



Etude des relations entre les concentrations dans l'air intérieur et extérieur

Laurent Létinois, Laure Malherbe

► To cite this version:

Laurent Létinois, Laure Malherbe. Etude des relations entre les concentrations dans l'air intérieur et extérieur. INERIS. 2010. <hal-05291442>

HAL Id: hal-05291442

<https://hal.science/hal-05291442v1>

Submitted on 1 Oct 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

INERIS

Campagne nationale « Logements »

Etude des relations entre les concentrations dans l'air intérieur et extérieur

Rapport final

Laurent LETINOIS, Laure MALHERBE

20/12/2010

Campagne nationale « Logements »

**Etude des relations entre les concentrations
dans l'air intérieur et extérieur**

Rapport final

Laurent LETINOIS, Laure MALHERBE

INERIS, Direction des Risques Chroniques, Pôle Modélisation et Décision

Bertrand BESSAGNET (Vérificateur), Laurence ROUÏL (Approbateur)

20/12/2010

Diffusion restreinte

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

*Toute citation d'extraits ou reproduction doit obligatoirement faire apparaître la référence de ce document sous la forme : **Létinois L. Malherbe L. Etude des relations entre les concentrations dans l'air intérieur et extérieur. date de publication, nombre de pages [n° du rapport]***

Résumé

La pollution atmosphérique extérieure compte parmi les possibles facteurs d'influence de la qualité de l'air intérieur. Afin de pouvoir déterminer à terme cet impact, une analyse exploratoire est réalisée à partir des données de la campagne nationale « Logements », conduite entre 2003 et 2005 par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), et de différentes variables descriptives du milieu extérieur (concentrations extérieures, occupation du sol, etc.). Lors de cette campagne, 567 logements ont été équipés pour le prélèvement de différents composés gazeux et particulaires. Les polluants ici étudiés, considérés comme de possibles traceurs de la pollution extérieure, sont les particules PM₁₀ et PM_{2.5} et les BTEX^a.

La présente étude a consisté, dans une première partie, à concevoir et mettre en œuvre par SIG^b une méthodologie permettant de caractériser l'environnement des logements et d'associer à chacun des données de concentrations extérieures de particules. Ces données sont issues de la BDQA^c, base de données nationale qui regroupe l'ensemble des mesures effectuées en continu par les AASQA sur le territoire français. Les stations de mesure ont été sélectionnées en fonction de la distance par rapport aux logements, de l'occupation du sol et de la densité de population. 98 stations mesurant les PM₁₀ et 36 stations mesurant les PM_{2.5} ont été retenues pour les analyses statistiques.

Dans la seconde partie, les liens entre les concentrations intérieures et extérieures font l'objet d'une étude exploratoire. De plus, les concentrations intérieures de PM et de BTEX sont comparées entre les différents logements, en fonction du type d'environnement extérieur (rural, périurbain, urbain) et de l'intensité des sources extérieures voisines (en particulier du trafic routier).

Quel que soit le polluant, et pour la majorité des logements, les concentrations intérieures sont supérieures aux concentrations extérieures. Les valeurs les plus élevées du ratio intérieur/extérieur sont comprises approximativement entre 10 et 45 ; elles correspondent principalement, pour les particules, à la présence d'au moins un fumeur, et pour le benzène, à l'existence d'un garage attenant. Sans tenir compte de ces logements, le ratio intérieur/extérieur médian varie entre 1,3 et 2,4 selon le polluant (PM et BTEX). D'après ces valeurs, et comme le suggère la représentation des concentrations intérieures en fonction des concentrations extérieures, le milieu extérieur contribuerait de façon non négligeable à la pollution intérieure. La corrélation reste cependant modérée. Exception faite du benzène, aucune influence des sources d'émissions proches des logements n'a pu être mise en évidence. Pour le benzène, un trafic routier plus intense à proximité des logements semble induire des concentrations intérieures plus élevées.

a. Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes

b. Système d'information géographique

c. Base de données sur la qualité de l'air

Mots clés : air intérieur ; air extérieur ; PM₁₀ ; PM_{2.5} ; BTEX ; analyse statistique

Abstract

Outdoor atmospheric pollution may influence indoor air quality. To eventually assess that impact, data from the national survey on indoor air quality in French homes, which was carried out between 2003 and 2005 by the Observatory on indoor air quality (OQAI), as well as different variables describing the outside environment (outdoor concentrations, land use, etc.), are explored. During the survey, 567 homes were equipped with device for the sampling of various gaseous and particulate pollutants. In this exploratory analysis, only pollutants considered as potential markers of outdoor pollution are considered: PM₁₀, PM_{2.5} and BTEX^a.

In the first part of the present work, a GIS^b methodology was developed and implemented to characterize the outside environment of the homes and attribute outdoor concentrations of particles to each of them. Outdoor concentration data come from the national database BDQA^c which gathers the continuous monitoring data produced by the local air quality monitoring agencies (the AASQAs) on the French territory. The monitoring stations were selected according to three criteria, namely distance from the homes, land use and population density. 98 stations measuring PM₁₀ and 36 stations measuring PM_{2.5} were retained for the statistical analyses.

In a second part, the links between indoor and outdoor concentrations are examined. Furthermore, indoor concentrations of particles and BTEX are compared between the homes according to the surrounding environment (described as rural, suburban or urban) and the intensity of outdoor emission sources (like road traffic).

Whatever the pollutant and for most homes, indoor concentrations are higher than outdoor concentrations. The highest values of the indoor/outdoor ratio are comprised between approximately 10 and 45; most of them correspond to the presence of at least a smoker for particles and to the existence of an adjoining garage for BTEX. After removing those homes, the median indoor/outdoor ratio varies between 1.3 and 2.4 according to the pollutant (PM, BTEX). Those values and the representation of indoor concentrations as a function of outdoor concentrations suggest that the outside environment may significantly contribute to indoor pollution.

However the correlation between indoor and outdoor concentrations remains moderate. Except for benzene, no influence of emission sources close to the homes could be brought out. As for benzene, it seems that a more intense road traffic in the vicinity generates higher indoor concentrations.

a. Benzene, Toluene, Ethyl-benzene and Xylenes

b. Geographic Information System

c. Air Quality Database

Keywords: indoor air; outdoor air; PM₁₀; PM_{2.5}; BTEX; statistical analysis

Table des matières

INTRODUCTION.....	10
1. DONNEES PRISES EN COMPTE.....	12
1.1 Concentrations intérieures.....	12
1.2 Concentrations extérieures.....	12
1.3 Autres variables.....	12
1.4 Coordonnées géographiques des logements.....	13
2. SELECTION DES STATIONS DE MESURE BDQA.....	13
2.1 Caractérisation de l'environnement des logements.....	14
2.2 Sélection des stations de mesure.....	15
2.3 Récupération des données.....	17
3. APPRECIATION DES RELATIONS ENTRE POLLUTION INTERIEURE ET POLLUTION EXTERIEURE : ETUDE EXPLORATOIRE	19
3.1 Cas des particules (PM₁₀ et PM_{2.5}).....	19
3.1.1 Remarque préliminaire.....	19
3.1.2 Comparaison des concentrations intérieures et extérieures.....	20
3.1.2.1 Rapport <i>concentration intérieure/concentration extérieure</i>	20
3.1.2.2 Corrélation entre concentrations intérieures et concentrations extérieures....	25
3.1.3 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'environnement extérieur.....	28
3.1.3.1 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de la typologie de l'environnement	28
3.1.3.2 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'intensité du trafic proche	29
3.1.3.3 Comparaison des concentrations intérieures en fonction des émissions de l'inventaire national spatialisé (INS)	31
3.2 Cas des BTEX	33
3.2.1 Remarque préliminaire.....	33
3.2.2 Comparaison des concentrations intérieures et extérieures.....	33
3.2.2.1 Rapport <i>concentration intérieure/concentration extérieure</i>	33
3.2.2.2 Corrélation entre concentrations intérieures et concentrations extérieures....	36
3.2.3 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'environnement extérieur.....	40
3.2.3.1 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de la typologie de l'environnement	40
3.2.3.2 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'intensité du trafic proche	41
4. CONCLUSION	43
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45
ANNEXES	46
ANNEXE 1 : TYPOLOGIES DES STATIONS DE LA BDQA	47

ANNEXE 2 : CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DE LA BASE CORINE LAND COVER	48
ANNEXE 3 : LOGEMENTS EXCLUS OU REQUALIFIES.....	50
ANNEXE 4 : STATIONS DE MESURE DE LA BDQA ASSOCIEES AUX LOGEMENTS.....	51
ANNEXE 5 : HISTOGRAMMES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES	52
ANNEXE 6 : RELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES. PM_{10} ET $PM_{2.5}$.	56
ANNEXE 7 : RELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES. BTEX.	65
ANNEXE 8 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR. PM_{10} ET $PM_{2.5}$.	76
ANNEXE 9 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR. BTEX.	78

INTRODUCTION

Contexte et objectif

Dans le cadre de la campagne nationale « Logements », l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a effectué des prélèvements dans l'air intérieur de 567 logements répartis sur 55 départements et 74 communes de France métropolitaine continentale. Ces mesures portent sur différents composés gazeux et particulaires. Par ailleurs, des données descriptives en lien avec l'environnement des bâtiments, leur typologie ainsi que le comportement des ménages ont également été recueillies. La collecte des données a été réalisée entre 2003 et 2005, à des moments de l'année différents selon les logements.

Afin de proposer des actions appropriées de réduction de l'exposition à la pollution atmosphérique, l'OQAI cherche à savoir, par l'exploitation des données recueillies, quels facteurs constituent des déterminants majeurs des concentrations observées.

La présente étude s'attache à l'analyse des relations entre les concentrations mesurées à l'intérieur des logements et l'environnement extérieur de ces derniers. Elle a pour objet d'évaluer dans quelle mesure la pollution atmosphérique extérieure influence la qualité de l'air dans les logements. Deux catégories de polluants considérés comme de possibles traceurs de la pollution atmosphérique extérieure sont prises en compte : les particules PM_{10} et $PM_{2.5}$ et les BTEX.

Dans une revue bibliographique récente consacrée aux particules, Chen et Zhao (2010) présentent les valeurs expérimentales du ratio intérieur/extérieur (I/E) rencontrées dans la littérature. Ce ratio constitue en effet une information préliminaire potentiellement intéressante sur l'origine des concentrations intérieures de particules. Les auteurs distinguent les PM_{10} , les $PM_{2.5}$ et les classes granulométriques $0.001\ \mu m - 0.5\ \mu m$ et $0.5\ \mu m - 15\ \mu m$. 77 publications ont été consultées, ce qui représente plus de 4000 logements situés aux Etats-Unis et en Europe. Quelle que soit la taille des particules, le ratio I/E varie dans des plages de valeurs très étendues. Les interprétations qu'en proposent les auteurs des publications examinées sont elles aussi très variables et ne s'accordent pas nécessairement. Chen et Zhao ne voient pas se dégager de conclusion claire de leur revue bibliographique. Ils relèvent cependant quelques points intéressants pour la présente étude : pour les PM_{10} comme pour les $PM_{2.5}$, les valeurs particulièrement élevées du ratio I/E sont majoritairement dues à la présence de fumeurs. Les sources intérieures de combustion telles que les cheminées peuvent conduire également à des ratios I/E élevés. Quant aux valeurs faibles du rapport I/E, elles correspondent plutôt à des sources intérieures peu nombreuses ou à l'usage de systèmes de filtration. L'impact du taux de renouvellement d'air ne peut être établi aisément parce qu'il dépend d'autres facteurs d'influence (taux de pénétration, dépôt, émission intérieure, concentration extérieure).

D'autre part, dans un rapport de l'INERIS en cours de publication, L. Chiappini (2010) dresse un état des lieux relatif aux concentrations intérieures de benzène.

Comme dans Chen et Zhao (2010), elle s'intéresse au ratio I/E qui, en première approche, représente un bon indicateur de l'importance des sources intérieures de benzène. Si l'étude de Chiappini porte principalement sur les établissements recevant du public, une partie est cependant consacrée aux résidences de particuliers. 8 publications sur ce sujet ont été consultées. Les ratios I/E, compris entre 1 et 2, pourraient refléter dans certains cas une contribution notable des sources extérieures telles que le trafic. Sont identifiés comme sources intérieures les garages, le tabagisme ainsi que l'emploi d'antimites. Cette contribution des sources intérieures peut être accrue en été, lorsque l'augmentation des températures favorise certaines émissions intérieures, comme celles des matériaux.

A ce jour en France, aucun programme d'ampleur nationale n'a encore été conduit sur la question particulière des relations entre concentrations intérieures et extérieures. Si la campagne « Logements » n'a pas été spécifiquement conçue dans cette intention, l'OQAI a jugé opportun d'en valoriser également les données avec cet objectif. Il a confié cette tâche à l'INERIS. Compte tenu des limitations dues aux données et des incertitudes sur les résultats, l'analyse statistique se limite à un travail exploratoire.

Contenu de l'étude

Le présent rapport s'organise en deux parties principales :

- la première partie traite de la sélection, la récupération et la mise en forme des données nécessaires à l'analyse. En particulier, elle détaille et illustre la méthodologie qui a été développée afin d'associer de manière cohérente une à plusieurs stations extérieures de mesure à chacun des logements.
- pour chaque catégorie de polluants (particules, BTEX), la seconde partie présente, sous forme de tableaux, de cartes et de graphes, des comparaisons intérieur/extérieur. Dans ces comparaisons, le milieu extérieur est soit directement représenté par les concentrations atmosphériques, soit décrit par des variables d'environnement et d'émissions.

La dernière partie est réservée à la discussion.

Ce document intègre les remarques émises à l'occasion du conseil scientifique de l'OQAI du 15 juin 2010, lors de la présentation de l'avancement de l'étude.

1. DONNEES PRISES EN COMPTE

1.1 CONCENTRATIONS INTERIEURES

Les concentrations de PM_{10} , $PM_{2.5}$ et de BTEX dans les logements sont extraites de la base de données fournie par le CSTB.

Des mesures de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ sont disponibles pour 301 logements. Des mesures de BTEX intérieures sont disponibles pour 553 logements. 14 logements pour lesquels les données de PM_{10} , de $PM_{2.5}$ et de BTEX étaient manquantes, ont été exclus de cette étude (Annexe 3).

1.2 CONCENTRATIONS EXTERIEURES

En ce qui concerne les PM_{10} et les $PM_{2.5}$, aucune mesure n'a été réalisée à l'extérieur des logements au cours de la campagne. Les données françaises de surveillance extraites de la BDQA (ADEME), base de données nationale de la qualité de l'air, sont utilisées comme données de substitution. Les typologies des stations de mesure sont détaillées dans l'Annexe 1. Pour des raisons de pertinence et de faisabilité, il a été décidé ne pas exploiter les données du modèle CHIMERE dont la mise en forme aurait été longue et coûteuse. Ces données ont l'avantage de couvrir l'ensemble de la France, mais du fait de la résolution du modèle (environ 10 km) et des incertitudes de modélisation, il n'est pas sûr qu'elles permettent d'affiner les résultats obtenus avec la BDQA.

S'agissant des BTEX, les résultats des prélèvements effectués en bord de fenêtre lors de la campagne nationale « logements » sont exploités.

1.3 AUTRES VARIABLES

L'environnement intérieur est également décrit par des informations qualitatives tirées du questionnaire de la campagne OQAI Logements, qui indiquent la présence ou non de certaines sources de pollution intérieure (tabagisme, garages attenants...).

L'environnement extérieur est également décrit :

- par l'occupation du sol (base CORINE Land Cover, ed. 2006). Cette variable comprend 44 postes regroupés en 15 classes de niveau 2 et 5 classes de niveau 1 (Annexe 2) ;
- par les photographies aériennes accessibles par Google Earth ;
- par la population (base INSEE de 1999 spatialisée en fonction de la base CORINE Land Cover ed. 2000) ;

- par l'inventaire national spatialisé des émissions (INS) (émissions de 2004), du Ministère du Développement durable ;
- par des informations qualitatives extraites du questionnaire de la campagne OQAI Logements¹.

Ces deux derniers types de données servent à caractériser les sources de pollution extérieure à proximité des logements :

- o En ce qui concerne l'INS, ont été extraites les quantités de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ émises :
 - par les grandes sources ponctuelles (sites industriels), dans un rayon de 2 km autour de chaque logement ;
 - par les axes routiers, dans un rayon de 500 m autour de chaque logement.

Ces rayons ont été définis d'après les distances d'impact habituellement observées pour de telles sources.

- o Du questionnaire de la campagne OQAI Logements, ont été tirées des informations sur la présence d'axe de circulation proche (rue, route, autoroute) et sur l'intensité du trafic.

Enfin, le CSTB a transmis à l'INERIS les valeurs du taux de renouvellement d'air moyen de chaque logement sur la semaine d'enquête [vol/h]. Cette variable a été calculée par le CSTB (Lucas et al, 2009).

1.4 COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES LOGEMENTS

Les coordonnées géographiques ont été collectées par le CSTB pour la majorité des logements. Elles sont qualifiées de précises ou d'imprécises. Pour le reste des logements, les coordonnées du barycentre des communes correspondantes ont été utilisées.

2. SELECTION DES STATIONS DE MESURE BDQA

L'étude des relations entre air intérieur et air extérieur impose d'associer à chaque logement une ou plusieurs stations de mesure. Un critère de sélection fondé sur la seule distance ne suffit pas à assurer la représentativité de ces stations par rapport à l'environnement des logements. Il nécessite d'être affiné par d'autres paramètres, en particulier le degré d'urbanisation.

¹ Le fichier utilisé est celui dans lequel les non-réponses au questionnaire ont été complétées par l'ANSES (Duboudin et al, 2010).

Une grande partie du travail a été consacrée à l'élaboration et à la vérification d'une méthode de sélection dont sont précisées ci-après les étapes. Tous les traitements ont été effectués à l'aide des systèmes d'information géographique MapInfo et ArcGIS.

2.1 CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT DES LOGEMENTS

Pour les raisons suivantes, la classe d'occupation du sol à l'endroit même d'un logement ne caractérise pas complètement son environnement :

- les coordonnées géographiques du logement sont imprécises ; ce dernier peut en réalité se trouver dans une autre classe de CORINE Land Cover ;
- à une même classe de CORINE Land Cover peuvent correspondre des situations contrastées. Soient par exemple deux points appartenant à la catégorie «tissu urbain discontinu» (poste 1.1.2). L'un pourra se trouver à la périphérie d'une grande agglomération, non loin des sources d'émissions urbaines (habitat, trafic routier...), et l'autre, dans une petite commune rurale située au milieu des champs.

En conséquence, la première étape de la méthode a été d'attribuer aux logements une typologie plus représentative de leur milieu réel. En fonction de critères numériques fondés sur l'occupation du sol (niveau 1) et la densité de population, l'environnement des logements a été ainsi qualifié de rural, périurbain ou urbain (Tableau 1).

Cet ajustement permet d'établir une correspondance plus immédiate avec les stations de la BDQA. La typologie de ces stations est définie dans un guide : « Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air » édité par l'ADEME (2002).

Le positionnement géographique des logements dépendant de l'incertitude des mesures GPS, il a été nécessaire de repositionner certains sites se retrouvant placés au milieu de l'eau (bord de mer ou fleuve). Un récapitulatif de ces sites est donné dans l'Annexe 3.

Tableau 1 : Caractérisation de la typologie des logements

clc sur le site	clc majoritaire sur rayon 500m	% territoire artificialisé sur rayon 2 km	Densité population (hab/km ²)	typologie du site
1	1	> 30%	> 3000	urbain
1	1	> 30%	< 3000	périurbain
1	1	<30%	x	rural ou périurbain, à définir au cas par cas

clc sur le site	clc majoritaire sur rayon 500m	% territoire artificialisé sur rayon 2 km	Densité population (hab/km ²)	typologie du site
1	2 ou 3	> 30%	x	périurbain
1	2 ou 3	< 30%	x	rural
2 ou 3	1	> 30%	x	périurbain
2 ou 3	1	< 30%	x	rural
2 ou 3	2 ou 3	<30%	x	rural
2 ou 3	2 ou 3	> 30%	x	périurbain
4 ou 5	x	x	x	rural, périurbain ou urbain, à définir au cas par cas

Légende : clc = classe d'occupation du sol (CORINE LAND Cover). 1 : territoires artificialisés ; 2 : territoires agricoles ; 3 : forêts et milieux semi-naturels ; 4 : zones humides ; 5 : surfaces en eau. x : critère non pris en compte

Quatre critères sont utilisés pour évaluer la typologie du logement :

- l'occupation du sol de niveau 1 au point du site ;
- l'occupation du sol majoritaire sur un rayon de 500 m autour du site, qui détermine l'ambiance de proximité ;
- la part de territoire artificialisé² sur un rayon de 2 km et la densité de population sur un rayon de 1 km autour du site, qui permettent de déterminer si le lieu se trouve dans une agglomération ou en périphérie de celle-ci.

Pour certains logements (3^{ème} et dernière lignes du tableau 1), l'affectation d'une typologie a nécessité une analyse au cas par cas.

La fiabilité de cette méthode a été contrôlée visuellement à l'aide de MapInfo et des vues satellitaires de Google Earth sur un certain nombre de sites.

2.2 SELECTION DES STATIONS DE MESURE

Pour chaque logement ont été retenues :

- parmi les stations de mesure de fond, celle qui en est la plus proche, quelle que soit sa typologie (rurale, périurbaine ou urbaine) ;

² Dans la classification de CORINE Land Cover (cf. Annexe 2), les territoires « artificialisés » regroupent les zones urbanisées, les zones d'activités commerciales ou industrielles, les chantiers, les réseaux de communication et les espaces verts non agricoles.

- parmi les stations de mesure de fond de même typologie que le logement, celle qui en est la plus proche.

Une recherche de stations BDQA a été menée dans un rayon de 100 km autour de chaque logement. Certains des 301 logements n'ont pu être analysés faute de station située dans ce rayon et qui réponde à l'un des deux critères précédents. Une synthèse des stations BDQA retenues est présentée dans les tableaux 2 et 3. Le nombre de logements (sites) auxquels ces stations ont pu être associées est indiqué entre parenthèses.

Notons qu'on ne s'intéresse ici qu'à la pollution de fond. Cette partie ne tient pas compte des spécificités de certains logements où une pollution de proximité pourrait être présente (axes routiers importants ou industrie proche). L'éventuel impact de ces sources proches sera examiné à partir des données de l'INS et de certaines variables du questionnaire (cf. § 1.3).

Tableau 2 : Résultat de la sélection des stations pour les PM₁₀

Type de station sélectionnée	Minimum des distances par rapport aux logements (km)	Maximum des distances par rapport aux logements (km)	Moyenne des distances par rapport aux logements (km)
Station de fond la plus proche	0.32 (300 sites)	78.3 (300 sites)	16.1 (300 sites)
Station de fond et de même typologie la plus proche	0.32 (176 sites)	99.9 (176 sites)	21.9 (176 sites)

Tableau 3 : Résultat de la sélection des stations pour les PM_{2.5}

Type de station sélectionnée	Minimum des distances par rapport aux logements (km)	Maximum des distances par rapport aux logements (km)	Moyenne des distances par rapport aux logements (km)
Station de fond la plus proche	0.63 (252 sites)	91.5 (252 sites)	27.8 (252 sites)
Station de fond et de même typologie la plus proche	0.97 (111 sites)	97.5 (111 sites)	24.4 (111 sites)

Toutes les stations ainsi sélectionnées (Annexe 4) sont conservées pour alimenter la base de données.

Dans l'analyse des relations entre concentrations intérieures et extérieures, les données de mesure dans l'air ambiant pourront être filtrées selon un critère de distance maximale.

2.3 RECUPERATION DES DONNEES

Afin d'évaluer l'exposition aux PM₁₀ et PM_{2.5} en air intérieur, deux plages horaires d'analyses ont été définies :

- du lundi soir au vendredi matin, l'échantillonnage commence à 17h et finit à 8h le lendemain ;
- du vendredi soir au lundi matin, les mesures sont réalisées en continu.

La mesure fournit une moyenne des concentrations relevées sur l'ensemble de ces plages horaires.

Les données étant stockées dans la BDQA selon un pas horaire, elles ont été extraites pour toutes les stations précédemment sélectionnées et moyennées sur la période. Une attention particulière a été portée à la concordance des périodes de mesure : conversion temps universel/temps local et calcul des moyennes horaires.

Il a été également tenu compte de la spécificité de certains sites où les mesures commençaient un week-end à des heures bien précises.

A la base de données sont finalement ajoutées les colonnes suivantes :

- X : coordonnée X en Lambert II étendu
- Y : coordonnée Y en Lambert II étendu
- clc_niv1 : classe d'occupation du sol (CORINE LAND Cover) de niveau 1
- clc_niv2 : classe d'occupation du sol (CORINE LAND Cover) de niveau 2
- clc_niv3 : classe d'occupation du sol (CORINE LAND Cover) de niveau 3
- clc_majo_500m : clc majoritaire autour d'un rayon de 500m
- %_clc_1_2km : % de clc 1 sur un rayon de 2km :
- dens_pop_1km : habitants/km² sur un rayon de 1 km
- typo_bdqa : typologie du site en équivalence BDQA
- dist_S1 : distance entre le logement et la station de fond la plus proche (S1) [km]

- dist_S2 : distance entre le logement et la station de fond et de même typologie la plus proche (S2) [km]
- PM₁₀_S1 : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM₁₀_S1_50% : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S1 et calculée sur au moins 50% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM₁₀_S1_75% : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S1 et calculée sur au moins 75% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- C_PM₁₀_S2 : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- C_PM₁₀_S2_50% : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S2 et calculée sur au moins 50% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM₁₀_S2_75% : Concentration de PM₁₀ mesurée par la station S2 et calculée sur au moins 75% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S1 : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S1_50% : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S1 et calculée sur au moins 50% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S1_75% : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S1 et calculée sur au moins 75% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S2 : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S2_50% : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S2 et calculée sur au moins 50% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- PM_{2.5}_S2_75% : Concentration de PM_{2.5} mesurée par la station S2 et calculée sur au moins 75% de la période de mesure [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- TRA4 : taux de renouvellement d'air moyen par logement [vol/h]
- GSP_PM₁₀ : quantité de PM₁₀ émises par les grandes sources ponctuelles dans un rayon de 2 km autour du logement [t/an]
- route_PM₁₀ : quantité de PM₁₀ émises par les principaux axes routiers dans un rayon de 500 m autour du logement [t/an]
- GSP_PM_{2.5} : quantité de PM_{2.5} émises par les grandes sources ponctuelles dans un rayon de 2 km autour du logement [t/an]
- route_PM_{2.5} : quantité de PM_{2.5} émises par les principaux axes routiers dans un rayon de 500 m autour du logement [t/an]

3. APPRECIATION DES RELATIONS ENTRE POLLUTION INTERIEURE ET POLLUTION EXTERIEURE : ETUDE EXPLORATOIRE

Cette partie constitue une étude exploratoire simple de la base de données ainsi enrichie.

Pour une appréciation des relations entre pollution intérieure et pollution extérieure, deux types d'analyse sont réalisés :

- les concentrations mesurées dans les logements sont comparées aux concentrations extérieures associées ;
- les concentrations intérieures sont comparées entre elles en fonction de la typologie du milieu extérieur ou de la proximité de sources extérieures de pollution.

Ces analyses sont effectuées :

- toutes périodes de mesure confondues ;
- sur deux périodes temporelles : une saison froide (octobre à avril) et une saison chaude (mai à septembre).

Etant donné les différences entre ces deux catégories de polluants, les résultats relatifs aux particules et aux BTEX sont présentés dans deux sous-parties distinctes. Enfin, il convient de préciser que l'ensemble de ces résultats (statistiques et graphiques) concerne l'échantillon de logements observé et non redressé.

