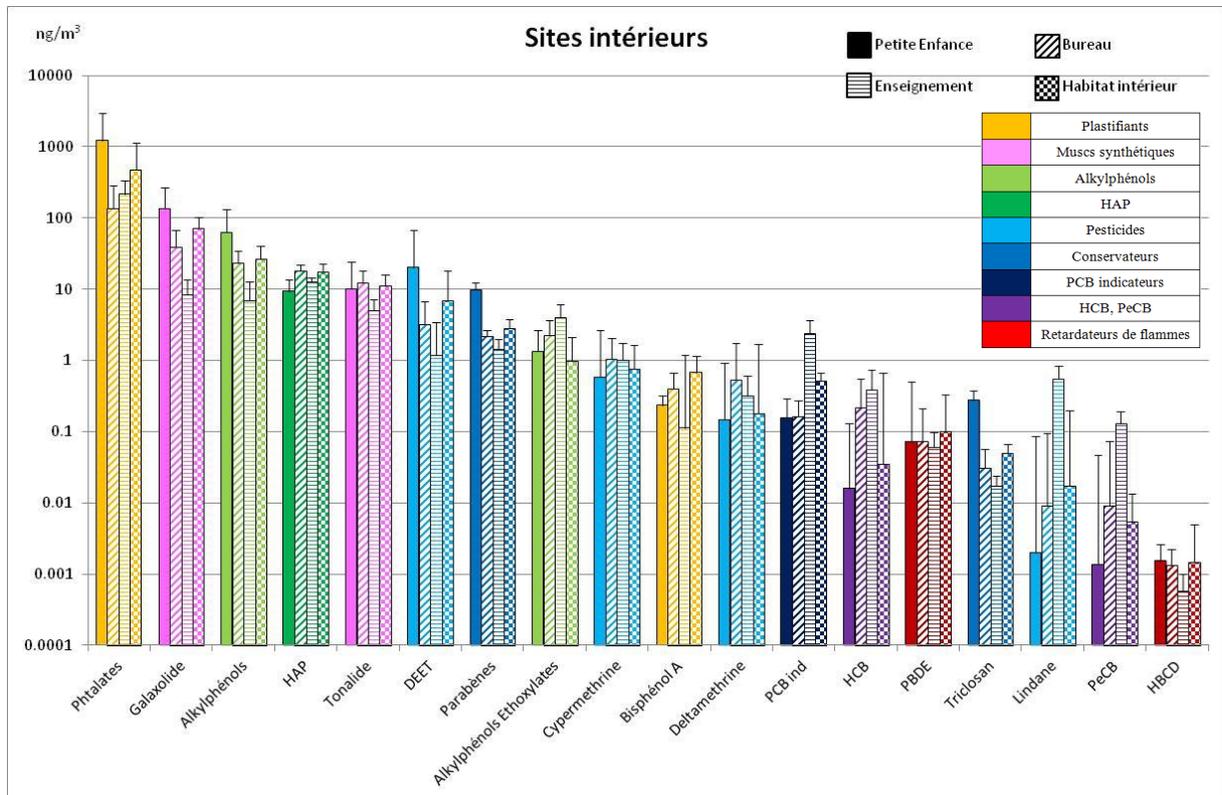


Figure 6: Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille et par site - sites intérieurs

Entre l'air intérieur et extérieur, la hiérarchisation des groupes chimiques varie quelque peu suivant le milieu. Les phtalates restent cependant les contaminants majoritaires, suivis des HAP en air extérieur (Figure 7).

Des différences importantes apparaissent pour certains composés, notamment pour les muscs synthétiques (galaxolide© et tonalide©) avec des concentrations intérieures jusqu'à 100 fois supérieures à celles déterminées en milieu extérieur.

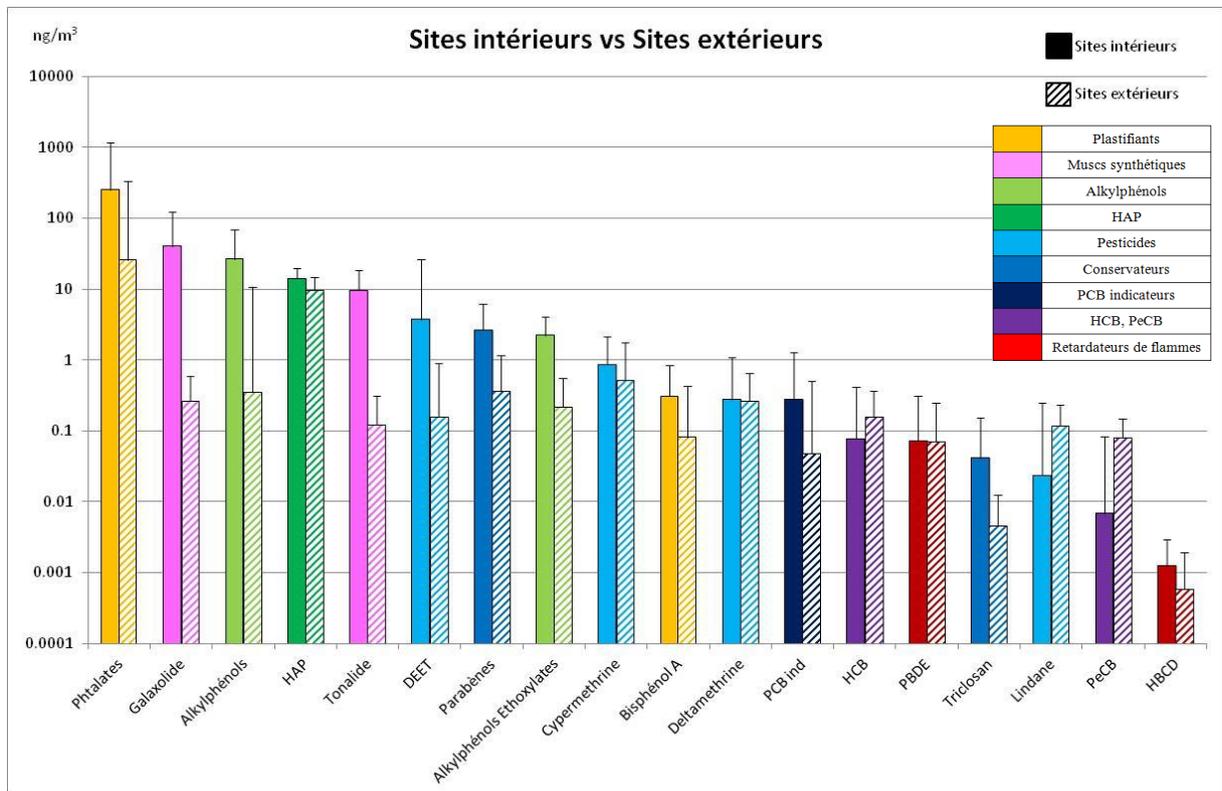


Figure 7 : Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille - sites intérieurs vs sites extérieurs

Cette hiérarchisation des composés majoritaires (phtalates et HAP) est identique à celle d'une autre étude réalisée en Ile-de-France en 2013-2014 (Chevreuil et Moreau-Guigon, 2015).

L'étude des sites extérieurs montre que le site « Référence » est le moins contaminé vis-à-vis des composés majeurs ce qui est cohérent avec son éloignement par rapport aux sources urbaines d'émissions potentielles.

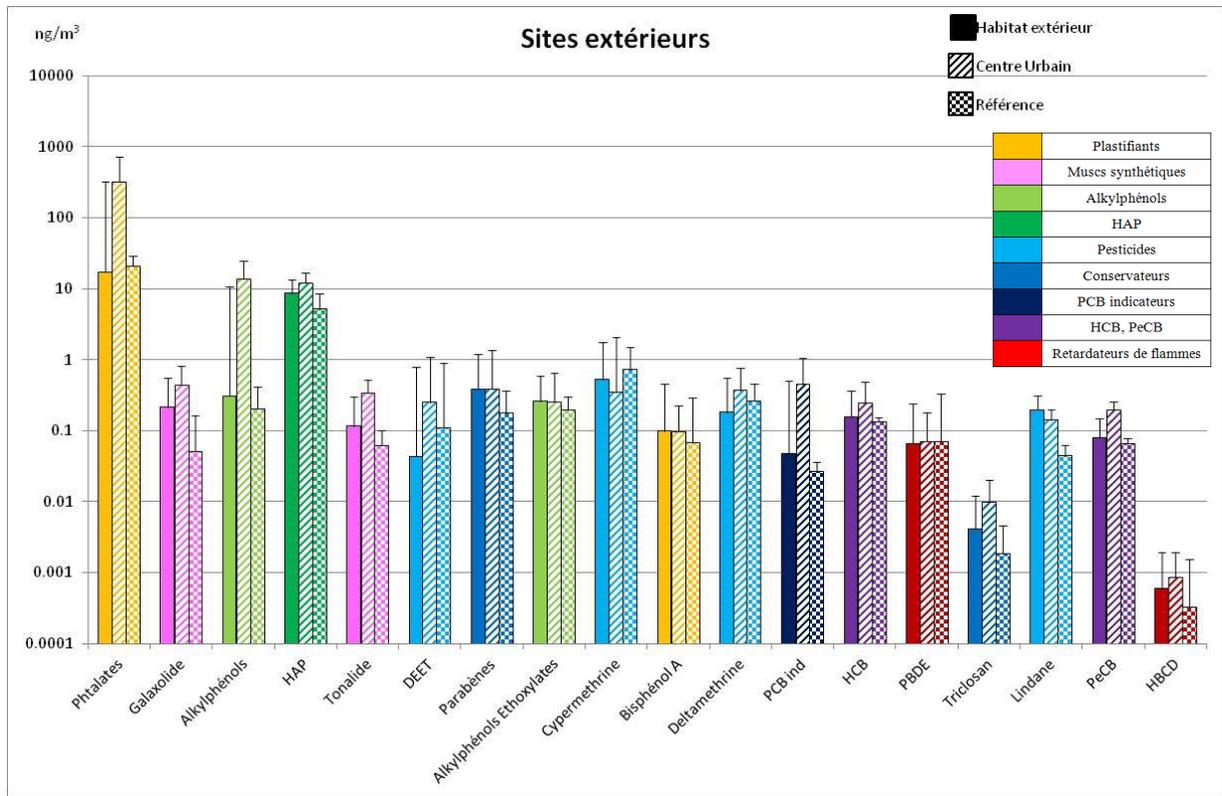


Figure 8: Hiérarchisation des concentrations en contaminants par famille et par sites - sites extérieurs

C. COMPOSES MAJORITAIRES PAR FAMILLE ET SELON LES SITES DE MESURE

Les Figure 9 et 10 présentent la médiane¹¹ des résultats obtenus par site et par composé ainsi que les valeurs minimales et maximales sur l'ensemble de l'étude. Ces spectres de composition en COSV présentent ce que l'on peut qualifier de « carte d'identité » de chaque site de prélèvement.

Comparaison des sites intérieurs

Ces graphiques (Figure 9) font apparaître que le DiBP et le DEP (phtalates) sont deux composés majoritaires pour l'ensemble des sites intérieurs. Ces composés étaient également majoritaires dans l'air intérieur en région Bretagne, ce sont les phtalates les plus volatils (Blanchard et al., 2014).

Le galaxolide® est le musc synthétique majoritairement présent en air intérieur.

Le nonylphénol est l'alkylphénol présentant les concentrations les plus élevées.

Concernant les HAP, deux sites présentent l'anthracène comme HAP majoritaire. Cela pourrait s'expliquer par l'activité de cuisson dans les bâtiments « Petite enfance » et « Habitation » qui sont tous deux équipés d'une cuisine utilisée quotidiennement. L'anthracène serait, en effet, l'un des HAP traceur de la combustion de gaz naturel (Yang et Chen, 2004).

Pour les deux autres sites urbains intérieurs (« Enseignement » et « Bureaux »), c'est le phénanthrène qui est le plus abondant (traceur du trafic automobile et de la combustion dans l'air extérieur).

Le méthyl parabène est le composé en plus forte concentration de la famille des parabènes.

Le DEET, un insecticide, est le pesticide le plus abondant.

Pour la famille des PCB, le composé 52 présente les niveaux de concentration les plus élevés (Chevreuil, 2013). Les PCB 101, 110 et 118 ont également des médianes élevées sur ces 4 sites. Il pourrait s'agir d'une source locale spécifique influençant le spectre en PCB de l'ensemble des sites.

Le PBDE 209 (retardateur de flamme) est le composé principal de cette famille. Ce résultat est cohérent car il s'agit désormais du seul retardateur de flamme encore autorisé au sein de l'union européenne.

¹¹ La médiane d'une série statistique est le nombre qui sépare la série (ordonnée en valeurs croissantes) en deux groupes de même effectif. C'est un paramètre de position de la série.

Comparaison des sites intérieurs avec les sites extérieurs (« Centre urbain » et « Habitat extérieur »)

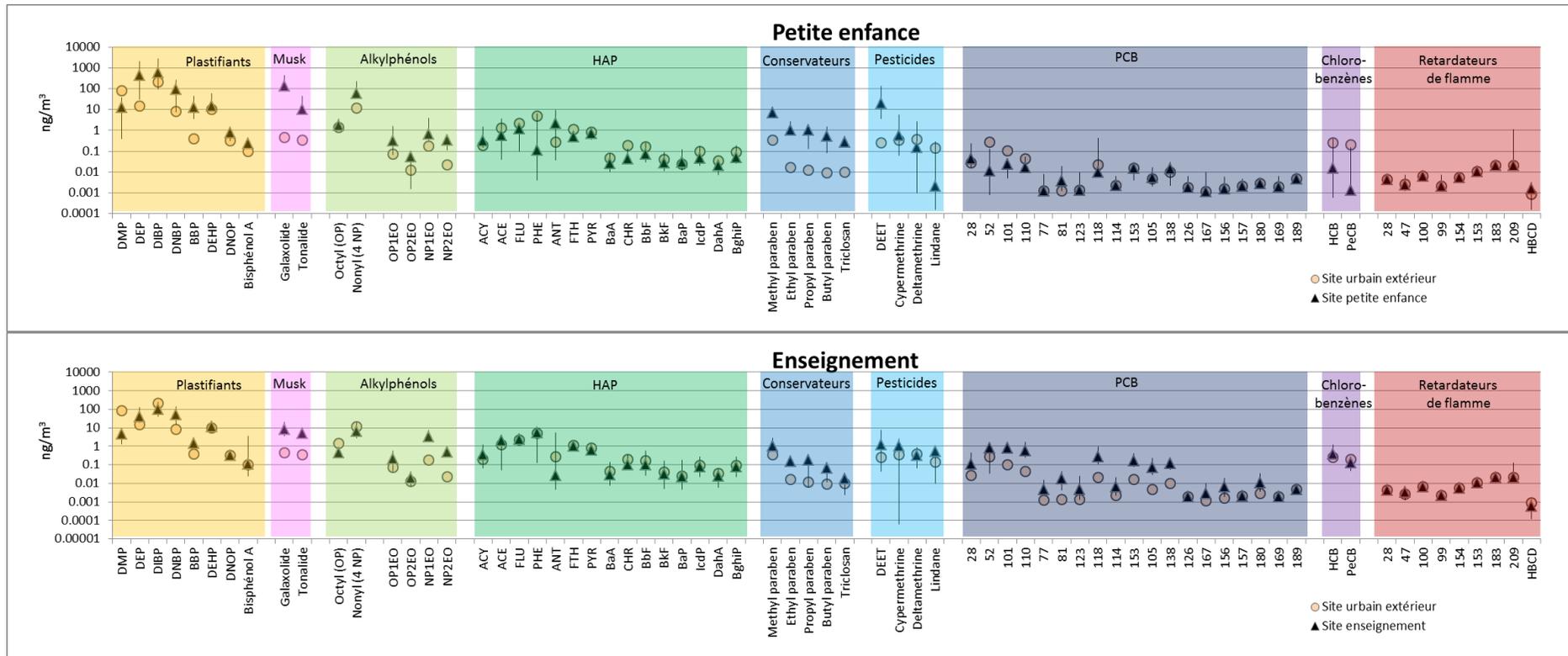
La comparaison entre le site extérieur « Centre urbain » et le site intérieur « Petite enfance » fait apparaître des écarts importants pour certains composés (Figure 10). Le DEP et le BBP (phtalates), le galaxolide©, le tonalide©, le DEET, les parabènes et le triclosan ont des concentrations quasiment 100 fois supérieures en air intérieur. Par contre, le phénanthrène, le PeCB et le lindane présentent des niveaux 100 fois plus élevés à l'extérieur.

Pour le bâtiment « Bureaux », les écarts sont moins importants. Les niveaux restent 100 fois plus élevés pour le galaxolide© mais sont plutôt d'un rapport de 10 pour le tonalide©, certains alkylphénols (OP2E0 et NP2EO), les parabènes, et le DEET. Le DMP (phtalate), le PeCB et le lindane sont 10 fois plus concentrés à l'extérieur au niveau du site « Centre urbain ». Ce qui peut se justifier tout au moins pour les deux dernières molécules qui n'ont actuellement plus de source interne potentielle.

Concernant le site « Enseignement », la différence de concentration est moindre entre l'intérieur et l'extérieur. Pour certains composés comme le nonylphénol, le galaxolide©, le tonalide©, les PCB (101, 110, 118, 153, 105 et 138) et les parabènes (éthyl, propyl et butyl), les niveaux sont 10 fois plus élevés en air intérieur. A l'extérieur, des niveaux 10 fois plus élevés sont constatés pour l'anthracène et le DMP (phtalate), contrairement à ce qui a pu être observé en région parisienne (Teil et al., 2016 ; Laborie, 2015). Les concentrations en air intérieur étant du même ordre de grandeur, cette différence peut s'expliquer par une source extérieure potentielle pour ces deux molécules.

Les sites « Habitation » et « Habitat extérieur » en proximité de la zone industrielle présentent des écarts significatifs. Des composés sont présents à des concentrations 100 fois supérieures en air intérieur comme le nonylphénol, le galaxolide©, le tonalide©, le DEET, le propyl et butyl parabène et l'anthracène. D'autres composés comme l'acénaphthylène, des PCB (28, 52, 101, 110, 118, 105), des phtalates (DMP, DEP, DBP, DnBP), l'éthyl parabène et le triclosan montrent des concentrations environ 10 fois plus élevées en milieu intérieur.

A l'extérieur, quatre composés ont des niveaux significativement plus élevés. Il s'agit du lindane, du PeCB et dans une moindre mesure du Phénanthrène et de l'HCB.



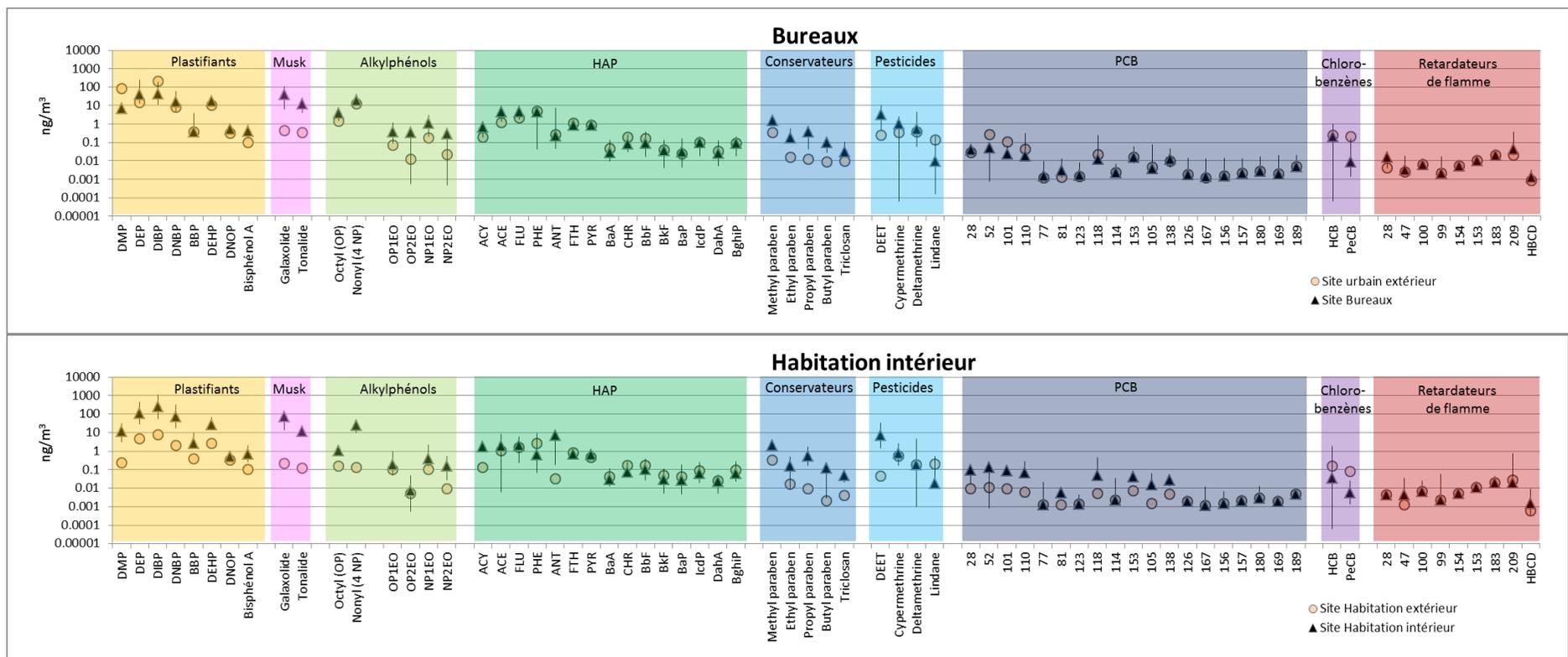


Figure 9 : Médiane des concentrations obtenues par composé individuel et par site suivant les sites intérieurs

Comparaison des sites extérieurs avec le site « Référence »

Le site « Référence » présente également pour les principaux contaminants atmosphériques des concentrations plus faibles que celles des autres sites extérieurs (Figure 10).

Le site « Centre urbain » est celui qui fait apparaître le plus de différence avec le bruit de fond de référence. Les alkylphénols et le DMP sont 100 fois plus élevés sur le site urbain. D'autres composés comme l'anthracène, certains PCB (52, 101, 110), le DiBP et le butylparabène sont 10 fois plus concentrés sur ce site. Ce constat montre bien que les PCB (52, 101, 110) sont associés à l'existence d'une source localisée sur le site « Centre urbain ».

Les différences de composition sont très peu marquées en comparaison au site « Habitat extérieur » situé à proximité de la zone industrielle.

Les concentrations sur le site « Référence » sont du même ordre de grandeur que celles relevées dans la forêt de Fontainebleau (Chevreuil, 2103 ; Teil et al. 2016).