3.1 CAS DES PARTICULES (PM₁₀ ET PM_{2.5})

3.1.1 REMARQUE PRELIMINAIRE

Dans une première phase de l'étude, l'ensemble des logements a été considéré. Dans un second temps, il a été considéré plus pertinent de retirer de l'échantillon étudié les logements abritant au moins un fumeur, de façon que les concentrations intérieures influencées par le tabagisme ne perturbent pas l'analyse.

On a considéré qu'un logement abritait au moins un fumeur si l'une des deux conditions suivantes était vérifiée :

- La variable FUMEUR, qui correspond à la question « Fumeurs du ménage ? », prend la valeur 3 (un fumeur), 4 (deux fumeurs) ou 5 (trois fumeurs et plus) ;
- La variable FUMEUR2, qui correspond à la question « Autres fumeurs réguliers ? » prend la valeur 1 (oui).

3.1.2 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES

3.1.2.1 Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure*

Les cartes et histogrammes suivants (Figure 1 à Figure 3) représentent le rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* calculé pour chaque logement pour le polluant PM₁₀, lorsque la concentration extérieure est donnée par la station de fond la plus proche. Les figures obtenues avec les stations de fond et de même typologie les plus proches sont fournies dans l'Annexe 6.

Cette même annexe présente l'ensemble des cartes et histogrammes relatifs aux PM_{2.5}.

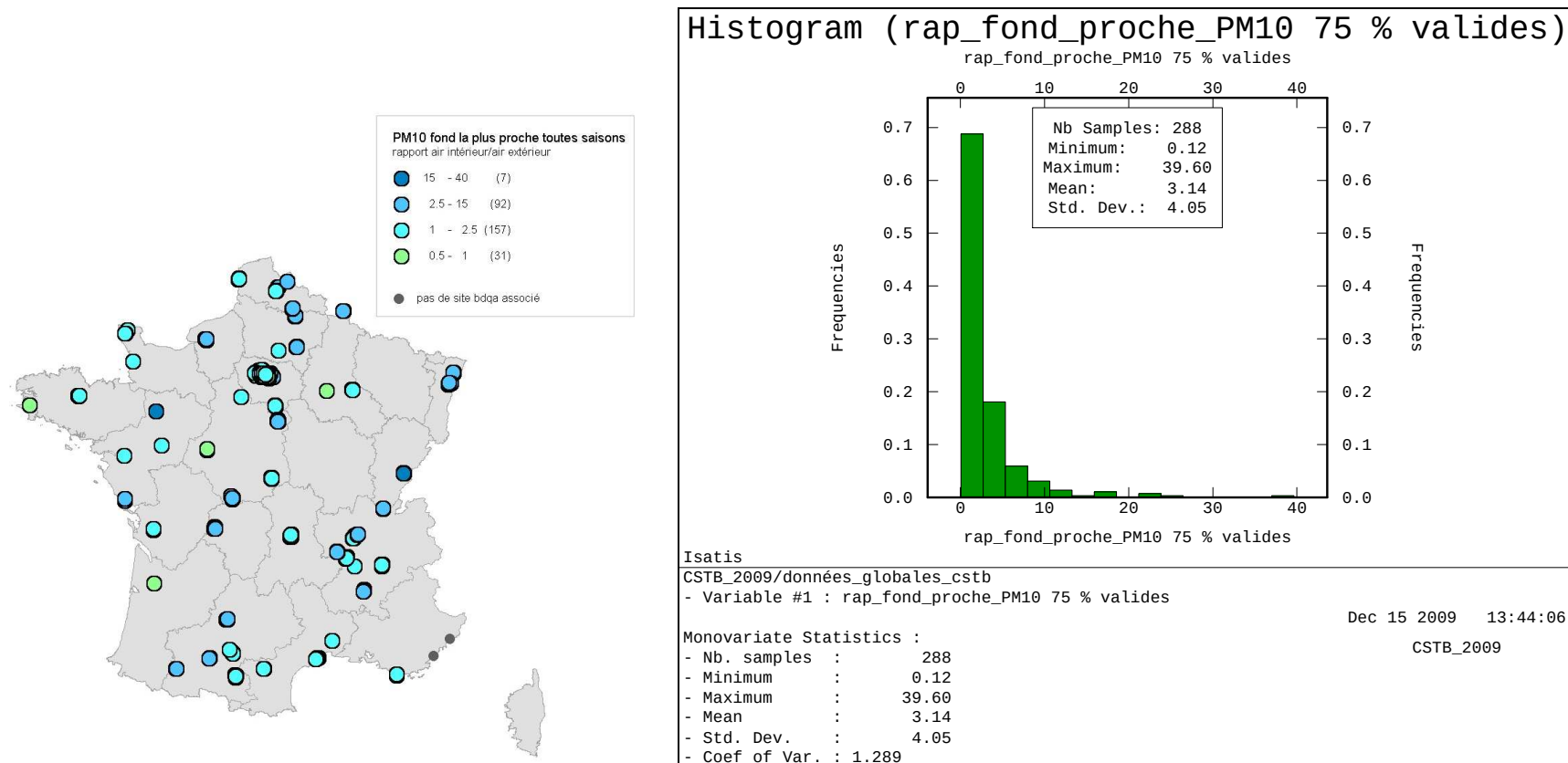


Figure 1 : Rapports *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne, **toutes périodes confondues**. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond les plus proches**.

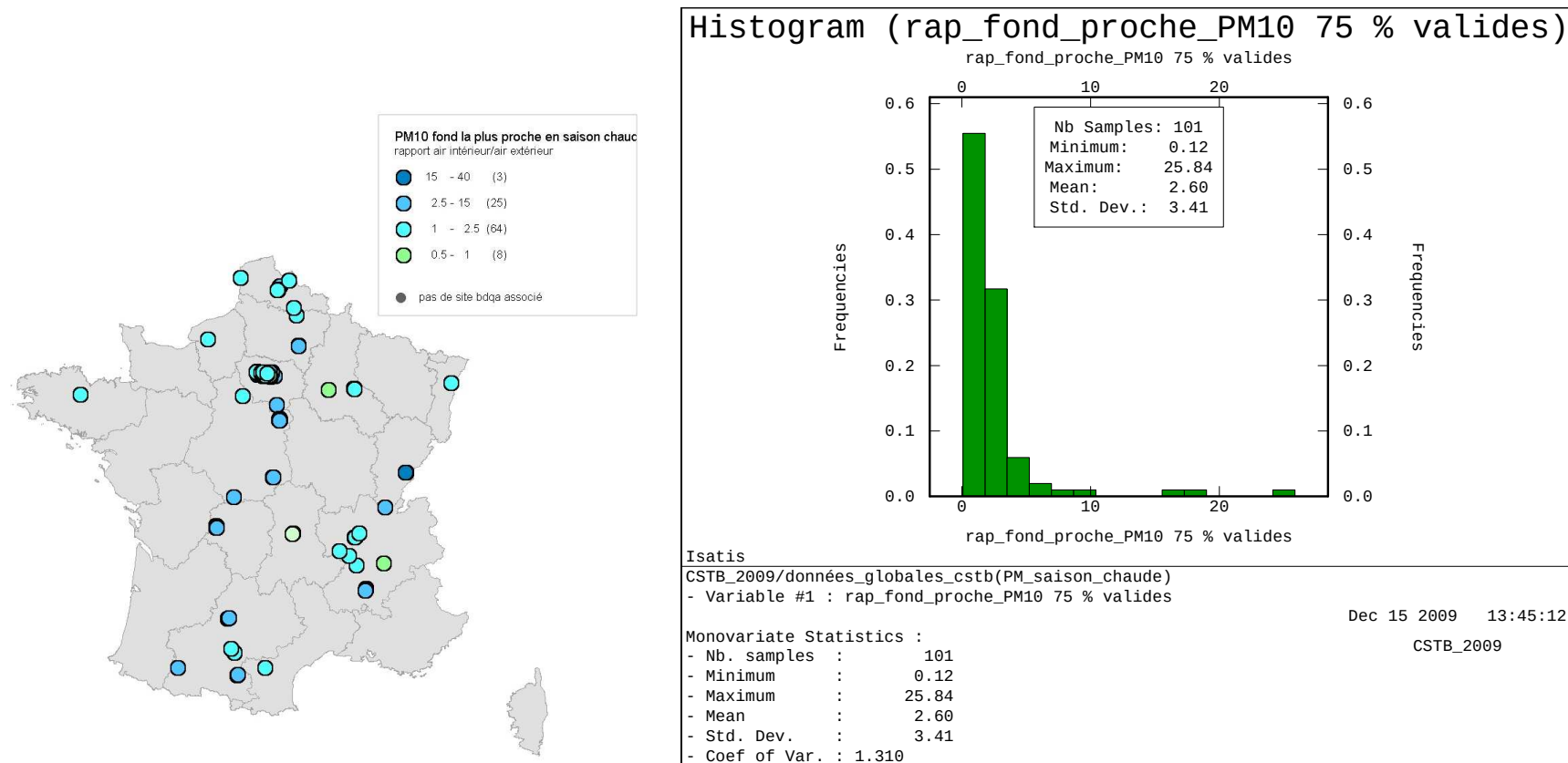


Figure 2 : Rapports *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne en **période dite chaude** (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond les plus proches**.

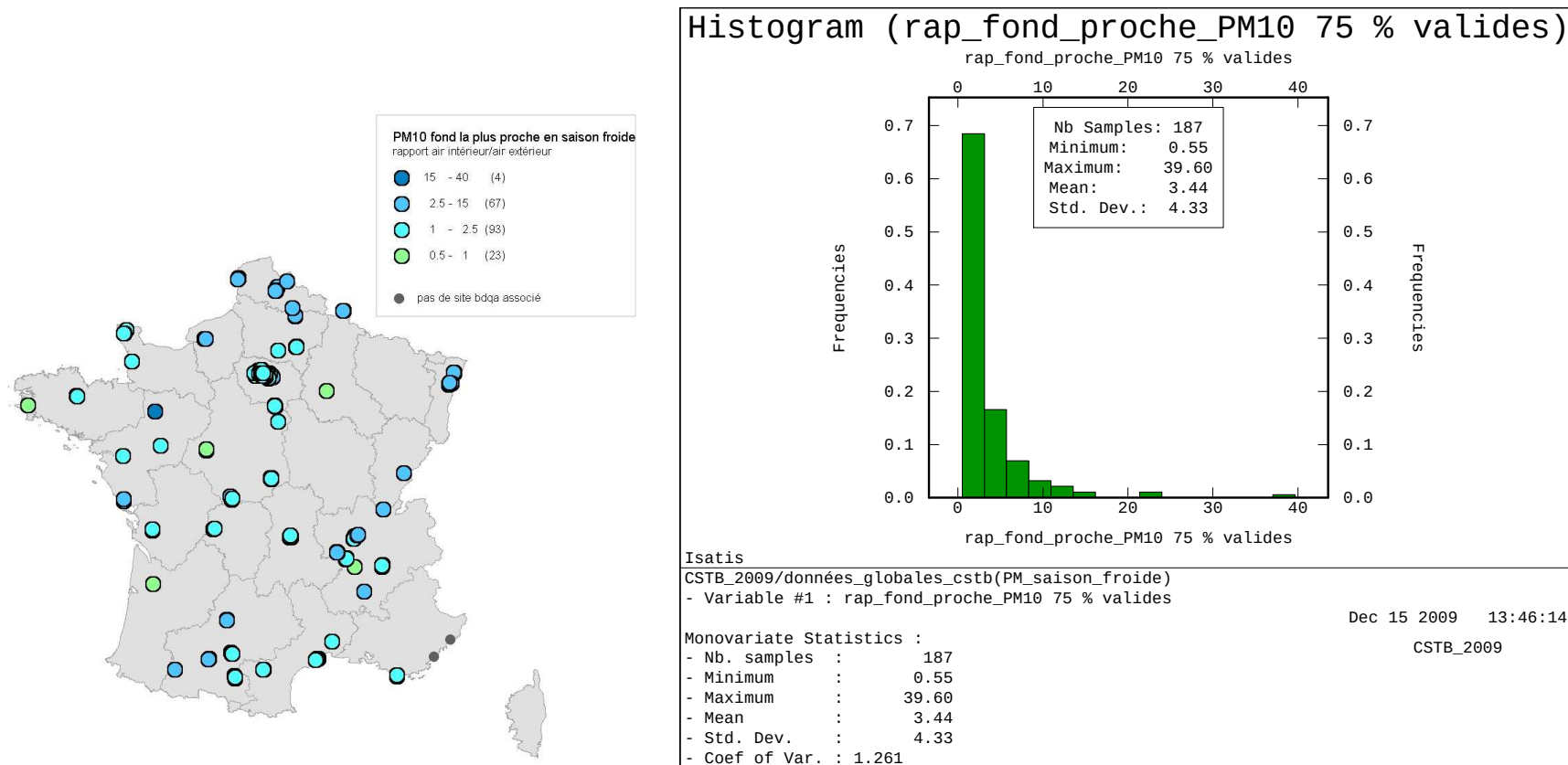


Figure 3 : Rapports *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne en **période dite froide** (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond les plus proches**.

Pour les PM_{10} comme pour les $PM_{2.5}$, le rapport concentration intérieure/concentration extérieure (I/E) est supérieur à 1 pour la majorité des logements (points de couleur bleue).

Les statistiques de ce rapport sont détaillées dans l'Annexe 6. Elles sont peu sensibles à la station de fond sélectionnée et apparemment peu sensibles à la saison (NB : les logements instrumentés durant les périodes froide et chaude ne sont pas les mêmes). Des valeurs plus élevées du rapport I/E ont été relevées en période froide, mais elles ne concernent qu'un nombre limité de logements. Les quantiles les plus élevés et la moyenne sont en revanche sensibles au fait d'inclure ou non les logements avec fumeurs.

Quelques valeurs représentatives du rapport I/E sont fournies dans le tableau ci-après.

Tableau 4 : Statistiques du rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* avec (en rouge) et sans (en noir) les logements comptant au moins un fumeur. Les concentrations extérieures sont issues des stations de fond les plus proches de chaque logement (ne sont retenus que les logements pour lesquels ces stations ont fonctionné sur au moins 75% de la période)

PM₁₀	N	Min	P25	P50	P95	Max	Moy
Toutes saisons	282 183	0.09 0.42	1.23 1.12	1.81 1.54	10.9 4.28	31.5 27.5	3.15 2.02
Période chaude	100 70	0.42 0.42	1.32 1.13	1.81 1.61	10.3 4.01	28.8 6.43	3.04 1.78
Période froide	182 113	0.09 0.45	1.22 1.12	1.81 1.53	11.8 4.19	31.5 27.5	3.21 2.17
PM_{2.5}							
Toutes saisons	221 141	0.42 0.42	1.08 0.92	1.60 1.32	12.9 3.34	45.1 5.26	3.19 1.56
Période chaude	87 61	0.50 0.50	1.16 1.08	1.72 1.46	10.5 3.41	25.2 4.13	3.05 1.68
Période froide	134 80	0.42 0.42	1.03 0.86	1.48 1.22	12.9 3.06	45.1 5.26	3.28 1.46

3.1.2.2 Corrélation entre concentrations intérieures et concentrations extérieures

Le calcul du rapport I/E est complété par celui des coefficients de corrélation entre les concentrations intérieures et extérieures et le tracé des nuages correspondants (Tableau 5, Figure 4 à Figure 5 et Annexe 6). Du fait de l'asymétrie des distributions de concentrations (cf. histogrammes de l'Annexe 5) et de l'aspect non linéaire des nuages, les coefficients de corrélation présentés sont ceux de Spearman (corrélation des rangs). Leur caractère significatif a été évalué par un test non paramétrique de corrélation des rangs (Spearman).

Tableau 5 : Coefficients de corrélation (Spearman) entre concentrations intérieures et extérieures. Entre parenthèses : nombre de paires de données valides.

	PM ₁₀	PM _{2.5}
Int.- Station1	0.083 (282) 0.091 (182) 0.048 (100)	0.145*(221) 0.117 (134) 0.105 (87)
Int. – Station2	0.078 (171) 0.080 (106) 0.057 (165)	-0.089 (91) 0.002 (52) -0.212 (39)

Int. : point intérieur

Station1 : station de fond la plus proche, moyennes établies sur 75% de données valides

Station2 : station de fond et de même typologie la plus proche, moyennes établies sur 75% de données valides

En bleu : corrélation en saison froide. En rouge : corrélation en saison chaude.

* : coefficient significativement non nul selon le test de corrélation des rangs de Spearman, pour un seuil de significativité de 0,05

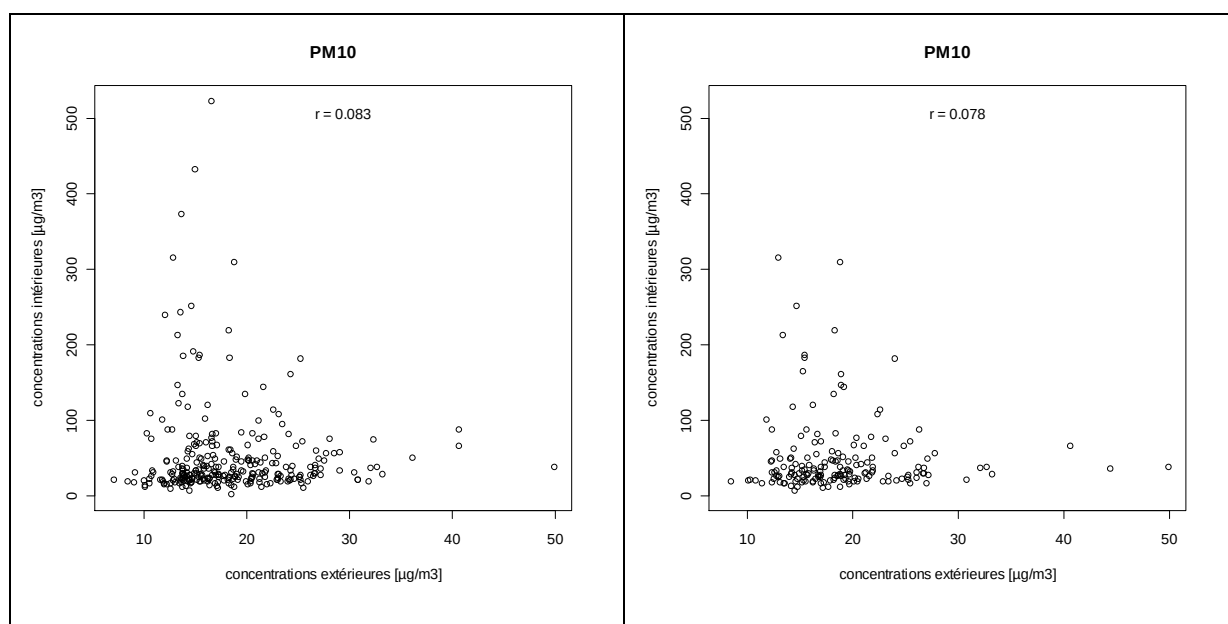


Figure 4 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de **PM₁₀** (moyennes sur 7 jours) sur l'ensemble de la campagne. **A gauche** : les valeurs extérieures sont issues des **stations de fond les plus proches**. **A droite** : les valeurs extérieures sont issues des **stations de fond et de même typologie les plus proches**. Moyennes établies sur au moins **75% de données valides**. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

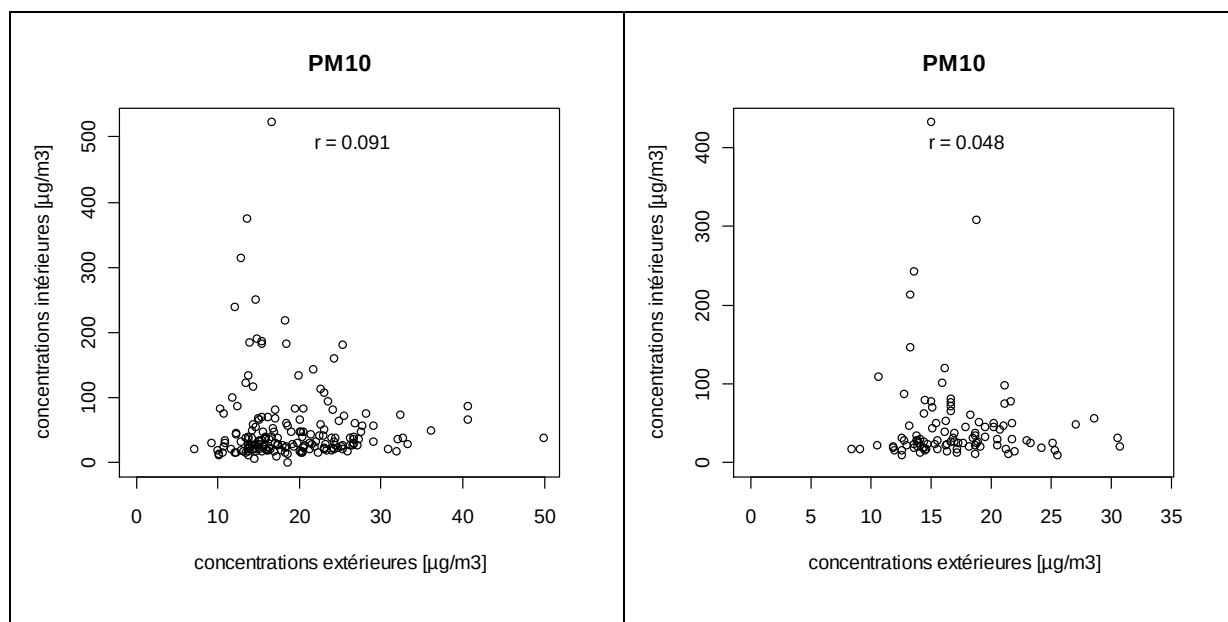


Figure 5 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de **PM₁₀** (moyennes sur 7 jours) par saison de mesure. **A gauche** : **saison froide**. **A droite** : **saison chaude**. Les valeurs extérieures sont issues des **stations de fond les plus proches**. Moyennes établies sur au moins **75% de données valides**. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

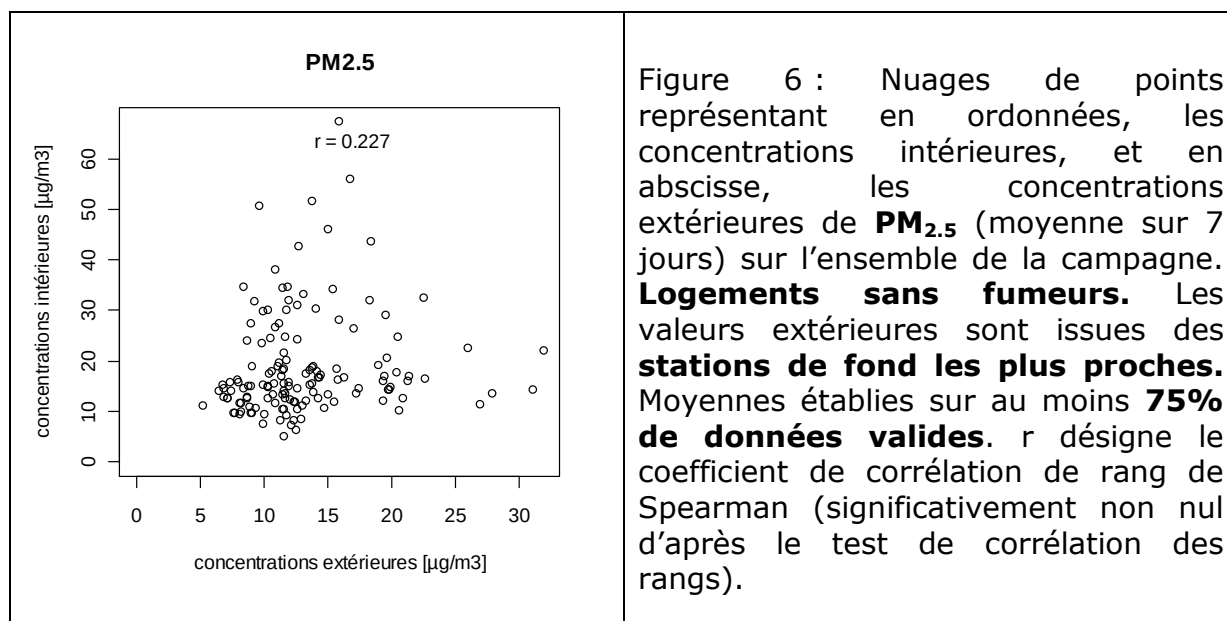
La corrélation entre les concentrations de PM_{10} et $PM_{2.5}$ mesurées à l'intérieur et à l'extérieur (station de même typologie la plus proche) des logements est faible dans tous les cas étudiés et ne révèle pas de liaison linéaire significative entre les concentrations atmosphériques intérieures et extérieures. Le fait de distinguer la saison de mesure ne modifie pas ces conclusions.

Ces résultats appellent une analyse plus approfondie. En particulier, les corrélations peuvent être recalculées :

- en ignorant les logements possiblement influencés par des sources intérieures prépondérantes (liées par exemple au type de chauffage, au tabagisme, à la pose de revêtements tels que les moquettes, ...) ;
- en distinguant les logements en zone de fond et les logements en zone de proximité routière ou industrielle ;
- en ignorant les logements trop éloignés des stations de mesure associées (critère de distance à définir).

Dans un second temps, les calculs de corrélation ont ainsi été reproduits pour les $PM_{2.5}$, en éliminant les logements influencés par le tabagisme (présence d'au moins un fumeur).

Les plages de variation des concentrations intérieures et extérieures deviennent comparables ; la corrélation s'améliore (Figure 6). Celle-ci reste cependant faible, quels que soient les critères de sélection de la station de mesure extérieure (en tenant compte ou non de la typologie de la station, en imposant ou non un critère de distance¹).



¹ Critère considéré : distance maximale entre le logement et la station de fond égale à 10 km.

3.1.3 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR

3.1.3.1 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de la typologie de l'environnement

La comparaison se limite ici à l'examen des statistiques élémentaires (Tableau 6, Figure 7 et Annexe 8).

Tableau 6 : Statistiques par typologie. Concentrations intérieures (moyennes hebdomadaires) de PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées dans les logements.