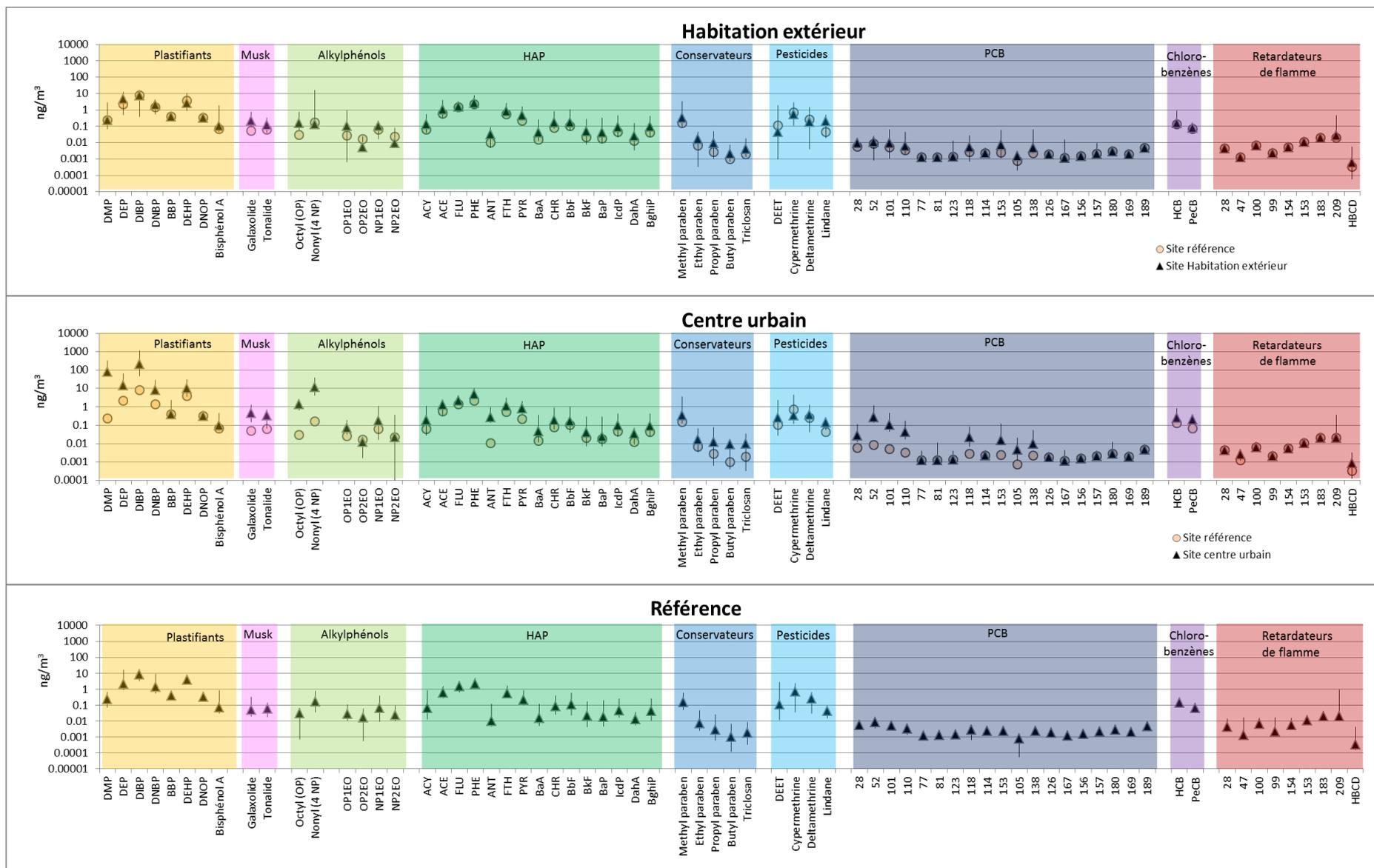


Figure 10 : Médiane des concentrations obtenues par composé individuel et par site selon les sites extérieurs (zone urbaine et référence en forêt)

D. DIFFERENCES SIGNIFICATIVES DE CONTAMINATION ENTRE LES SITES

Ces premiers résultats ont permis de hiérarchiser l'importance respective des différentes familles de molécules et celle des différents composés au sein d'une même famille pour l'ensemble des sites ou par typologie. Nous avons ainsi cherché à déterminer si certains sites présentaient des différences significatives de concentrations par rapport aux autres par composés ou familles de composés. Des pistes d'explications sont présentées au regard des sources potentielles des contaminants.

Les graphiques suivants représentent des boîtes à moustaches qui permettent d'illustrer schématiquement une distribution statistique des données. Chaque boîte à moustaches indique la médiane (50%) du jeu de données (trait gras). La boîte est formée par les quartiles 25% et 75 % (pour les parties basses et hautes de la boîte) et représente l'écart interquartile. Les limites maximales ou minimales (les moustaches) indiquent les valeurs maximales ou minimales du jeu de données et correspondent au maximum à 1,5 fois l'écart interquartile. Ainsi les valeurs atypiques ou exceptionnelles ne sont pas incluses et sont représentées par des points situés en dehors de la boîte à moustache. La limite de quantification du composé ou pour les familles de composés, la plus basse valeur de la limite de quantification des composés est représentée en bas de chaque graphique par un trait pointillé rouge.

L'ensemble des boîtes à moustaches réalisées lors de l'exploitation des données sont disponibles en annexe 4 (étude annuelle) et annexe 5 (étude saisonnière).

D.1 Les plastifiants

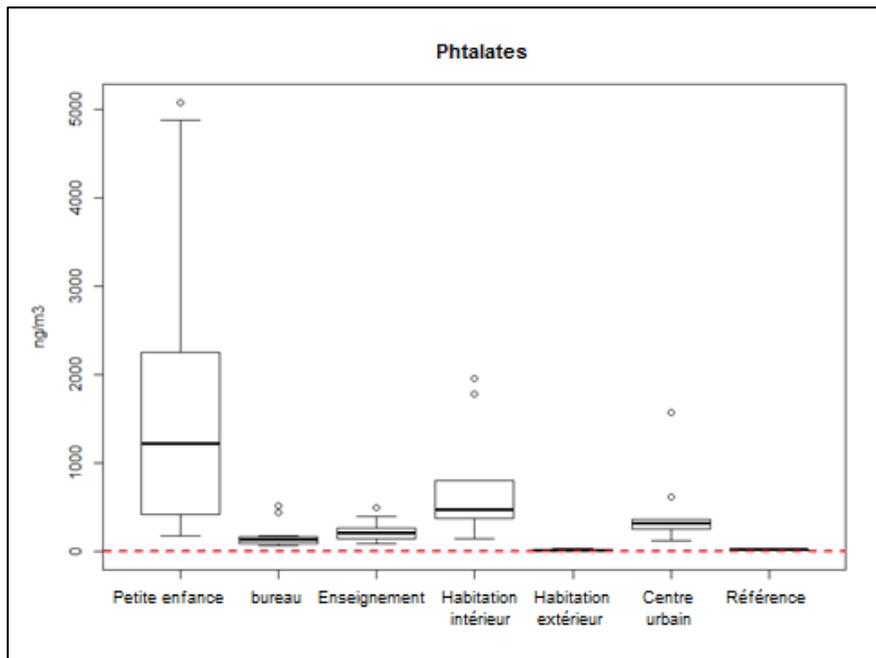


Figure 11 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en phtalates

Les phtalates sont présents dans de nombreux produits de consommation courante, dans des matériaux de construction, d'ameublement et de décoration intérieure.

Les cosmétiques sont le deuxième domaine d'application des phtalates où ils sont notamment incorporés comme agents fixateurs afin d'augmenter le pouvoir de pénétration d'un produit sur la peau.

Ils sont incorporés dans les revêtements en vinyle, notamment le DEHP. Ils renforcent l'effet des adhésifs et la stabilité des pigments de peinture. Ils sont encore également présents dans certains médicaments sous forme de gélule.

Pour cette famille de contaminants, les niveaux les plus élevés sont observés en air intérieur sur les sites « Petite enfance » et « Habitation » (Figure 11). Au regard des sources potentielles, les niveaux sont cohérents par rapport aux activités de ces deux sites.

De nombreuses études montrent aujourd'hui l'omniprésence de ces molécules dans l'air intérieur avec des concentrations du même ordre de grandeur que celles obtenues lors des différentes campagnes (Laborie et al, 2015 ; Blanchard et al, 2014).

L'étude saisonnière montre que les niveaux les plus élevés en phtalates sont observés en hiver et en été (Figure 12). Des différences significatives entre les saisons sont constatées pour le site « Petite enfance » (sauf entre le printemps et l'été). En région Ile de France, les plus fortes concentrations sont observées uniquement en été.

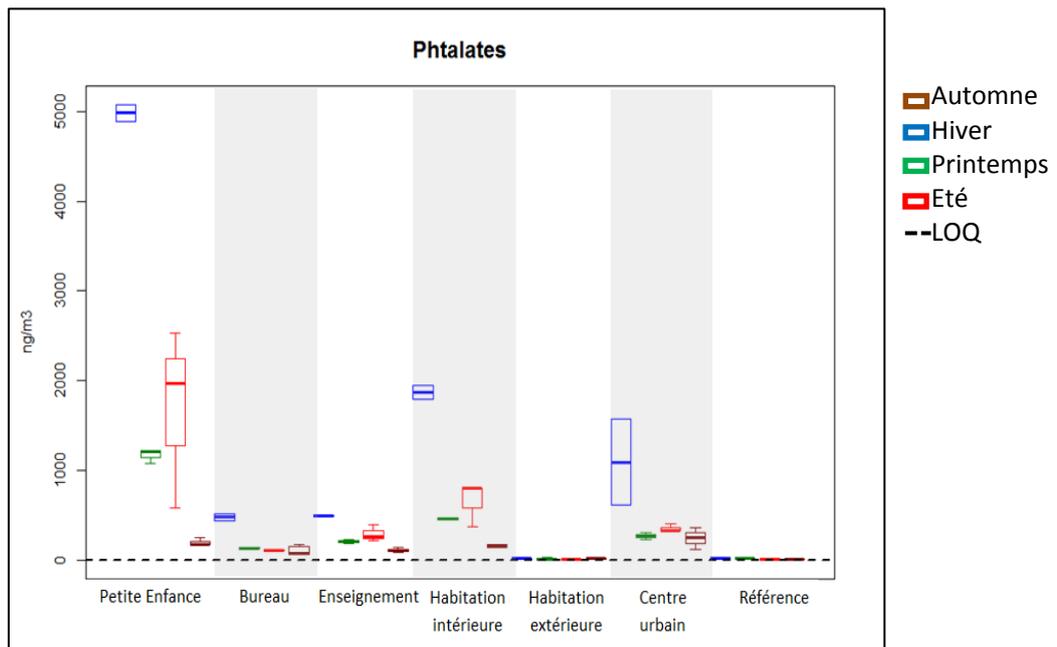


Figure 12 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en phtalates

Il apparaît également que le site « Centre urbain » extérieur présente une signature proche des sites intérieurs.

Le bisphénol A (BPA) est principalement utilisé comme monomère pour la fabrication industrielle par polymérisation de matières plastiques et de résines époxydes.

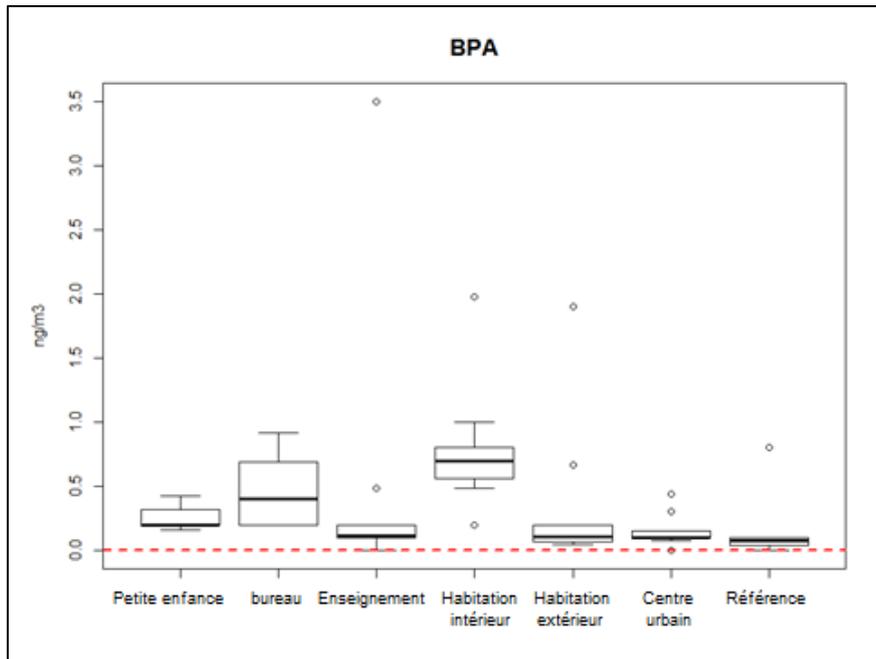


Figure 13: Distribution statistique des concentrations (ng/m^3) en bisphénol A

D'après les résultats présentés en figure 13, le bisphénol A est un contaminant davantage présent en air intérieur. Le site « Habitation » présente les niveaux les plus élevés des sites intérieurs. Ces concentrations sont similaires à celles mesurées en région Bretagne dont la médiane était de $0,64 \text{ ng/m}^3$ (Blanchard et al., 2014).

A l'extérieur, ce composé est logiquement moins important à l'écart des sources potentielles.

Le bisphénol A est un composé très peu volatil souvent lié chimiquement avec d'autres substances (Brunelle, 2002). Cela peut expliquer le fait qu'il ne soit retrouvé qu'en faible quantité sur les différents sites de mesure en comparaison aux autres familles de contaminants.

L'étude saisonnière ne fait pas apparaître de tendance particulière entre les différentes saisons.

Ces concentrations sont dans la même gamme que celles observées sur Paris (milieux intérieur et extérieur) et la forêt de Fontainebleau (Chevreuil, 2013).

D.2 Muscs synthétiques

Les muscs synthétiques étant utilisés dans divers produits de consommation (savons, parfums, détergents...), leur présence en air intérieur et leur absence à l'extérieur apparaît logique (Figure 14). Le galaxolide[®] se retrouve principalement sur le site « Petite enfance ». Le tonalide[®] est à des niveaux proches sur les sites « Petite enfance », « Bureaux » et « Habitation ». En fonction des produits utilisés dans les locaux, les concentrations en galaxolide[®] et en tonalide[®] peuvent être très variables, mais cette étude confirme leur présence plus importante dans les milieux intérieurs par rapport à l'air extérieur.

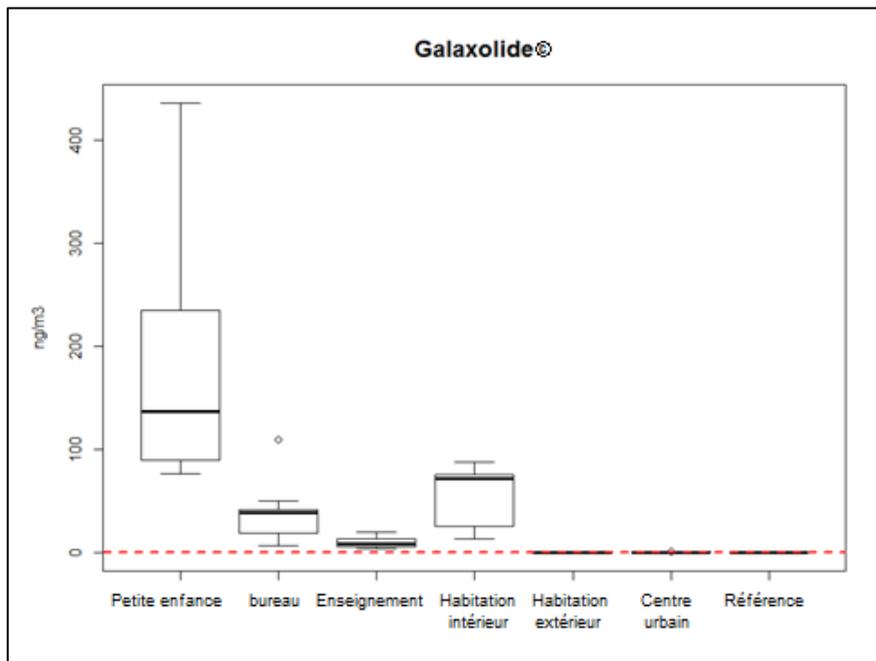


Figure 14 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en galaxolide[®]

Pour ces deux composés, l'étude saisonnière montre que les concentrations augmentent de l'hiver à l'automne avec un maximum en automne et/ou en été. Cette variation peut être associée à l'augmentation de la température.

Pour le galaxolide[®], nous observons des différences saisonnières statistiquement significatives pour le site « Petite enfance », le site « Bureaux » (sauf entre l'été et l'automne), le site « Référence » (sauf entre l'automne et l'été et entre l'hiver et l'été) et le site « Centre urbain » extérieur (sauf entre l'hiver et le printemps).

Pour le tonalide[®], il n'apparaît pas de différences saisonnières statistiquement significatives. Toutefois, une saison se démarque en général. Il s'agit de l'automne pour le site « Petite enfance », de l'été pour le site « Habitat extérieur » et pour le site « Référence ».

Hormis le site « Petite enfance », les concentrations observées en muscs sur la région d'Amiens sont similaires à celles de la région parisienne et de la région Bretagne (Laborie, 2016 ; Blanchard et al., 2014). Sur le site « Petite enfance », les concentrations sont 3 à 10 fois supérieures aux sites intérieurs sur Paris (Laborie, 2016). Aucune variation saisonnière n'avait été observée. En revanche, la hiérarchisation des muscs variait selon les sites.

D.3 Alkylphénols

Le site « Petite enfance » est le site intérieur présentant les niveaux en alkylphénols les plus élevés (Figure 15). Les sites « Bureaux » et « Habitation » ne présentent pas de différences importantes pour cette famille de composés. Le site « Enseignement » affiche les niveaux les plus faibles en air intérieur.

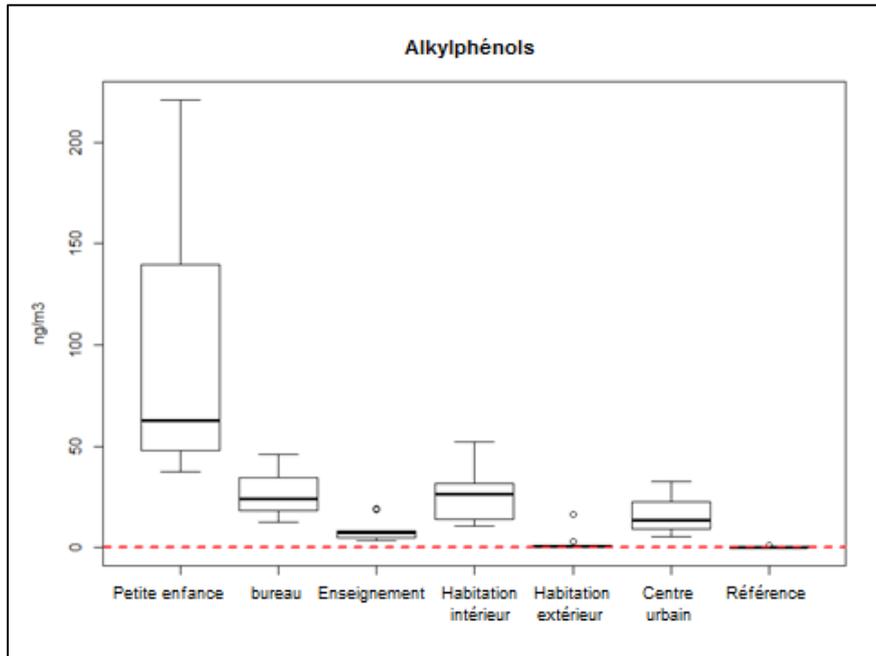


Figure 15 : Distribution statistique des concentrations (ng/m^3) en alkylphénols

En air extérieur, comme présenté précédemment, les sites extérieurs « Référence » et « Habitat extérieur » ne présentent pas de différence. Le site « Centre urbain » affiche des niveaux plus élevés en alkylphénols que les autres sites extérieurs. Le site « Enseignement », le plus proche du site « Centre urbain », ne semble pas influencé par les niveaux extérieurs.

Cette contamination du site « Petite enfance » peut correspondre à la présence de matériaux mobiliers ou autres objets en plastiques, additifs des désinfectants et produits d'hygiène. En effet, les alkylphénols sont majoritairement utilisés sous forme de 4-nonylphénol (4-NP) dans les résines et plastiques et sous forme éthoxylés dans les détergents.

Les concentrations observées sur les sites « Petite enfance » et « Bureaux » sont plus élevées que celles relevées sur Paris en 2013 dans des locaux similaires. Les autres sites sont dans les mêmes ordres de grandeurs (Laborie, 2015).

Les évolutions saisonnières des concentrations en alkylphénols (Figure 16) font apparaître une augmentation de l'hiver à l'été puis une chute à l'automne (dernière saison étudiée). Ces variations sont statistiquement significatives au regard des différents tests réalisés pour le site « Petite enfance » (sauf entre le printemps et l'été) et pour le site « Bureaux » (sauf entre l'automne et l'hiver).

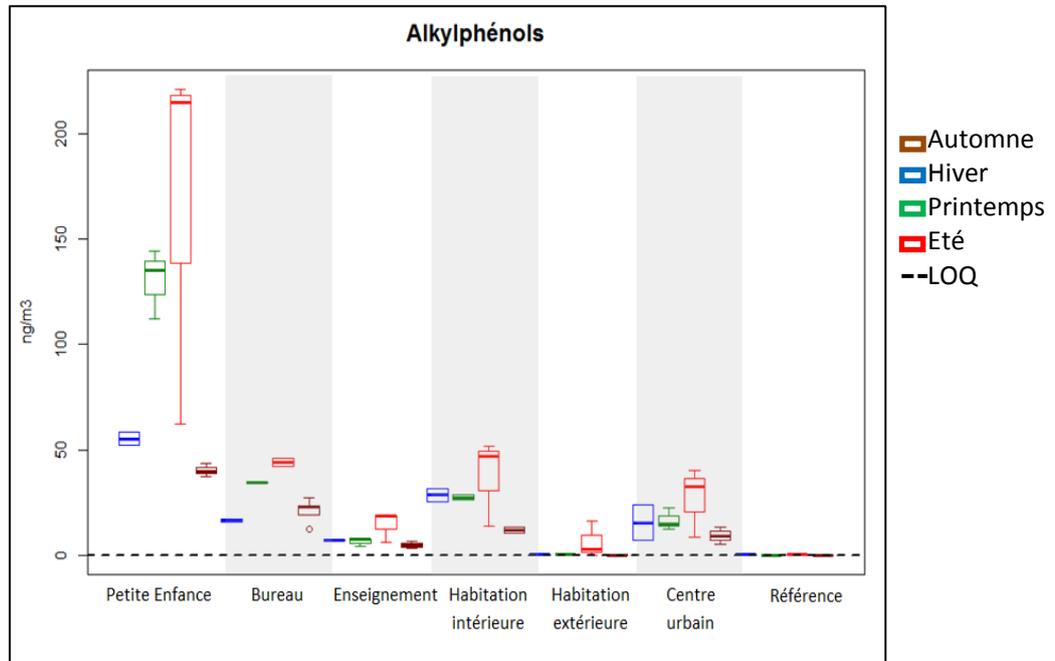


Figure 16 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en alkylphénols

Les alkylphénols éthoxylates sont majoritairement représentés par le 4-NP éthoxylé (NP10E). Ce composé représente en effet 80% de l'utilisation des alkylphénols éthoxylés sous forme de tensio-actif dans les détergents (Cladière, 2012). Ces molécules se dégradent ensuite en alkylphénols.

Les concentrations en alkylphénols éthoxylés sont plus élevées en intérieur qu'en extérieur et notamment pour le site « Enseignement ». Ceci a également été observé sur Paris et serait probablement lié à leurs usages.

Pour ce composé, l'évolution saisonnière des concentrations ne montre pas de différences significatives entre les saisons.

D.4 HAP

Issus de la combustion incomplète de la matière organique, les émissions de HAP proviennent surtout des cheminées, des chaudières industrielles ou domestiques et du trafic routier (CITEPA, 2014).

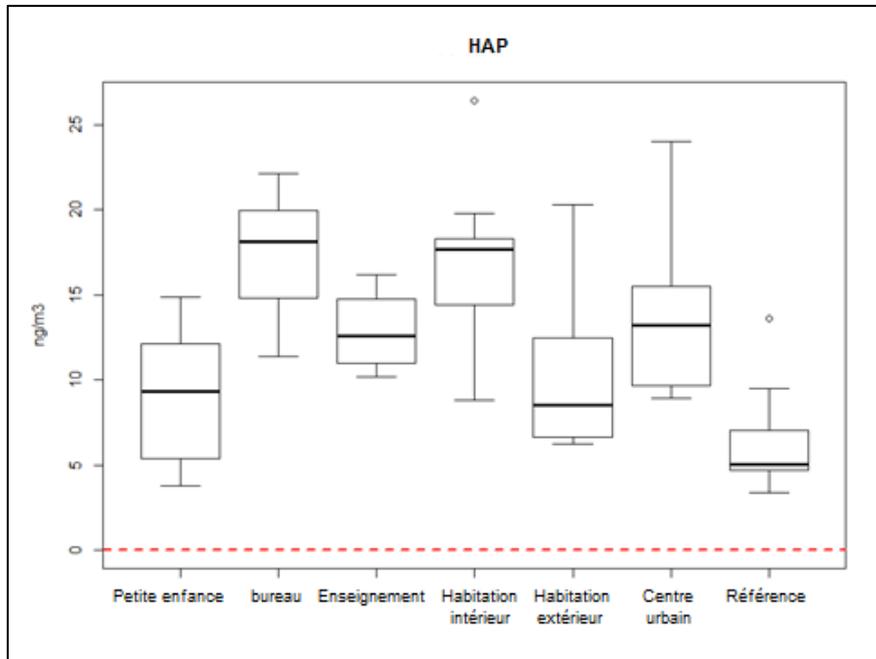


Figure 17 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en HAP

Les concentrations en HAP présentent des différences significatives entre plusieurs sites (Figure 17). Ces différences sont cependant moins marquées que pour certaines familles de contaminants et notamment entre les sites intérieurs et extérieurs. Le site « Référence » présente la médiane la plus faible. Les sites intérieurs « Bureaux » et « Habitation » présentent les médianes les plus élevées.

L'étude saisonnière montre que les concentrations les plus élevées en HAP sont relevées en automne et en hiver. Les tests statistiques réalisés ne font pas apparaître de différences significatives entre les saisons sauf pour le site « Petite enfance ».

D'après ces variations, il semblerait que la principale source de HAP sur la zone d'étude réside dans le chauffage résidentiel et tertiaire.

Les niveaux de concentrations en HAP sur la région d'Amiens sont plus faibles qu'en région parisienne et la contamination du site de référence est similaire à celle de la forêt de Fontainebleau (Chevreuil, 2013 ; Laborie, 2015).

D.5 Pesticides

Le DEET est un produit chimique utilisé comme répulsif contre les insectes (présenté selon les produits comme efficace contre moustiques, puces, tiques, mouche piquante des étables et aoûtats). Ce composé se retrouve en plus forte concentration en air intérieur et notamment sur le site « Petite enfance ».

La cyperméthrine et la deltaméthrine (famille des pyréthrinoides) sont des insecticides utilisés dans les produits de traitement des bois de constructions et surtout dans les préparations insecticides en agriculture.

Ces deux substances se retrouvent aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur à des niveaux équivalents.

Le lindane a été autorisé en agriculture jusqu'en 1998 et dans les produits pharmaceutiques pour le traitement de la gale et l'élimination des poux.

Les niveaux observés ne présentent pas de tendance particulière entre intérieur et extérieur.

L'absence de variation entre les sites intérieurs et extérieurs indique que la pollution correspond à un bruit de fond environnemental lié aux utilisations passées de ces molécules.

Les concentrations en cyperméthrine et lindane sont du même ordre de grandeur que celles précédemment observées par Laborie (2015) et celles en lindane sont inférieures à celles de la région Bretagne (Blanchard et al., 2014). La deltaméthrine et le DEET n'avaient pas été pris en considération lors de cette étude.

Le DEET fait apparaître des concentrations maximales à l'automne et au printemps (Figure 18). Des différences significatives entre les saisons sont observées pour les sites « Petite enfance » (sur les 4 saisons) et sur le site « Enseignement » (sur 3 saisons). L'augmentation des niveaux de ce composé pour les sites intérieurs est corrélée avec l'usage saisonnier des produits répulsifs vis-à-vis des insectes.

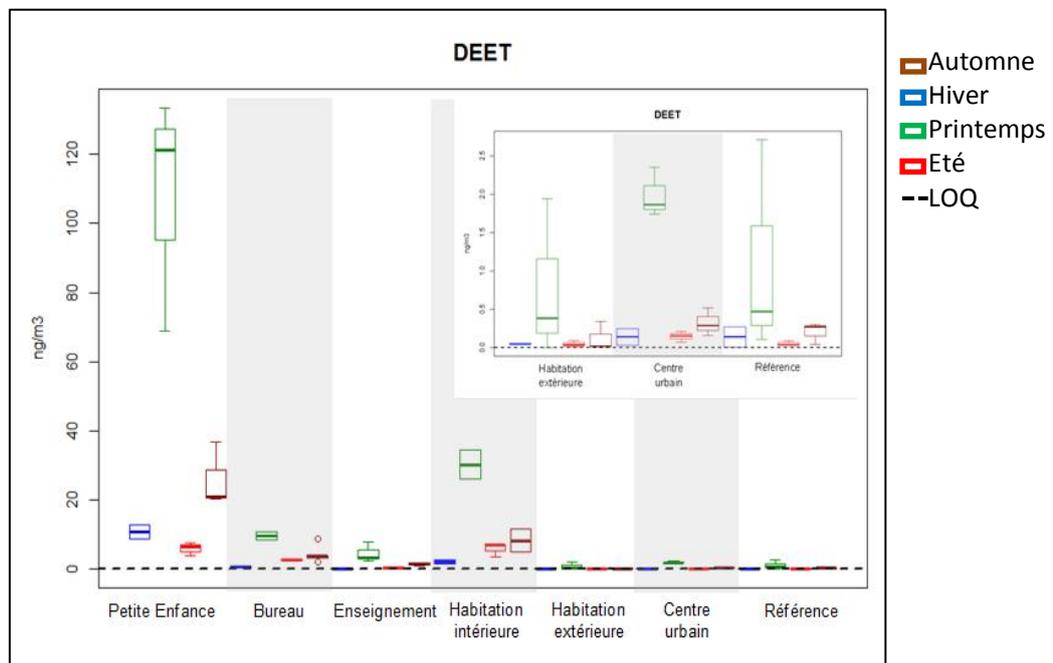


Figure 18 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en fonction de la saison en DEET

La cyperméthrine présente des niveaux plus élevés à l'automne et au printemps. La deltaméthrine révèle des concentrations plus élevées à l'automne. Pour ces deux composés, il n'y a pas de différences significatives observées entre les saisons.

D.6 Conservateurs

Pour les 4 parabènes étudiés, les sites intérieurs présentent logiquement les niveaux les plus élevés (Figure 19). Les parabènes sont en effets très utilisés dans les produits de la vie quotidienne (Antifongiques et antimicrobien dans les cosmétiques et l'alimentaire).

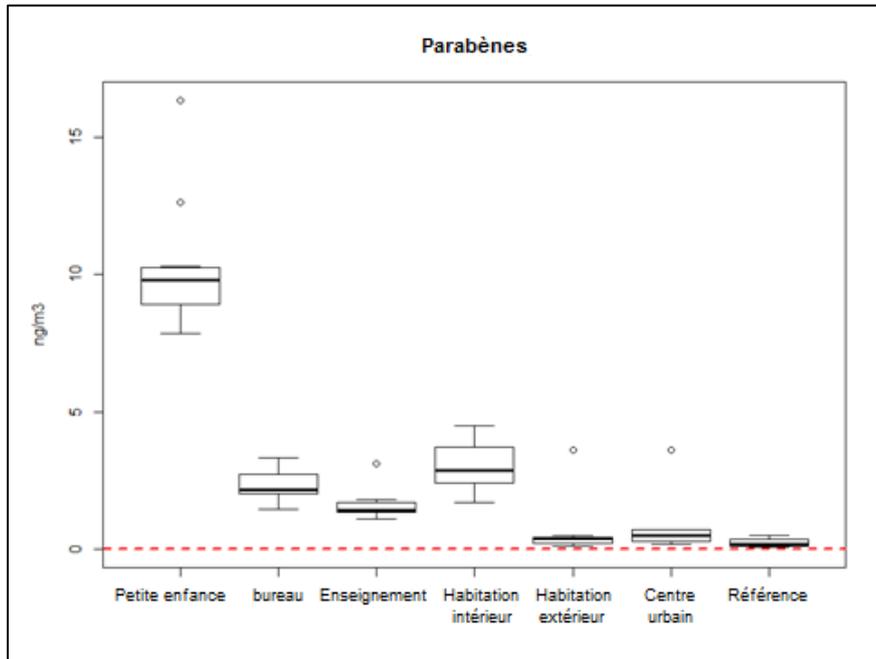


Figure 19 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en parabènes

Le site « Petite enfance » affiche les niveaux les plus élevés. Cela est cohérent compte tenu de la présence et l'utilisation de nombreux produits de soins corporels et pharmaceutiques dans ce type d'établissement. Ces concentrations en air intérieur sont similaires à celles précédemment observées sur Paris.

L'étude saisonnière montre que les niveaux en parabènes augmentent de l'hiver à l'été, puis chutent en automne.

Seul le site « Centre urbain » extérieur présente une différence statistiquement significative entre l'automne et le printemps.

Le triclosan se trouve à l'origine dans des savons, des déodorants, des dentifrices ou encore les solutions hydro-alcooliques.

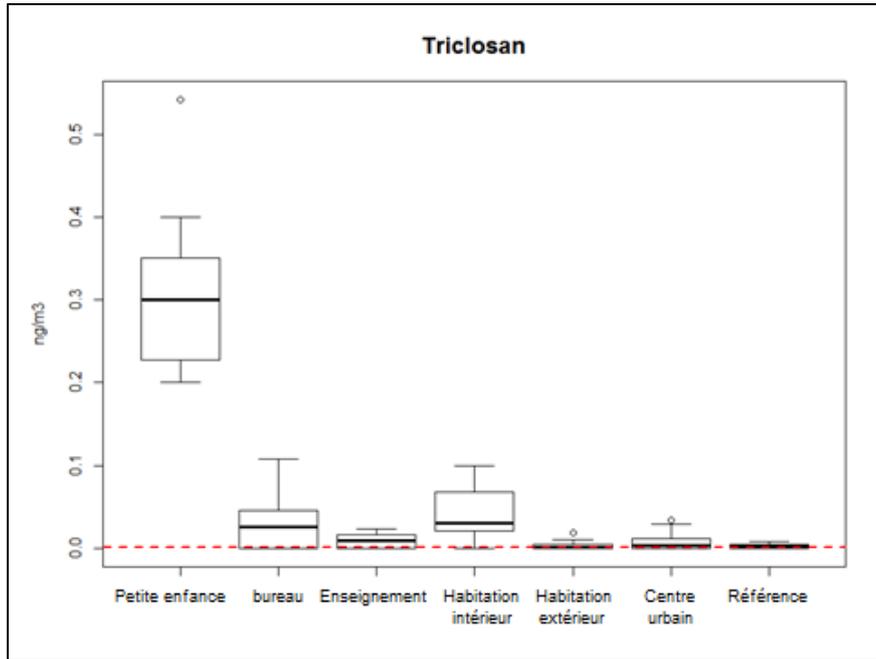


Figure 20 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en triclosan

De plus, de nombreux produits de consommation courante sont vendus pré-imprégnés de triclosan : ustensiles de cuisine, jouets, literie, sacs poubelle, chaussettes anti-odeurs ou éponges traitées pour résister à certains germes (bactérien et fongiques), etc....

Ce composé diminue la contamination bactérienne sur les mains et les produits traités, mais augmente à terme le risque de développement de bactéries résistantes (salmonelles par exemple).

On le retrouve donc logiquement en plus forte concentration en air intérieur et notamment sur le site « Petite enfance » (Figure 20).

Concernant les variations saisonnières, les concentrations en triclosan sont les plus élevées en automne et en été. Néanmoins la variation saisonnière n'est pas significative sur les différents sites pour ce composé.

Ces mesures confirment la présence de parabènes et de triclosan dans l'air ambiant. La gamme de concentrations est du même ordre de grandeur que celles obtenues en région parisienne.

D.7 PCB, HCB et PeCB

Les PCB ont été massivement utilisés des années 1930 aux années 1970 comme isolants électriques presque ininflammables et pour leurs excellentes caractéristiques diélectriques et de conduction thermique. Bien qu'ils aient été partiellement interdits en 1976 puis de tout nouvel usage en 1987 (les équipements industriels en bon état pouvant fonctionner jusqu'à leur fin de vie), ces composés sont très stables et persistent dans l'environnement.

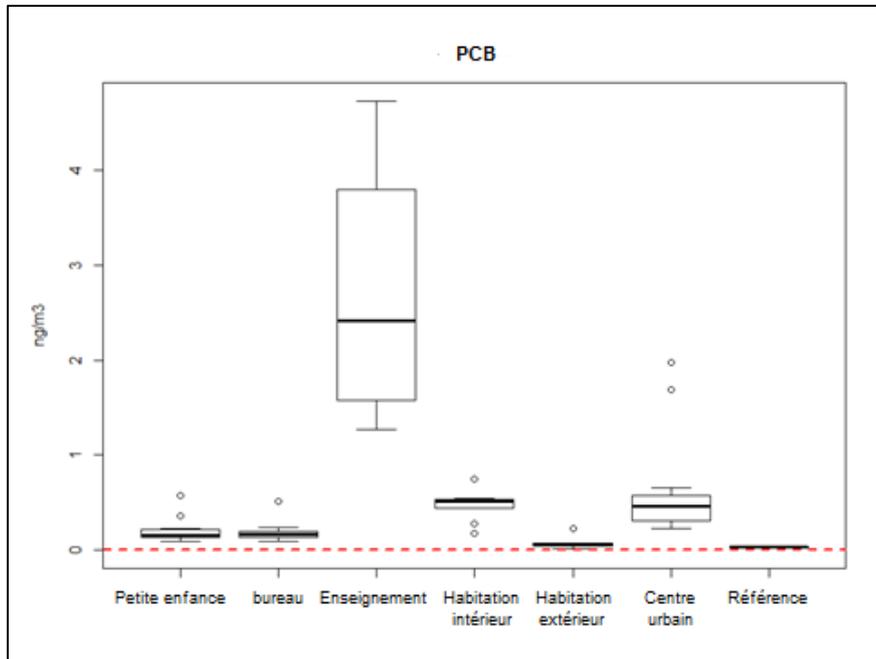


Figure 21 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en PCB

Le site « Enseignement » se démarque par rapport aux autres sites, il présente en effet la médiane la plus élevée en PCB (Figure 21). Les niveaux de concentrations des autres sites sont similaires à ceux de la région parisienne et de la région Bretagne.

Lors de l'étude réalisée en Ile de France en 2013-2014, un cas similaire a été rencontré sur un bâtiment de même typologie (construit également au début des années 70). L'air de ces bâtiments d'enseignement reste contaminé par la poursuite des émissions à partir des sols ou des lieux contaminés (anciens transformateurs contenant des PCB en tant que fluides diélectriques).

L'étude saisonnière montre que les niveaux les plus élevés en PCB sont relevés au cours de l'automne. Une augmentation des concentrations est observée entre l'hiver et l'automne du fait de l'augmentation des températures. Cette contamination aurait donc une origine diffuse de pollution de fond à l'échelle locale ou régionale.

La présence d'HCB est principalement issue d'anciens emplois agricoles interdits en 1972. Sa présence actuelle dans l'air ambiant serait principalement due à la poursuite des émissions passives à partir des sols agricoles anciennement contaminés (INERIS, 2005). Cependant, il est ici essentiellement présent sur le site « Enseignement » avec la médiane la plus élevée. Ce résultat peut être rapproché de celui des PCB puisque l'HCB pouvait leur être associé dans les fluides diélectriques.

En complément de cette origine, il existait, dans le quartier Saint Leu, une industrie textile importante (tissage, teinturerie), tanneries et sayetterie jusque dans les années 60. Or, il a été observé la présence d'HCB dans les laines avant lavage (usage en tant que pesticide) avec teneurs totales en organochlorés (dont l'HCB) allant de 0,10 à 5,05 grammes par tonne de laine sale (INERIS, 2005).

De plus, proche de ce site de prélèvement, il existait une teinturerie encore en activité jusqu'en 2006. Cette entreprise, actuellement en friche et référencée dans la base BASOL des sites et sols pollués, présente des stockages d'hydrocarbures et de solvants halogénés pouvant contenir aussi de l'HCB.

La comparaison des sites intérieurs et extérieurs ne montre pas de différence importante entre les médianes des différents sites.

L'étude saisonnière fait apparaître que les concentrations les plus élevées en HCB sont relevées en automne sur les différents sites. Cependant, cette variation saisonnière est significative uniquement pour le site « Enseignement ». L'accroissement des émissions en période automnale pourrait trouver son origine dans une reprise des travaux agricoles sur les sols à cette période.

Le PeCB peut avoir des origines urbaines et industrielles multiples. Ce composé est issu de la dégradation de l'HCB mais il est surtout un produit intermédiaire de synthèse chimique pouvant être lié à l'industrie chimique ou à l'incinération de déchets organiques en présence de chlore.

Les niveaux en PeCB sont également très variables d'un site à l'autre que ce soit en air intérieur ou extérieur. Ce composé a principalement été rencontré sur le site « Centre urbain » en air extérieur et sur le site « Enseignement ».

Les niveaux de PeCB n'affichent pas de tendances marquées entre les différentes saisons. Ceux-ci sont plus élevés au printemps et en été en comparaison à l'automne et à l'hiver. Seul le site « Petite enfance » affiche des différences significatives entre saisons chaudes (printemps et été) et saisons froides (automne et hiver). Les niveaux les plus élevés sont rencontrés sur le site « Centre urbain » extérieur avec les médianes les plus élevées à chaque saison.

D.8 Retardateurs de flamme

Les retardateurs de flamme bromés (RFB) sont des mélanges de produits chimiques produits par l'homme, qui sont ajoutés à une grande variété de produits, notamment pour une utilisation industrielle, pour les rendre moins inflammables. Ils sont utilisés couramment dans les plastiques, les textiles et les équipements électriques/électroniques.

Il existe cinq catégories principales de RFB, dont :

- Les PBDE (polybromodiphényléthers) – plastiques, textiles, moulages électroniques, circuits
- L'HBCD (hexabromocyclododécane) – isolation thermique dans l'industrie du bâtiment

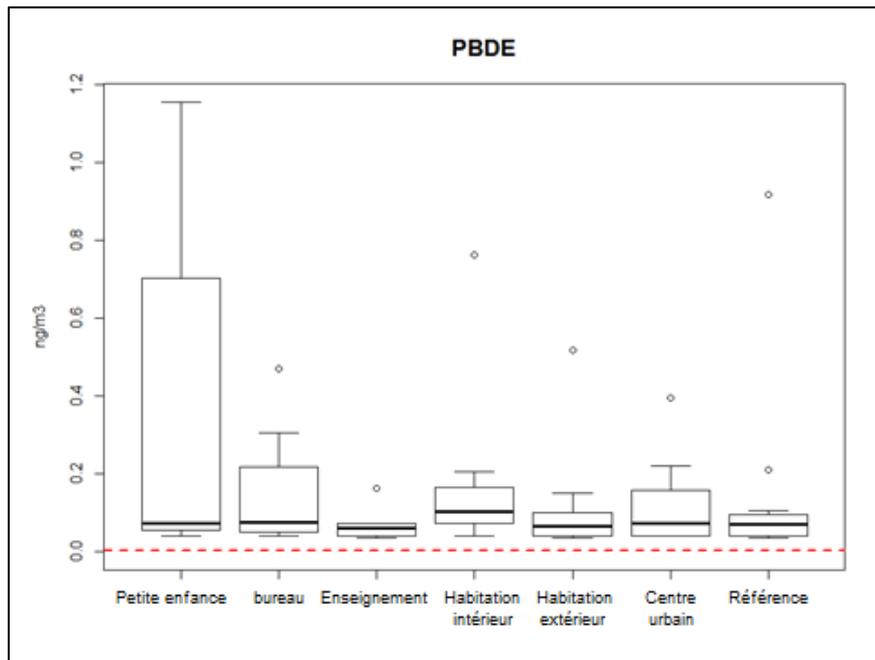


Figure 22 : Distribution statistique des concentrations (ng/m³) en PBDE

Les concentrations en PBDE sont parmi les plus faibles (Cmax : 1,2 ng/m³) et ne présentent pas de différences significatives entre les différents bâtiments (Figure 22). Le niveau de pollution apparaît homogène entre les différents sites et du même ordre de grandeur que les études réalisées en Ile de France.

L'HBCD, substitut des PBDE dans les tissus de mobilier et revêtements intérieurs, est essentiellement présent sur les sites intérieurs « Bureaux » et « Habitation ».

Pour les retardateurs de flamme, l'étude saisonnière ne montre pas de tendance particulière entre les différentes saisons.

SYNTHESE ET CONCLUSION

Cette étude s'est déroulée du 29 janvier au 2 décembre 2015 et a été réalisée sur 7 sites de mesure situés dans des habitats extérieurs et intérieurs de la région d'Amiens :

- 3 sites de mesure en air extérieur : un site urbain, représentatif de la contamination de fond situé au centre d'Amiens, un site à l'extérieur d'une habitation située en zone résidentielle et en proximité d'une zone industrielle, un site de mesure de référence situé en forêt sur la commune de Crécy en Ponthieu;
- 4 sites de mesure en air intérieur : une maison d'habitation localisée en zone résidentielle et en proximité d'une zone industrielle, un bâtiment d'enseignement situé dans le quartier Saint Leu d'Amiens, un bâtiment de bureaux à proximité du quartier de la gare d'Amiens, un bâtiment d'accueil de la petite enfance situé au Sud Est de l'agglomération.

L'exploitation conjointe des résultats réalisée avec le laboratoire EPHE de l'UMR METIS (UPMC/CNRS/EPHE) de Paris a permis de dresser un premier bilan de la contamination de l'air ambiant par les perturbateurs endocriniens dans plusieurs lieux de vie en Picardie.

Une première étude de la hiérarchisation de ces contaminants dans l'air intérieur montre que les phtalates sont les substances les plus abondantes suivis du galaxolide© (musc synthétique), des alkylphénols et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

En air extérieur, les phtalates sont également les composés majoritaires suivis des HAP.

Cette hiérarchisation des composés majoritaires (phtalates et HAP) est similaire à celle de l'étude réalisée en Ile-de-France en 2013-2014 (Chevreuil et Moreau-Guigon, 2015).

Les niveaux de contamination en air intérieur et en air extérieur font apparaître des différences importantes pour certains composés avec des niveaux parfois 100 fois supérieurs à l'intérieur des bâtiments.

L'étude des résultats des différents composés par site et leur comparaison permet de mettre en avant des différences importantes suivant les molécules d'une même famille entre les sites intérieurs, entre les sites extérieurs et entre les sites intérieurs et extérieurs les plus proches.

Ces différences sont liées aux activités intérieures et extérieures, aux usages des occupants (par exemple présence plus importante d'anthracène dans l'habitation et le bâtiment petite enfance lié à la cuisson des aliments utilisant le gaz comme combustible), aux équipements pour les sites intérieurs (plastifiants) et à l'environnement des sites de mesure pour les sites extérieurs (proximité des sources, activités anciennes).

L'étude des différences significatives des concentrations (tests statistiques) entre les sites de mesure et par molécule ou famille de molécule montre que certaines d'entre elles sont caractéristiques d'un site ou d'un type d'environnement particulier (niveaux plus élevés en alkylphénols et en triclosan sur le site « Petite enfance » lié à la présence de sources potentielles) ou d'un usage (présence de DEET utilisé comme répulsif contre les insectes sur les sites intérieurs).

Certains composés présentent des niveaux homogènes entre les différents sites. Ce constat résulte d'un bruit de fond environnemental (lindane, retardateurs de flamme).

La présence d'autres composés comme les PCB, HCB et PeCB à l'intérieur et à l'extérieur seraient davantage liés à des activités passées (sites réhabilités, anciennes activités industrielles).

L'étude saisonnière fait apparaître trois principaux résultats :

- Les concentrations de certains composés (alkylphénols, muscs synthétiques, parabènes et PCB) sont corrélées avec l'augmentation des températures ;

- Les concentrations en DEET (produit répulsif contre les insectes) sont corrélés avec des habitudes domestiques dont l'usage saisonnier des produits répulsifs vis-à-vis des insectes (printemps et automne);
- Les concentrations en HAP, plus élevés en automne et en hiver, seraient liées à la principale source probable sur la zone d'étude qui réside dans le chauffage résidentiel et tertiaire.

Les recommandations qui pourraient être faites afin de limiter les niveaux de polluants à l'intérieur des bâtiments sont les suivantes :

- Entretien et vérifier régulièrement les systèmes de ventilation,
- Aérer régulièrement les pièces,
- Préférer des matériaux et du mobilier en bois naturel non traité et peu émissifs,
- Stocker les produits d'entretien et de bricolage dans un local ventilé et dans l'idéal non attenant à l'habitation ou au bâtiment accueillant du public,
- Limiter l'usage de produits chimiques (pesticides, COV ou autre) à l'intérieur des locaux, notamment à usage d'habitation,
- Aérer les locaux pendant ou après la réalisation d'activités manuelles (sites d'accueil de la petite enfance et d'enseignement).

Ces critères ne sont pas spécifiques à cette étude, ces derniers étant pour la plupart déjà identifiés dans la littérature (outil écol'air, 2011).

Il est important de rappeler que l'échantillon traité lors de cette étude est restreint en termes de puissance statistique (7 sites étudiés avec des typologies très différentes). Il sera intéressant de confronter ces conclusions avec celles d'autres études et notamment celle réalisée en collaboration avec Atmo Nord-Pas-de-Calais en 2016-2017.