Polluant	PM ₁₀	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM _{2.5}
Typologie	rurale	périurb.	urbaine	rurale	périurb.	urbaine
N	111	90	96	108	89	93
Minimum	6.5	1.6	10.8	5.1	1.2	6.8
Maximum	374	522.6	332	220.8	567.7	274.6
Médiane	34.4	31.35	30.05	18.05	20.7	19.1
Moyenne ($\bar{C}$)	55.6	52.5	52.3	36.3	38.1	37.0
Ecart-type (σ)	56.9	75.2	61.5	42.3	67.0	45.6
Coefficient de variation ($\frac{\sigma}{\bar{C}}$)	1.02	1.43	1.17	1.17	1.76	1.23

avec

$$\sigma = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (c_i - \bar{c})^2$$

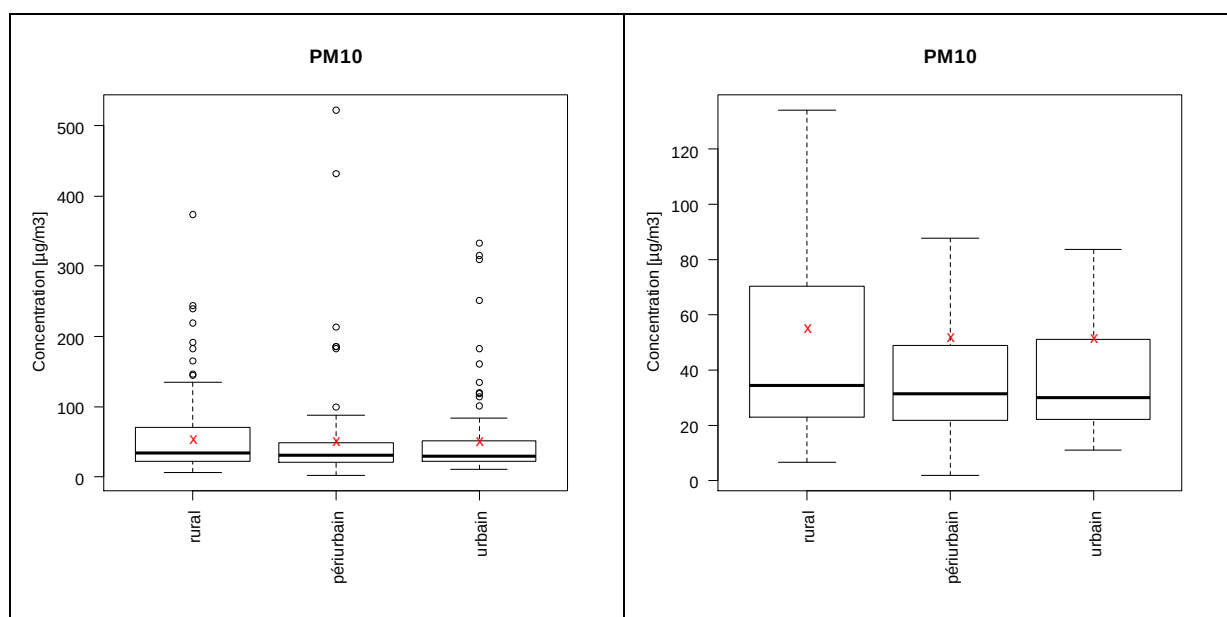


Figure 7 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM₁₀ intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

Si visuellement les distributions diffèrent selon la typologie, moyenne et médiane ne semblent pas influencées par celle-ci. Pour chaque polluant, un test de Kruskal-Wallis, test non paramétrique adapté à la comparaison d'échantillons de distribution non normale, a été réalisé. Il ne montre pas d'association particulière entre concentration intérieure et type d'environnement. Une ANOVA conduit aux mêmes conclusions.

Ces conclusions sont inchangées lorsque les logements avec fumeurs sont retirés des calculs.

La typologie des logements ne prend pas en compte la présence ou non de sources proches (sources industrielles, axes routiers). Pour examiner l'éventuelle influence de ces sources, une étude complémentaire est réalisée ci-après pour les PM_{2.5}. Les logements avec fumeurs sont exclus de cette analyse.

3.1.3.2 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'intensité du trafic proche

Trois variables du questionnaire (XPA11, XPA12 et XPA13) indiquent l'intensité du trafic dans un rayon de 100 m autour du logement pour différents types d'axes. Ces trois variables ont été rassemblées en une seule résumant l'intensité du trafic automobile : 0 : aucune, 1 : faible, 2 : moyenne, 3 : forte.

Les boîtes de dispersion des concentrations intérieures de PM_{2.5} sont représentées pour chacune des modalités de cette nouvelle variable (Figure 8).

Les logements avec fumeurs ne sont pas pris en compte dans le tracé de ces graphes. Aucun effet du trafic routier n'est mis en évidence, ni graphiquement, ni statistiquement (test de Kruskal-Wallis et ANOVA).

En saison chaude, pendant laquelle on peut supposer que les fenêtres sont plus souvent ouvertes, la dernière modalité du trafic (intensité forte) semble se distinguer par des concentrations plus élevées (Figure 9). Les effectifs par modalité sont cependant limités. Les résultats des tests statistiques ne montrent pas de différence significative.

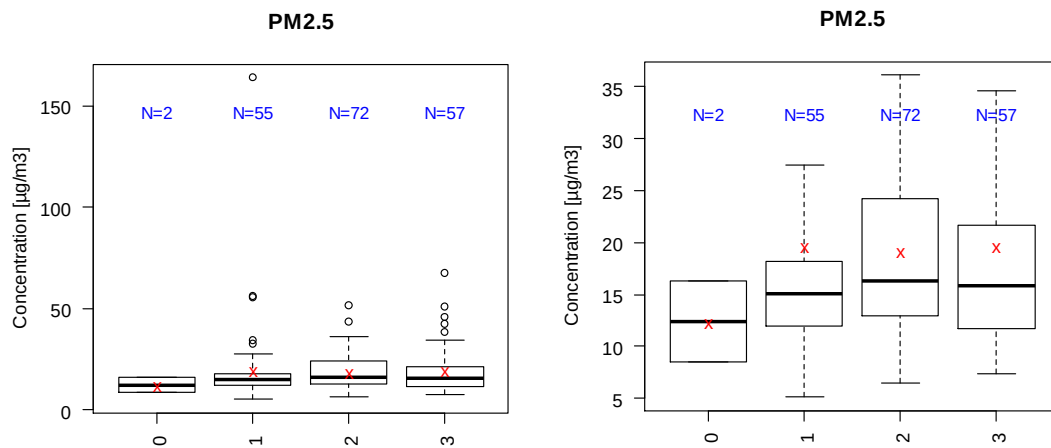


Figure 8 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM_{2.5} intérieures pour les différentes intensités de trafic, toutes saisons confondues et sans les logements comptant au moins un fumeur. Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

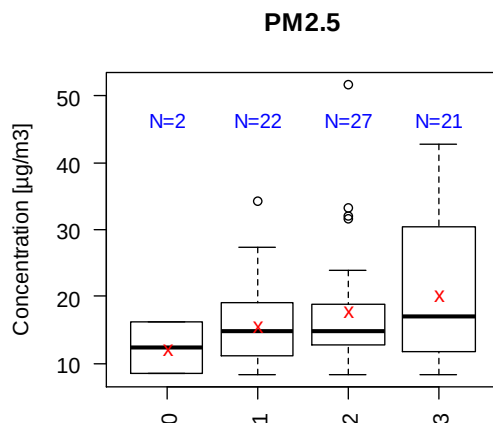


Figure 9 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM_{2.5} intérieures pour les différentes intensités de trafic, sans les logements comptant au moins un fumeur. Saison chaude. En rouge : la moyenne.

Remarques :

- Avec un échantillon de plus grande taille, cette analyse aurait pu être affinée en définissant pour la variable *trafic* un plus grand nombre de modalités, fonctions à la fois de l'intensité du trafic et du type d'axe.
- Cette analyse aurait gagné en précision si le trafic réel près de chaque logement avait été connu.
- L'impact du trafic automobile proche sur les concentrations intérieures pourrait être atténué du fait qu'en semaine, les mesures intérieures ont été réalisées entre 17h le soir et 8h du matin, donc dans un intervalle de temps qui intègre une période nocturne de moindre trafic.

3.1.3.3 Comparaison des concentrations intérieures en fonction des émissions de l'inventaire national spatialisé (INS)

Des données d'émissions en $PM_{2.5}$ ont été extraites à proximité des logements étudiés : grandes sources ponctuelles (GSP) dans un rayon de 2 km et émissions routières dans un rayon de 500 m autour de chacun des logements. Trois comparaisons ont été effectuées : GSP seules, émissions routières seules et cumul des GSP et des émissions routières.

Le tracé des nuages de points entre les concentrations intérieures de $PM_{2.5}$ et les émissions (Figure 10), complété par un test de corrélation de Spearman, ne révèle pas de lien significatif entre ces variables. La transformation des émissions en logarithme translaté ne permet pas d'améliorer les résultats (Figure 11).

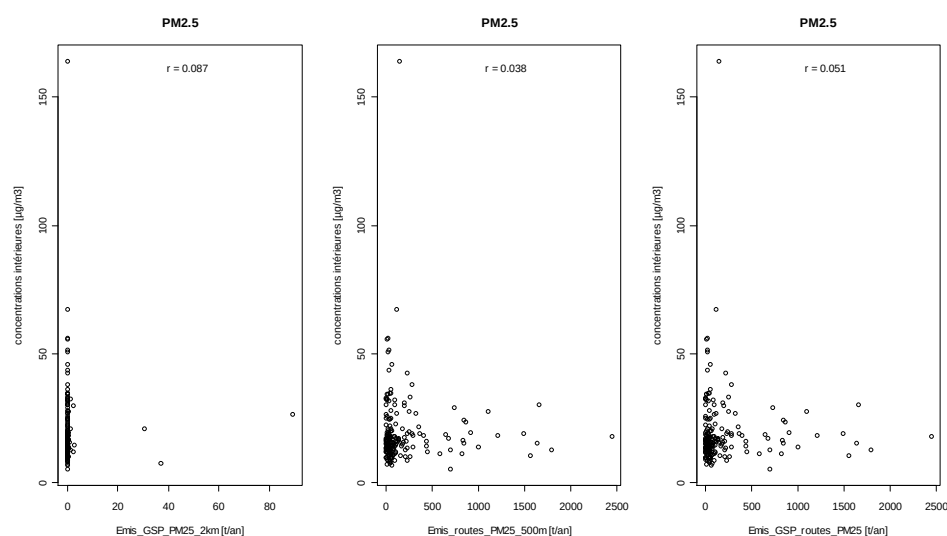


Figure 10 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures de $PM_{2.5}$, et en abscisse, les données d'émissions de $PM_{2.5}$ sur

l'ensemble de la campagne. Sans les logements comptant au moins un fumeur. A gauche : émissions des GSP. Au milieu : émissions des sources routières proches. A droite : émissions routières et GSP cumulées. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

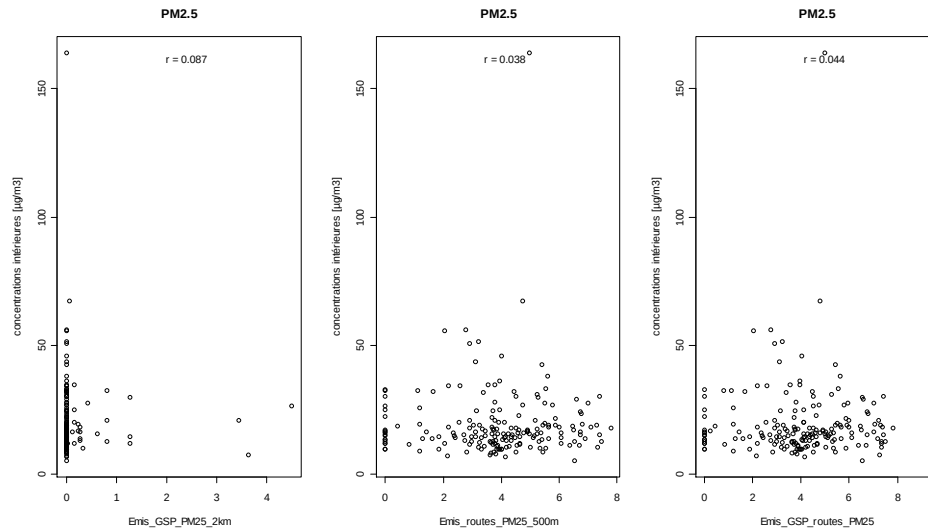


Figure 11 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures de $PM_{2.5}$, et en abscisse, les données d'émissions de $PM_{2.5}$ en log translaté. Sans les logements comptant au moins un fumeur. A gauche : émissions des GSP. Au milieu : émissions des sources routières proches. A droite: émissions routières et GSP cumulées. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

3.2 CAS DES BTEX

3.2.1 REMARQUE PRELIMINAIRE

Dans une première phase de l'étude, l'ensemble des logements a été pris en compte.

Dans la seconde partie de l'étude, les logements qui communiquent avec un garage attenant en usage ont été retirés des calculs, afin que les concentrations intérieures influencées par ces garages ne perturbent pas l'analyse, leur impact étant en effet largement décrit dans la littérature (Batterman et al, 2007).

On a considéré qu'un logement communiquait avec un garage si les conditions suivantes étaient réalisées :

- La variable DGG2 (ce garage communique-t-il directement par une porte avec) prend la valeur 1 (votre cuisine), 2 (votre séjour), 3 (un couloir, un vestibule, un dégagement du logement) ou 4 (une autre pièce du logement à préciser).
- La variable DGG3 (rentrez-vous une ou plusieurs voitures dans ce garage?) prend la valeur 1 (tous les jours) ou 2 (parfois).

Les sites où les mesures sont inférieures ou égales à la limite de quantification ont également été retirés. Le nombre de logements ainsi retenu peut être différent suivant le polluant étudié.

3.2.2 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES

3.2.2.1 Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure*

Les figures suivantes (Figure 12, Figure 13) représentent le rapport entre les concentrations intérieure et extérieure de benzène pour chacun des logements (avec ou sans garage attenant). Les figures relatives aux autres composés sont jointes en annexe (Annexe 7).

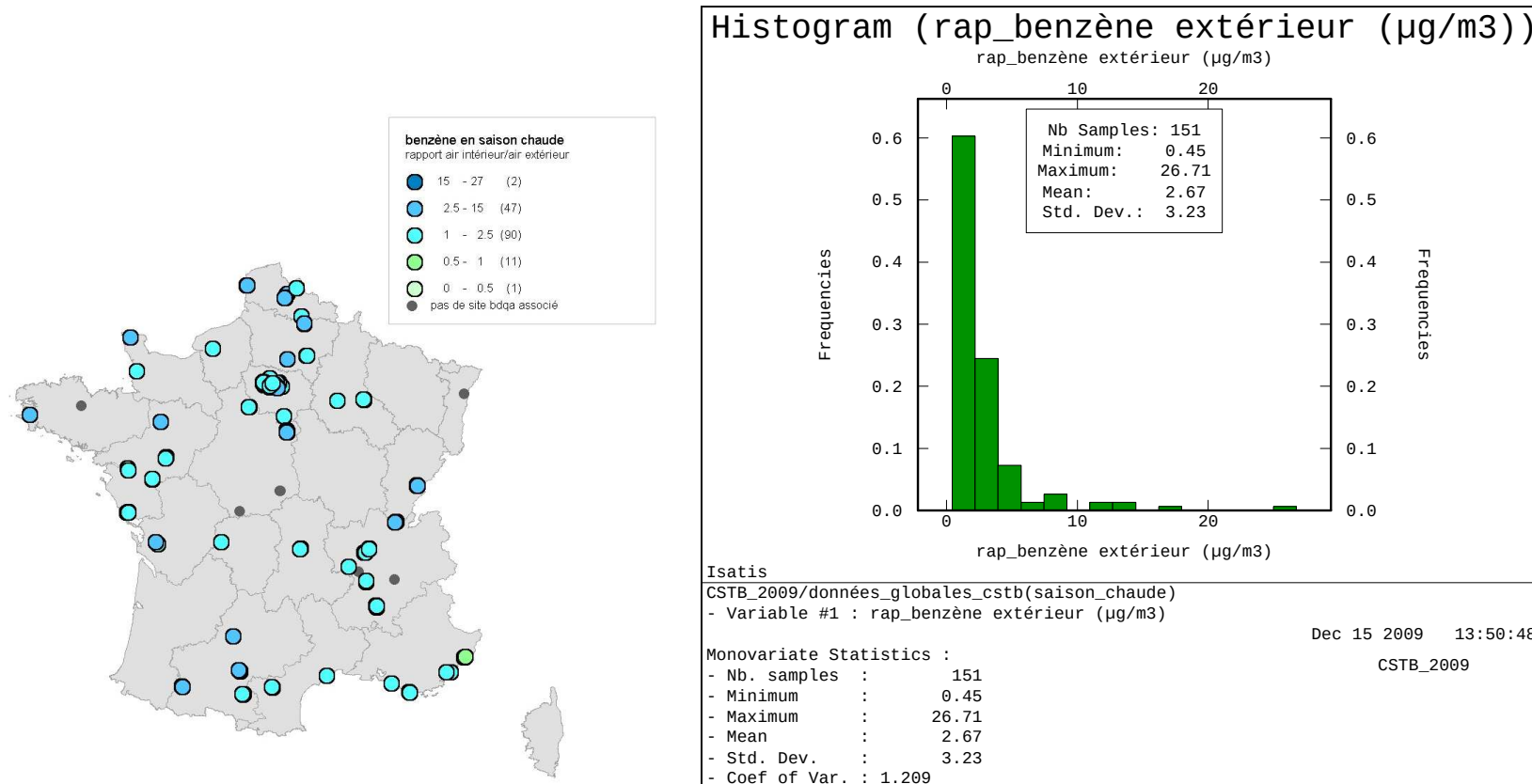


Figure 12 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de benzène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « chaude » (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

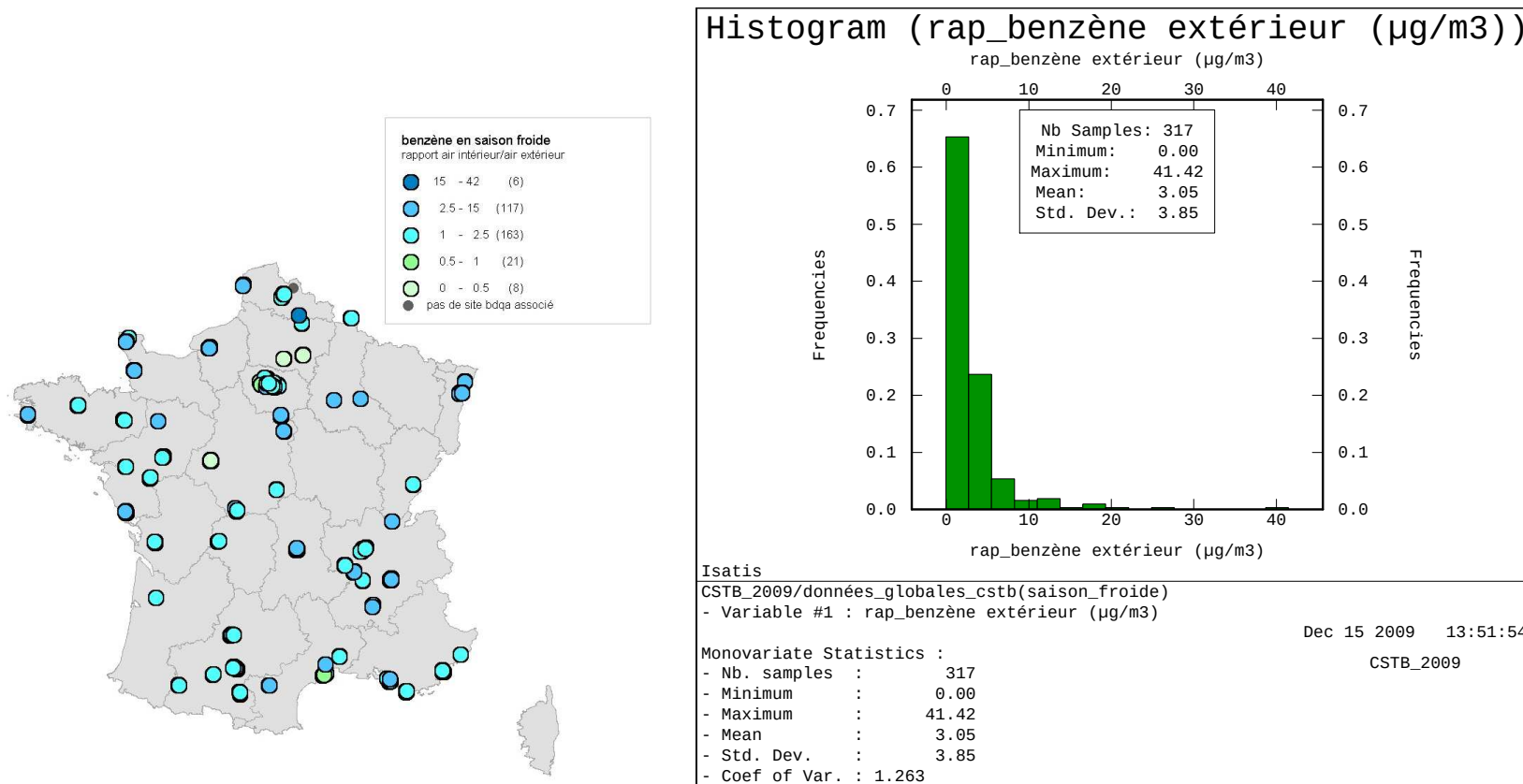


Figure 13 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de benzène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « froide » (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

Le rapport concentration intérieure/concentration extérieure (I/E) est supérieur à 1 pour la majorité des logements (points de couleur bleue).

Les statistiques de ce rapport sont détaillées dans l'Annexe 7. Elles sont peu sensibles à la saison (NB : les logements instrumentés durant les périodes froide et chaude ne sont pas les mêmes). Les quantiles les plus élevés et la moyenne sont en revanche sensibles au fait d'inclure ou non les logements avec garage attenant.

Quelques valeurs représentatives du rapport I/E sont fournies dans le tableau ci-après pour le benzène.

Tableau 7 : Statistiques du rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* avec (en rouge) et sans (en noir) les logements possédant un garage attenant. Les concentrations extérieures sont issues des mesures en bord de fenêtre.

	N	Min	P25	P50	P95	Max	Moy
Toutes saisons	468 365	0.00 0.00	1.09 1.03	1.73 1.48	8.71 5.93	41.42 41.42	2.93 2.45
Période chaude	166 139	0.00 0.00	1.06 1.02	1.60 1.50	9.24 6.42	41.42 41.42	2.92 2.59
Période froide	302 226	0.00 0.00	1.12 1.04	1.78 1.48	8.14 5.70	27.25 26.71	2.93 2.36

3.2.2.2 Corrélation entre concentrations intérieures et concentrations extérieures

Le calcul du rapport I/E est complété par celui des coefficients de corrélation entre les concentrations intérieures et extérieures et le tracé des nuages correspondants (Tableau 8, Figure 14, Figure 15 et Annexe 7). Du fait de l'asymétrie des distributions de concentrations (cf. histogrammes de l'Annexe 5) et de l'aspect non linéaire des nuages, les coefficients de corrélation présentés sont ceux de Spearman (corrélation des rangs). Leur caractère significatif a été évalué par un test non paramétrique de corrélation des rangs (Spearman).

Tableau 8 : Coefficients de corrélation (Spearman) entre concentrations intérieures et extérieures. Tous types de logements. Entre parenthèses : nombre de paires de données valides.

	benzène	toluène	éthylbenzène	m+p-xylène	o-xylène
Int.-	0.442* (504)	0.271* (504)	0.359* (504)	0.287* (504)	0.347* (504)
B. de f.	0.445* (329)	0.259* (329)	0.364* (329)	0.266* (329)	0.347* (329)
	0.431* (175)	0.296* (175)	0.349* (175)	0.324* (175)	0.345 * (175)

Int. : point intérieur

B. de f. : bord de fenêtre

En bleu : corrélation en saison froide. En rouge : corrélation en saison chaude.

* : coefficient significativement non nul selon le test de corrélation des rangs de Spearman, pour un seuil de significativité de 0,05

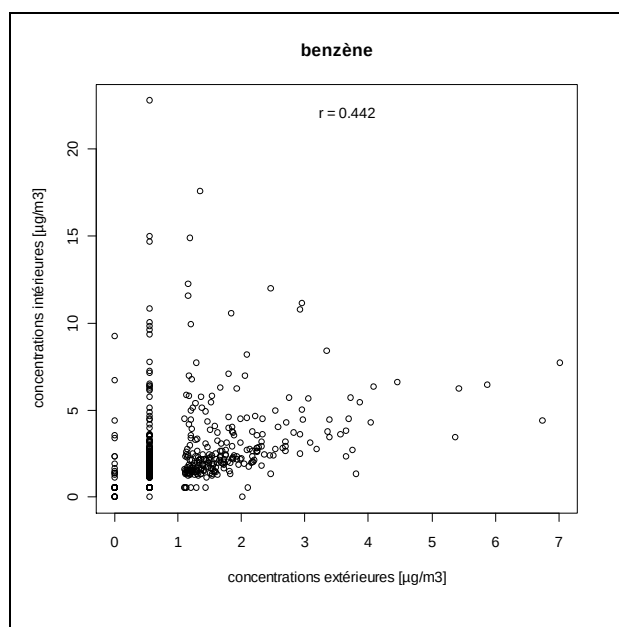


Figure 14 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de benzène (moyennes sur 7 jours) sur l'ensemble de la campagne. Tous types de logements. Les valeurs extérieures ont été mesurées en bord de fenêtre. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

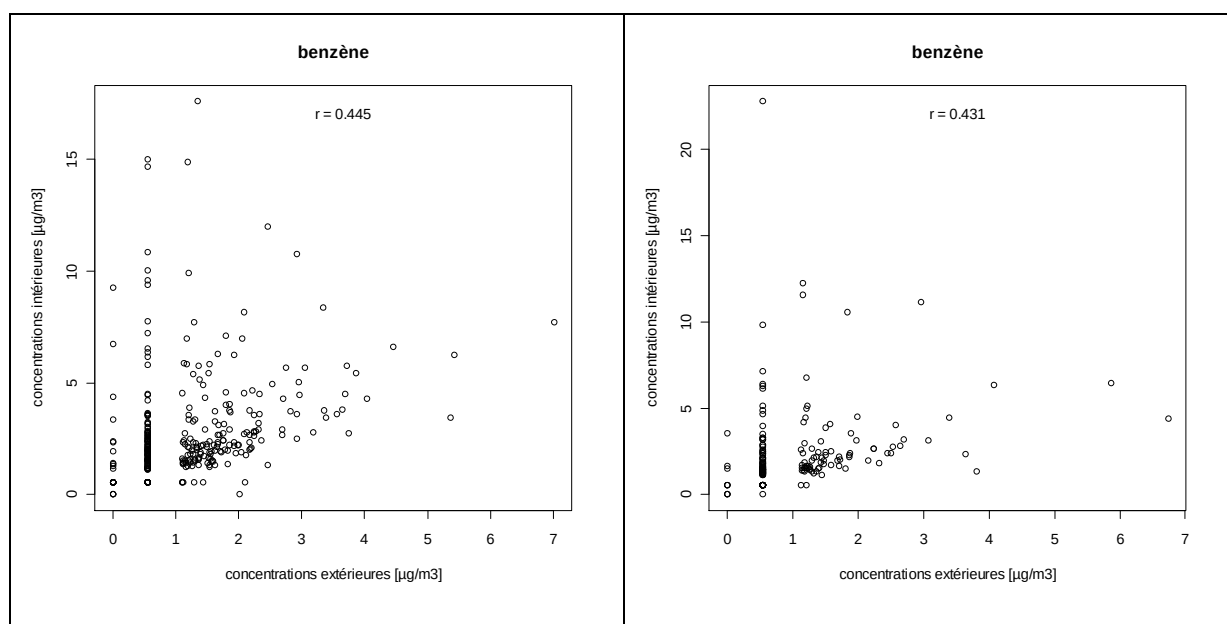


Figure 15 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de benzène (moyennes sur 7 jours) par saison de mesure. A gauche : saison froide. A droite : saison chaude. Tous types de logements. Les valeurs extérieures ont été mesurées en bord de fenêtre. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

La corrélation entre les concentrations de BTEX mesurées à l'intérieur et à l'extérieur (bord de fenêtre) des logements est médiocre, mais significative. Le fait de distinguer la saison de mesure ne modifie pas ces conclusions.

Ces résultats appellent une analyse plus approfondie. En particulier, les corrélations peuvent être recalculées :

- en ignorant les logements possiblement influencés par des sources intérieures prépondérantes (garage attenant en l'occurrence) ;
- en distinguant les logements en zone de fond et les logements en zone de proximité routière ou industrielle.

Dans un second temps, les calculs de corrélation ont été ainsi reproduits pour les BTEX, en retirant les valeurs inférieures à la limite de quantification* et en éliminant les logements qui communiquent avec un garage.