BIBLIOGRAPHIE

- Blanchard O, Teil MJ, Dagnat C, et al. Assessment of adult human exposure to phthalates esters in the urban centre of Paris (France). *Bull Environ Contam Toxicol* 2013;90:91–6.
- Blanchard, O., Glorennec, P., Mercier, F., Bonvallot, N., Chevrier, C., Ramalho, O., Mandin, C. and Bot, B.L. (2014) Semivolatile Organic Compounds in Indoor Air and Settled Dust in 30 French Dwellings. *Environmental Science & Technology*, 48, 3959–3969.
- Brunelle D.J. (2002), Polycarbonates, in *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, John Wiley & Sons, Inc, 33p.
- Chevreuil M. et Moreau-Guigon E. (2015). Emissions de polluants organiques persistants à partir du milieu urbain et des activités de traitements des déchets : impact sur la qualité de l'air au voisinage des sources. Rapport de recherche ADEME-CORTEA, 112 p.
- Chevreuil, M. (2013) Contamination de l'air ambiant par les perturbateurs endocriniens en Ile-de-France et caractérisation d'effets toxiques associés. Programme PNRPE, Rapport final, 133p.
- CITEPA. (2014) Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France - Format SECTEN, 333p.
- Cladière M. (2012), Sources, transfert et devenir des alkylphénols et du bisphénol A dans le bassin amont de la Seine, cas de l'Île-de-France, Thèse de doctorat, Paris-Est, Ecole doctorale Sciences, Ingénierie et Environnement, 254p.
- Colloque Perturbateurs endocriniens et Biodiversité. Organisé par le Réseau Environnement et Santé et WWF, Paris, 28 avril 2011. www.wwf.fr/./presentation-du-colloque-perturbateursendocriniens.
- Directive n°2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. *Journal Officiel des Communautés Européennes* 2000, 72 p.
- INERIS. (2005) Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Hexachlorobenzène.
- INSERM. (2010) Bisphénol A, effets sur la reproduction. Instituts thématiques Inserm, rapport préliminaire expertise collective; 90 p.
- Laborie S. (2015) Exposition Humaine aux perturbateurs endocriniens par inhalation, Thèse de doctorat, Ecole Pratique des Hautes Etude, 292p.
- Matson U. (2005) Indoor and outdoor concentration of ultrafine particles in some Scandinavia rural and urban areas. *Sci Total Environ*;343:169–76.
- Moreau-Guigon E., Alliot F., Gasperi J., Blanchard M., Teil M.J., Mandin C. et Chevreuil M. (2016), Seasonal fate and partitioning of semi-volatile organic compounds in ambient air, *Atmospheric Environment*, in proof.
- Pascal L., Pascal M., Grange D. et Lefranc A. (2013), Numéro thématique—Épidémiologie et pollution atmosphérique urbaine: l'observation au service de l'action, *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 8 janvier 2013, pp. 1-20.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RSMEH. Amélioration de la prédiction des risques concernant l'ingestion des métaux provenant du sol. Réseau canadien des centres de toxicologie, fiche scientifique; 2010, no 5, 2 p.

Rudel RA, Dodson RE, Perovich LJ, et al. (2010) Semivolatile endocrine disrupting compounds in paired indoor and outdoor air in two northern California communities. *Environ Sci Technol* 44(17):6583–90.

Rudel RA, Perovich LJ. (2009) Endocrine-disrupting chemicals in indoor and outdoor air. *Atmos Environ*;43:170–281.

Thurén A, Larsson P. (1990) Phthalate esters in the Swedish atmosphere. *Environ Sci Technol* ;24:554–9.

Yang, H.-H. and Chen, C.-M. (2004) Emission inventory and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere at a suburban area in Taiwan. *Chemosphere*, 56, 879–887.

ADEME (2011), Écol'air : un établissement qui respire, c'est bon pour l'avenir !, Les outils pour une bonne gestion de la qualité de l'air dans les écoles.

ANNEXES

ANNEXE 1

Protocoles analytiques

Cette annexe présente l'ensemble du protocole analytique : la préparation des supports et de l'extraction à l'analyse. Il a été développé dans le cadre de la thèse de Stéphanie Laborie (2015). Les paramètres de spectrométrie pour chaque composé sont détaillés dans cette thèse.

Protocole de purification de la résine XAD-2

La purification de la résine XAD-2 est réalisée par ASE. La résine est déposée dans des cellules en acier inoxydable de 100 mL avec un filtre en cellulose. Trois séquences de lavage sont effectuées successivement avec les paramètres suivants :

N° de lavage	1	2	3
Solvant	MeOH	Acétone	Hexane/DCM 50/50 (v/v)
Température four	100 °C	100 °C	100 °C
Durée cycle statique	5 min	5 min	5 min
Nombre de cycles statiques	5	5	3
Volume de rinçage	100 %	100 %	100 %
Temps de purge	120 s	120 s	120 s

Paramètres d'extraction ASE des composés étudiés à partir des matrices adsorbantes

Les composés sont extraits de la résine XAD-2 et du filtre QMA respectivement dans des cellules de 34 mL et de 5 mL. Le bas de la cellule contient un filtre en fibre de verre, car des tests de blancs ont montré une contamination en nonylphénol lors de l'utilisation d'un filtre en cellulose.

Les paramètres de l'extraction par l'ASE 350 (Thermo-Fischer, Villebon-sur-Yvette) sont les suivants :

Solvant	DCM/MeOH 2/1 (v/v)
Température four	100 °C
Durée cycle statique	5 min
Nombre de cycles statiques	3
Volume de rinçage	100 %
Temps de purge	120 s

Entre chaque étape d'extraction, une étape de rinçage a été ajoutée : trois cycles de 5 mL de DCM/MeOH 2/1 (v/v).

Conditions analytiques en LC/MS/MS

Les paramètres suivants sont communs à toutes les analyses en LC/MS/MS :

Type d'analyse	Appareillage	Injecteur	Colonne	Débit phase mobile
LC/MS/MS ESI	Agilent LC Serie (SL serie 1200) triple quad (G6410 BA)	Standard : 10 µL	Zorbax Eclipse XDB-C18 (4,6 X 50 mm ; 1,8 µm ; Agilent, Massy, France). Chauffée à 50°C.	0,5 mL.min ⁻¹

Pour chaque analyse, le gradient de phase mobile est identique. Il est présenté dans le tableau suivant. Cependant, pour l'analyse du BPA, des Alkylphénols et des APEO, 5 mMol de NH₄OH ont été ajoutés à chaque solvant composant la phase mobile.

Temps (min)	MeOH (%)	Eau (%)
0	40	60
10	100	0
14	40	60
17	40	60

Conditions analytiques en GC/MS

Pour les muscs synthétiques, les caractéristiques chromatographiques sont les suivantes :

Type d'analyse	GC/MS EI
Appareillage	Agilent GC (7890)-MS (5975)
Injecteur	Splitless
Température injecteur	290°C
Volume injecté	1 µL
Colonne	ZB-5MS (30 m, 250-µm ID, 0.25-µm épaisseur de film (Phenomenex, France) Avec une pré-colonne de silice désactivée (1 m ; 0,25 mm ID de Restek, France)
Gaz vecteur	Hélium
Débit gaz vecteur	1 mL.min ⁻¹

Le programme de température du four est le suivant :

Température (°C)	Gradient de température (°C/min)	Temps de maintien de la température (min)
90	-	2
180	10	5
300	30	7

Pour les phtalates et la cyperméthrine, les caractéristiques chromatographiques sont les suivantes :

Type d'analyse	GC/MS EI
Appareillage	Agilent GC (7890)-MS (5975)
Injecteur	Splitless
Température injecteur	290°C
Volume injecté	1 µL
Colonne	ZB-5MS (30 m, 250-µm ID, 0.25-µm épaisseur de film (Phenomenex, France) Avec une pré-colonne de silice désactivée (1 m ; 0,25 mm ID de Restek, France)
Gaz vecteur	Hélium
Débit gaz vecteur	1 mL.min ⁻¹
Température source	230 °C
Température interface	200 °C
Température quadripôles	150 °C

Le programme de température du four est le suivant :

Température (°C)	Gradient de température (°C/min)	Temps de maintien de la température (min)
50	-	1
280	30	0
310	15	4

Pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les caractéristiques chromatographiques sont les suivantes :

Type d'analyse	GC/MS EI
Appareillage	Agilent GC (7890)-MS (5975)
Injecteur	Pulsed Splitless
Température injecteur	280°C
Volume injecté	1 µL
Colonne	ZB-5MS (30 m, 250-µm ID, 0.25-µm épaisseur de film (Phenomenex, France) Avec une pré-colonne de silice désactivée (1 m ; 0,25 mm ID de Restek, France)
Gaz vecteur	Hélium
Débit gaz vecteur	1 mL.min ⁻¹
Température source	230 °C
Température interface	250 °C
Température quadripôles	150 °C

Le programme de température du four est le suivant :

Température (°C)	Gradient de température (°C/min)	Temps de maintien de la température (min)
90	-	1
160	10	0
240	5	10
300	4	2

Conditions analytiques en GC/MS/MS

Pour les PCB et le lindane, les caractéristiques chromatographiques sont les suivantes :

Type d'analyse	GC/MS/MS EI
Appareillage	GC (7890) triple Quad (7000A)
Injecteur	Pulsed Splitless
Température injecteur	280°C
Volume injecté	1 µL
Colonne	HT8 (50 m, 250-µm ID, 0,25 µm épaisseur de film; SGE) Avec une pré-colonne de silice désactivée (1 m ; 0,25 mm ID de Restek, France)
Gaz vecteur	Hélium
Pression gaz vecteur	40 psi
Température source	300 °C
Température interface	250 °C
Température quadripôles	150 °C

Le programme de température du four est le suivant :

Température (°C)	Gradient de température (°C/min)	Temps de maintien de la température (min)
80	-	2
170	30	0
300	3	3

Pour les PBDE, les caractéristiques chromatographiques sont les suivantes :

Type d'analyse	GC/MS/MS EI
Appareillage	GC (7890) triple Quad (7000A)
Injecteur	Pulsed Splitless
Température injecteur	285°C
Volume injecté	1 µL
Colonne	J&W HP-5MS analytical column (15 m, 250 m ID×0.25 m épaisseur de film) Avec une pré-colonne de silice désactivée (1 m ; 0,25 mm ID de Restek, France)
Gaz vecteur	Hélium
Débit gaz vecteur	1,8 mL.min ⁻¹
Température source	275 °C
Température interface	250 °C
Température quadripôles	150 °C

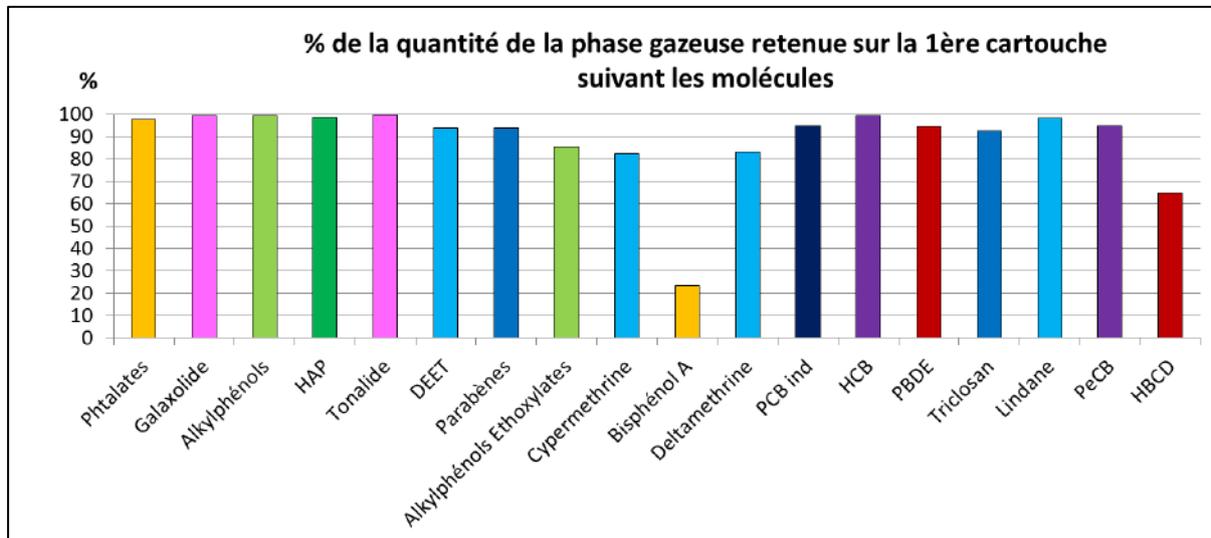
Le programme de température du four est le suivant :

Température (°C)	Gradient de température (°C/min)	Temps de maintien de la température (min)
102	-	0,8
185	25	0
270	15	0
285	5	0
315	30	3,1

ANNEXE 2

Validation du protocole de prélèvement

Afin de valider le protocole de prélèvements, une série de prélèvements a été réalisée avec deux cartouches en série. Ces cartouches ont été traitées séparément suivant le protocole précédemment décrit. Les molécules sont retenues sur la première cartouche à plus de 80%, à l'exception de composés les moins volatils comme le bisphénol A et l'HBCD qui sont majoritairement retenus sur le filtre. En conséquence, il n'est pas possible de déterminer avec certitude la rétention sur les cartouches pour ces molécules. Au vu des résultats, le protocole de prélèvement a été validé.



	Plastifiants
	Muscs synthétiques
	Alkylphénols
	HAP
	Pesticides
	Conservateurs
	PCB indicateurs
	HCB, PeCB
	Retardateurs de flammes

ANNEXE 3

Limites de quantification des différents composés et prise en compte des
échantillons « blanc »

Rapport d'essai/FVEN001/008/2015/Etude des perturbateurs endocriniens dans l'air en
Picardie/R/version du 26 septembre 2016

Famille/composé	LQ en ng/m ³
Plastifiants (9)	
DMP	0.141
DEP	0.110
DIBP	0.778
DNBP	1.066
BBP	0.769
DEHP	0.687
DNOP	0.643
Somme 7 phtalates	0.110
Bisphénol A	0.001
Muscs	
Galaxolide©	0.003
Tonalide©	0.003
Alkylphénols	
Octyl (OP)	0.001
Nonyl (4 NP)	0.012
Somme octyls nonyls	0.001
OP1EO	0.001
OP2EO	0.001
NP1EO	0.002
NP2EO	<0.001
Somme Ethoxylates	<0.001
HAP (15)	
ACY	0.027
ACE	0.012
FLU	0.017
PHE	0.008
ANT	0.009
FTH	0.005
PYR	0.004
BaA	0.003
CHR	0.003
BbF	0.003
BkF	0.003
BaP	0.009
IcdP	0.004
DahA	0.002
BghiP	0.003
Somme 15 HAP	0.002
Pesticides	
DEET	0.002
Cyperméthrine	<0.001
Deltaméthrine	0.002
Lindane	<0.001

Famille/composé	LQ en ng/m ³
PCB (18)	
PCB 28	0.003
PCB 52	0.002
PCB 101	<0.001
PCB 110	0.003
PCB 77	0.002
PCB 81	0.003
PCB 123	0.003
PCB 118	0.001
PCB 114	0.005
PCB 153	0.002
PCB 105	<0.001
PCB 138	0.005
PCB 126	0.004
PCB 167	0.002
PCB 156	0.003
PCB 157	0.004
PCB 180	0.006
PCB 169	0.004
PCB 189	0.009
Somme 7 PCB i	<0.001
Somme DL	<0.001
Somme all PCB	<0.001
HCB	<0.001
PeCB	0.003
Retardateurs de flamme	
PBDE 28	0.009
PBDE 47	0.003
PBDE 100	0.013
PBDE 99	0.004
PBDE 154	0.011
PBDE 153	0.021
PBDE 183	0.040
PBDE 209	0.040
Somme 8 PBDE	0.003
HBCD	<0.001
TBBPA	0.002
Conservateurs	
Méthyl parabène	0.001
Ethyl parabène	0.001
Propyl parabène	0.001
Butyl parabène	<0.001
Somme 4 parabènes	<0.001
Triclosan	0.001

Les contaminations pouvant éventuellement survenir sont prises en compte grâce aux échantillons « blanc » selon la méthode décrite par Blanchard et al. (2014) :

Ainsi

Avec [A] : concentration du composé dans un échantillon

Et [B] : concentration du même composé dans l'échantillon blanc

Si $\frac{[B]}{[A]} < 0,25$, la contamination est négligeable et il n'y a donc pas de correction avec le blanc.

Si $0,25 < \frac{[B]}{[A]} \leq 1$, la contamination doit être prise en compte. La concentration du composé est corrigée par la soustraction de la valeur dans l'échantillon blanc et devient [A'] ([A'] = [A] - [B])

Si la concentration [A'] est inférieure à la LQ, alors le résultat devient "< LQ".

Si la concentration [A'] est supérieure à la LQ, alors le résultat devient "[A']"

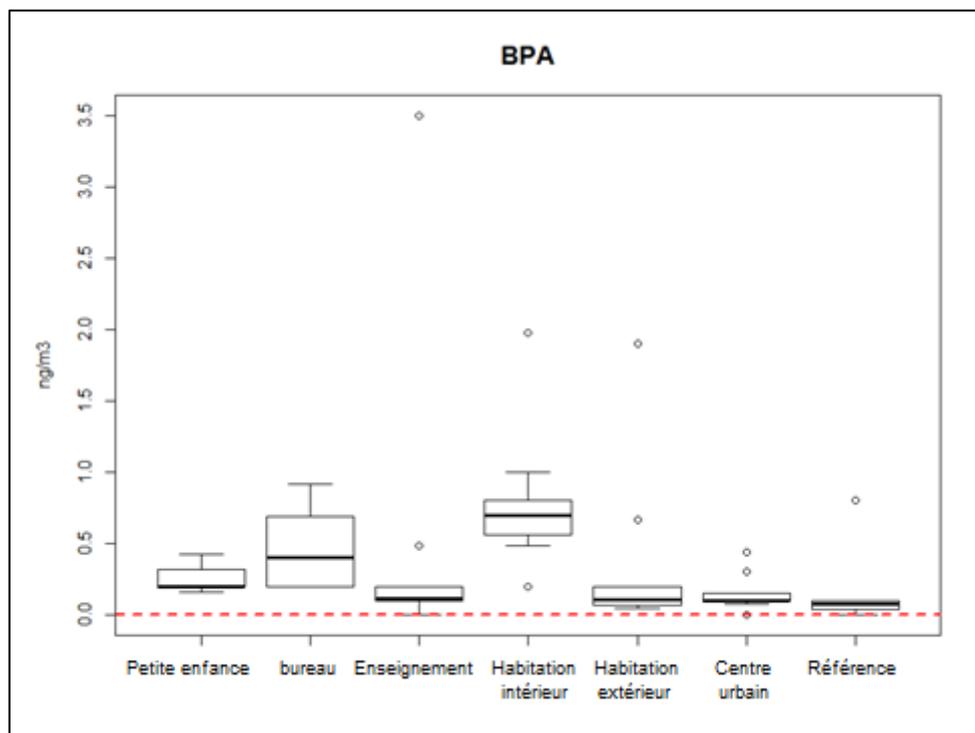
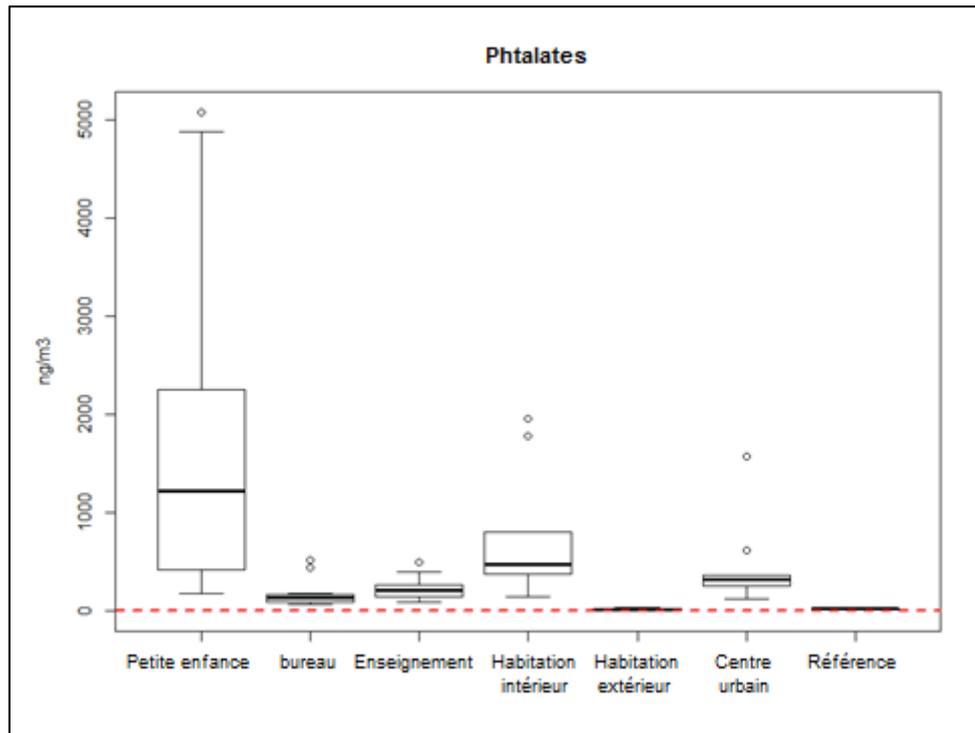
Si $\frac{[B]}{[A]} > 1$, la concentration [A] devient "< LQ"

Dans le cas des concentrations inférieures à la LQ, les calculs des moyennes et des médianes sont réalisés avec la valeur correspondant à $\frac{LQ}{2}$.

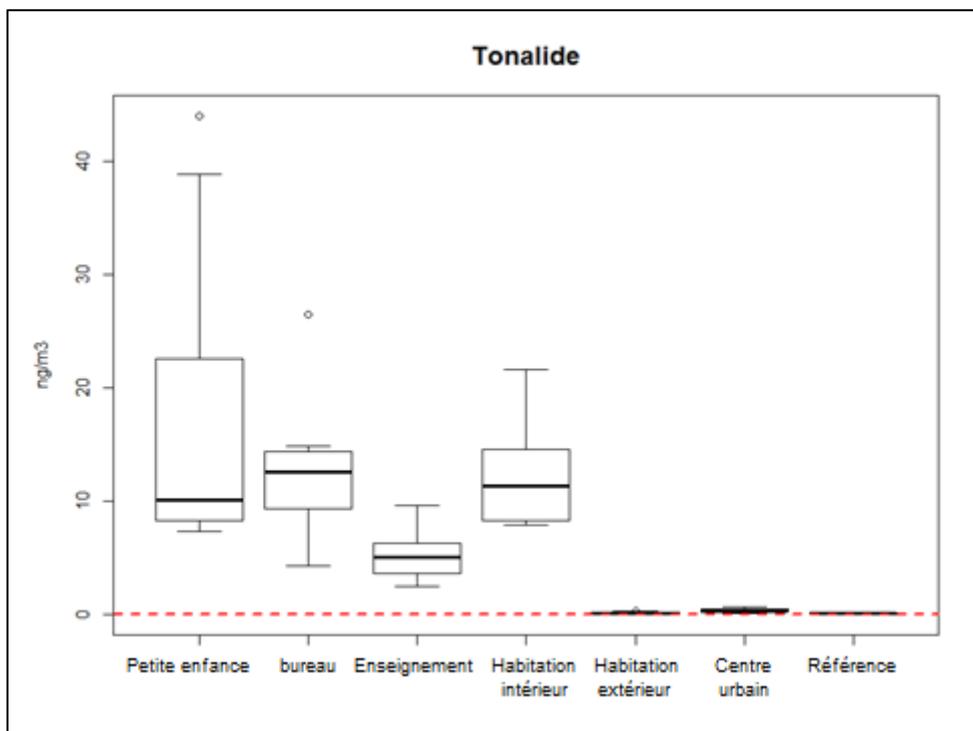
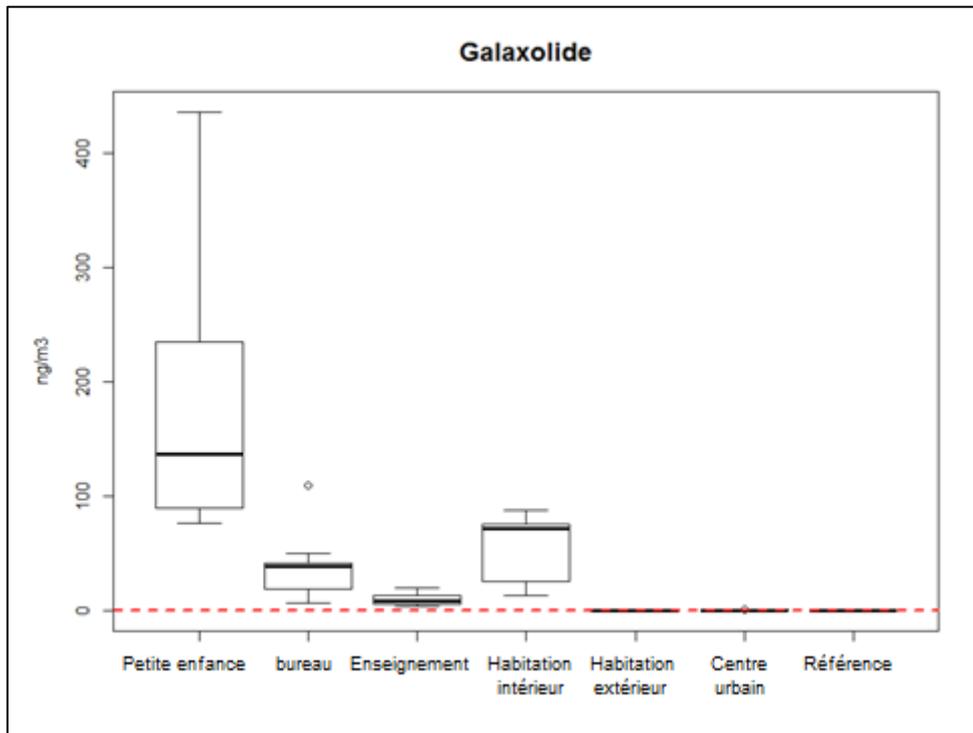
ANNEXE 4

Distribution statistique des concentrations pour les différents composés ou
familles de composés (exploitation annuelle)

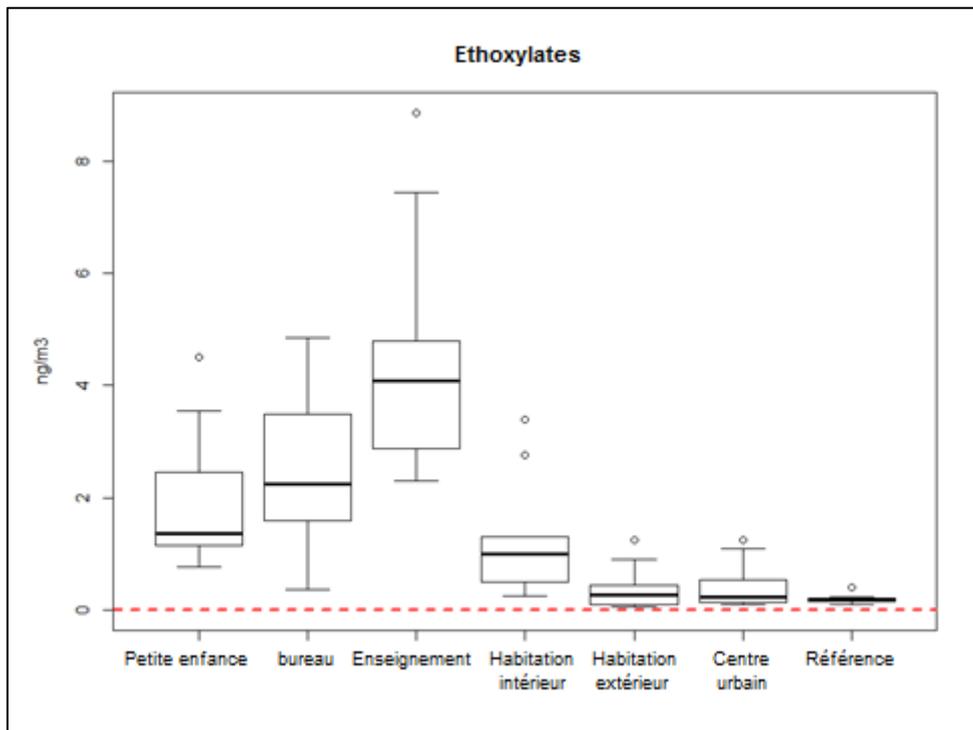
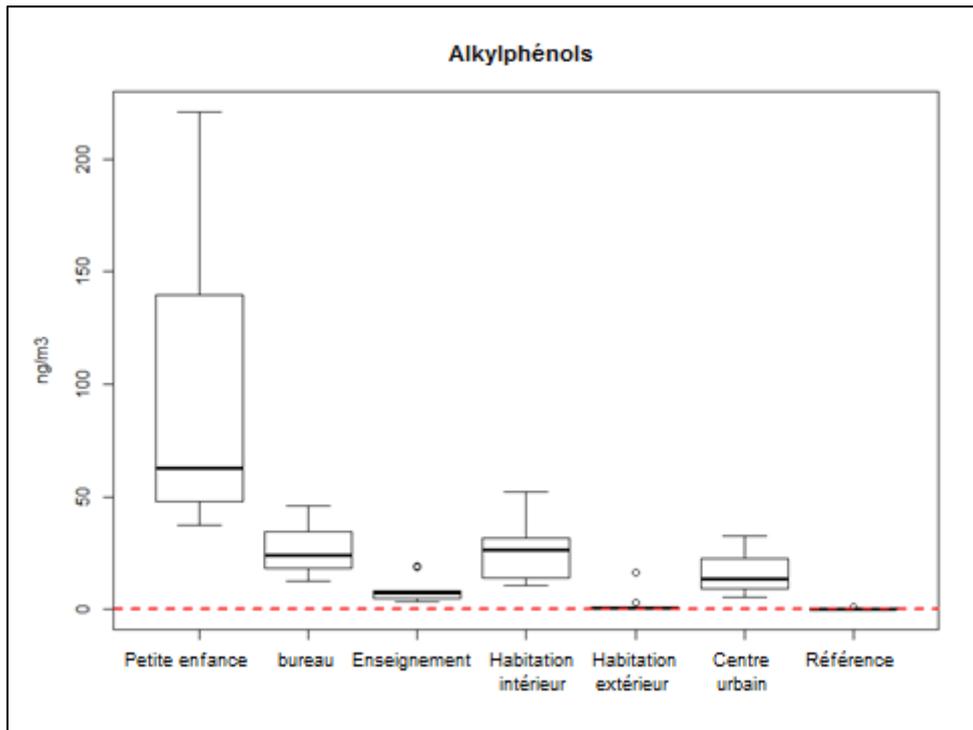
Plastifiants



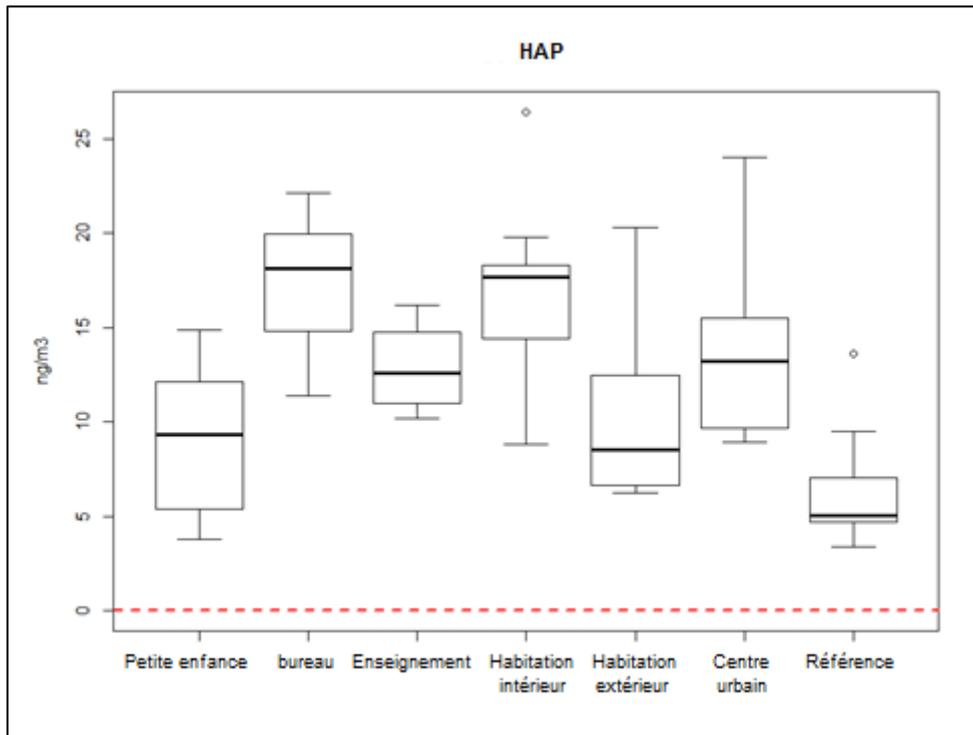
Muscs synthétiques



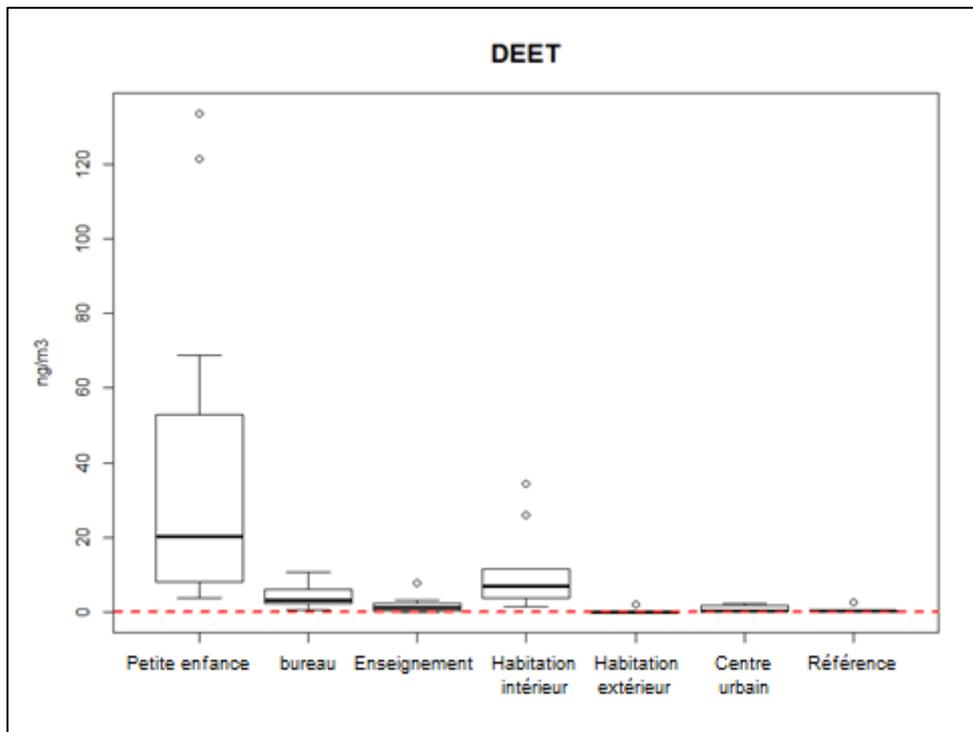
Alkylphénols

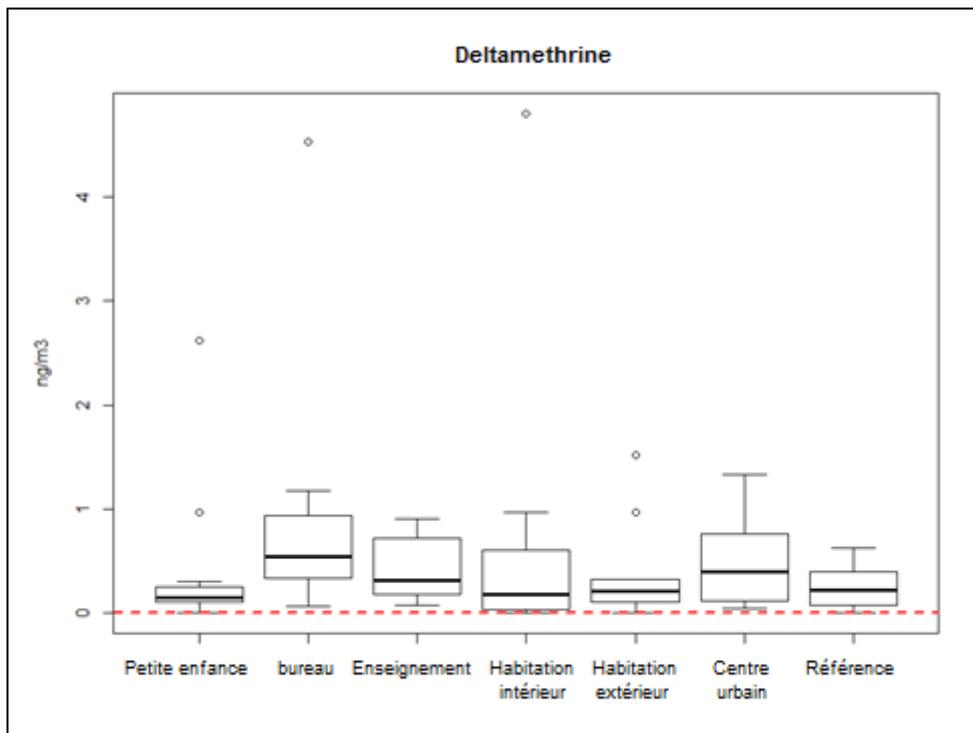
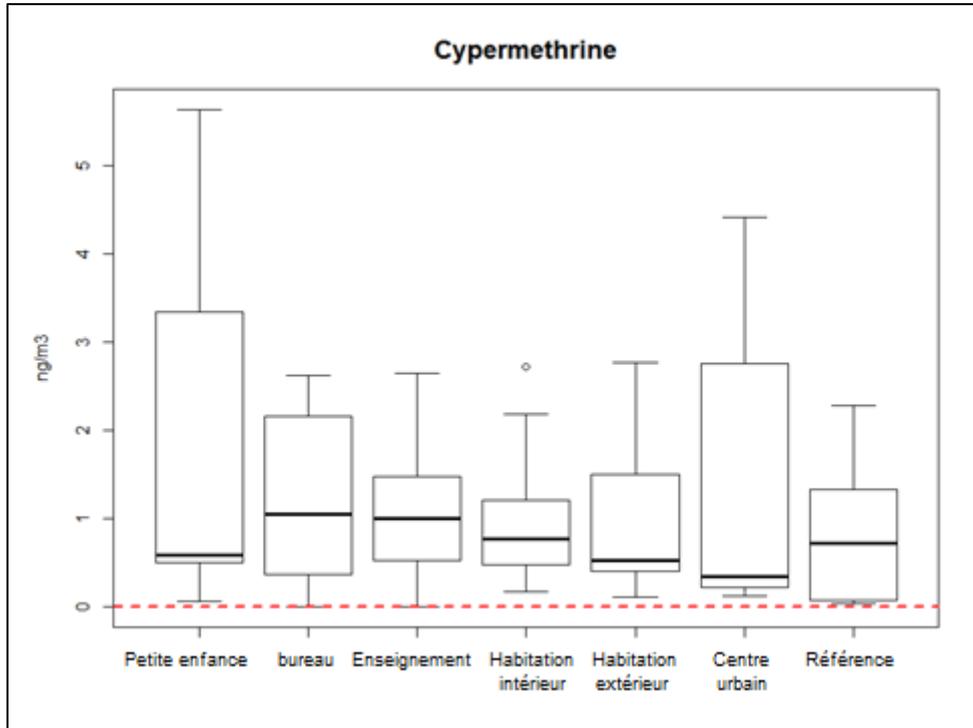