Benzène : 0,55 µg/m³; toluène : 0,65 µg/m³; éthylbenzène : 0,45 µg/m³; m+p-xylène : 0,75 µg/m³; o-xylène : 0,3 µg/m³

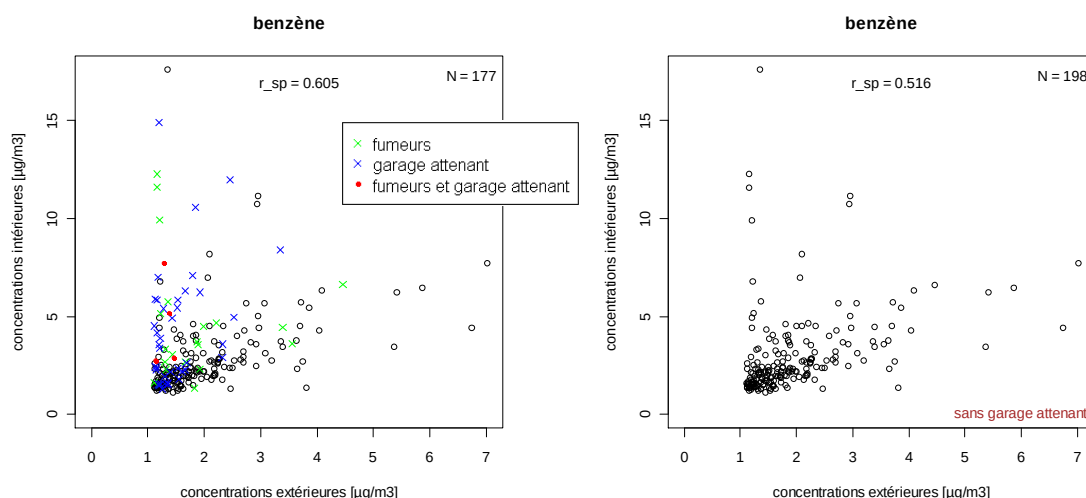


Figure 16 : Nuages de points représentant en ordonnées, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de benzène (moyenne sur 7 jours) sur l'ensemble de la campagne. A gauche, tous types de logements. A droite, logements sans garage attenant. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

La corrélation entre les concentrations intérieures et extérieures n'est pas améliorée mais reste significative (Figure 16). Les figures relatives aux autres composés sont présentées dans l'Annexe 7.

En complément, l'effet du taux moyen de renouvellement d'air sur cette corrélation est examiné. La Figure 17 représente les concentrations intérieures de benzène en fonction des concentrations extérieures selon différentes classes (de même effectif) du taux de renouvellement. Aucune tendance n'apparaît dans ces graphes. Ce constat vaut pour les autres composés.

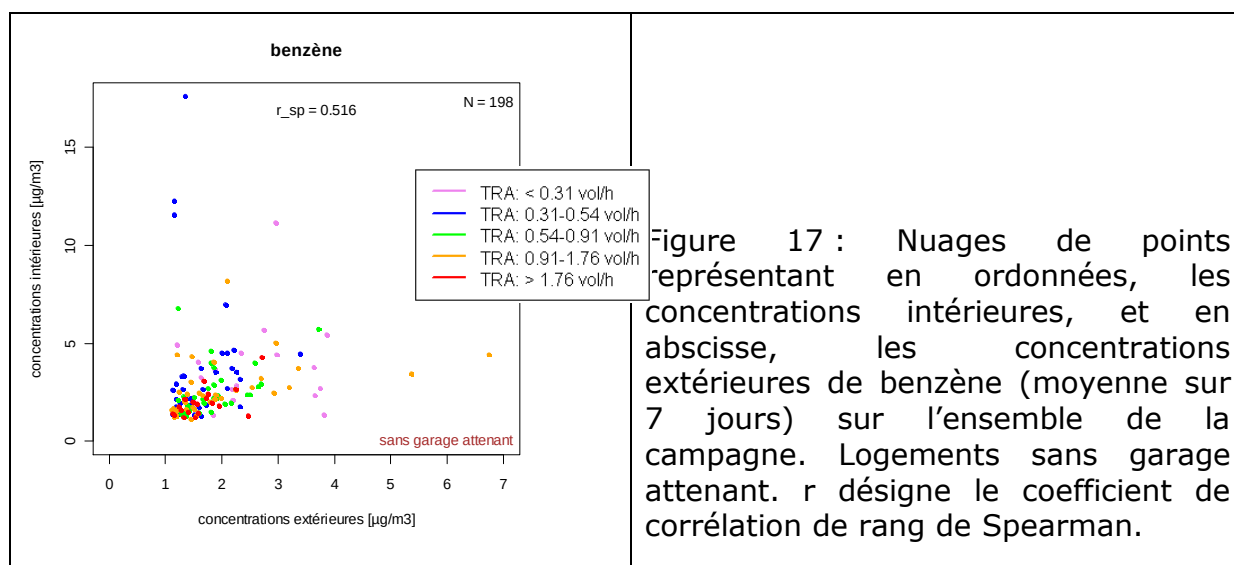


Figure 17 : Nuages de points représentant en ordonnées, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de benzène (moyenne sur 7 jours) sur l'ensemble de la campagne. Logements sans garage attenant. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

3.2.3 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR

3.2.3.1 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de la typologie de l'environnement

Si les distributions diffèrent selon la typologie, moyenne et médiane ne semblent pas influencées par celle-ci (Figure 18). Pour chaque polluant, un test de Kruskal-Wallis, test non paramétrique adapté à la comparaison d'échantillons de distribution non normale, a été réalisé. Il ne montre pas d'association particulière entre concentration intérieure et type d'environnement extérieur.

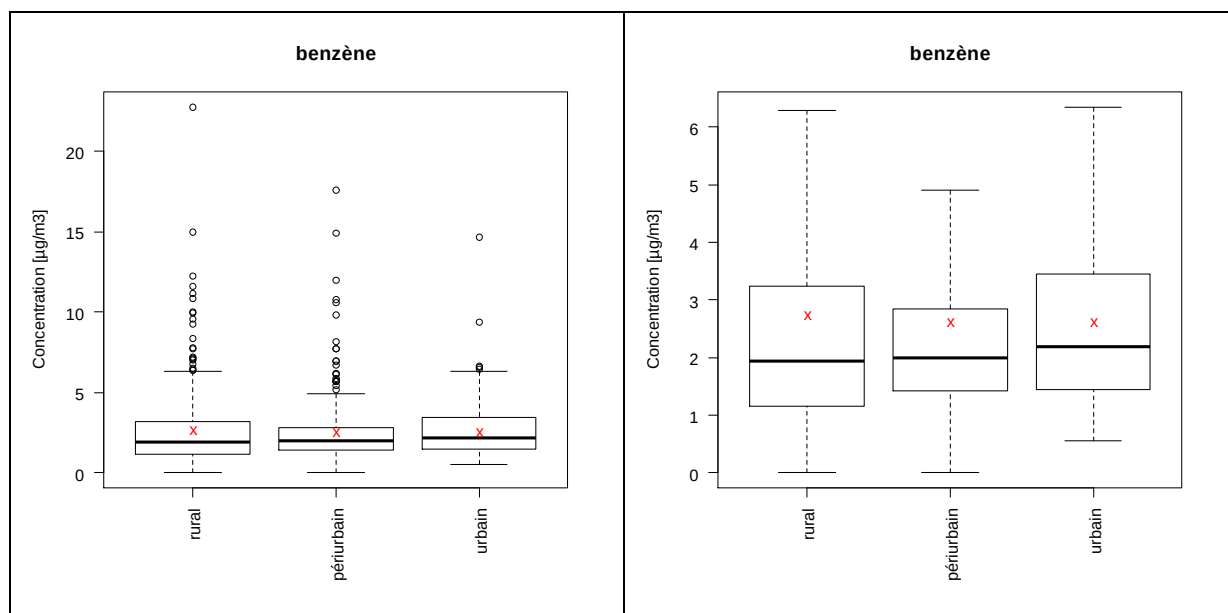


Figure 18 : Boîtes à moustaches des concentrations de benzène intérieures pour les différentes typologies considérées. Tous types de logements. Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

La même analyse a été refaite sans les logements qui communiquent avec un garage (Figure 19). Les boîtes de dispersion suggèrent une augmentation des concentrations dans les logements situés en milieu urbain. Il est toutefois délicat de conclure fermement. Selon le test de Kruskal-Wallis, les différences entre typologies sont significatives pour l'ensemble des BTEX. Selon l'ANOVA réalisée en complément, les moyennes par typologie ne diffèrent pas significativement.

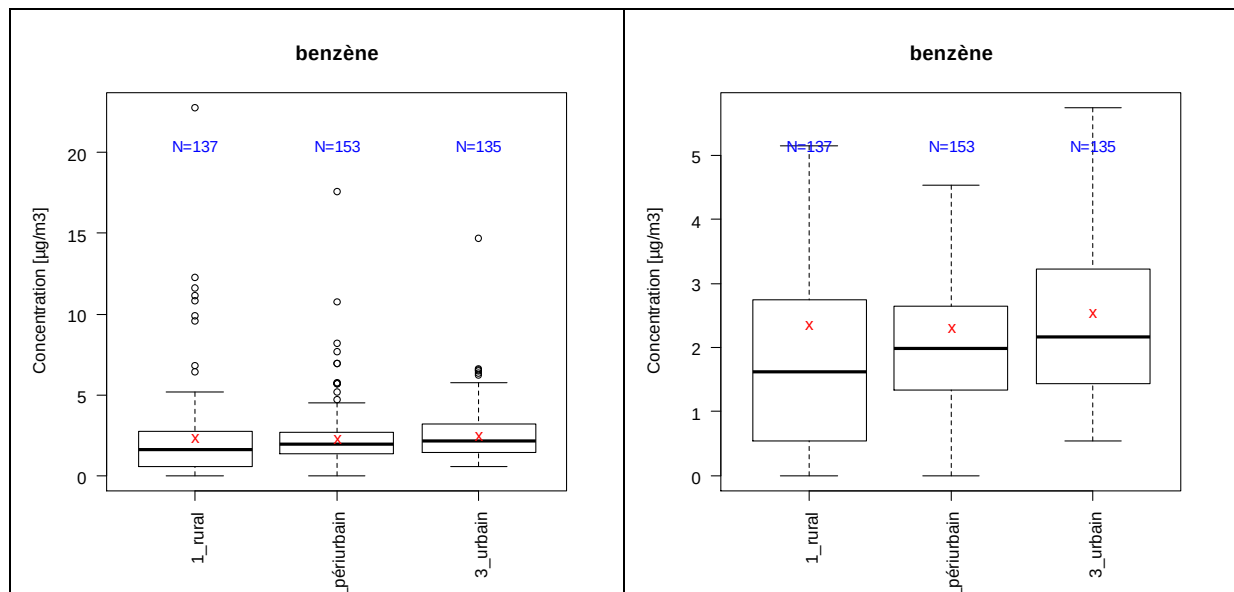


Figure 19 : Boîtes à moustaches des concentrations de benzène intérieures pour les différentes typologies considérées. **Logements sans garage attenant.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

Comme pour les $PM_{2.5}$, cette analyse est affinée en tenant compte de sources extérieures proches.

3.2.3.2 Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'intensité du trafic proche

Dans ces calculs, **les logements qui communiquent avec un garage ont été retirés de l'échantillon.**

Trois variables du questionnaire (XPA11, XPA12 et XPA13) indiquent l'intensité du trafic dans un rayon de 100 m autour du logement pour différents types d'axes. Ces trois variables ont été rassemblées en une seule résumant l'intensité du trafic automobile (Figure 20) : 0 : aucune, 1 : faible, 2 : moyenne, 3 : forte.

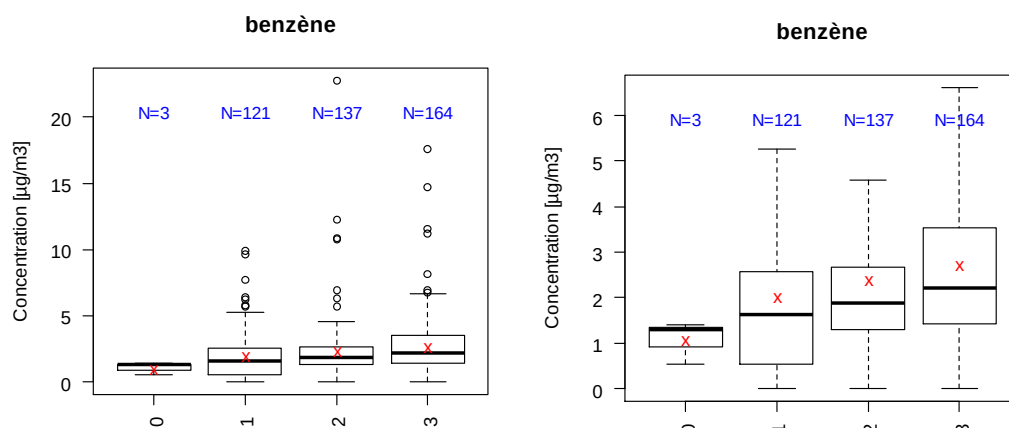


Figure 20: Boîtes à moustaches des concentrations intérieures de benzène pour les différentes intensités de trafic automobile. **Logements sans garage attenant.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

Les tests statistiques de Kruskal-Wallis et d'ANOVA sont utilisés pour comparer les moyennes entre les différentes intensités de trafic. Le Tableau 9 présente pour chaque polluant les résultats de ces tests.

Ceux-ci suggèrent principalement une influence de l'intensité du trafic sur les concentrations intérieures de benzène (d'après l'ANOVA, les concentrations moyennes de benzène des classes 1 et 3 sont significativement différentes). La différence entre les classes 1 et 3 persiste dans les résultats par saison mais de façon moins marquée et non significative au seuil de risque de 5%.

Tableau 9 : Comparaison des concentrations intérieures en fonction de l'intensité du trafic automobile. Tests statistiques de Kruskal-Wallis et ANOVA. En italique : résultat du test sans les 3 logements éloignés des routes (classe 0).

	benzène	toluène	éthylbenzène	m.p.xylène	o.xylène
Kruskal-Wallis	0.0009212* <i>0.001112*</i>	0.003104* <i>0.005371*</i>	0.001745* <i>0.0005531*</i>	0.002888* <i>0.0009733*</i>	0.006536* <i>0.002282*</i>
ANOVA	0.0427* <i>0.0302*</i>	0.5651 <i>0.4977</i>	0.2950 <i>0.2522</i>	0.1352 <i>0.2618</i>	0.03083 <i>0.523</i>

* moyennes significativement différentes

L'INS étant encore en cours de développement, il n'est pas possible d'extraire les données d'émissions associées aux BTEX.

4. CONCLUSION

Les PM_{10} , $PM_{2.5}$ et les BTEX ont été sélectionnés comme traceurs de la pollution atmosphérique extérieure afin d'évaluer les relations entre qualité de l'air intérieur et milieu extérieur. La base de données issue de la campagne nationale « Logements » contient toutes les informations qualitatives et quantitatives relatives au milieu intérieur. Elle inclut aussi des informations qualitatives sur le milieu extérieur et des données de mesure de BTEX en bord de fenêtre des logements enquêtés.

La première partie du travail a consisté à compléter ces données :

- en caractérisant plus précisément l'environnement extérieur des logements ;
- en associant à chaque logement des données de concentrations extérieures de PM_{10} et $PM_{2.5}$ extraites de la BDQA.

Une méthodologie fondée sur des variables d'occupation du sol, de population et de distance a été développée et mise en œuvre au moyen d'un SIG. Seuls les 301 logements pour lesquels des concentrations intérieures de particules sont disponibles ont été considérés. En se limitant à un rayon de recherche de 100 km, on a fait correspondre à chacun d'eux, lorsqu'il en existait une :

- la station de fond la plus proche ;
- la station de même typologie la plus proche.

En moyenne, la distance station de fond – logement est d'environ 16 km pour les PM_{10} (300/301 logements concernés) et 22 km pour les $PM_{2.5}$ (252/301 logements concernés), mais elle peut atteindre plus de 90 km. Une même station peut être affectée à plusieurs logements.

Si pour les $PM_{2.5}$ et certains BTEX, notamment le benzène, les rapports intérieur/extérieur et les nuages de points suggèrent une contribution non négligeable des concentrations extérieures, les résultats de cette étude n'ont pas permis de caractériser précisément les relations entre la qualité de l'air intérieur et l'environnement extérieur des logements (influence de la pollution de fond, effet des sources proches, ...). Ces résultats sont résumés ci-après pour chaque famille de polluants.

Particules

La valeur médiane du rapport I/E est d'environ 1,8 pour les PM_{10} (toutes périodes confondues). Elle est légèrement plus faible (1,6) pour les $PM_{2.5}$. Aucune liaison significative entre les concentrations intérieures et extérieures n'a pu être mise en évidence, ni pour les PM_{10} , ni pour les $PM_{2.5}$ (sauf pour les $PM_{2.5}$ toutes saisons confondues).

Ce travail exploratoire ne montre pas non plus d'association particulière entre les concentrations intérieures et la typologie du milieu environnant (rurale, périurbaine, urbaine).

Une analyse complémentaire orientée sur les $PM_{2.5}$ a été réalisée. Les logements comptant au moins un fumeur ont été exclus de cette analyse. D'après les concentrations de particules très élevées mesurées dans ces logements et les

données de la bibliographie, le tabagisme peut participer de façon prépondérante à la pollution particulaire intérieure. Sans ces logements, le ratio I/E médian diminue (1,3 pour les $PM_{2.5}$) et la corrélation entre les concentrations intérieures et extérieures de $PM_{2.5}$ s'améliore. Cette corrélation devient significative sur l'ensemble de la campagne et pour la saison froide, mais elle reste relativement faible. Aucune influence des sources de pollution voisines n'a pu être détectée.

L'absence de mesures extérieures de particules dans l'environnement proche des logements constitue une limite de cette étude. Cependant, compte tenu des différentes variables extérieures considérées (typologie du milieu, inventaire des émissions, variables qualitatives du questionnaire) et des analyses réalisées à l'aide de ces variables, la difficulté de caractériser les relations intérieur-extérieur ne peut lui être entièrement imputée. Ce résultat rejoint les remarques de Chen et Zhao (2010) qui se sont heurtés à cette même difficulté (cf. introduction).

BTEX

Pour les BTEX, ce travail a bénéficié des données de concentrations extérieures mesurées à proximité immédiate des logements lors de la campagne. La valeur médiane du rapport I/E, toutes saisons confondues, est d'environ 1,7 pour le benzène, légèrement supérieure (2,0-2,2) pour l'éthylbenzène et le xylène, et sensiblement plus grande (3,0) pour le toluène. Les concentrations intérieures les plus élevées correspondent majoritairement à la présence d'un garage attenant. Sans ces logements, le rapport médian I/E n'est plus que de 1,5 pour le benzène, 1,6-1,8 pour l'éthylbenzène et le xylène, et 2,4 pour le toluène. Les concentrations intérieures et extérieures de BTEX sont en outre visiblement liées, avec une corrélation de Spearman d'environ 0,5-0,6 pour le benzène et 0,4-0,5 pour les autres composés. L'étude des concentrations intérieures en fonction du niveau de trafic indique, en ce qui concerne le benzène, un possible impact des émissions routières voisines. Le taux de renouvellement d'air ne semble pas influencer la corrélation intérieur-extérieur.

Pour analyser plus en détail l'effet du trafic sur les concentrations intérieures, il serait utile de disposer de données de comptage près de chaque logement tout au long de la campagne. Ces données pourraient être exploitées directement dans l'analyse ou utilisées dans une modélisation fine des concentrations près des logements. D'autre part, l'effet de la saison n'a été que partiellement examiné du fait que les logements étudiés pendant la saison chaude et la saison froide constituent deux ensembles distincts. Un échantillon commun de logements, qui ferait l'objet de mesures pendant les deux saisons, permettrait de mieux évaluer cet effet.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Batterman S., Jia C.S., Hatzivasilis G., 2007. Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: A major exposure source. *Environmental Research*, 104(2): 224-240.

Chen C., Zhao B., 2010. Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45, 275-288.

Chiappini L., 2010. Etat des lieux des niveaux de benzène en air intérieur. Rapport LCSQA, ref. DRC-10-111581-08963A, www.lcsqa.org.

Duboudin C., Lucas J.P., et Grégoire A., 2010. Compléter les non-réponses dans un questionnaire très hiérarchisé : utilisation d'une méthode semi-automatique originale. *Environnement, Risques & Santé*, 9(3), 223-230.

Lucas J.P., Ramalho O., Kirchner S., Ribéron J., 2009. État de la ventilation dans le parc de logements français. Référence DESE/SB – 2009-037. [http://www.air-interieur.org/userdata/documents/272 Etat de ventilation 2009 037.pdf](http://www.air-interieur.org/userdata/documents/272_Etat_de_ventilation_2009_037.pdf)

ANNEXES

ANNEXE 1 : TYPOLOGIES DES STATIONS DE LA BDQA

Stations de fond	Station urbaine	Suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de "fond" dans les centres urbains. La densité de population doit être supérieure à 3000 habitants/km ² pour les agglomérations de moins de 500 000 habitants et 4000 habitants/km ² pour les autres agglomérations.
	Station périurbaine	Suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de "fond" à la périphérie du centre urbain. Couronne périurbaine ou périphérie intérieure du pôle urbain.
	Station rurale régionale	Surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de "fond" notamment photochimique à l'échelle régionale. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et notamment dans les zones rurales. Espace rural, couronne périurbaine ou communes multipolarisées.
	Station rurale nationale	Surveillance dans les zones rurales de la pollution atmosphérique dite de "fond" issue des transports de masses d'air à longue distance, notamment transfrontaliers. Communes rurales à très faible densité de population et d'activité.
Stations de proximité	Station industrielle	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum auquel la population riveraine d'une source fixe est susceptible d'être exposée, par des phénomènes de panache ou d'accumulation.
	Station trafic	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée

ANNEXE 2 : CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DE LA BASE CORINE LAND COVER

Niveau

1

Code	Libellé français
1	Territoires artificialisés
2	Territoires agricoles
3	Forêts et milieux semi-naturels
4	Zones humides
5	Surfaces en eau

Niveau

2

Code	Libellé français
11	Zones urbanisées
12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication
13	Mines, décharges et chantiers
14	Espaces verts artificialisés, non agricoles
21	Terres arables
22	Cultures permanentes
23	Prairies
24	Zones agricoles hétérogènes
31	Forêts
32	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
33	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
41	Zones humides intérieures
42	Zones humides maritimes
51	Eaux continentales
52	Eaux maritimes

Niveau

3

Code	Libellé français
111	Tissu urbain continu
112	Tissu urbain discontinu
121	Zones industrielles et commerciales
122	Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
123	Zones portuaires
124	Aéroports
131	Extraction de matériaux
132	Décharges
133	Chantiers
141	Espaces verts urbains

142	Equipements sportifs et de loisirs
211	Terres arables hors périmètre' d'irrigation
212	Périmètres irrigués en permanence
213	Rizières
221	Vignobles
222	Vergers et petits fruits
223	Oliveraies
231	Prairies
241	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes
242	Systèmes cultureux et parcellaires complexes
243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
244	Territoires agro-forestiers
311	Forêts de feuillus
312	Forêts de conifères
313	Forêts mélangées
321	Pelouses et pâturages naturels
322	Landes et broussailles
323	Végétation sclérophylle
324	Forêt et végétation arbustive en mutation
331	Plages, dunes et sable
332	Roches nues
333	Végétation clairsemée
334	Zones incendiées
335	Glaciers et neiges éternelles
411	Marais intérieurs
412	Tourbières
421	Marais maritimes
422	Marais salants
423	Zones intertidales
511	Cours et voies d'eau
512	Plans d'eau
521	Lagunes littorales
522	Estuaires
523	Mers et océans

ANNEXE 3 : LOGEMENTS EXCLUS OU REQUALIFIES

Logements exclus

idn_lieu
02-M007
01-M009
02-M052
02-M053
02-M063
03-M026
03-M032
03-M047
06-M025
07-M007
07-M014
07-M024
08-M008
10-M017

Logements requalifiés

Identifiant du site	Ancien code d'occupation du sol	Nouveau code d'occupation du sol
01-M001	523	111
02-M040	421	112
06-M064	511	112
07-M034	522	211

ANNEXE 4 : STATIONS DE MESURE DE LA BDQA ASSOCIEES AUX LOGEMENTS

PM ₁₀ : station de fond la plus proche		PM ₁₀ : station de même typologie la plus proche		PM _{2.5} : station de fond la plus proche	PM _{2.5} : station de même typologie la plus proche
3014	16038	3069	23107	3043	4002
3043	17004	3084	25045	4002	4024
3047	18008	4001	26016	4034	4034
3062	18032	4002	28010	4055	4055
3065	19005	4004	28019	4156	4156
3069	19021	4014	28020	7004	7008
4001	19032	4024	29421	7008	10009
4002	19051	4055	29424	8016	10025
4004	20020	4069	30033	9103	11029
4014	20046	4098	32006	10025	12021
4055	21030	4099	33301	11024	14009
4098	21035	4150	34043	11029	16038
4099	21040	4156	36005	12021	18008
4150	23078	4319		12030	18042
4156	23107	4328		13007	20046
4328	23137	7009		14009	21035
6007	23152	9010		15043	23078
6009	25036	9020		16038	23113
7004	25048	10011		18042	23137
7008	27002	10032		18043	27004
7009	28002	12021		20046	31013
8016	28006	12027		21035	32003
8614	28020	12030		23078	
9002	29421	12040		23113	
9017	29426	12043		23131	
10032	31001	14002		23137	
11024	31032	16027		25036	
12004	33301	18032		27004	
12021	34018	18039		31002	
12027	34025	18042		31013	
12030	34032	19005		32003	
12035	34042	20020		34014	
12039	34043	20037		34025	
12040	34051	20045			
14031	35002	20046			
14049	36001	21019			
15017	36004	21040			
16027	36005	23078			
16029					

ANNEXE 5 : HISTOGRAMMES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES

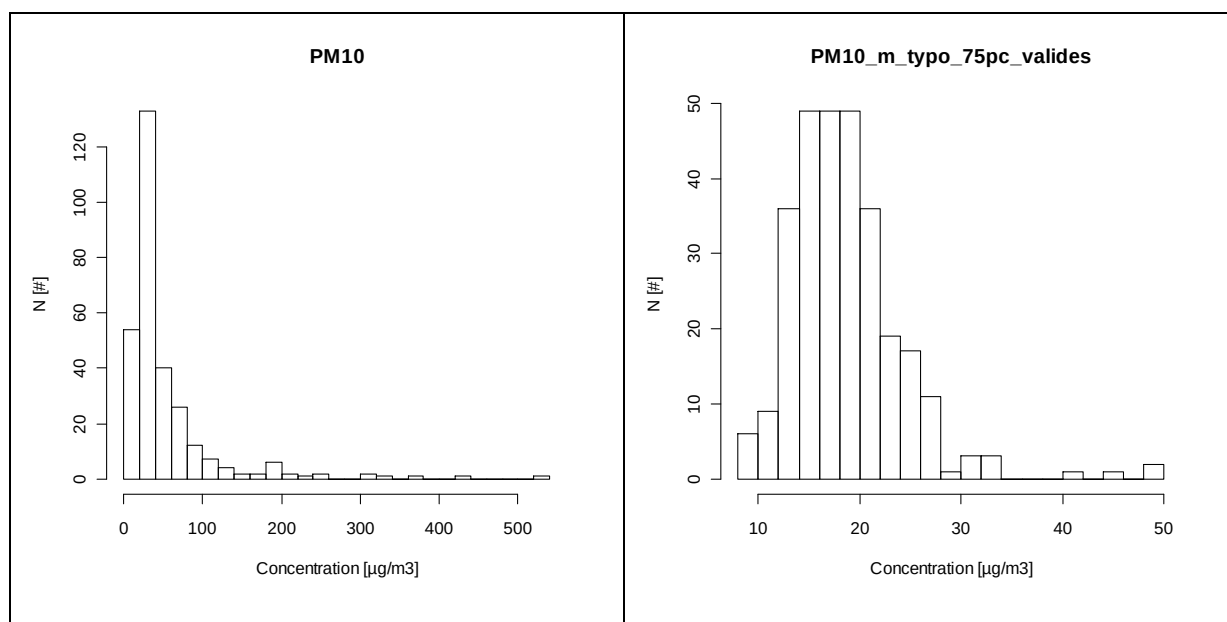


Figure 21: Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

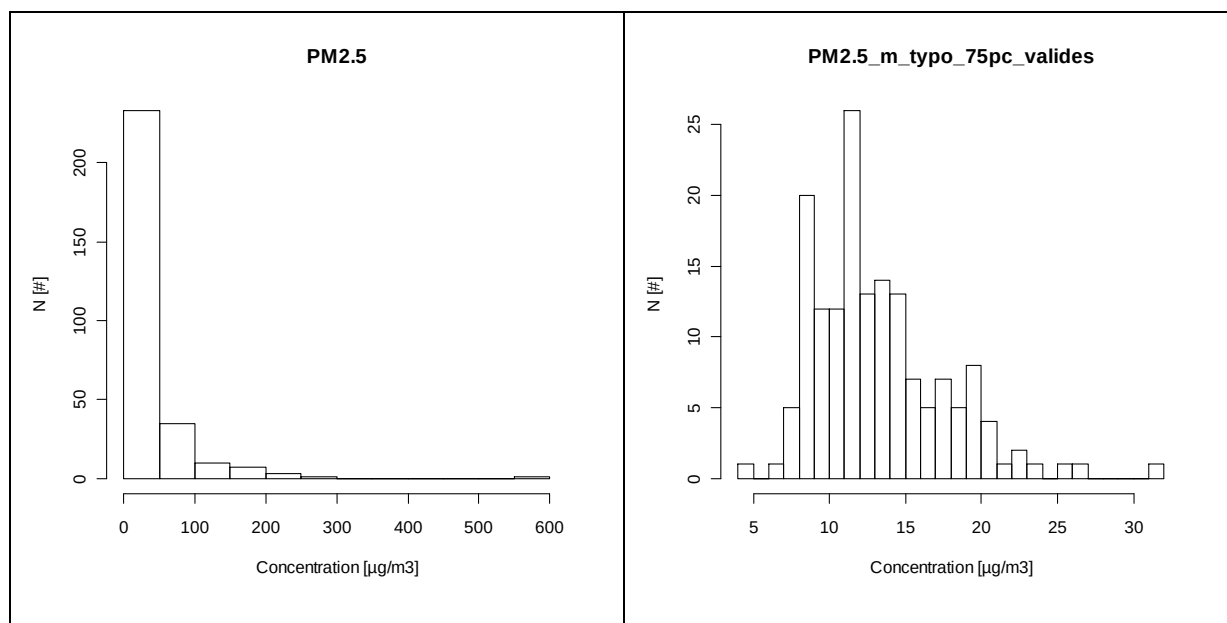


Figure 22 : Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) de PM_{2.5} sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

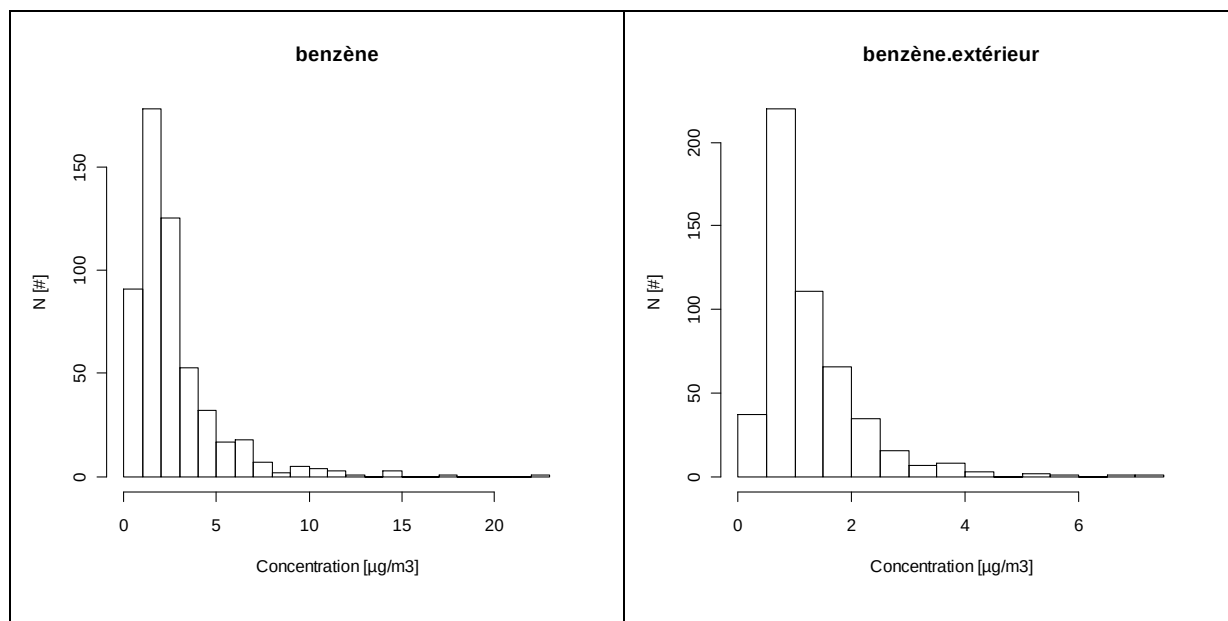


Figure 23: Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) de benzène sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

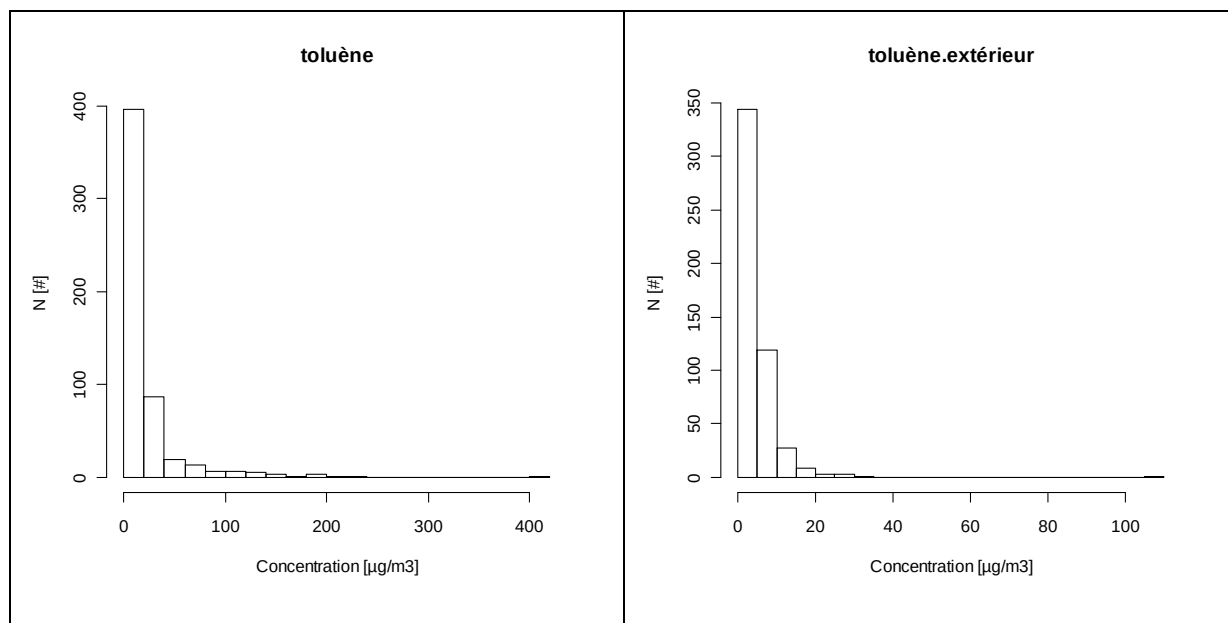


Figure 24 : Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) de toluène sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

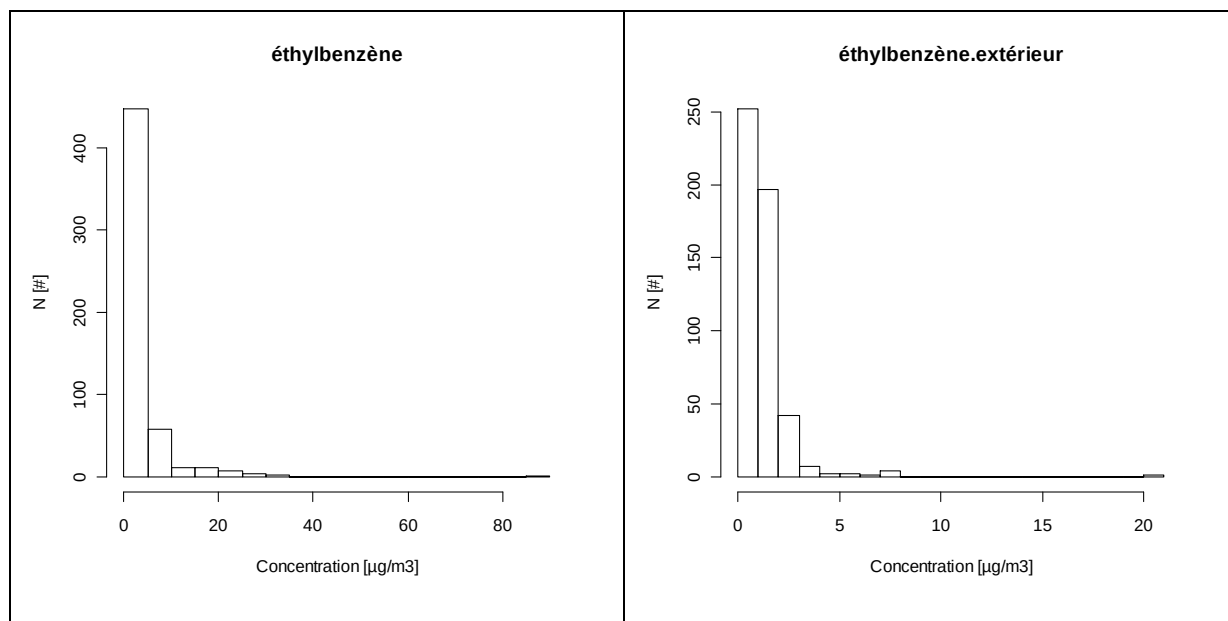


Figure 25 : Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) d'éthylbenzène sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

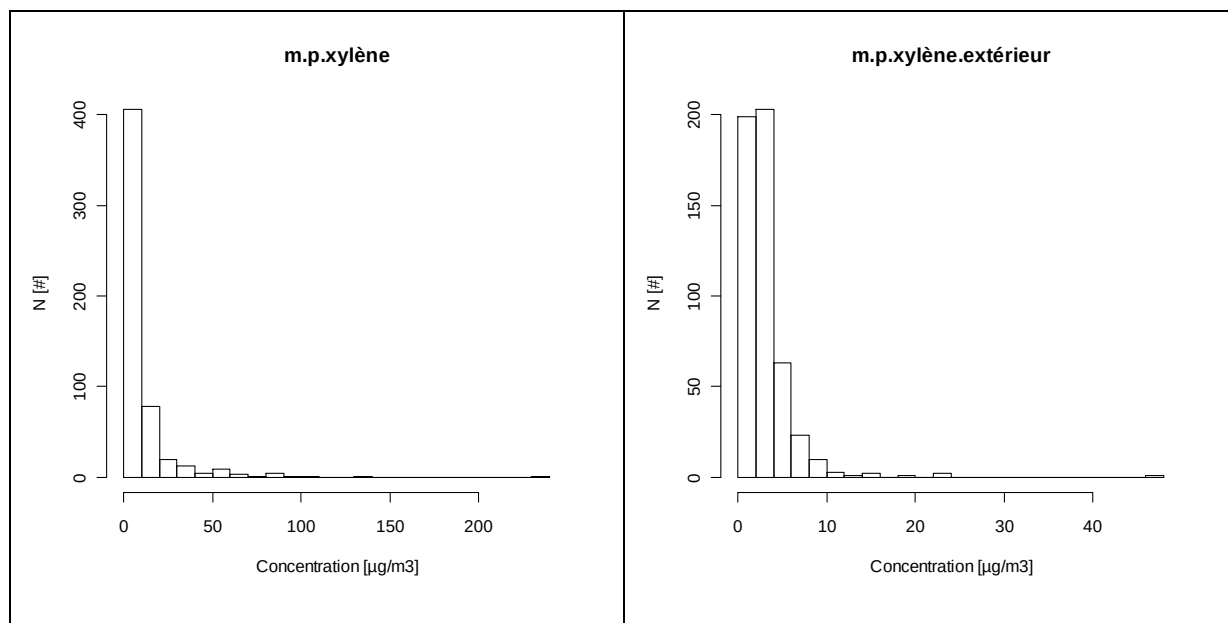


Figure 26 : Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) de m+p-xylène sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

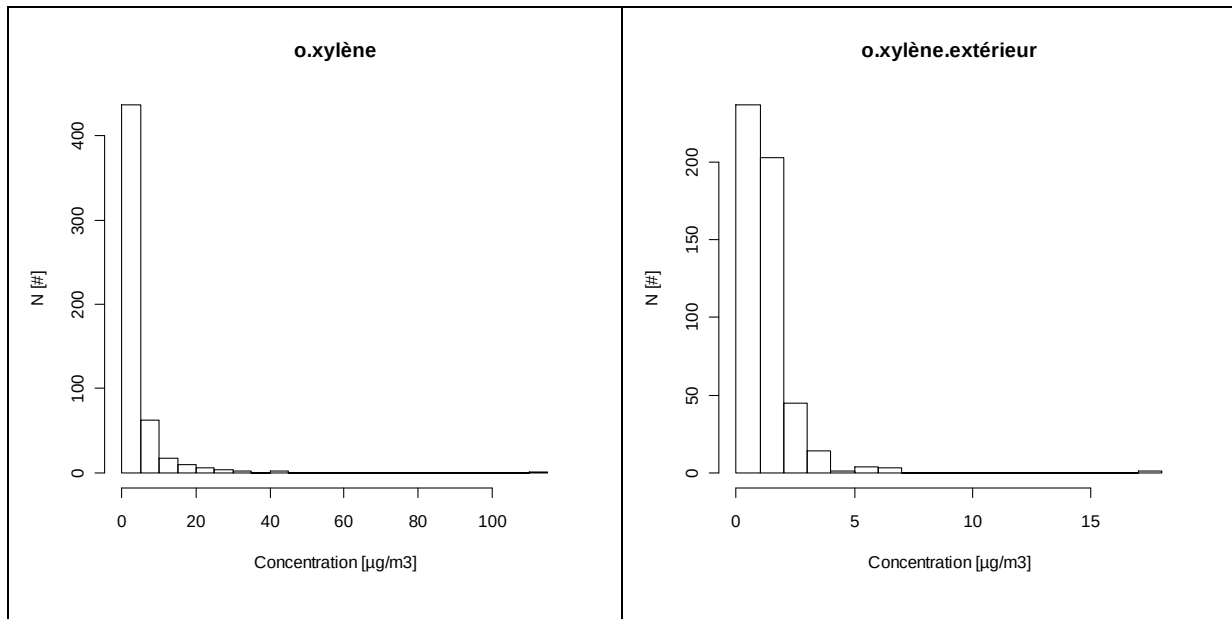


Figure 27 : Histogrammes des concentrations intérieures (à gauche) et extérieures (à droite) d'o-xylène sur l'ensemble de la campagne. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des stations de fond et de même typologie les plus proches.

ANNEXE 6 : RELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES. PM₁₀ ET PM_{2.5}.

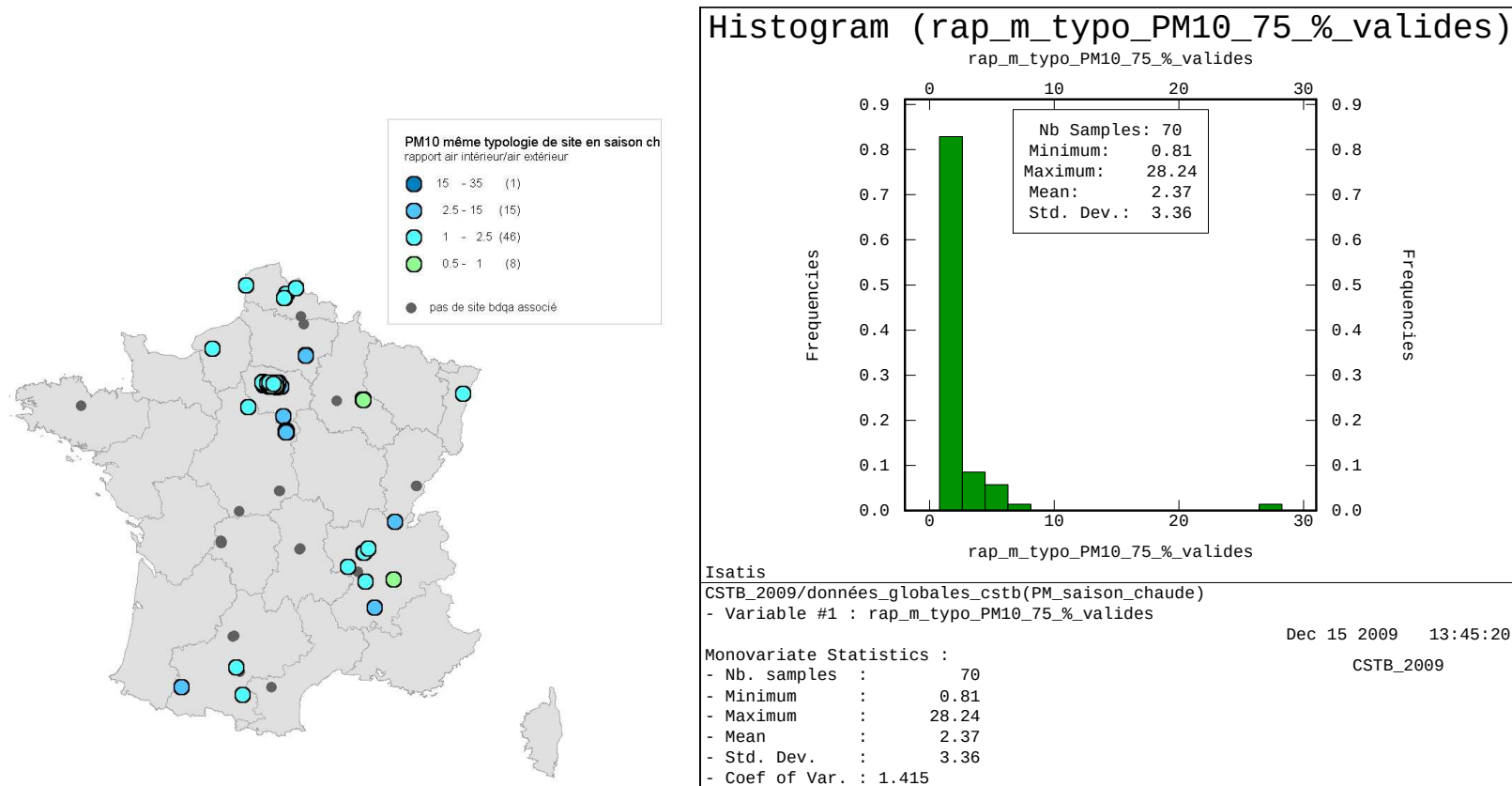


Figure 28 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « chaude »** (mai à septembre).. Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond et de même typologie les plus proches**.

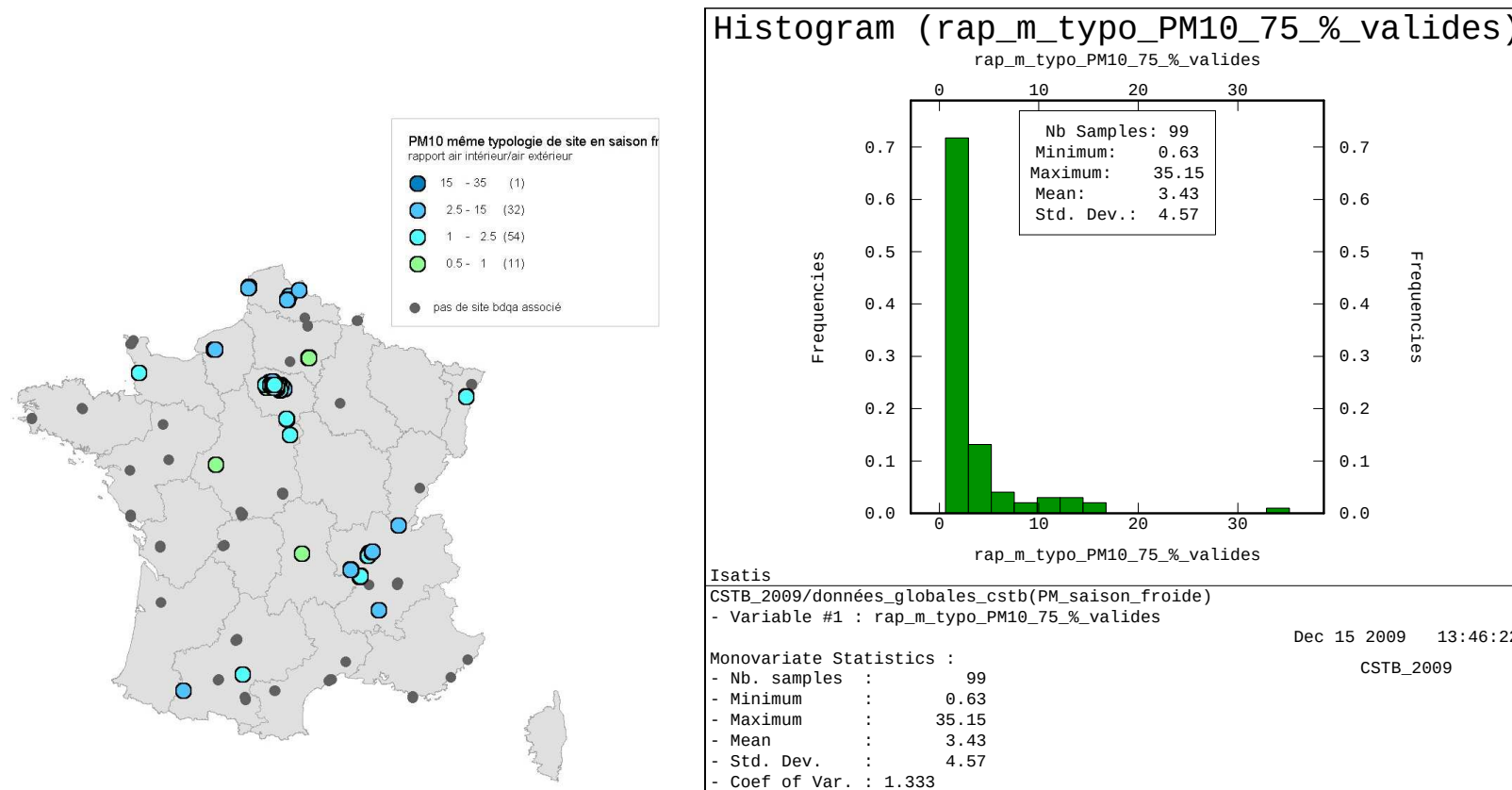


Figure 29 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM₁₀ sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « froide »** (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond et de même typologie les plus proches**.

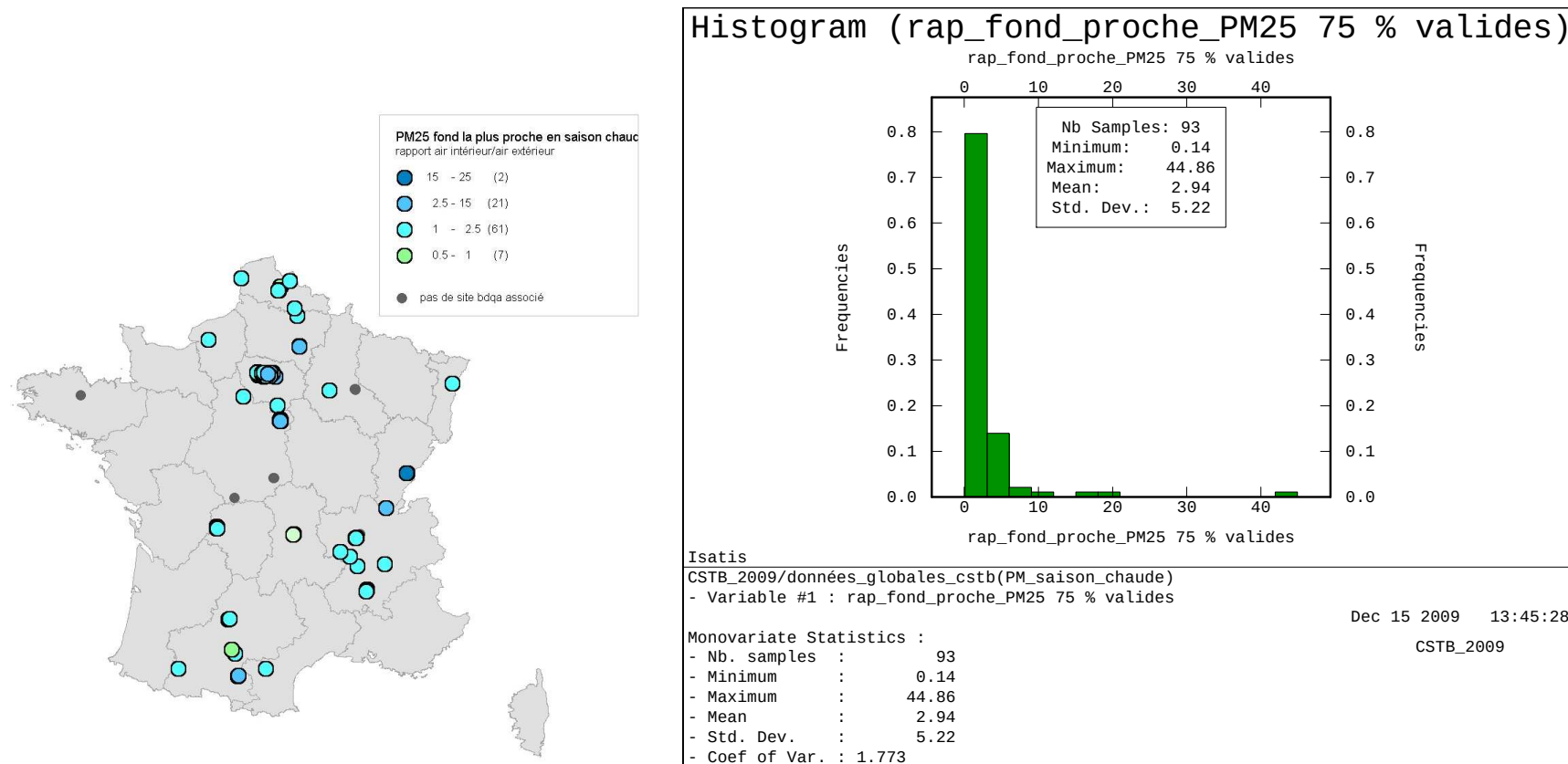


Figure 30 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM_{2.5} sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « chaude »** (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond les plus proches**.