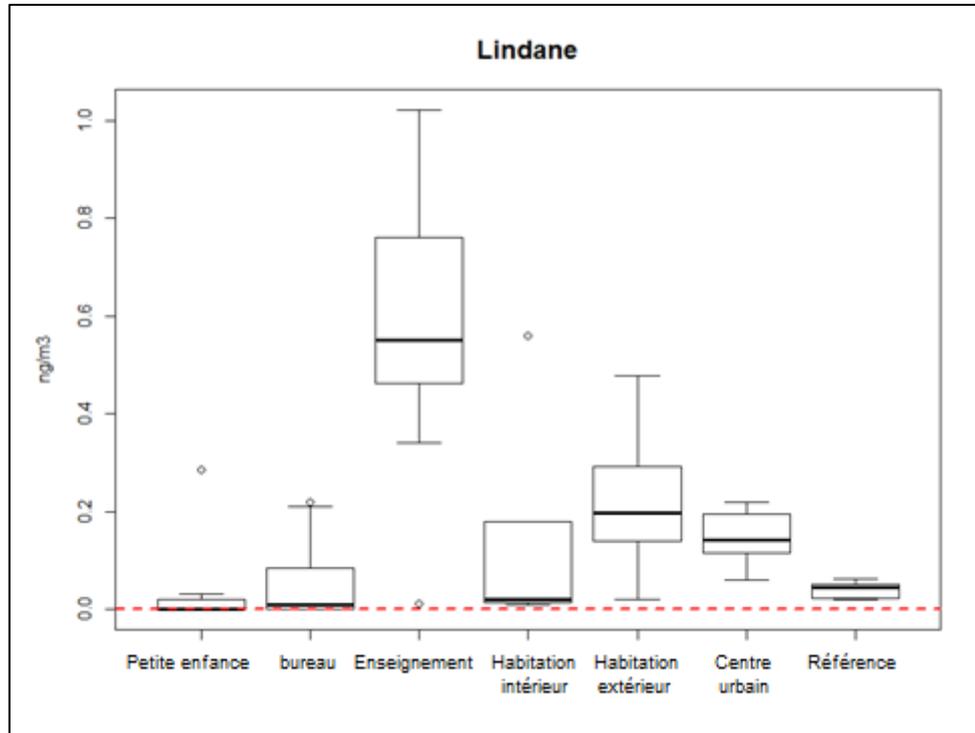
HAP



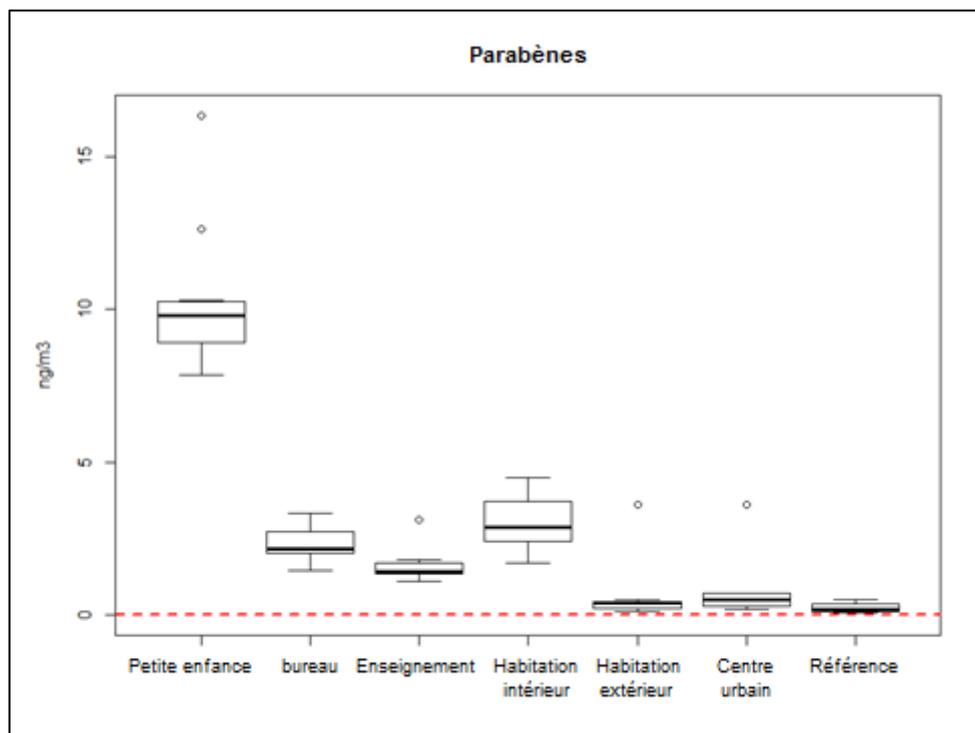
Pesticides

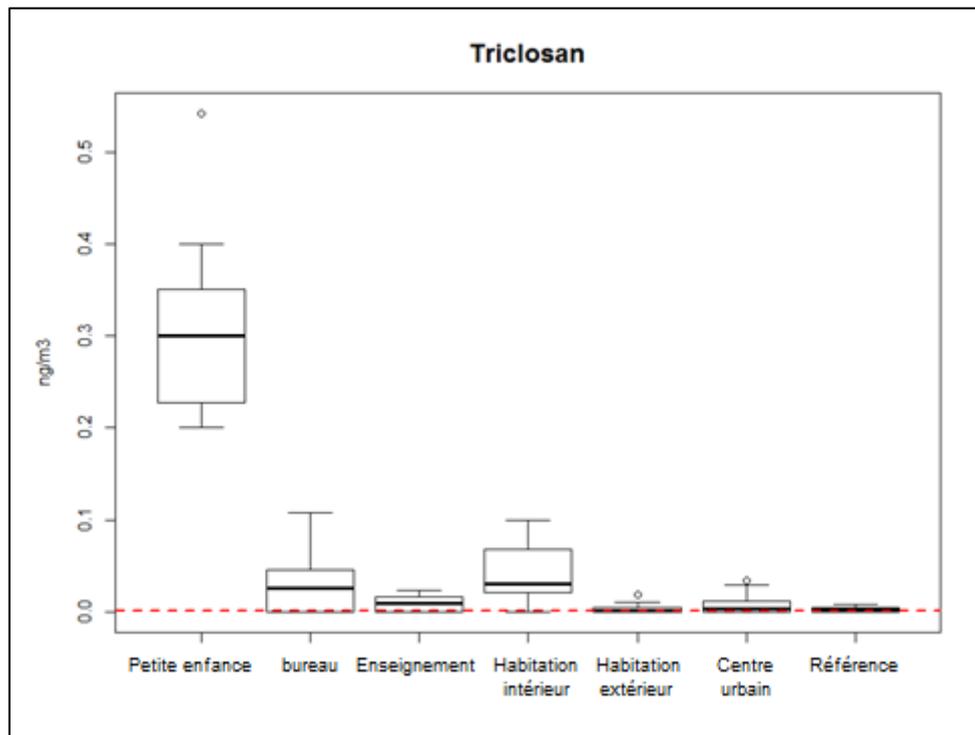




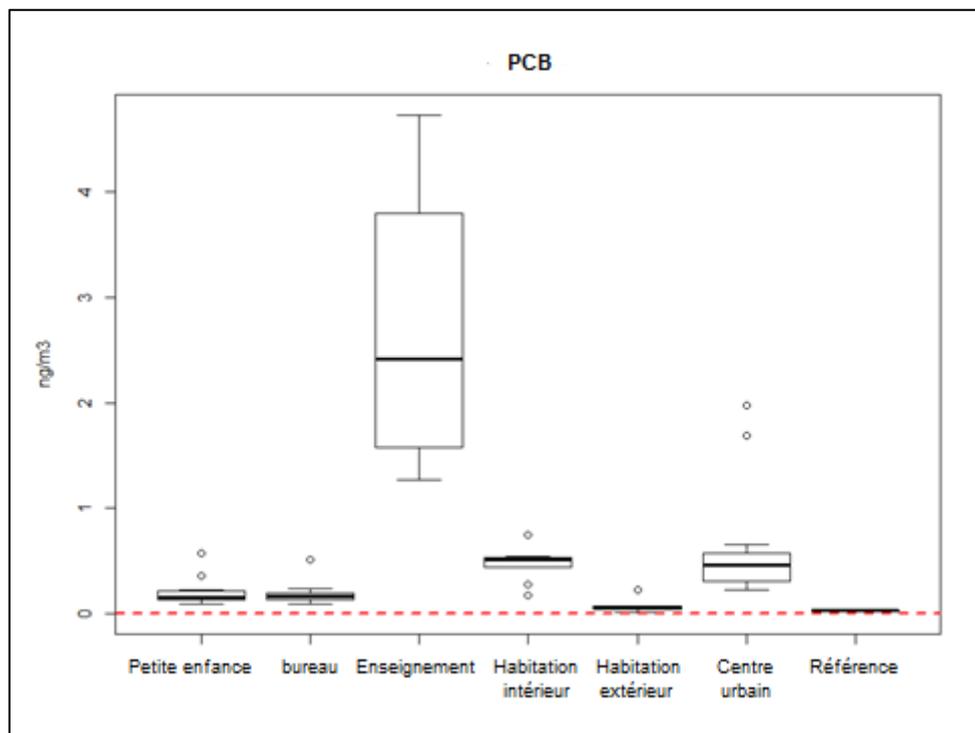


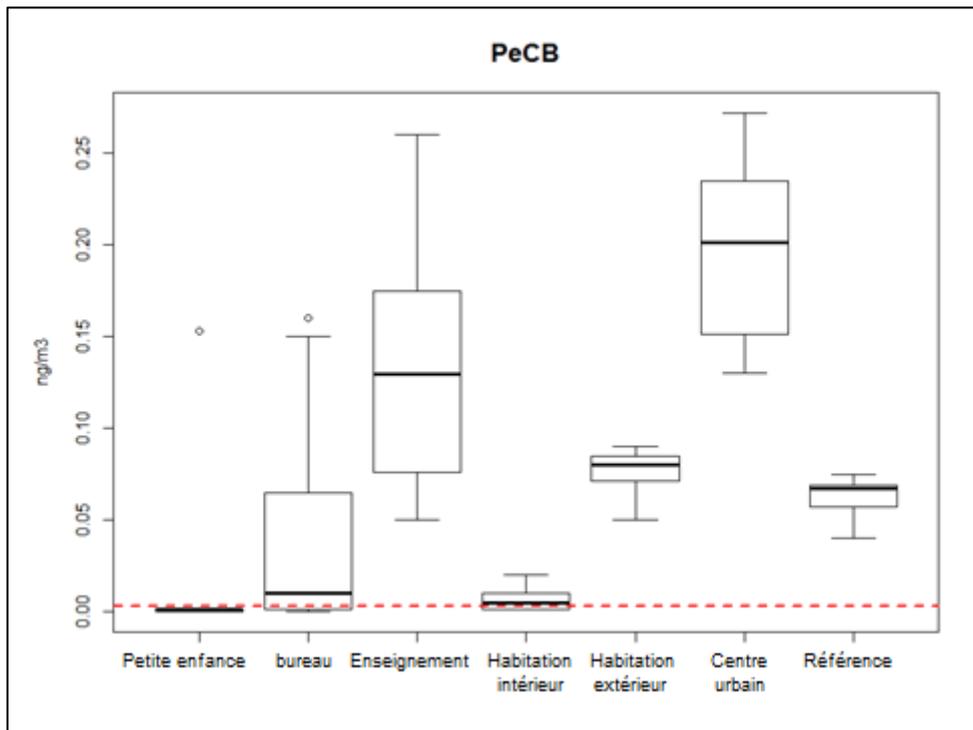
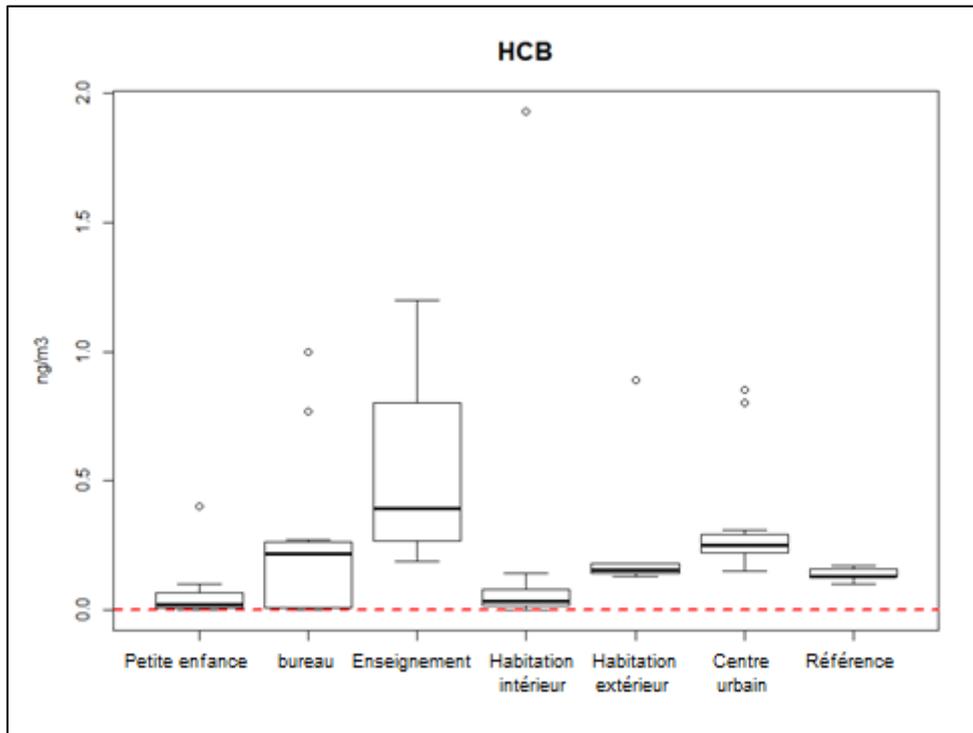
Conservateurs



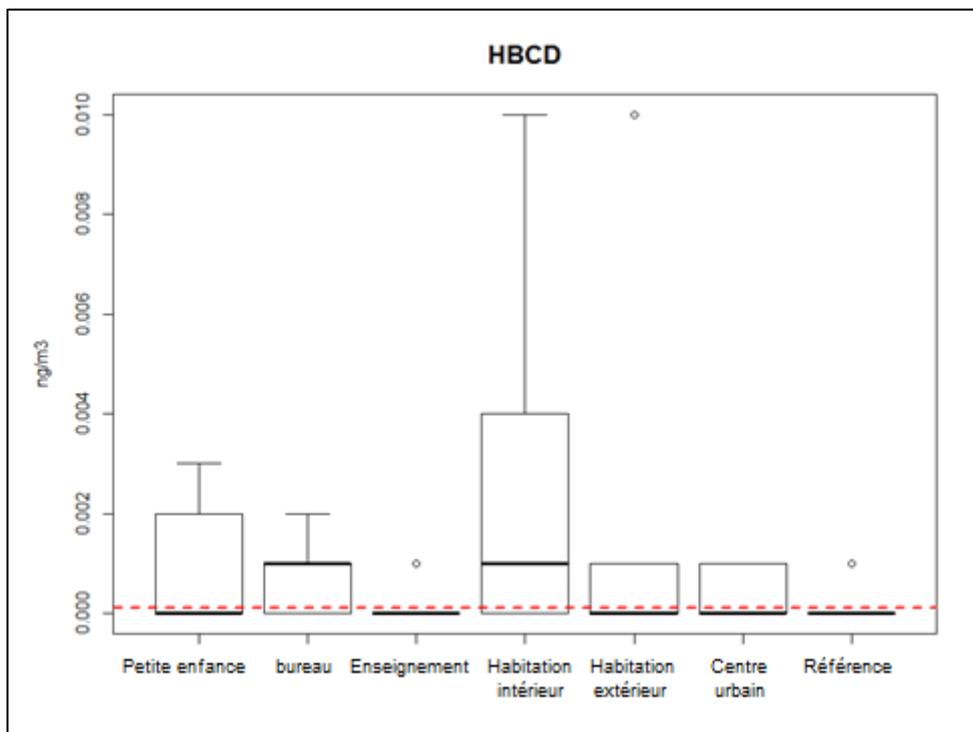
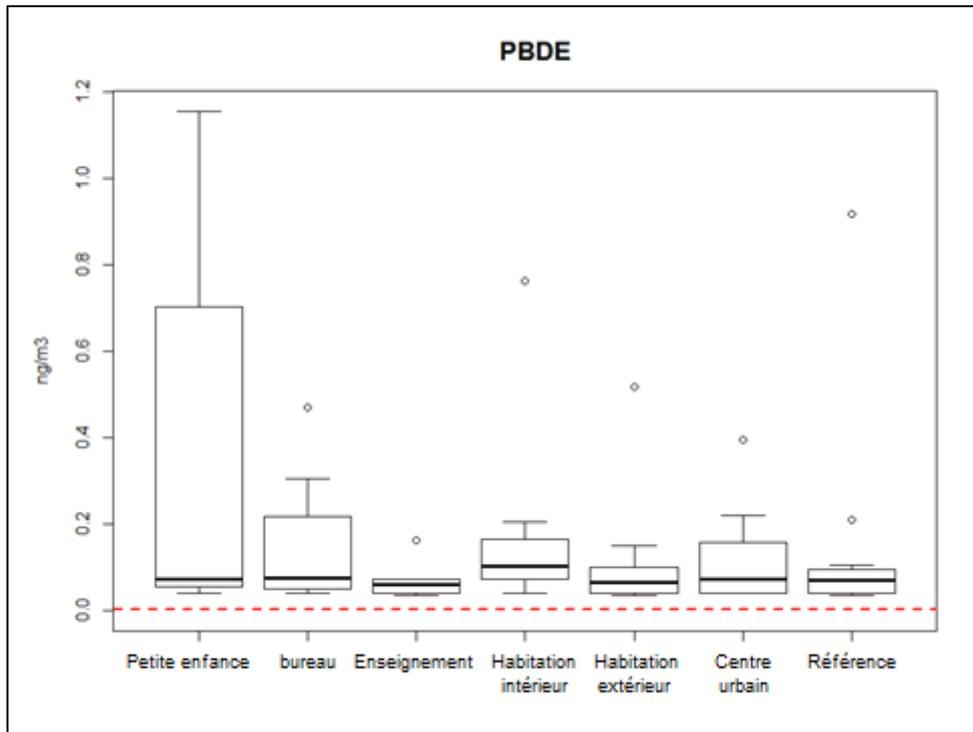


PCB, HCB, PeCB





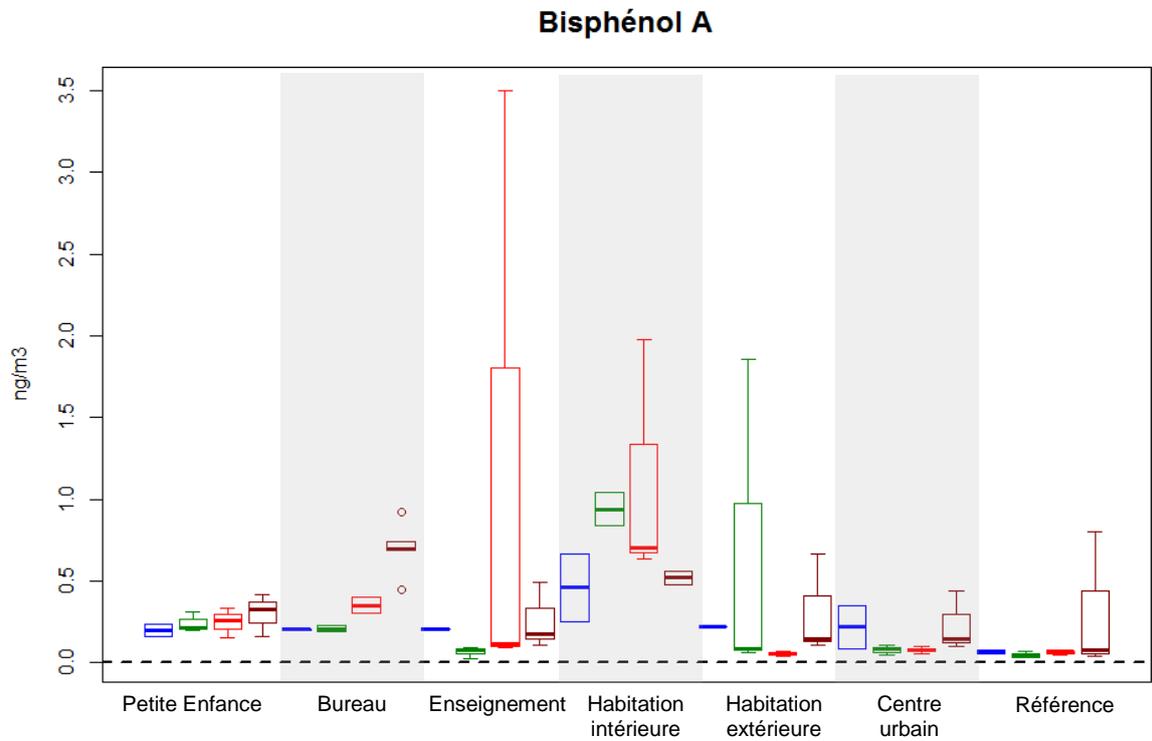
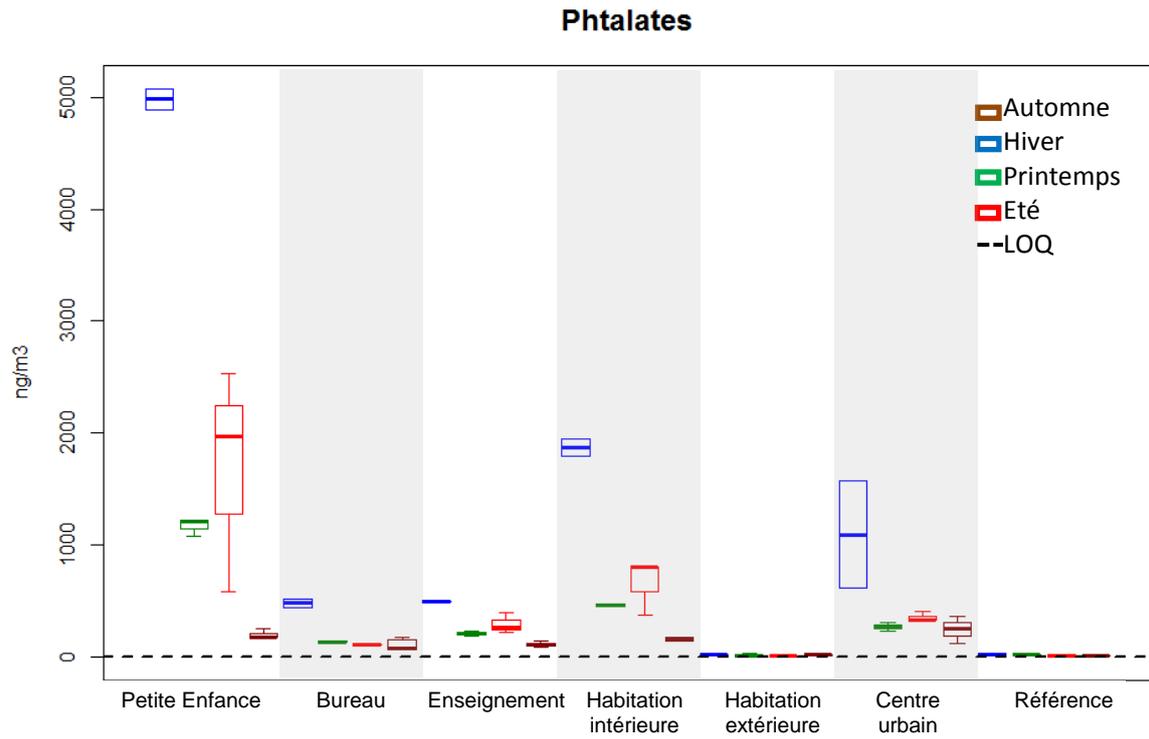
Retardateurs de flammes



ANNEXE 5

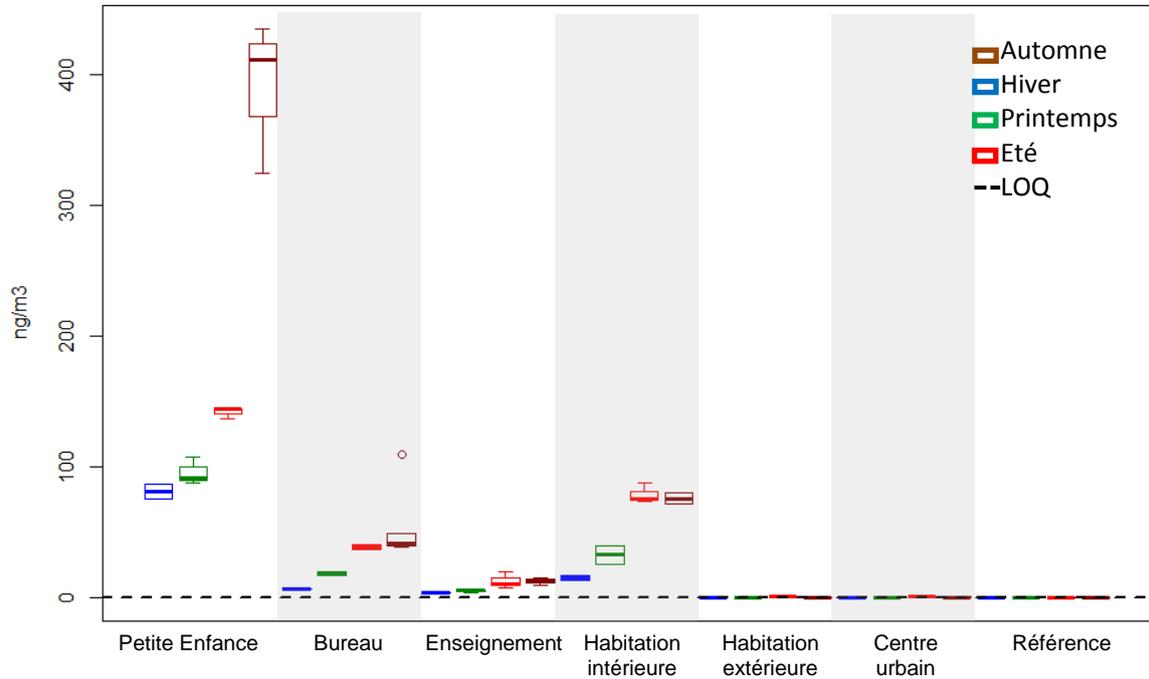
Distribution statistique des concentrations pour les différents composés ou
familles de composés (exploitation saisonnière)

Plastifiants

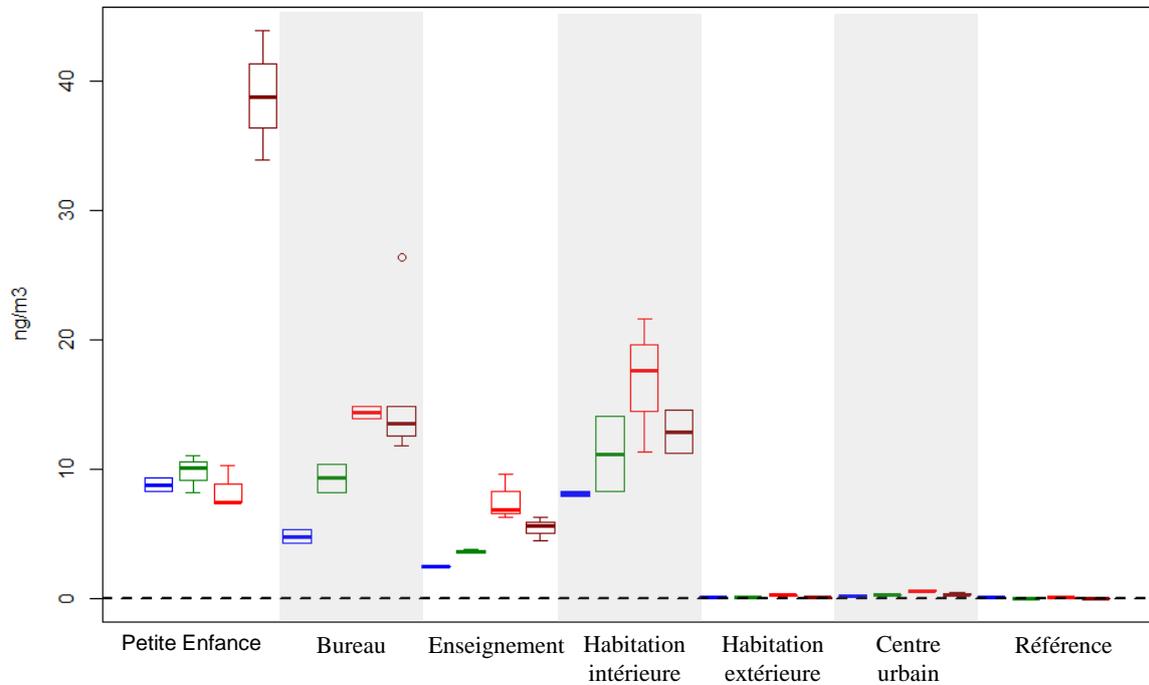


Muscs synthétiques

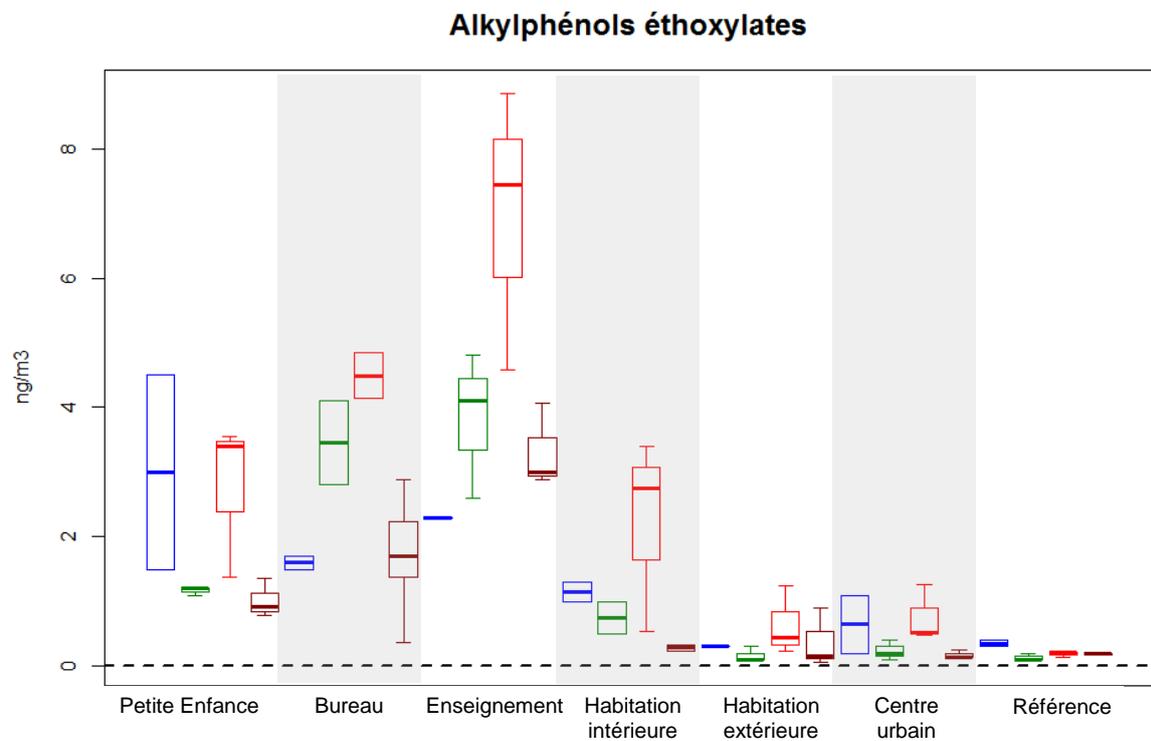
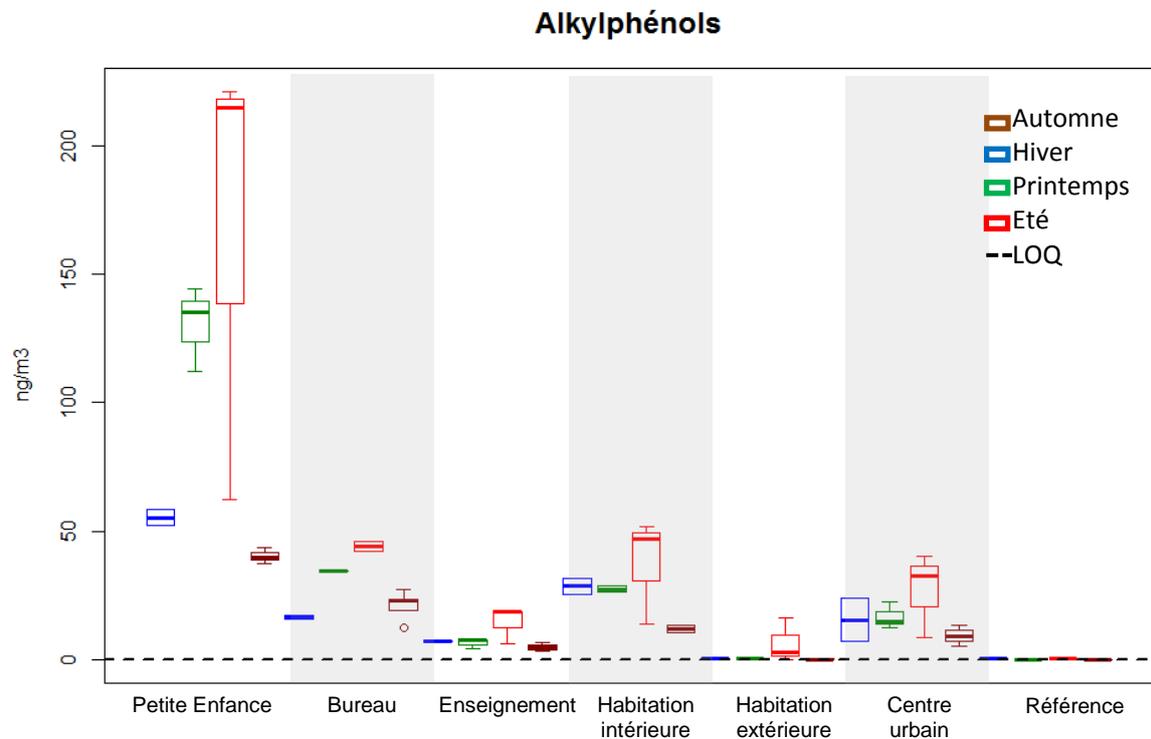
Galaxolide