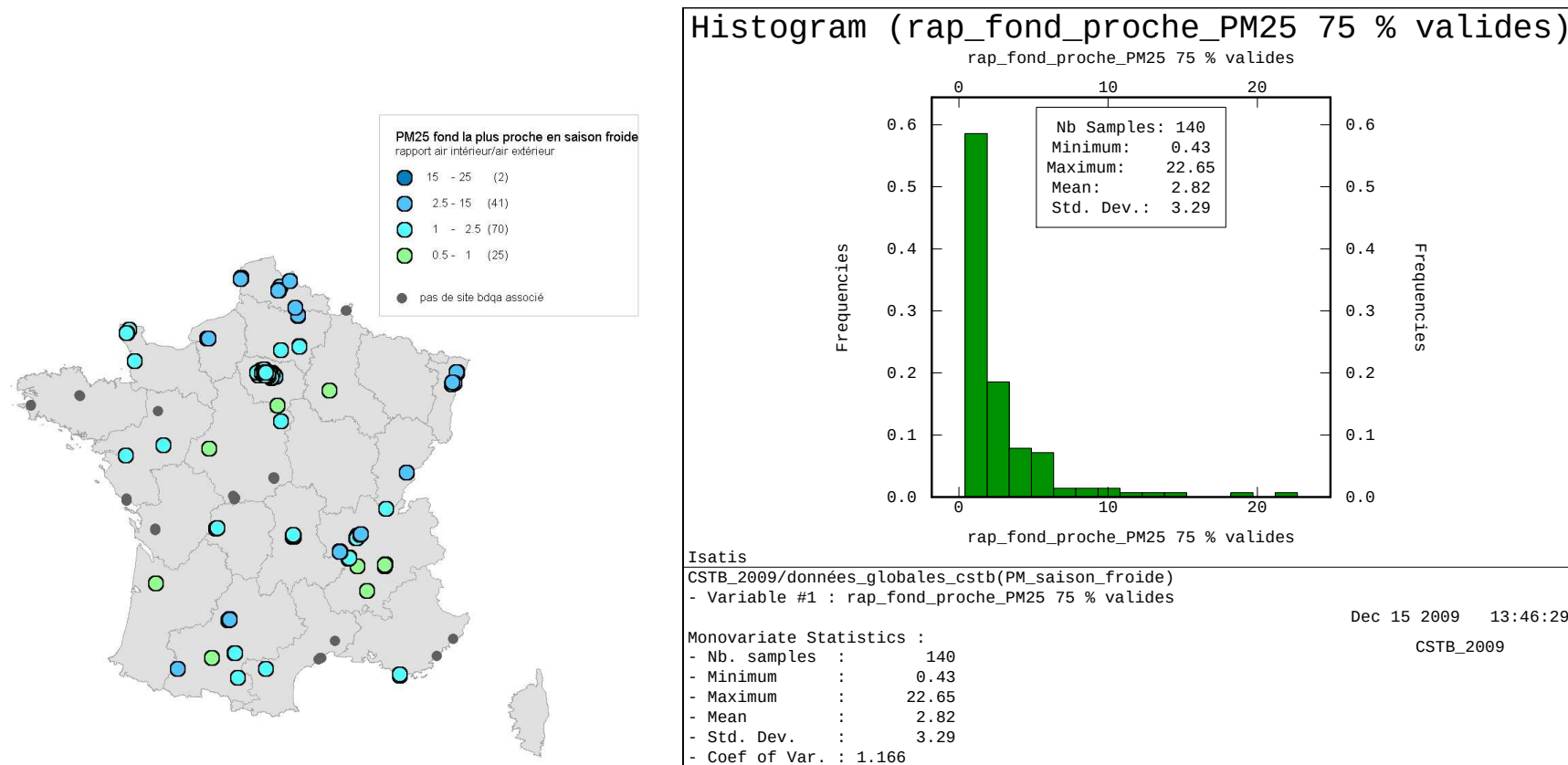


Figure 31 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM_{2.5} sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « froide »** (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond les plus proches**.

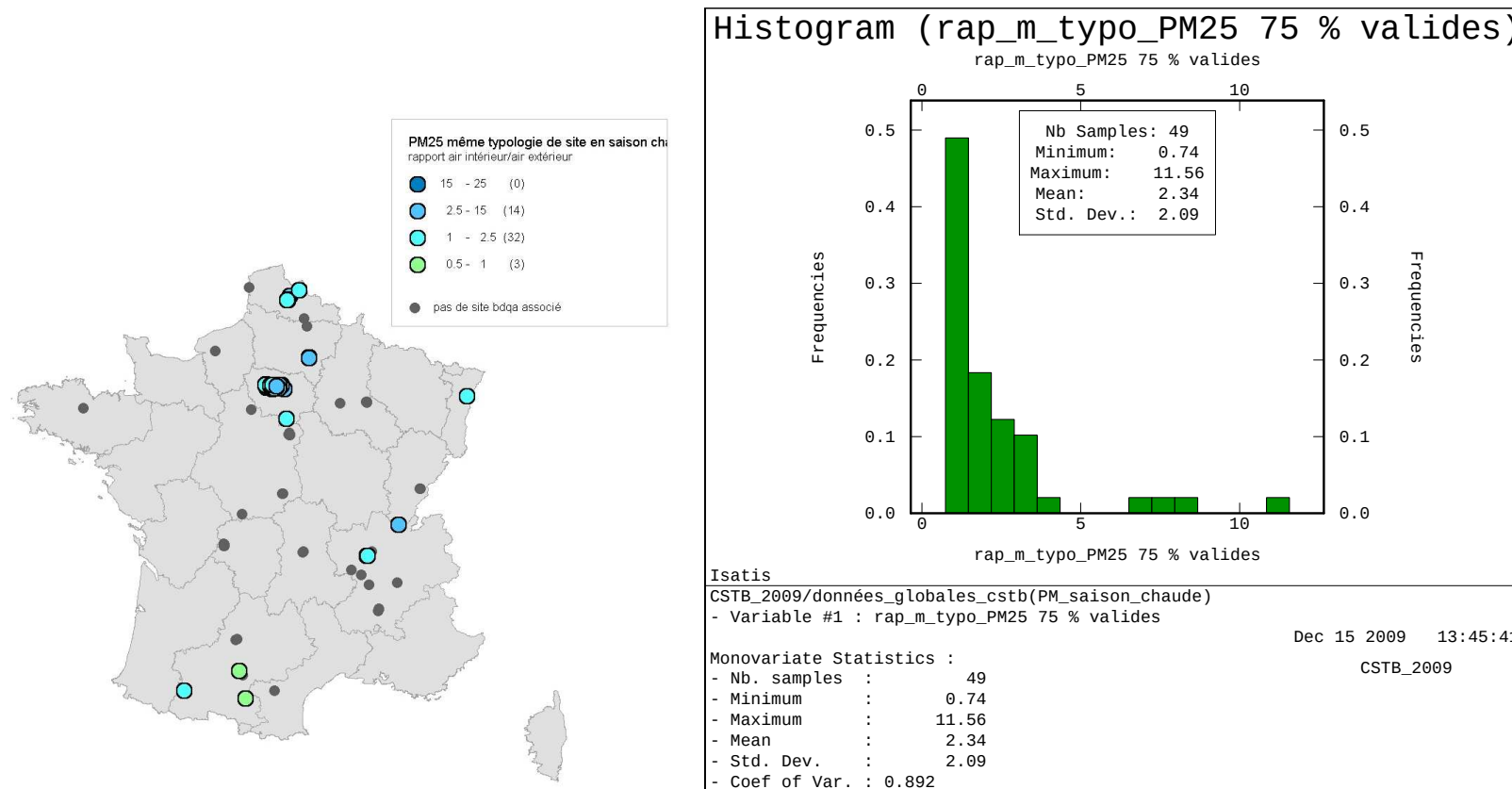


Figure 32 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de PM_{2.5} sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « chaude »** (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues **des stations de fond et de même typologie les plus proches**.

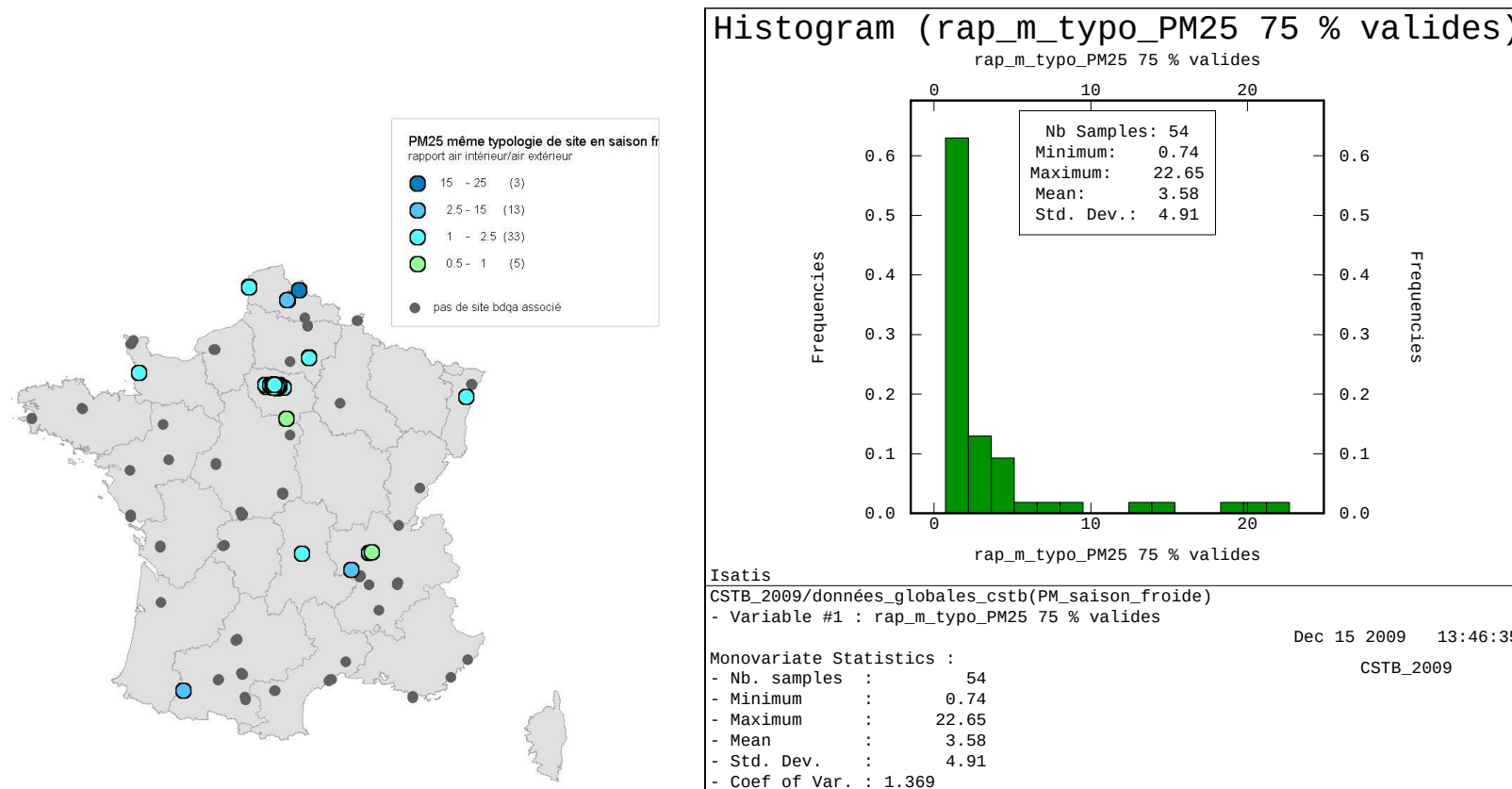


Figure 33 : Concentrations de $PM_{2.5}$ sur l'ensemble de la campagne période froide. Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de $PM_{2.5}$ sur l'ensemble de la campagne en **saison dite « froide »** (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des **stations de fond et de même typologie les plus proches**.

Tableau 10 : PM₁₀ - Statistiques du rapport Concentration intérieure/Concentration extérieure.

Saison	Station ext.	N sans fum.	Min sans fum.	Max sans fum.	P25 sans fum.	P50 sans fum.	P95 sans fum.	P95 <u>avec fum.</u>	Moy sans fum.	E-type sans fum.	CV (%)
toutes	F	188	0.42	27.5	1.12	1.52	4.24	11.3	1.99	2.67	134
toutes	F 50%	186	0.42	27.5	1.12	1.54	4.25	10.7	2.01	2.68	134
toutes	F 75%	183	0.42	27.5	1.12	1.54	4.28	10.9	2.02	2.70	134
toutes	FT	115	0.45	24.5	1.12	1.51	3.63	8.55	1.91	2.28	120
toutes	FT 50%	115	0.45	24.5	1.12	1.51	3.63	8.55	1.91	2.28	120
toutes	FT 75%	114	0.45	24.5	1.13	1.51	3.64	8.55	1.91	2.29	120
chaude	F	72	0.42	6.43	1.11	1.53	3.93	9.86	1.75	1.06	60.6
chaude	F 50%	71	0.42	6.43	1.12	1.59	3.97	10.1	1.77	1.06	59.7
chaude	F 75%	70	0.42	6.43	1.13	1.61	4.01	10.3	1.78	1.06	59.5
chaude	FT	48	0.63	4.34	1.12	1.74	3.59	7.64	1.78	0.88	49.3
chaude	FT 50%	48	0.63	4.34	1.12	1.74	3.59	7.64	1.78	0.88	49.3
chaude	FT 75%	47	0.63	4.34	1.15	1.80	3.59	7.70	1.80	0.88	48.8
froide	F	116	0.45	27.5	1.12	1.52	4.16	11.9	2.14	3.30	154
froide	F 50%	115	0.45	27.5	1.15	1.53	4.17	11.4	2.15	3.31	154
froide	F 75%	113	0.45	27.5	1.12	1.53	4.19	11.8	2.17	3.34	154
froide	FT	67	0.45	24.5	1.14	1.48	3.57	8.56	2.00	2.91	146
froide	FT 50%	67	0.45	24.5	1.14	1.48	3.57	8.56	2.00	2.91	146
froide	FT 75%	67	0.45	24.5	1.14	1.48	3.57	8.56	2.00	2.91	146

F : station de fond la plus proche ; F 50% : station de fond la plus proche, au moins 50% des données de la période sont valides ; F 75% : station de fond la plus proche, au moins 75% des données de la période sont valides.

FT : station de fond et de même typologie la plus proche ; FT 50% : station de fond et de même typologie la plus proche, au moins 50% des données de la période sont valides ; FT 75% : station de fond la plus proche, au moins 75% des données de la période sont valides.

Tableau 11 : PM_{2.5} - Statistiques du rapport Concentration intérieure/Concentration extérieure.

Saison	Station ext.	N sans fum.	Min sans fum.	Max sans fum.	P25 sans fum.	P50 sans fum.	P95 sans fum.	P95 <u>avec fum.</u>	Moy sans fum.	E-type sans fum.	CV (%)
toutes	F	151	0.42	31.9	0.93	1.32	3.34	12.9	1.74	2.61	150
toutes	F 50%	144	0.42	5.26	0.91	1.31	3.30	12.7	1.55	0.86	55.6
toutes	F 75%	141	0.42	5.26	0.92	1.32	3.34	12.9	1.56	0.86	55.3
toutes	FT	60	0.44	31.9	1.03	1.34	3.52	14.5	2.09	4.00	191
toutes	FT 50%	57	0.44	3.74	1.03	1.34	3.38	13.4	1.58	0.85	54.0
toutes	FT 75%	56	0.44	3.74	1.03	1.34	3.39	13.4	1.59	0.85	53.5
chaude	F	65	0.50	4.13	1.08	1.45	3.40	9.17	1.65	0.82	49.8
chaude	F 50%	63	0.50	4.13	1.08	1.46	3.40	10.0	1.67	0.83	50.0
chaude	F 75%	61	0.50	4.13	1.08	1.46	3.41	10.5	1.68	0.84	49.8
chaude	FT	29	0.50	3.74	1.13	1.54	3.55	12.2	1.79	0.94	52.4
chaude	FT 50%	28	0.50	3.74	1.16	1.57	3.55	12.6	1.81	0.95	52.1
chaude	FT 75%	27	0.50	3.74	1.19	1.60	3.55	12.9	1.85	0.94	50.8
froide	F	86	0.42	31.9	0.87	1.22	3.07	13.0	1.81	3.39	187
froide	F 50%	81	0.42	5.26	0.86	1.21	3.06	12.9	1.45	0.87	60.2
froide	F 75%	80	0.42	5.26	0.86	1.22	3.06	12.9	1.46	0.87	59.7
froide	FT	31	0.44	31.9	0.95	1.22	3.03	14.6	2.37	5.52	233
froide	FT 50%	29	0.44	3.06	0.88	1.18	2.97	13.4	1.35	0.69	51.3
froide	FT 75%	29	0.44	3.06	0.88	1.18	2.97	13.4	1.35	0.69	51.3

F : station de fond la plus proche ; F 50% : station de fond la plus proche, au moins 50% des données de la période sont valides ; F 75% : station de fond la plus proche, au moins 75% des données de la période sont valides.

FT : station de fond et de même typologie la plus proche ; FT 50% : station de fond et de même typologie la plus proche, au moins 50% des données de la période sont valides ; FT 75% : station de fond et de même typologie la plus proche, au moins 75% des données de la période sont valides.

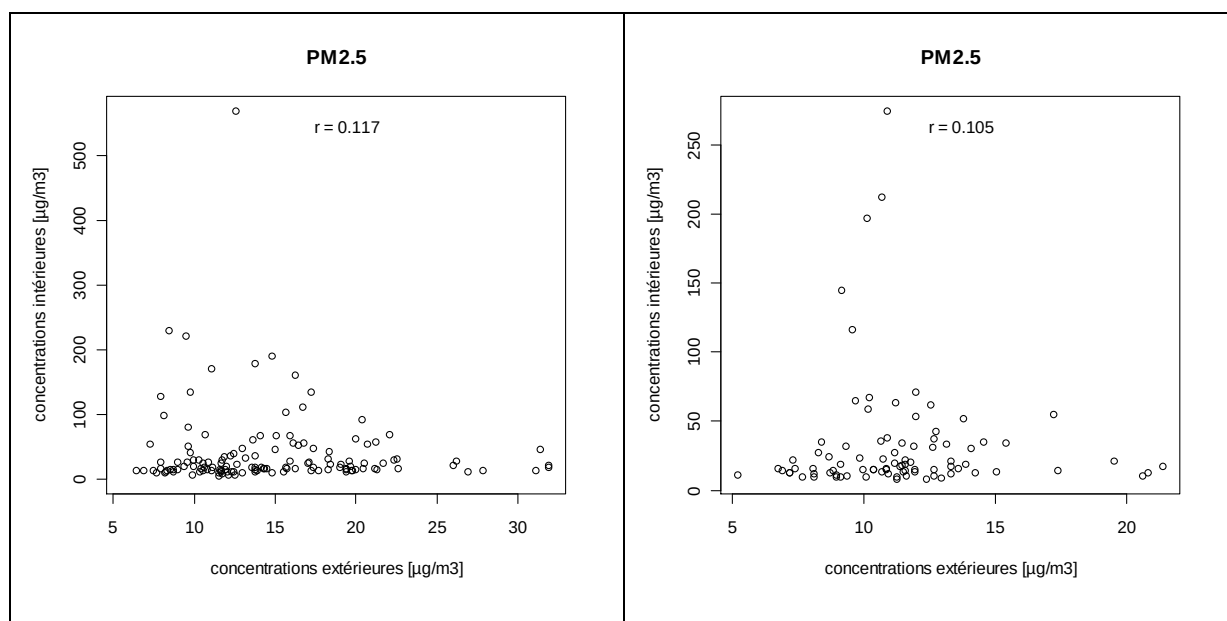


Figure 34 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de $\text{PM}_{2.5}$ (moyennes sur 7 jours) par saison de mesure. A gauche : saison froide. A droite : saison chaude. Les valeurs extérieures sont issues des stations de fond les plus proches. Moyennes établies sur 75% de données valides. r désigne le coefficient de corrélation de rang de Spearman.

D'après le test de corrélation des rangs de Spearman, la corrélation est nulle quelle que soit la saison.

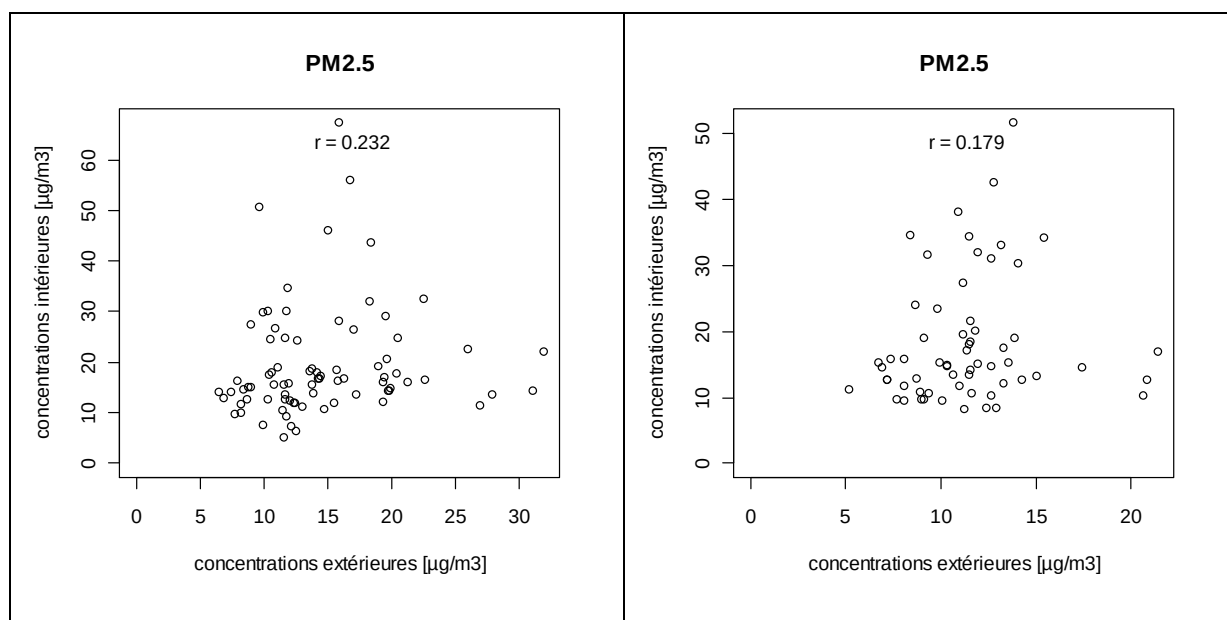


Figure 35 : Mêmes figures sans les logements influencés par le tabagisme.

D'après le test de corrélation des rangs de Spearman, la corrélation est significativement non nulle en hiver et nulle en été.

ANNEXE 7 : RELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES. BTEX.

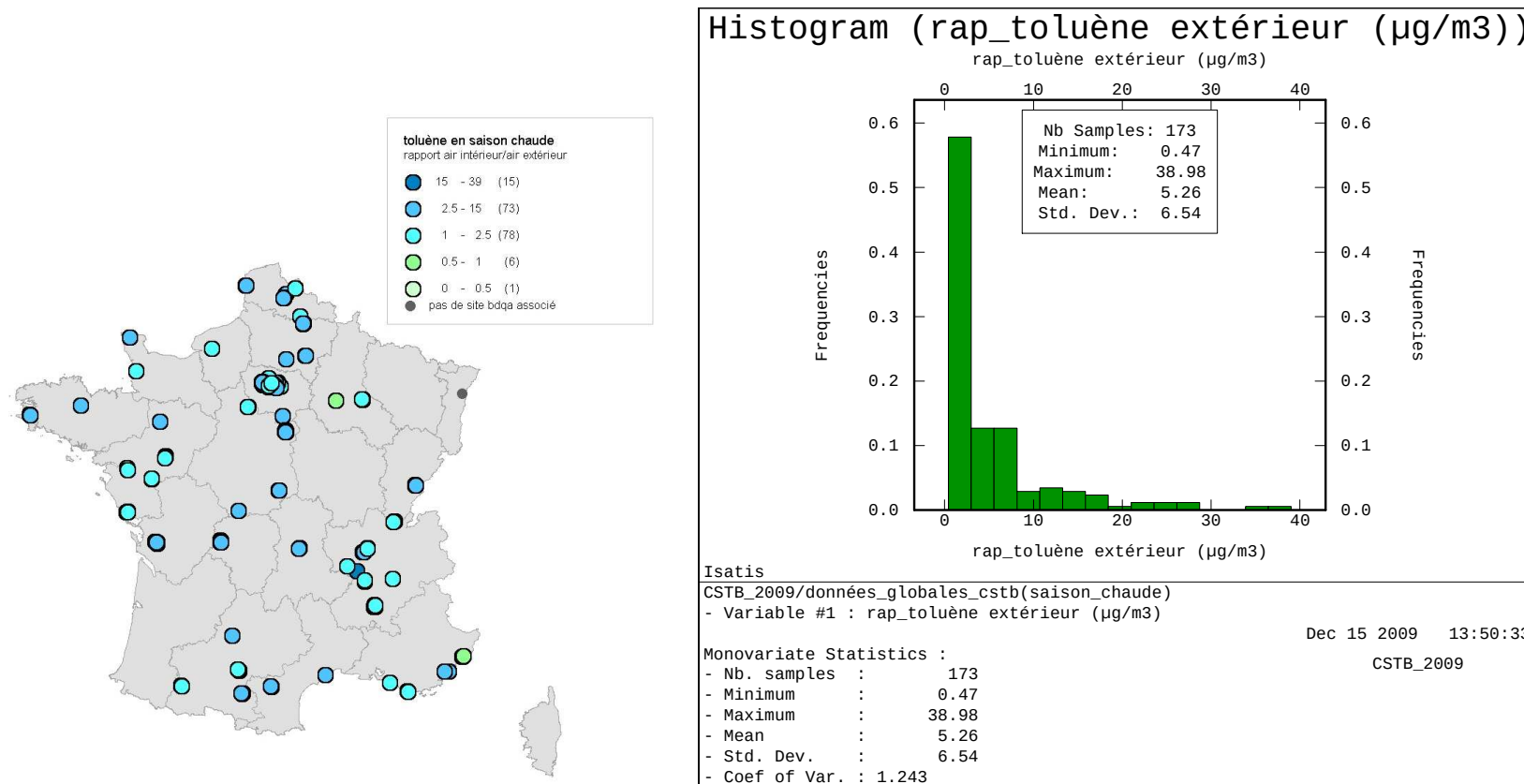


Figure 36 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de toluène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « chaude » (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