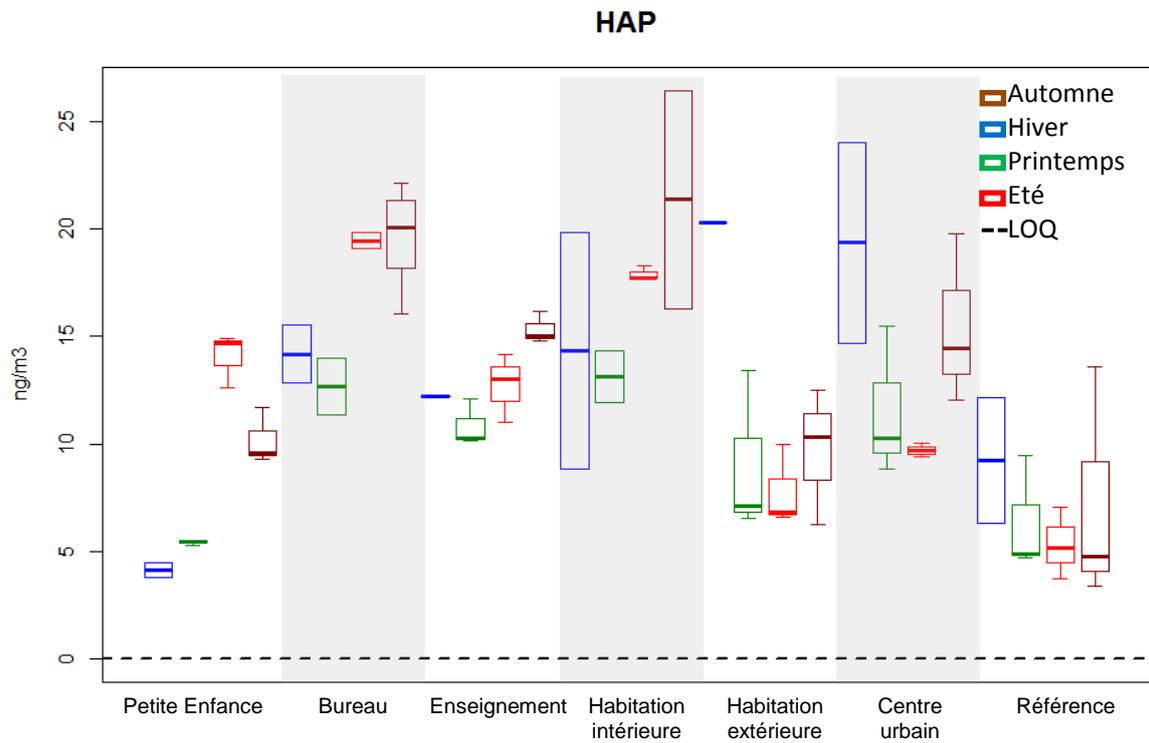
Tonalide



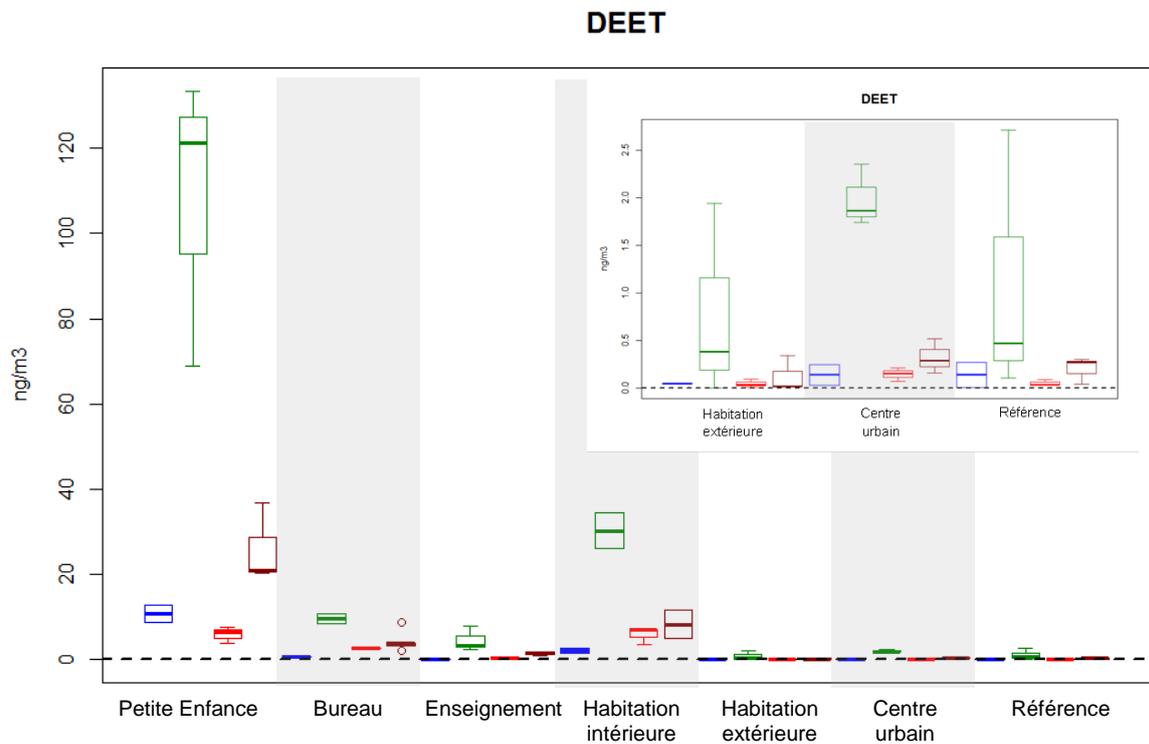
Alkylphénols



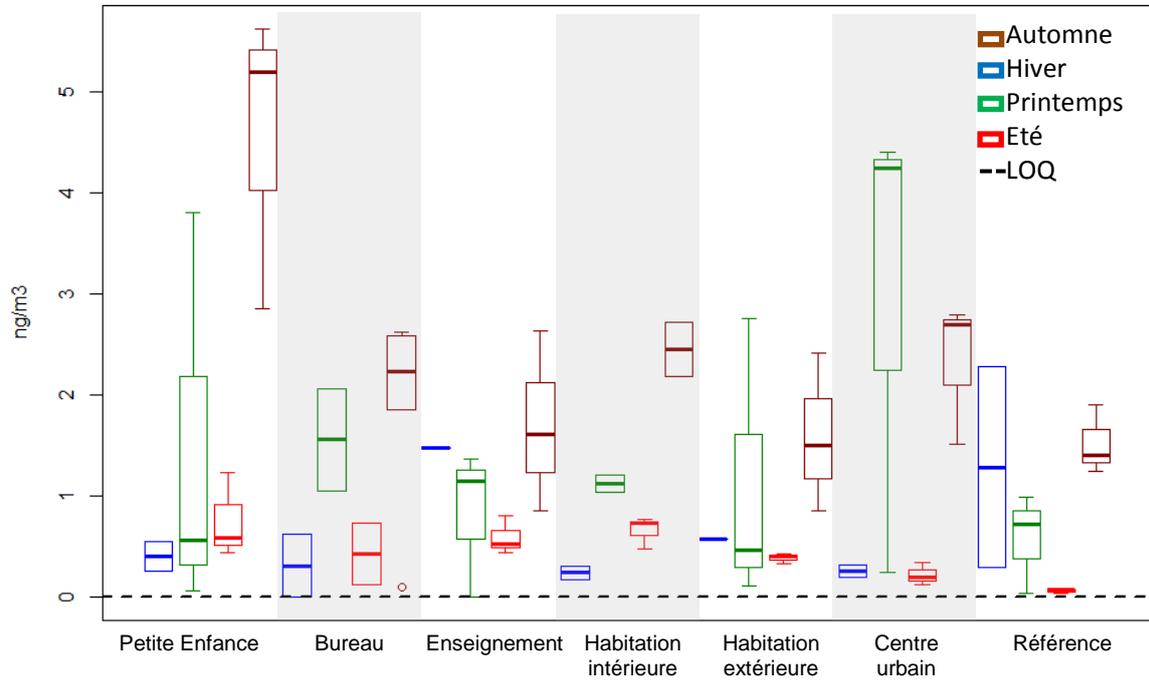
HAP



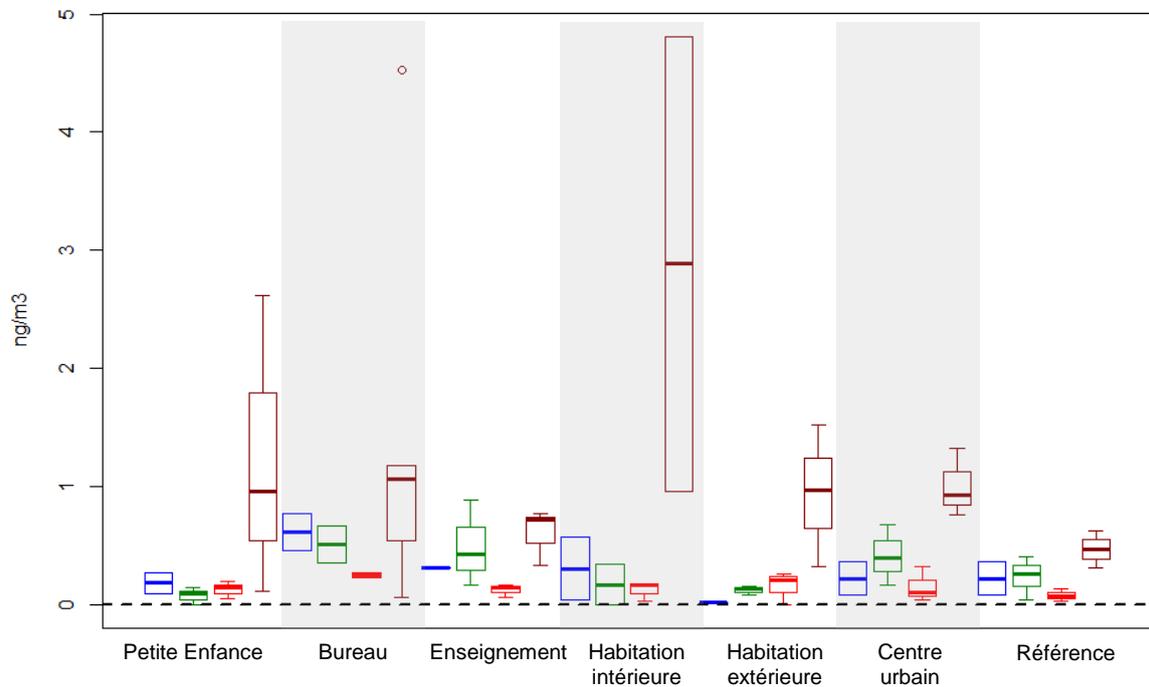
Pesticides



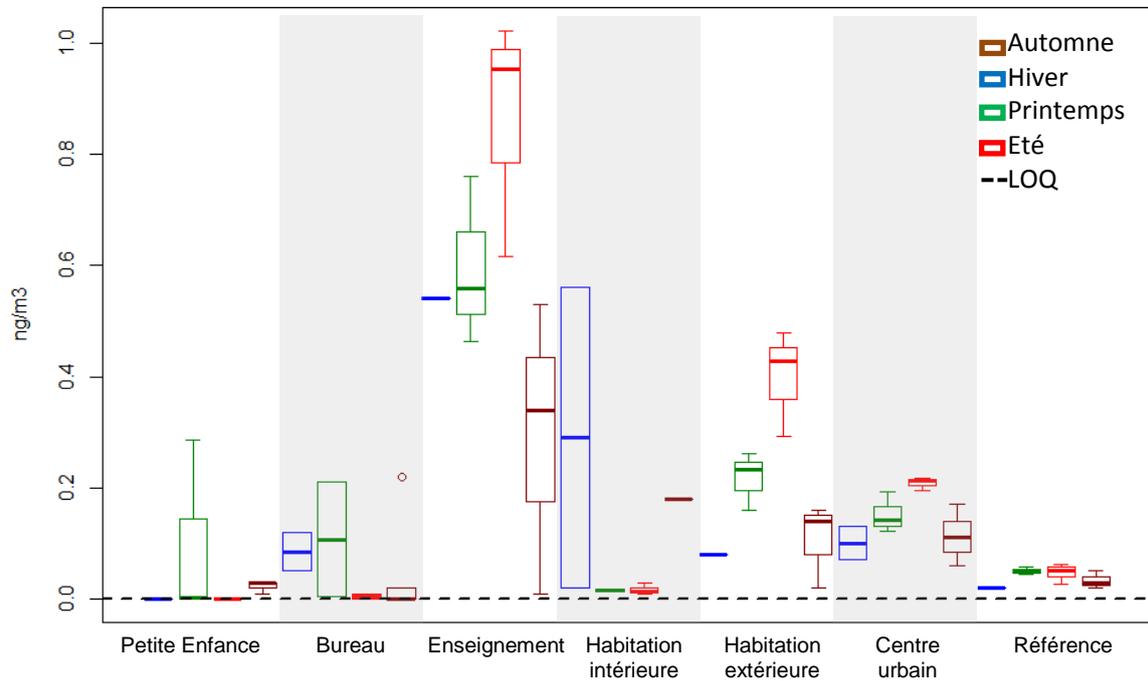
Cyperméthrine



Deltaméthrine

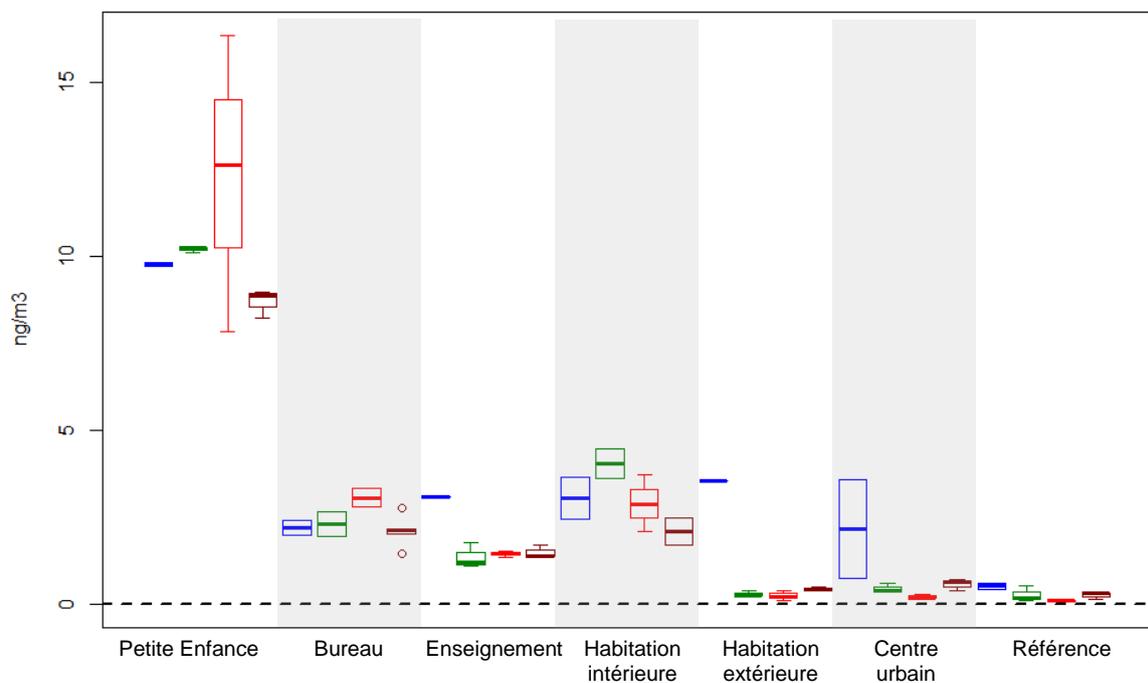


Lindane

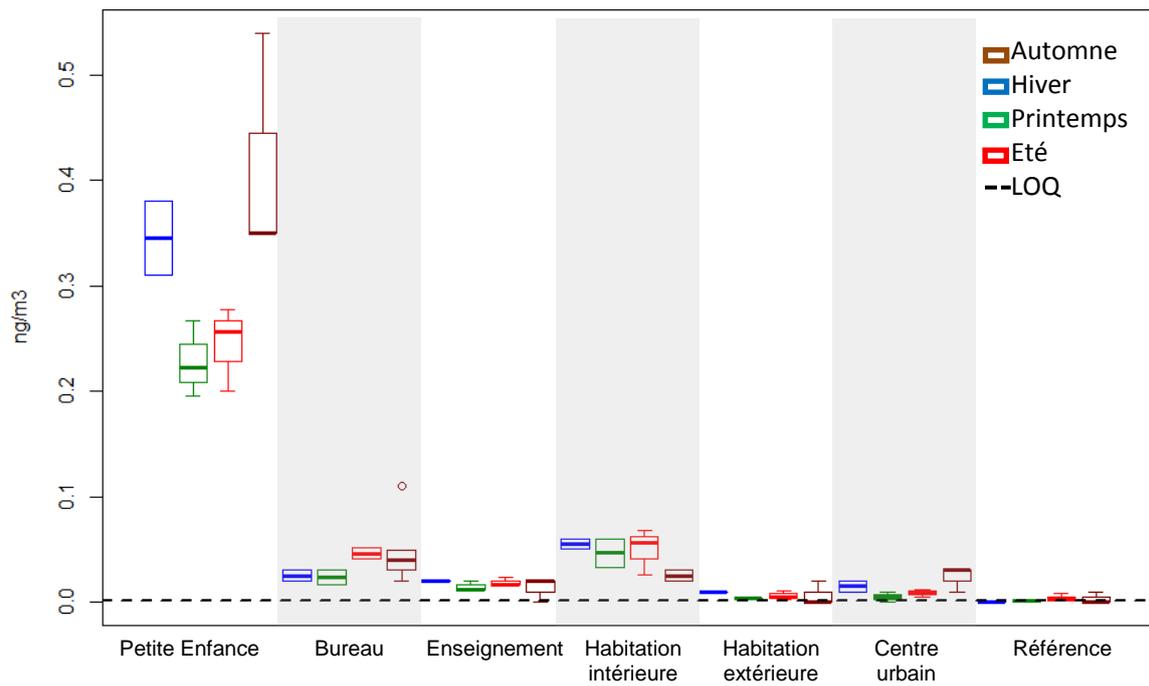


Conservateurs

Parabènes

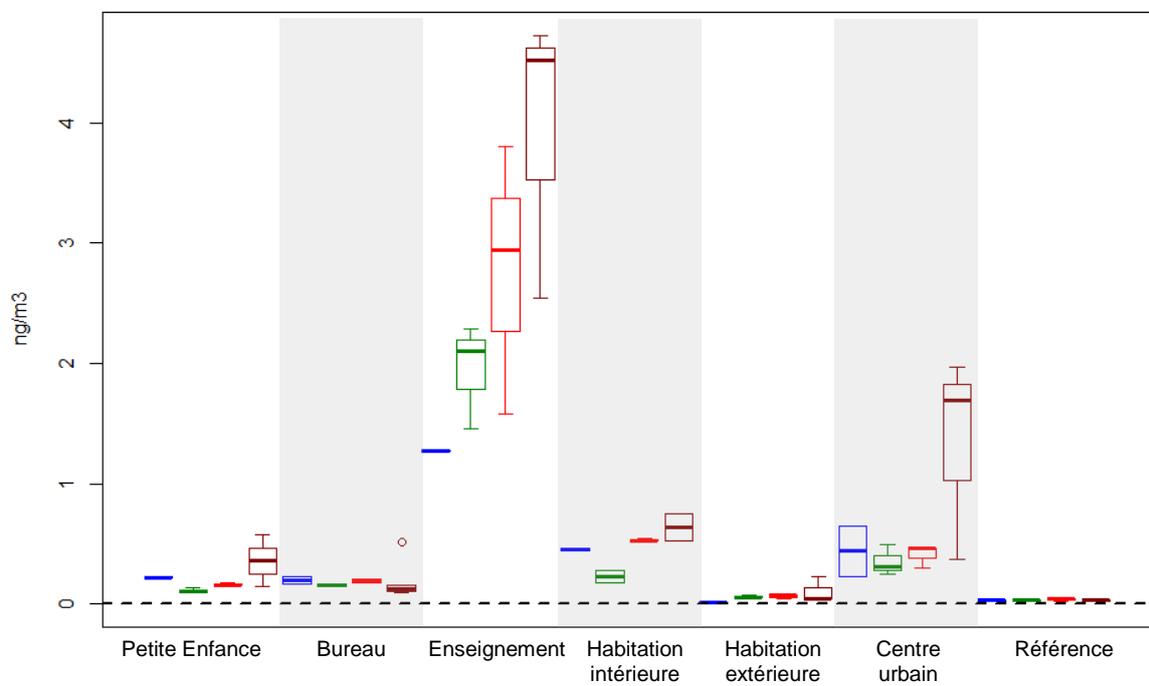


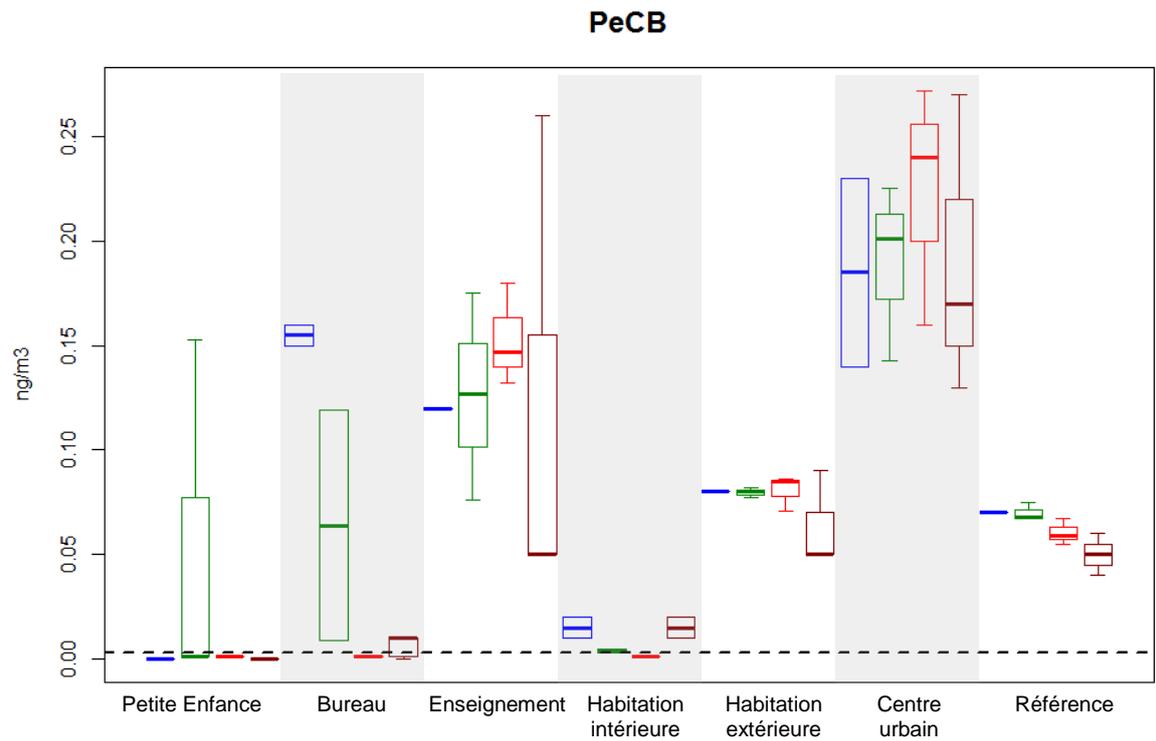
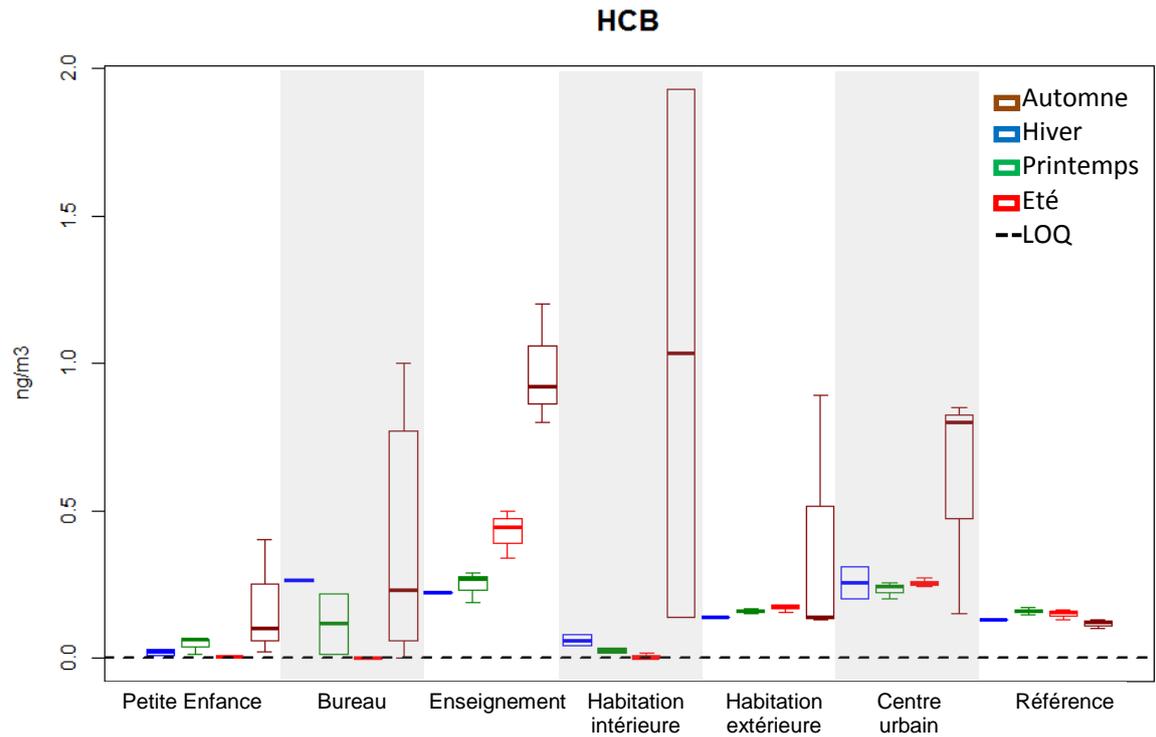
Triclosan