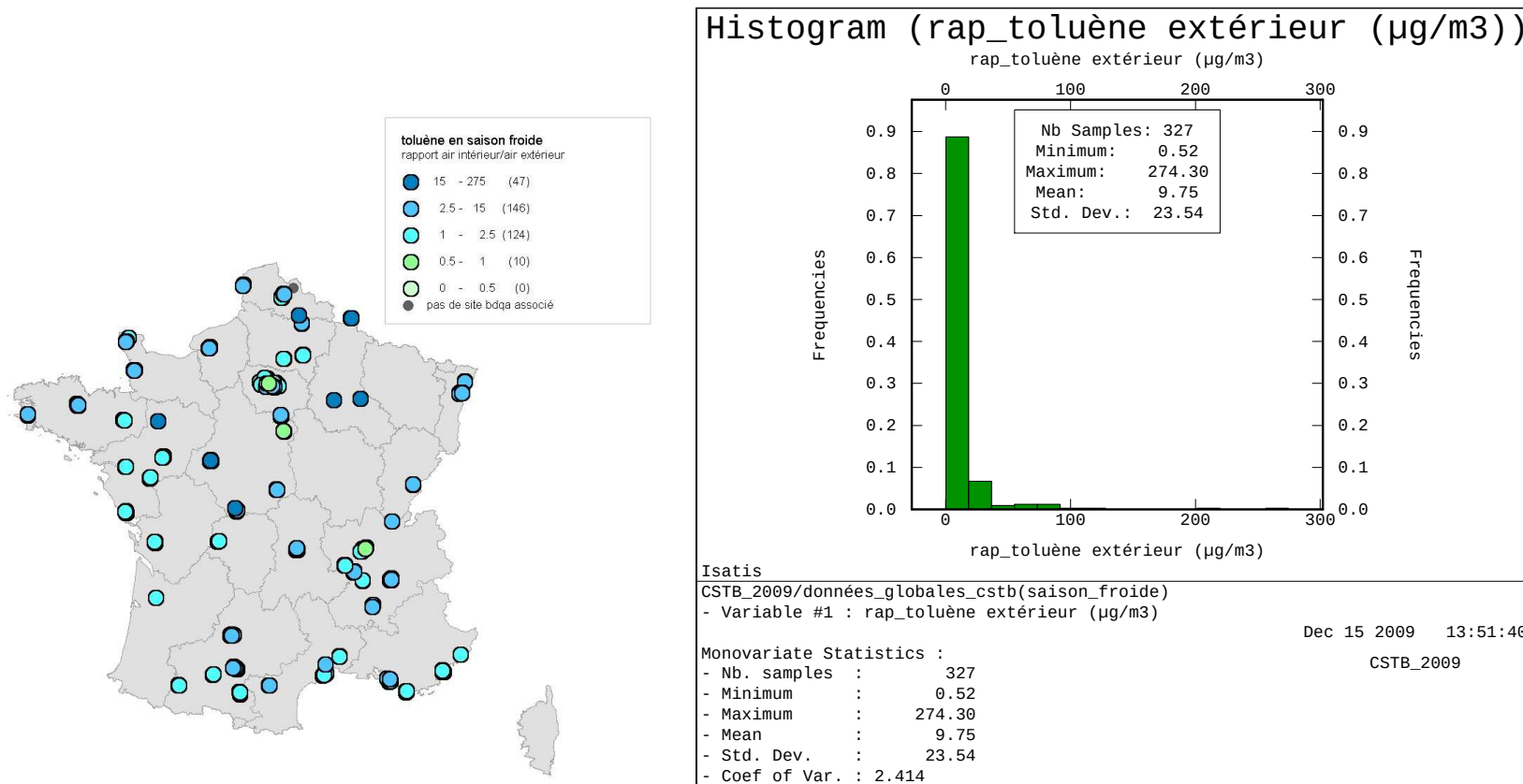


Figure 37 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de toluène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « froide » (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

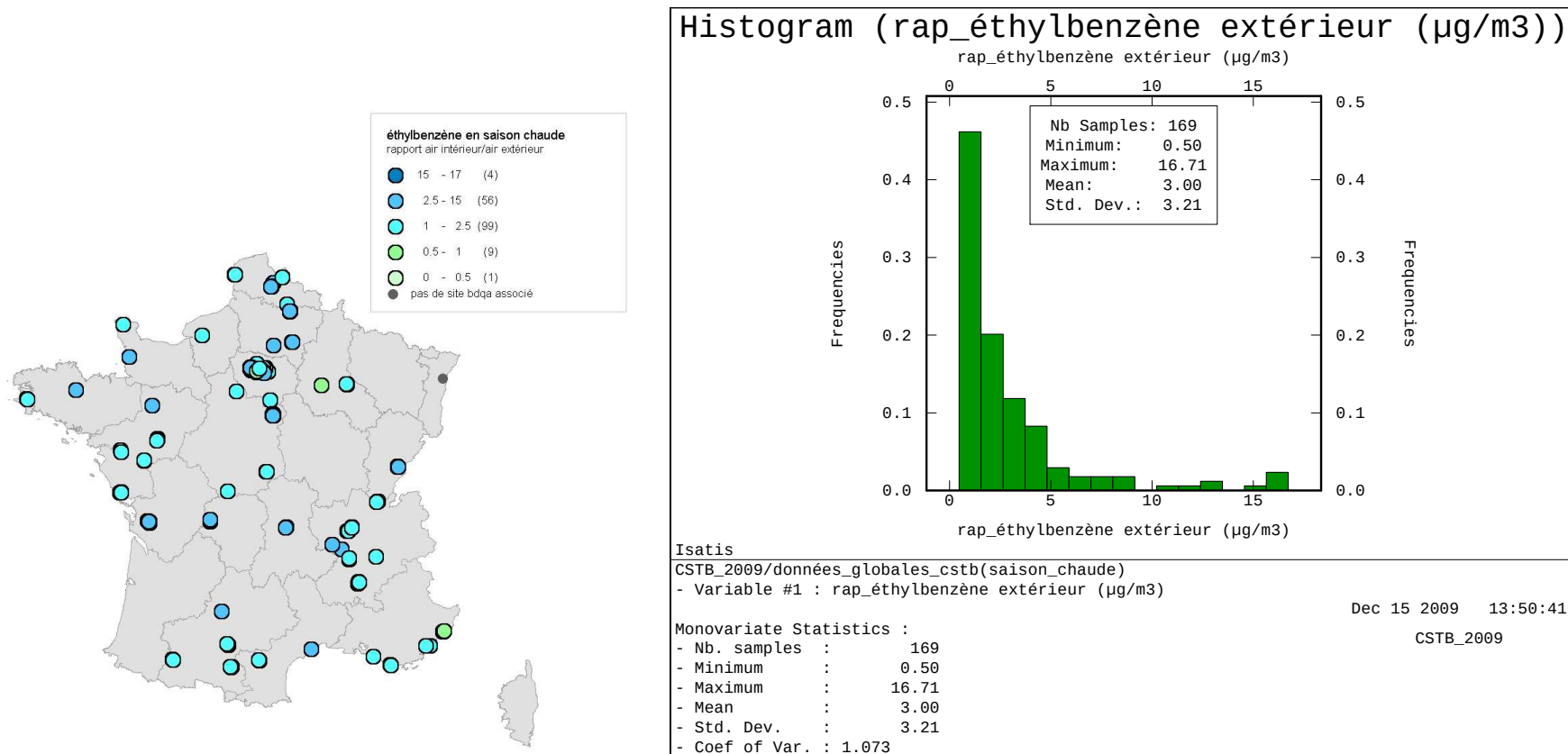


Figure 38 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* d'éthylbenzène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « chaude » (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

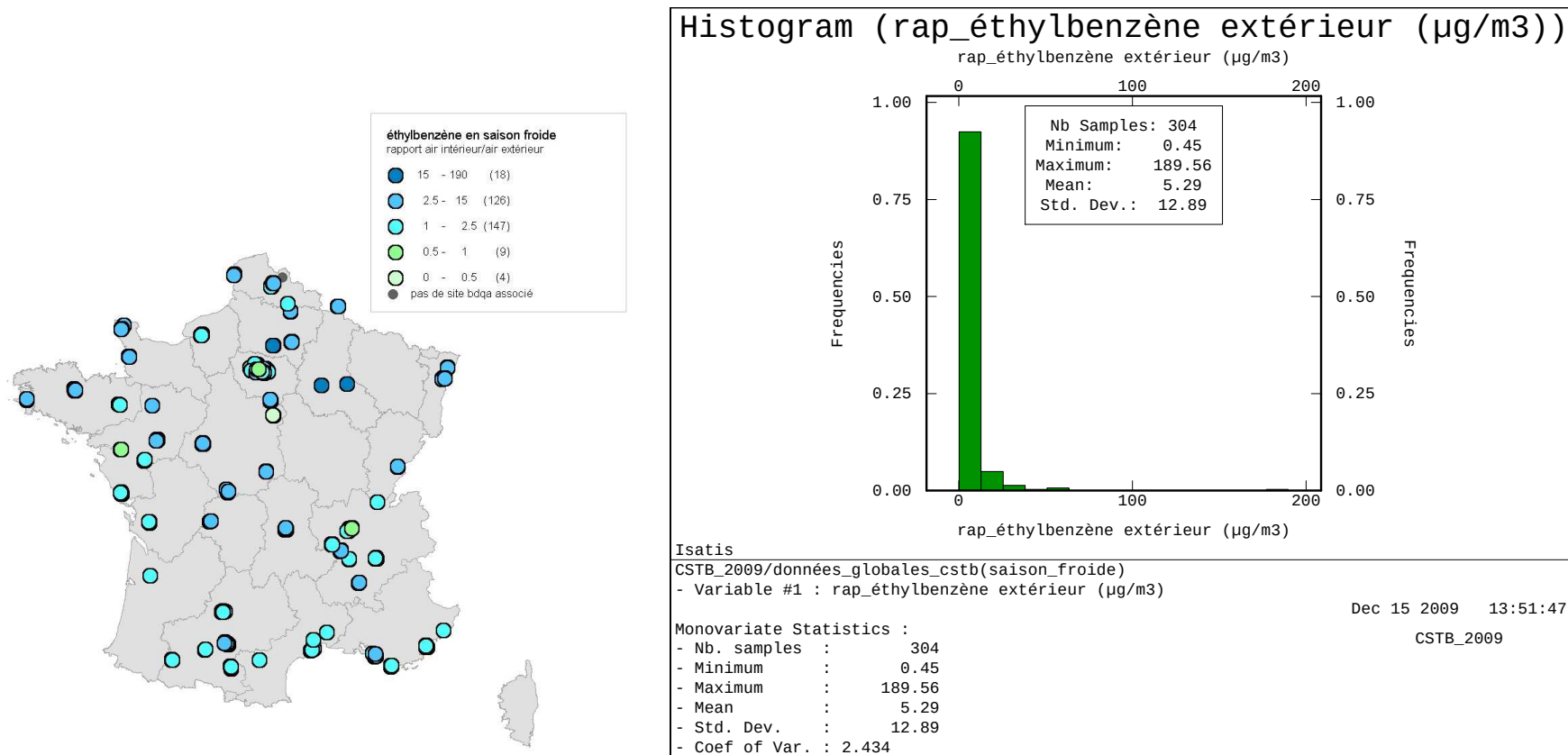


Figure 39 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* d'éthylbenzène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « froide » (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

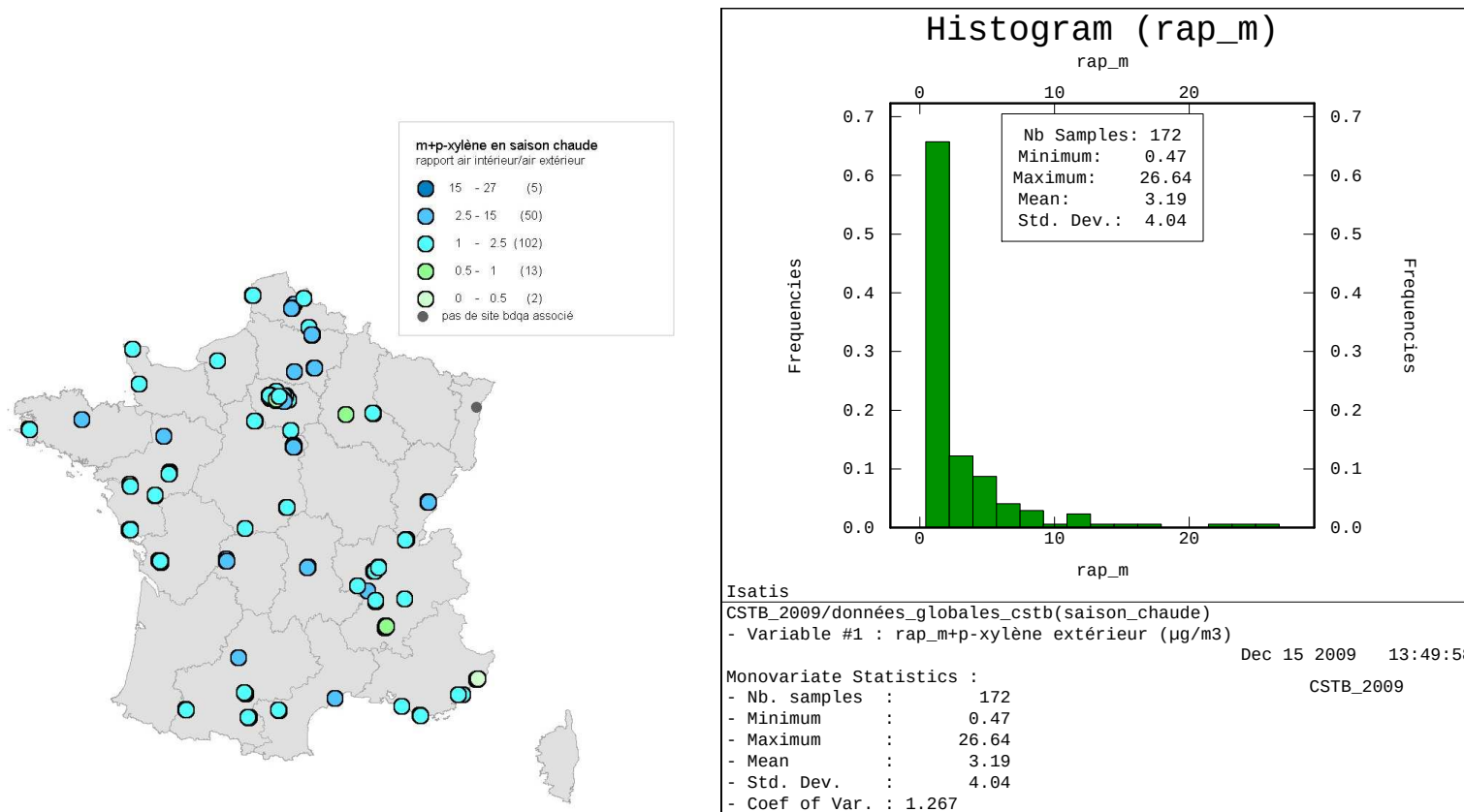


Figure 40 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de m+p-xylène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « chaude » (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

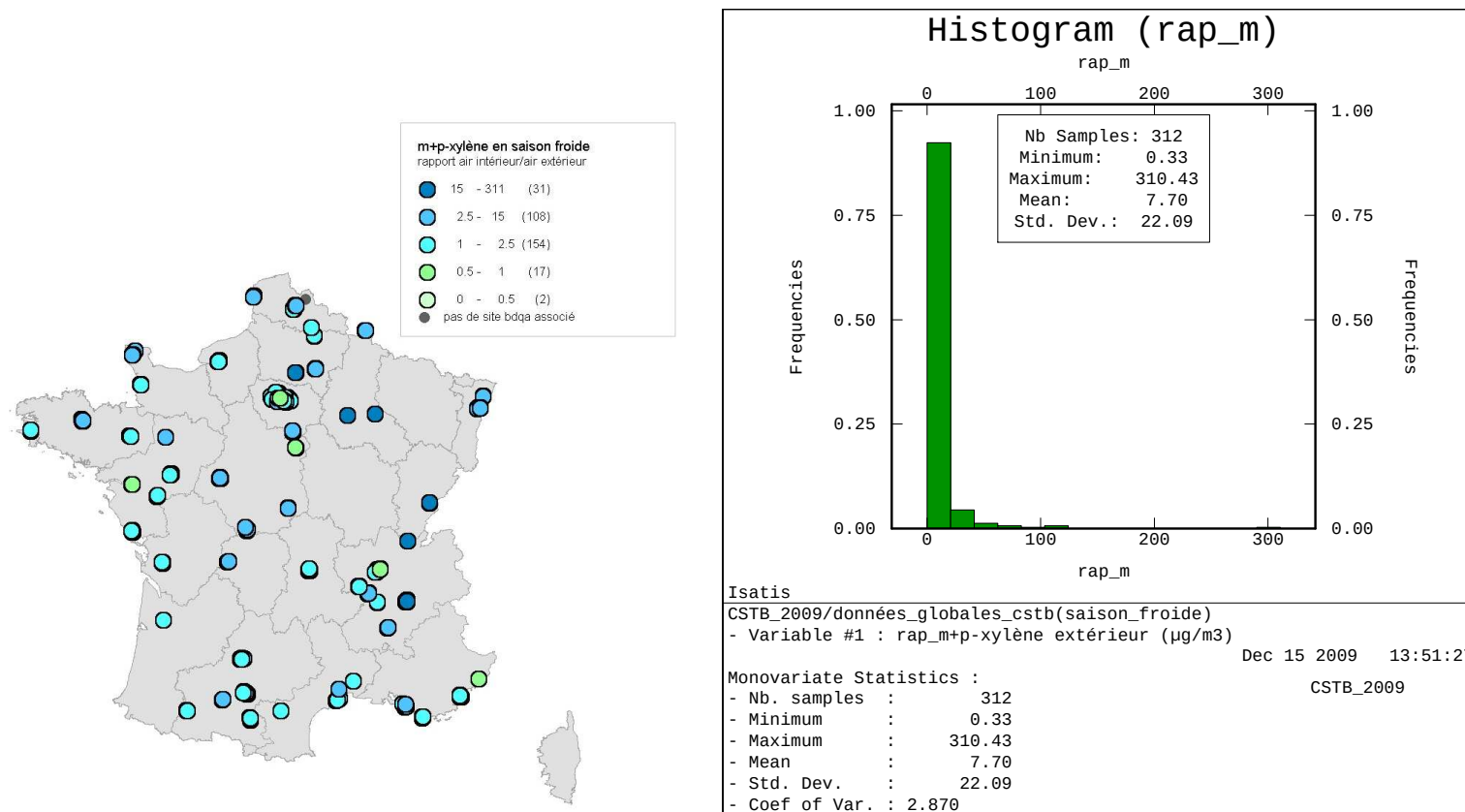


Figure 41 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de m+p-xylène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « froide » (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

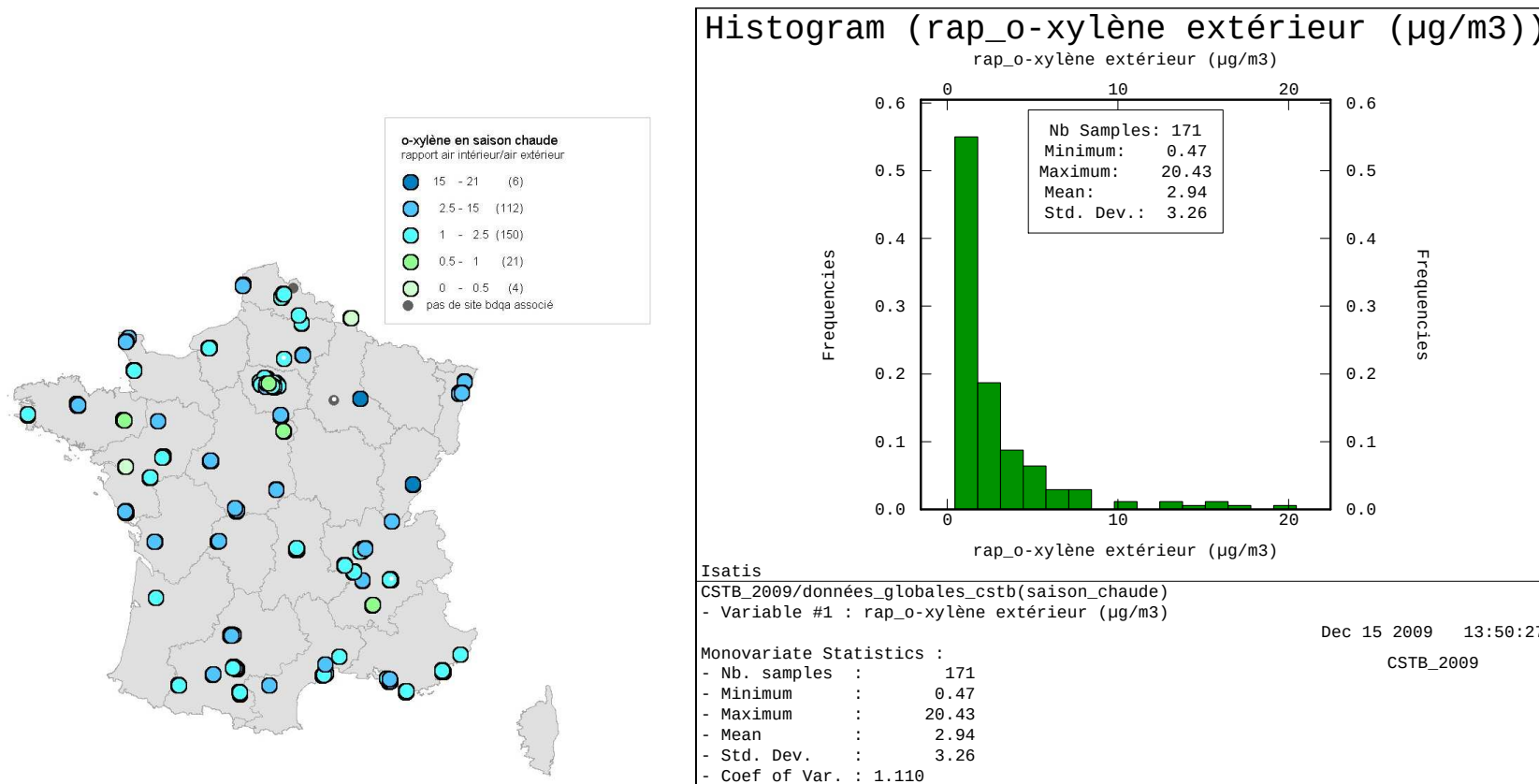


Figure 42 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de o-xylène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « chaude » (mai à septembre). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

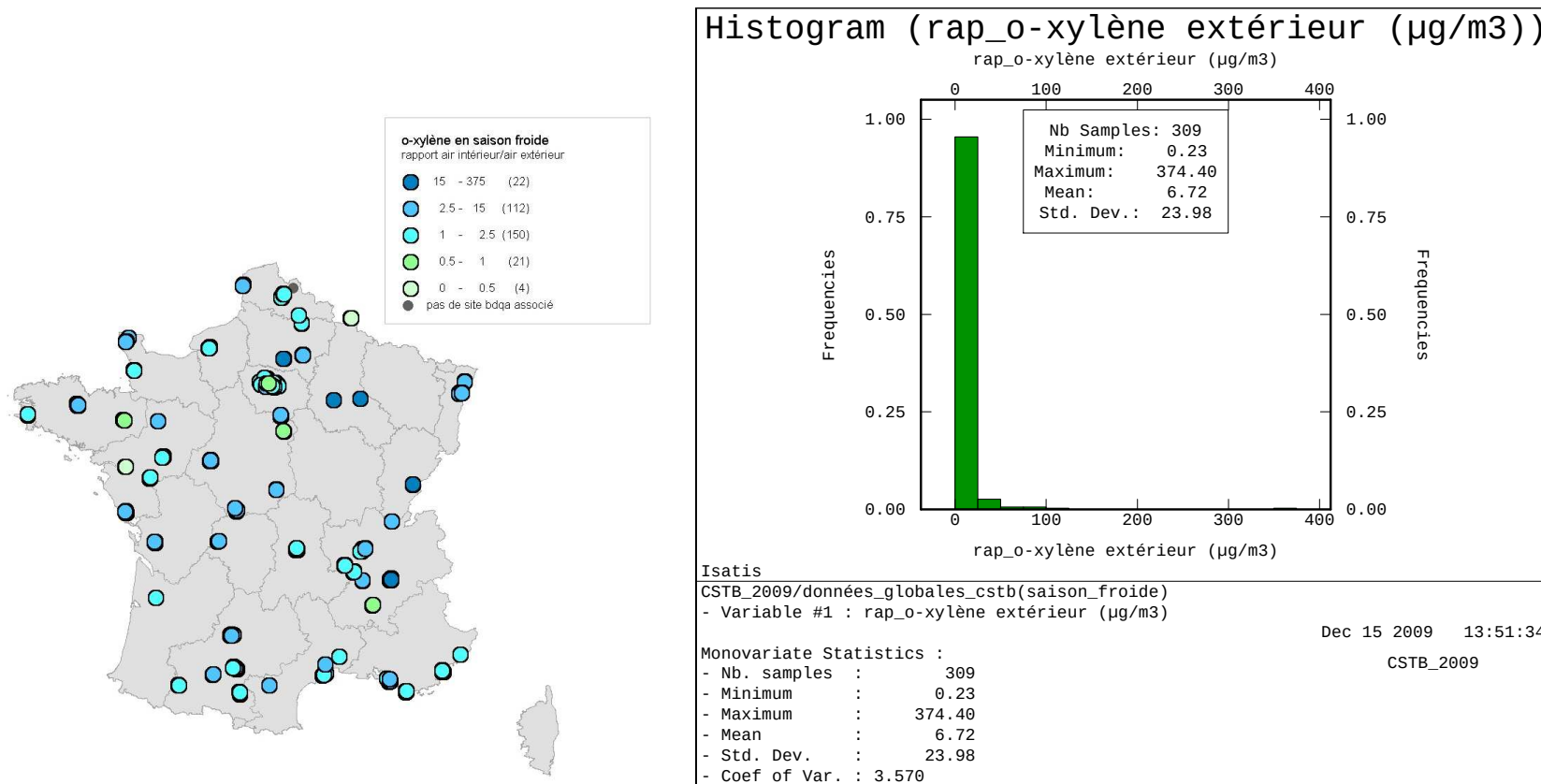


Figure 43 : Rapport *concentration intérieure/concentration extérieure* de o-xylène sur l'ensemble de la campagne en saison dite « froide » (octobre à avril). Les valeurs de concentration extérieure sont issues des mesures effectuées en bord de fenêtre.

Tableau 12 : BTEX - Statistiques du rapport Concentration intérieure/Concentration extérieure.