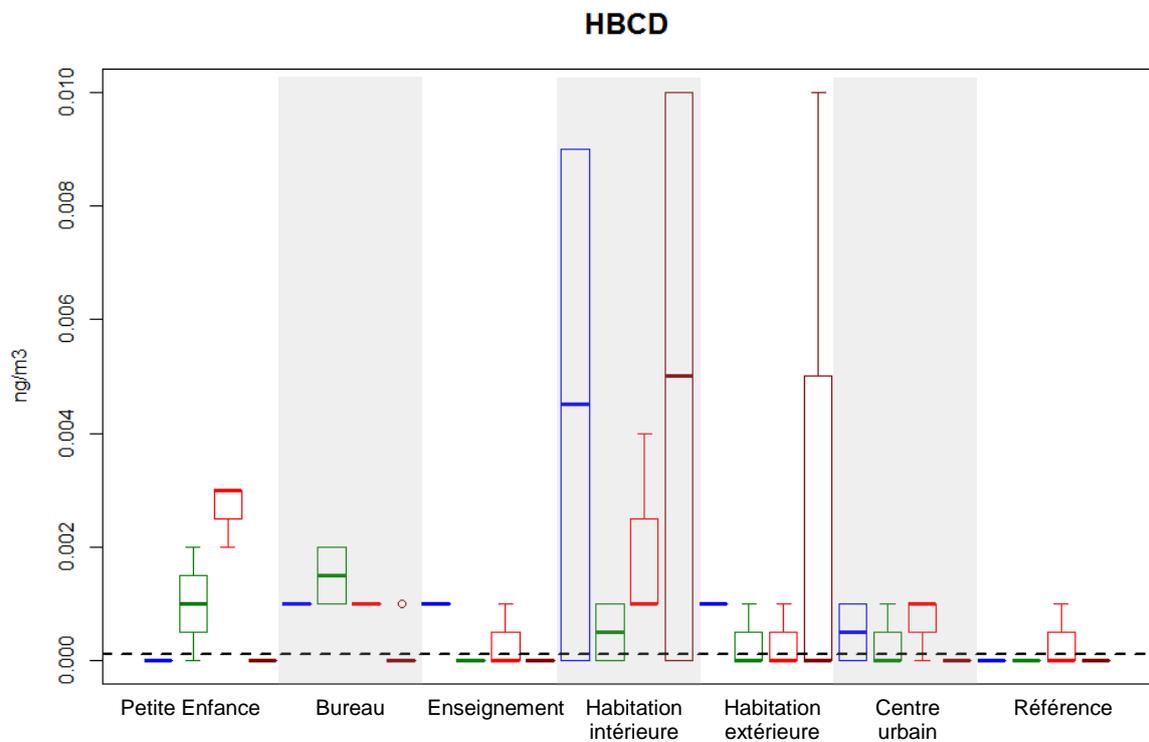
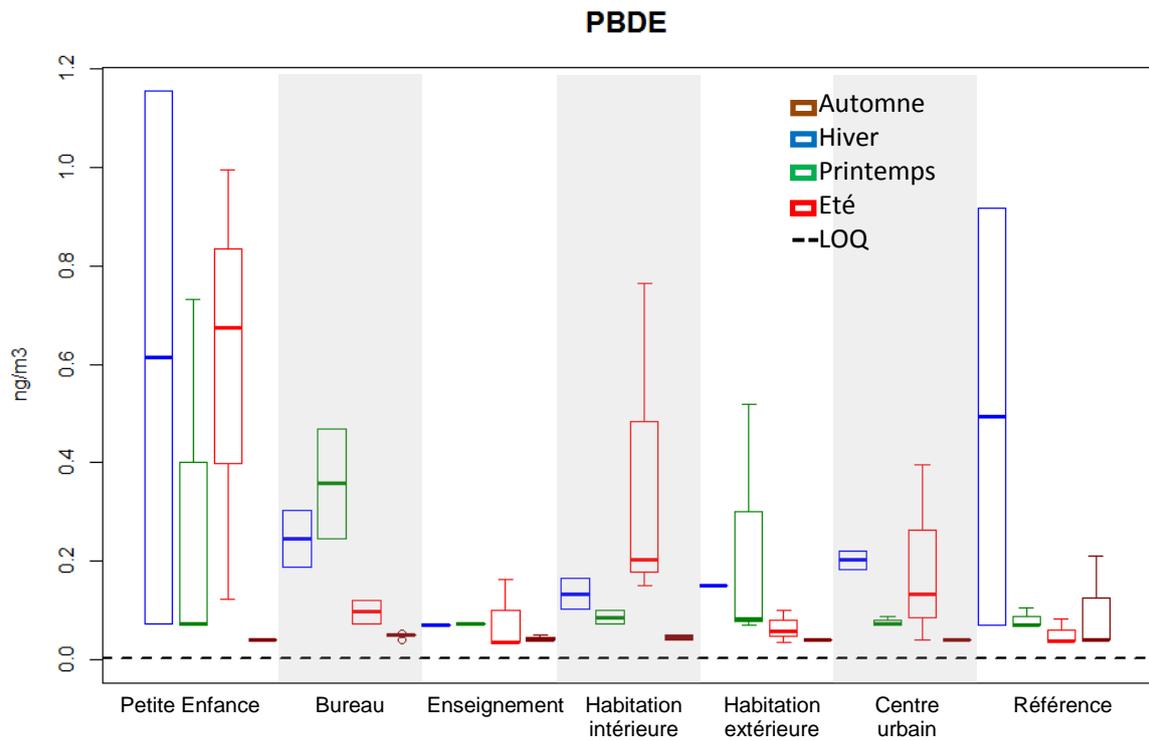
PCB, HCB, PeCB

PCB ind





Retardateurs de flammes



ANNEXE 5

Concentrations en COSV sur les différents sites

Concentration	Petite Enfance			Bureau			Enseignement			Habitation intérieure		
En ng/m ³	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
Plastifiants												
DMP	0.39	40	13	4.1	15	6.7	1.3	6.9	4.4	3.1	31	11
DEP	31	2005	426	13	247	40	18	128	40	28	460	108
DIBP	93	2781	600	11	185	42	39	258	99	58	1085	247
DNBP	7.6	257	91	4.9	59	16	15	142	52	18	312	74
BBP	3.7	44	12	0.38	3.8	0.38	1	2.3	1.5	2	9.7	2.5
DEHP	11	62	15	11	33	17	7.6	17	11	20	69	26
DNOP	0.32	1.5	0.75	0.32	0.9	0.51	0.32	0.32	0.32	0.32	0.72	0.49
<i>Phtalates</i>	174	5076	1216	66	519	136	92	491	215	138	1952	471
Bisphénol A	0.16	0.42	0.24	0.19	0.92	0.4	0.026	3.5	0.11	0.25	2	0.67
Muscs												
Galaxolide	76	436	137	6.5	110	39	3.5	20	8.4	13	88	72
Tonalide	7.4	44	10	4.3	26	13	2.5	9.7	5	7.9	22	11
Alkylphénols												
Octyl (OP)	0.96	3.5	1.8	1.5	7.3	3.8	0.25	0.86	0.45	0.76	1.4	1.1
Nonyl (4 NP)	35	218	61	11	41	18	2.7	18	6.4	9.5	51	25
<i>Alkylphénols</i>	37	221	63	13	46	24	3.2	19	7	11	52	26
OP1EO	0.068	1.7	0.32	0.093	1.2	0.38	0.043	0.6	0.21	0.05	0.93	0.18
OP2EO	0.002	0.1	0.054	0.001	0.4	0.36	0.006	0.045	0.019	0.001	0.05	0.007
NP1EO	0.35	4	0.68	0.2	3	1.1	1.6	7.4	3.4	0.16	2.1	0.4
NP2EO	0.11	0.48	0.33	0	0.36	0.3	0.3	0.87	0.49	0.027	0.55	0.15
<i>Alkylphénols Ethoxylates</i>	0.78	4.5	1.4	0.37	4.8	2.2	2.3	8.9	4.1	0.24	3.4	0.98
HAP												
ACY	0.15	1.5	0.32	0.19	1.1	0.66	0.069	1.2	0.36	1.1	2.9	1.8
ACE	0.04	3.7	0.59	1.4	5.6	4.4	0.054	3.7	2	0.006	8.3	1.8
FLU	0.097	1.9	1.2	1.9	5.5	4.7	1.6	2.9	2.4	0.23	6.1	2
PHE	0.004	6.5	0.12	0.042	9.3	4.4	0.13	6.4	5.3	0.066	9.1	0.64
ANT	0.039	9.8	2.2	0.047	7.2	0.22	0.005	5.3	0.027	0.19	10	7.3
FTH	0.31	0.89	0.51	0.56	1.3	0.87	0.82	1.4	1	0.6	0.92	0.71
PYR	0.36	1.1	0.7	0.48	1.4	0.89	0.51	0.93	0.63	0.5	1.1	0.66
BaA	0.01	0.077	0.026	0.01	0.14	0.028	0.008	0.14	0.028	0.013	0.11	0.029
CHR	0.025	0.14	0.043	0.031	0.28	0.083	0.061	0.36	0.11	0.055	0.25	0.072
BbF	0.03	0.25	0.074	0.017	0.36	0.09	0.026	0.56	0.1	0.026	0.38	0.1
BkF	0.011	0.089	0.028	0.004	0.14	0.037	0.005	0.17	0.031	0.005	0.11	0.029
BaP	0.012	0.12	0.03	0.005	0.16	0.032	0.005	0.18	0.023	0.005	0.18	0.027
IcdP	0.021	0.18	0.045	0.019	0.2	0.097	0.022	0.27	0.079	0.02	0.26	0.06
DahA	0.008	0.038	0.021	0.005	0.13	0.026	0.006	0.06	0.025	0.005	0.052	0.022
BghiP	0.025	0.19	0.049	0.018	0.2	0.091	0.023	0.27	0.077	0.023	0.27	0.064
HAP	3.8	15	9.3	11	22	18	10	16	13	8.8	26	18

Concentration En ng/m ³	Petite Enfance			Bureau			Enseignement			Habitation intérieure		
	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
Pesticides												
DEET	3.7	133	20	0.47	11	3.2	0.043	7.8	1.2	1.4	34	7
Cypermethrine	0.061	5.6	0.59	0	2.6	1	0	2.6	1	0.17	2.7	0.77
Deltamethrine	0.001	2.6	0.15	0.061	4.5	0.54	0.068	0.89	0.32	0.001	4.8	0.18
Lindane	0	0.29	0.002	0	0.22	0.009	0.01	1	0.55	0.009	0.56	0.017
PCB												
PCB 28	0.016	0.25	0.044	0.025	0.066	0.039	0.058	0.43	0.11	0.017	0.12	0.093
PCB 52	0.001	0.13	0.011	0.001	0.077	0.049	0.034	1.6	0.82	0.001	0.2	0.14
PCB 77	0.001	0.008	0.001	0.001	0.009	0.002	0.003	0.014	0.005	0.001	0.02	0.001
PCB 81	0.001	0.019	0.004	0.001	0.013	0.003	0.004	0.045	0.018	0.004	0.01	0.006
PCB 101	0.005	0.036	0.024	0.015	0.067	0.024	0.45	1.7	0.84	0.057	0.14	0.085
PCB 105	0.002	0.017	0.006	0.002	0.078	0.004	0.029	0.23	0.073	0.009	0.061	0.015
PCB 110	0.01	0.054	0.017	0.013	0.31	0.019	0.24	1.7	0.57	0.041	0.28	0.067
PCB 114	0.002	0.006	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.021	0.006	0.002	0.036	0.002
PCB 118	0.007	0.42	0.01	0.007	0.24	0.012	0.11	0.95	0.27	0.029	0.46	0.05
PCB 123	0.001	0.01	0.001	0.001	0.008	0.002	0.001	0.024	0.005	0.001	0.004	0.001
PCB 126	0.002	0.006	0.002	0.002	0.015	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
PCB 138	0.002	0.03	0.014	0.004	0.045	0.013	0.055	0.22	0.12	0.013	0.055	0.027
PCB 153	0.004	0.019	0.016	0.007	0.062	0.016	0.078	0.42	0.17	0.023	0.049	0.04
PCB 156	0.002	0.006	0.002	0.002	0.015	0.002	0.002	0.019	0.006	0.002	0.007	0.002
PCB 157	0.002	0.005	0.002	0.002	0.014	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 167	0.001	0.01	0.001	0.001	0.014	0.001	0.001	0.01	0.003	0.001	0.012	0.001
PCB 169	0.002	0.006	0.002	0.002	0.02	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 180	0.003	0.004	0.003	0.003	0.017	0.003	0.004	0.033	0.011	0.003	0.013	0.003
PCB 189	0.005	0.006	0.005	0.005	0.02	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PCB ind	0.097	0.57	0.16	0.09	0.51	0.16	1.3	4.7	2.4	0.18	0.75	0.51
PCB DL	0.028	0.48	0.04	0.021	0.35	0.054	0.17	1.3	0.4	0.06	0.57	0.078
PCB (somme des 18)	0.14	0.63	0.23	0.13	0.94	0.22	1.6	6	3.3	0.25	1.1	0.62
HCB	0.001	0.4	0.016	0	1	0.22	0.19	1.2	0.39	0	1.9	0.035
PeCB	0.001	0.15	0.001	0.001	0.16	0.009	0.047	0.26	0.13	0.001	0.025	0.005
Retardateurs de flamme												
PBDE 28	0.004	0.004	0.004	0.004	0.024	0.015	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
PBDE 47	0.001	0.007	0.003	0.002	0.019	0.003	0.001	0.007	0.003	0.003	0.034	0.004
PBDE 99	0.002	0.007	0.002	0.002	0.017	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.058	0.002
PBDE 100	0.007	0.007	0.007	0.007	0.013	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.024	0.007
PBDE 153	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
PBDE 154	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PBDE 183	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.047	0.02
PBDE 209	0.02	1.1	0.02	0.02	0.37	0.044	0.02	0.13	0.02	0.02	0.75	0.02
PBDE	0.035	1.2	0.072	0.043	0.47	0.074	0.035	0.16	0.061	0.038	0.76	0.1

Concentration	Petite Enfance			Bureau			Enseignement			Habitation intérieure		
En ng/m ³	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
HBCD	0	0.003	0.002	0.001	0.003	0.001	0	0.001	0.001	0	0.009	0.001
	Conservateurs											
Méthyl parabène	6.2	10	6.8	1.2	2.2	1.6	0.79	2.7	1	1.1	3.3	2.1
Ethyl parabène	0.8	2.7	1.1	0.095	0.56	0.18	0.1	0.17	0.15	0.008	0.5	0.16
Propyl parabène	0.13	1.9	1	0.041	0.56	0.37	0.006	0.3	0.18	0.17	1.7	0.53
Butyl parabène	0.083	1.5	0.55	0.029	0.16	0.095	0.012	0.1	0.068	0.003	0.19	0.13
Parabènes	7.8	16	9.8	1.4	3.3	2.2	1.1	3.1	1.4	1.7	4.5	2.9
Triclosan	0.19	0.54	0.28	0.015	0.11	0.031	0.002	0.024	0.017	0.021	0.068	0.05

Concentration	Habitation extérieure			Centre urbain			Référence		
En ng/m ³	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
Plastifiants									
DMP	0.07	2.8	0.24	45	324	81	0.07	0.62	0.23
DEP	0.51	13	4.6	8.4	66	15	0.91	17	2.1
DIBP	0.39	12	7.5	49	1126	208	3.3	17	8
DNBP	0.53	3.7	2.1	4.5	28	8.2	0.53	9.2	1.4
BBP	0.38	0.38	0.38	0.38	2.3	0.38	0.38	0.38	0.38
DEHP	0.9	11	2.7	3.8	30	10	2	6.4	3.8
DNOP	0.32	0.32	0.32	0.32	0.52	0.32	0.32	0.32	0.32
<i>Phtalates</i>	3.5	36	17	126	1575	324	11	34	21
Bisphénol A	0.044	1.9	0.099	0.049	0.44	0.099	0.031	0.8	0.069
Muscs									
Galaxolide	0.092	0.75	0.21	0.15	1.3	0.45	0.02	0.32	0.051
Tonalide	0.041	0.33	0.12	0.068	0.7	0.34	0.018	0.14	0.062
Alkylphénols									
Octyl (OP)	0.064	0.72	0.16	0.65	2.2	1.4	0.001	0.067	0.029
Nonyl (4 NP)	0.076	16	0.14	4.3	38	12	0.036	0.79	0.17
<i>Alkylphénols</i>	0.17	16	0.31	5.4	40	14	0.046	0.85	0.21
OP1EO	0.001	0.98	0.11	0.032	0.19	0.072	0.011	0.11	0.027
OP2EO	0.003	0.023	0.005	0.002	0.02	0.013	0.001	0.061	0.016
NP1EO	0.017	0.22	0.099	0.017	1.2	0.18	0.009	0.39	0.065
NP2EO	0.006	0.082	0.009	0	0.36	0.022	0.01	0.092	0.023
<i>Alkylphénols Ethoxylates</i>	0.061	1.2	0.26	0.13	1.3	0.26	0.064	0.43	0.2
HAP									
ACY	0.042	0.55	0.13	0.028	1.1	0.19	0.013	0.86	0.065
ACE	0.32	4	1.1	0.31	2.2	1.2	0.26	1.5	0.57
FLU	1.3	2.8	1.6	1.8	3.4	2.2	0.66	2.7	1.4
PHE	2.4	7.9	2.6	3.8	10	5	1.2	5.1	2.1
ANT	0.005	0.084	0.032	0.14	0.94	0.26	0.005	0.11	0.01
FTH	0.51	2.7	0.83	0.66	3	1.1	0.34	1.6	0.54
PYR	0.25	1.6	0.47	0.42	2	0.82	0.097	0.86	0.22
BaA	0.013	0.26	0.04	0.012	0.37	0.045	0.005	0.12	0.015
CHR	0.072	0.79	0.17	0.062	0.86	0.19	0.025	0.39	0.081
BbF	0.055	1.1	0.16	0.041	1	0.17	0.024	0.59	0.11
BkF	0.008	0.29	0.047	0.007	0.29	0.041	0.004	0.16	0.021
BaP	0.01	0.33	0.041	0.007	0.29	0.025	0.005	0.2	0.019
IcdP	0.02	0.45	0.09	0.024	0.44	0.095	0.016	0.26	0.047
DahA	0.003	0.15	0.024	0.009	0.072	0.034	0.006	0.037	0.013
BghiP	0.023	0.41	0.091	0.023	0.43	0.09	0.011	0.24	0.043
HAP	6.3	20	8.5	8.9	24	12	3.4	14	5.2

Concentration En ng/m ³	Habitation extérieure			Centre urbain			Référence		
	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
	Pesticides								
DEET	0.001	1.9	0.043	0.028	2.4	0.25	0.012	2.7	0.11
Cyperméthrine	0.11	2.8	0.52	0.12	4.4	0.35	0.035	2.3	0.72
Deltaméthrine	0.004	1.5	0.18	0.043	1.3	0.37	0.03	0.63	0.26
Lindane	0.02	0.48	0.2	0.059	0.22	0.14	0.016	0.062	0.044
	PCB								
PCB 28	0.005	0.014	0.01	0.013	0.11	0.027	0.003	0.009	0.006
PCB 52	0.001	0.025	0.011	0.14	1.2	0.27	0.003	0.015	0.008
PCB 77	0.001	0.002	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001
PCB 81	0.001	0.001	0.001	0.001	0.012	0.001	0.001	0.002	0.001
PCB 101	0.001	0.064	0.009	0.046	0.45	0.1	0.003	0.01	0.005
PCB 105	0	0.003	0.001	0.001	0.02	0.005	0	0.002	0.001
PCB 110	0.002	0.045	0.006	0.018	0.18	0.042	0.001	0.006	0.003
PCB 114	0.002	0.005	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 118	0.001	0.027	0.005	0.007	0.085	0.022	0.001	0.005	0.003
PCB 123	0.001	0.013	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001
PCB 126	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 138	0.002	0.064	0.005	0.005	0.054	0.01	0.002	0.002	0.002
PCB 153	0.001	0.06	0.007	0.01	0.12	0.016	0.001	0.004	0.002
PCB 156	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 157	0.002	0.009	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
PCB 167	0.001	0.015	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001
PCB 169	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
PCB 180	0.003	0.003	0.003	0.003	0.012	0.003	0.003	0.003	0.003
PCB 189	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
PCB ind	0.014	0.23	0.047	0.23	2	0.46	0.017	0.044	0.027
PCB DL	0.007	0.085	0.018	0.025	0.14	0.039	0.008	0.024	0.014
PCB (somme des 18)	0.035	0.33	0.072	0.27	2.2	0.51	0.027	0.061	0.046
HCB	0.13	0.89	0.16	0.15	0.85	0.25	0.098	0.17	0.13
PeCB	0.048	0.086	0.08	0.13	0.27	0.2	0.038	0.075	0.067
	PBDE								
PBDE 28	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.014	0.004
PBDE 47	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.001	0.017	0.001
PBDE 99	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.017	0.002
PBDE 100	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.015	0.007
PBDE 153	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.019	0.011
PBDE 154	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.015	0.005
PBDE 183	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
PBDE 209	0.02	0.47	0.026	0.02	0.37	0.02	0.02	0.87	0.02
PBDE	0.035	0.52	0.064	0.037	0.39	0.072	0.036	0.92	0.07

Concentration	Habitation extérieure			Centre urbain			Référence		
En ng/m ³	min	max	médiane	min	max	médiane	min	max	médiane
HBCD	0	0.005	0.001	0	0.003	0.001	0	0.004	0
	Conservateurs								
Méthyl parabène	0.09	3.5	0.33	0.13	3.5	0.35	0.049	0.57	0.15
Ethyl parabène	0	0.043	0.017	0.004	0.065	0.016	0.003	0.046	0.007
Propyl parabène	0.001	0.048	0.009	0.001	0.08	0.012	0.001	0.025	0.003
Butyl parabène	0.001	0.007	0.002	0	0.017	0.009	0	0.006	0.001
Parabènes	<i>0.12</i>	<i>3.6</i>	<i>0.38</i>	<i>0.18</i>	<i>3.6</i>	<i>0.39</i>	<i>0.064</i>	<i>0.62</i>	<i>0.18</i>
Triclosan	0.001	0.019	0.004	0	0.034	0.01	0	0.008	0.002