Saison	Pol.	N sans gar.	Min sans gar.	Max sans gar.	P25 sans gar.	P50 sans gar.	P95 sans gar.	P95 <u>avec</u> gar.	Moy sans gar.	E-type sans gar.	CV (%)
toutes	B	365	0.00	41.42	1.03	1.48	2.75	5.93	8.71	2.45	3.24
toutes	T	388	0.47	85.53	1.52	2.42	4.70	16.32	27.28	4.92	8.32
toutes	E	371	0.45	28.09	1.19	1.80	3.19	8.61	14.63	2.96	3.43
toutes	m+p-X	377	0.33	46.80	1.19	1.64	3.25	11.74	22.34	3.42	5.13
toutes	o-X	375	0.27	40.18	1.19	1.64	2.91	7.96	16.07	3.00	4.34
chaude	B	139	0.00	41.42	1.02	1.50	2.64	6.42	9.24	2.59	3.89
chaude	T	146	0.52	85.53	1.41	2.77	4.84	18.78	23.09	5.67	11.06
chaude	E	138	0.45	23.27	1.16	1.69	3.22	9.60	12.95	2.98	3.52
chaude	m+p-X	141	0.33	46.80	1.18	1.64	3.08	11.60	21.33	3.44	5.52
chaude	o-X	141	0.27	35.83	1.17	1.61	2.83	7.52	15.08	2.85	4.13
froide	B	226	0.00	26.71	1.04	1.48	2.76	5.70	8.14	2.36	2.78
froide	T	242	0.47	59.80	1.58	2.28	4.64	15.34	27.84	4.46	6.08
froide	E	233	0.48	28.09	1.20	1.91	3.09	8.05	14.83	2.94	3.38
froide	m+p-X	236	0.44	32.78	1.20	1.64	3.30	11.86	21.70	3.41	4.89
froide	o-X	234	0.47	40.18	1.19	1.66	2.98	8.47	15.97	3.09	4.46

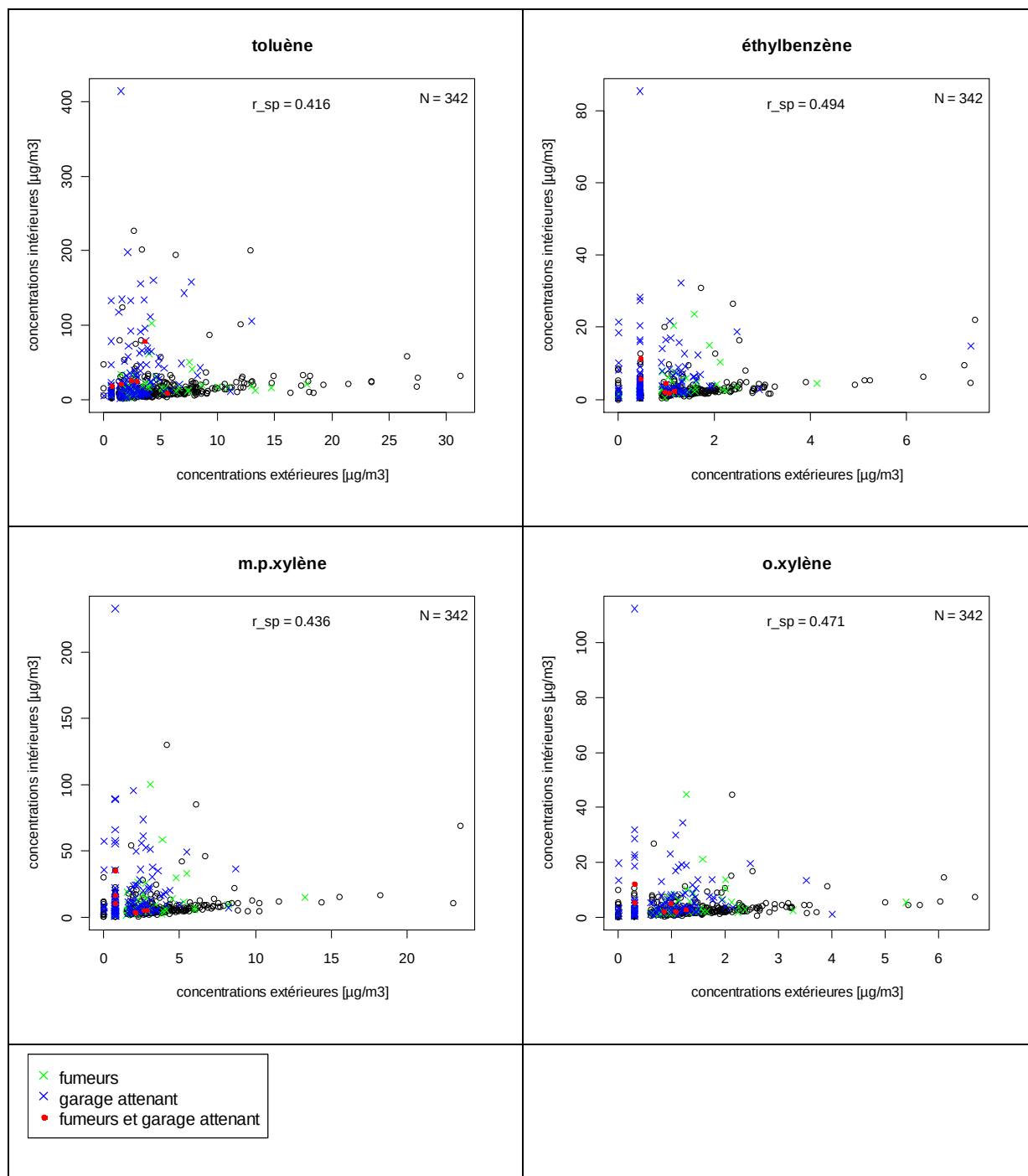


Figure 44 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de toluène, éthylbenzène et xylène sur l'ensemble de la campagne. **Tous types de logements.**

NB : Le logement 06-M065 pour lequel les concentrations extérieures de ces quatre composés sont extrêmement supérieures aux valeurs mesurées près des autres logements (elles sont respectivement de 107.21, 20.54, 46.49 et 17.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été retiré de ces graphes.

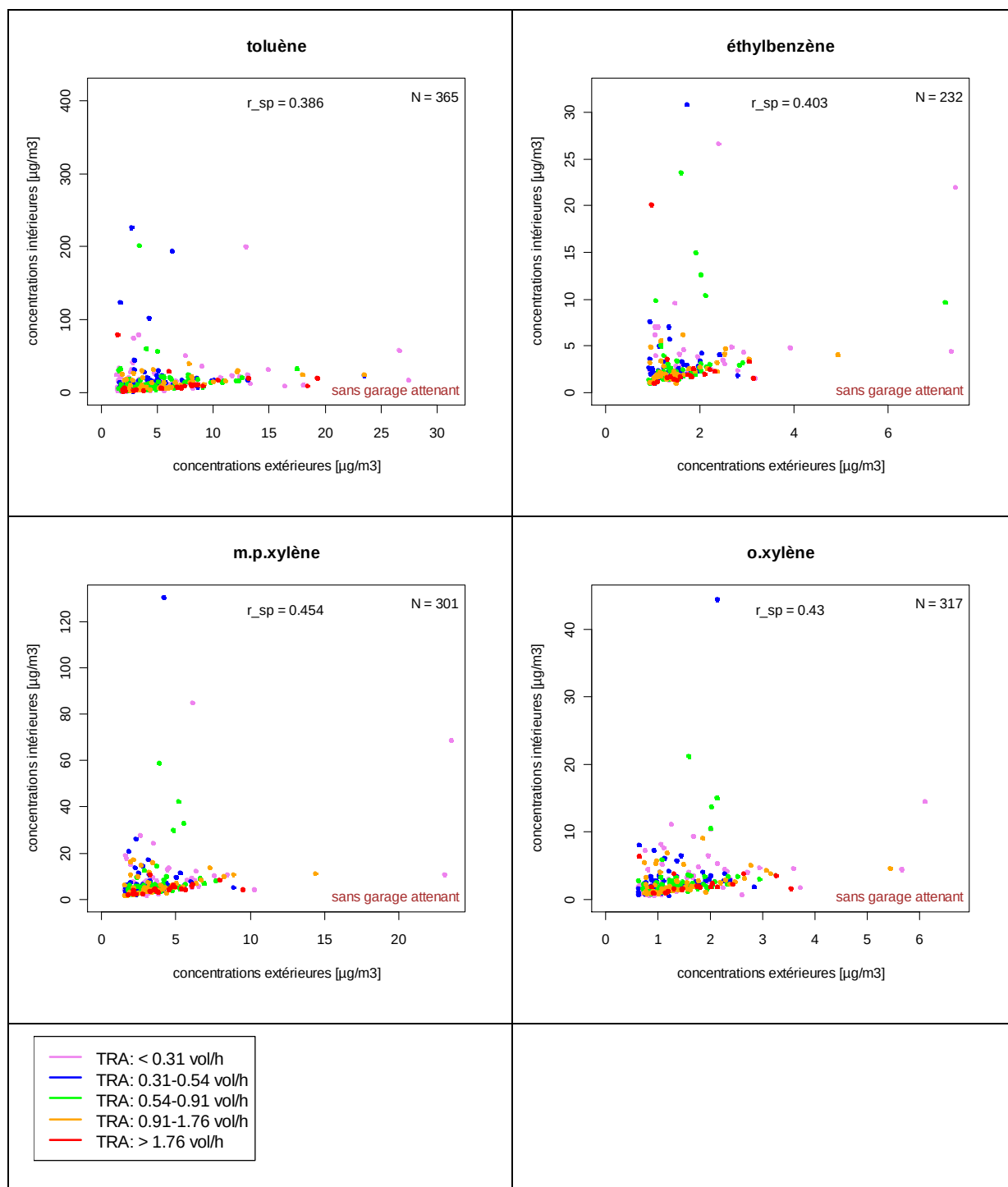


Figure 45 : Nuages de points représentant, en ordonnée, les concentrations intérieures, et en abscisse, les concentrations extérieures de toluène, éthylbenzène et xylène sur l'ensemble de la campagne. **Logements sans garage attenant. Valeurs inférieures à la limite de quantification non prises en compte.**

ANNEXE 8 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR. PM₁₀ ET PM_{2.5}.

Statistiques en fonction de la typologie du logement

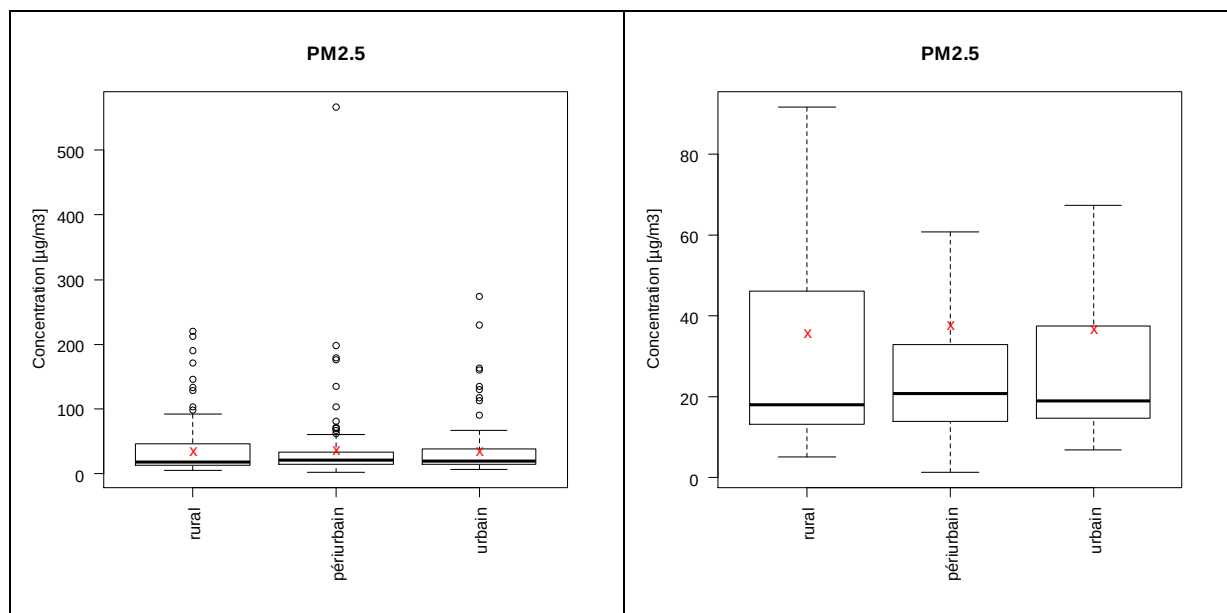


Figure 46 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM_{2.5} intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec et sans valeurs extrêmes.

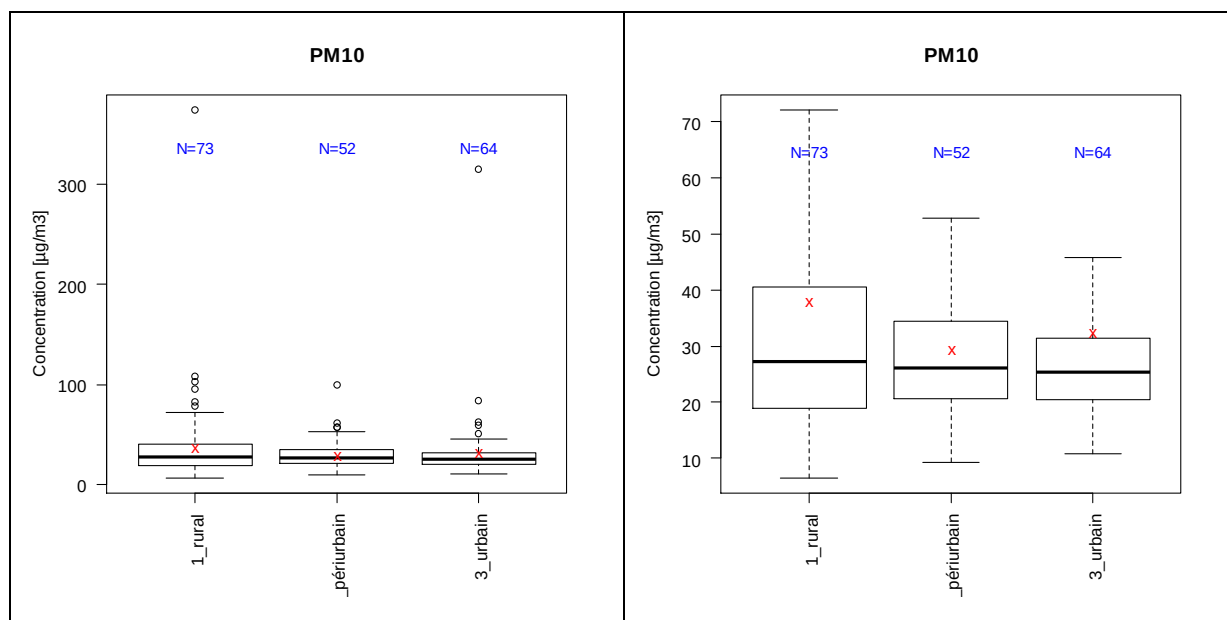


Figure 47 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM₁₀ intérieures pour les différentes typologies considérées. **Sans les logements avec fumeurs.** Avec et sans valeurs extrêmes.

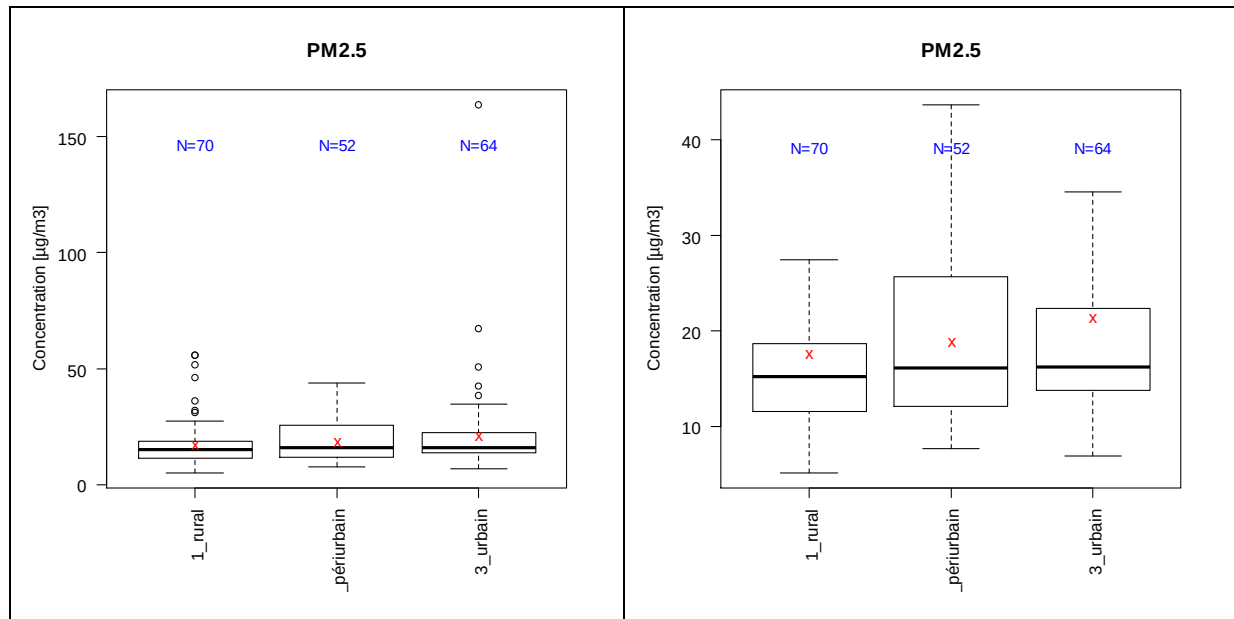


Figure 48 : Boîtes à moustaches des concentrations de PM_{2.5} intérieures pour les différentes typologies considérées. **Sans les logements avec fumeurs.** Avec et sans valeurs extrêmes.

ANNEXE 9 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS INTERIEURES EN FONCTION DE L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR. BTEX.

Statistiques en fonction de la typologie du logement

Tableau 13 : Statistiques par typologie. Concentrations intérieures de benzène, toluène et éthylbenzène

Polluant	Benz.	Benz.	Benz.	Tol.	Tol.	Tol.	Ethylb.	Ethylb.	Ethylb.
Typologie	rurale	périurb	urbaine	rurale	périurb	urbaine	rurale	périurb	urbaine
N	207	185	149	207	185	149	207	185	149
Minimum	0.0	0.0	0.6	1.5	2.2	3.6	0.0	0.5	0.5
Maximum	22.8	17.6	14.7	414.2	201.5	132.5	85.3	30.9	23.6
Médiane	1.9	2.0	2.2	11.3	13.2	11.6	2.0	2.4	2.2
Moyenne	2.8	2.6	2.6	25.2	23.2	16.6	4.3	3.9	3.1
Ecart-type	2.9	2.5	1.9	44.7	31.8	15.0	7.6	4.6	3.3
Coef. de variation	1.05	0.93	0.70	1.77	1.37	0.90	1.78	1.20	1.09

Tableau 14 : Statistiques par typologie. Concentrations intérieures de xylène

Polluant	m+p-xyl.	m+p-xyl.	m+p-xyl.	o-xyl.	o-xyl.	o-xyl.
Typologie	rurale	périurb.	urbaine	rurale	périurb.	urbaine
N	207	185	149	207	185	149
Minimum	0.8	0.8	1.6	0.3	0.0	0.3
Maximum	232.8	130.3	68.8	112.3	44.7	22.7
Médiane	5.0	6.0	5.5	2.0	2.5	2.2
Moyenne	11.9	11.1	8.2	4.6	4.4	3.1
Ecart-type	22.2	16.7	9.6	9.3	6.1	3.1
Coef. de variation	1.87	1.50	1.17	2.03	1.40	0.99

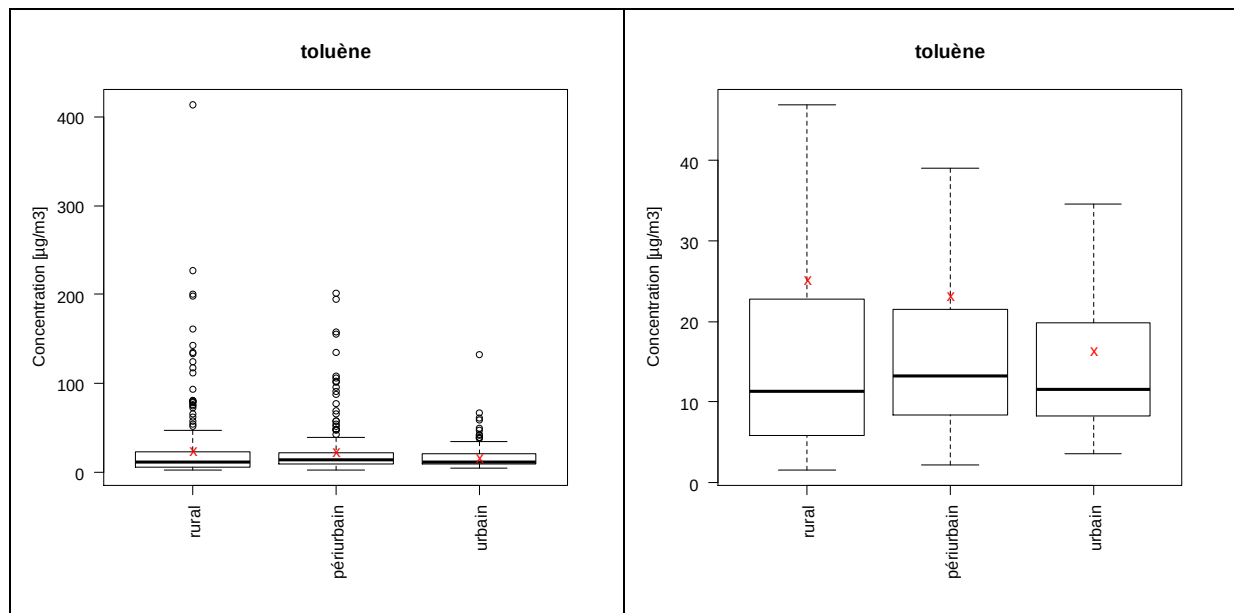


Figure 49 : Boîtes à moustaches des concentrations de toluène intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec et sans valeurs extrêmes.

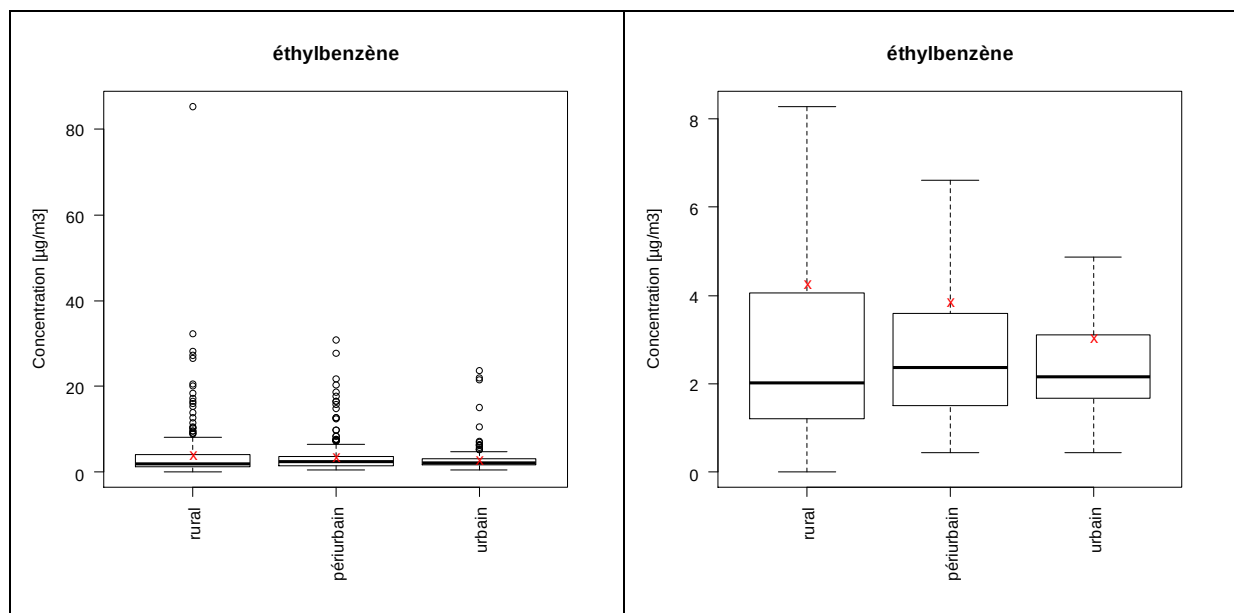


Figure 50 : Boîtes à moustaches des concentrations d'éthylbenzène intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec et sans valeurs extrêmes.

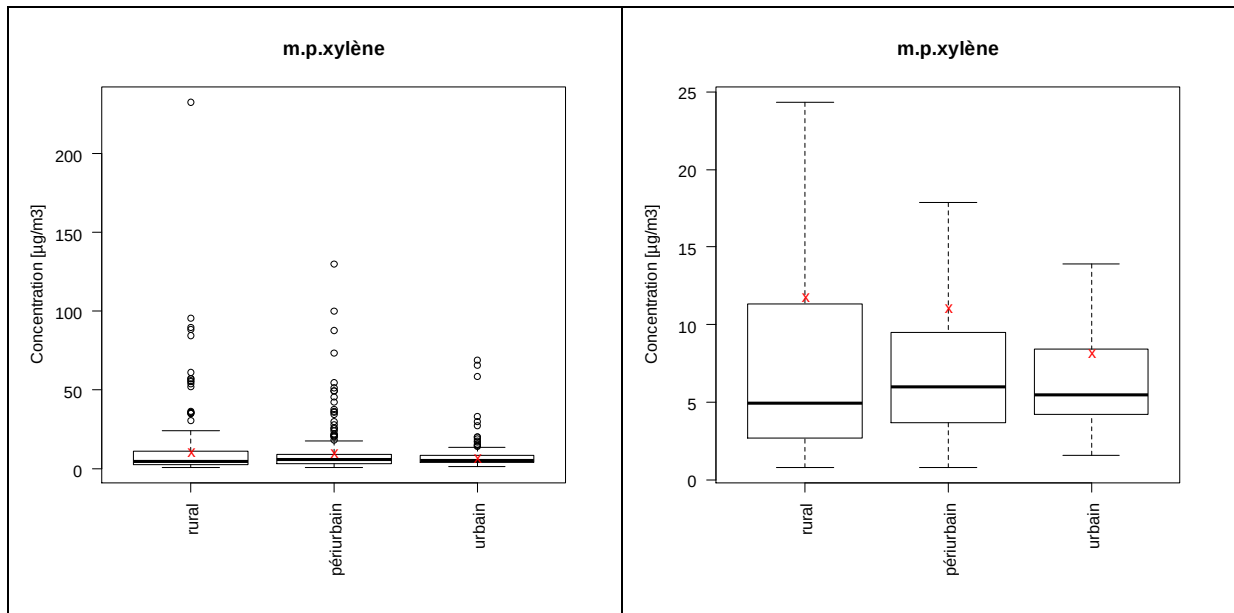


Figure 51 : Boîtes à moustaches des concentrations de m+p-xylène intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec et sans valeurs extrêmes.

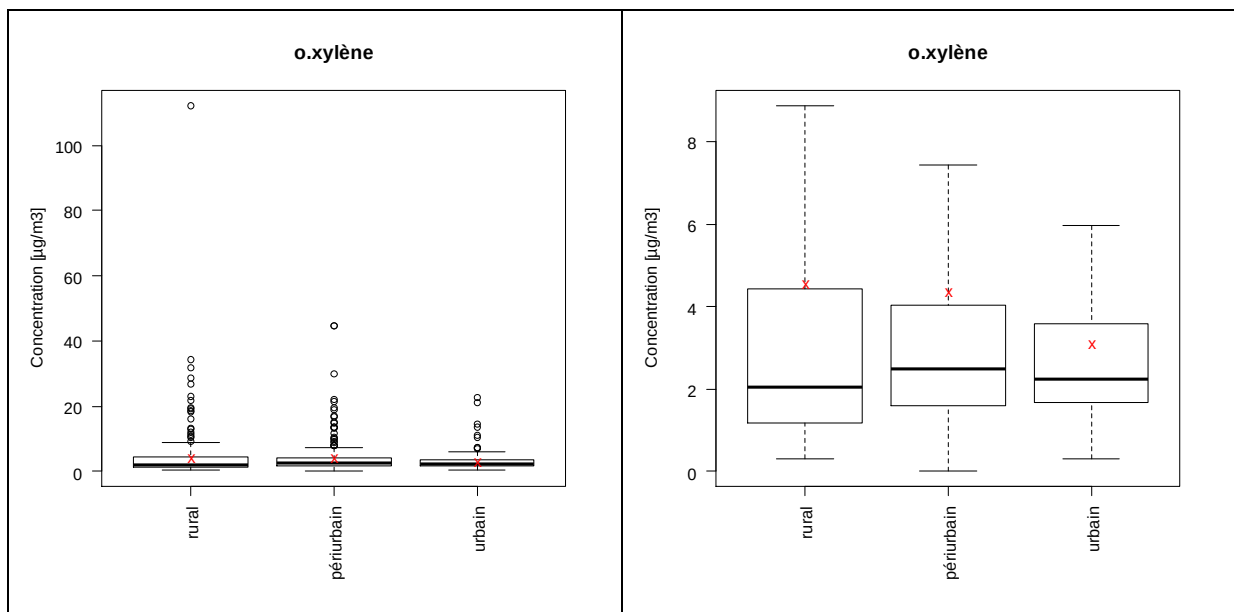


Figure 52 : Boîtes à moustaches des concentrations d'o-xylène intérieures pour les différentes typologies considérées. Avec et sans valeurs extrêmes.

Ci-après : mêmes figures en éliminant les logements qui communiquent avec un garage.

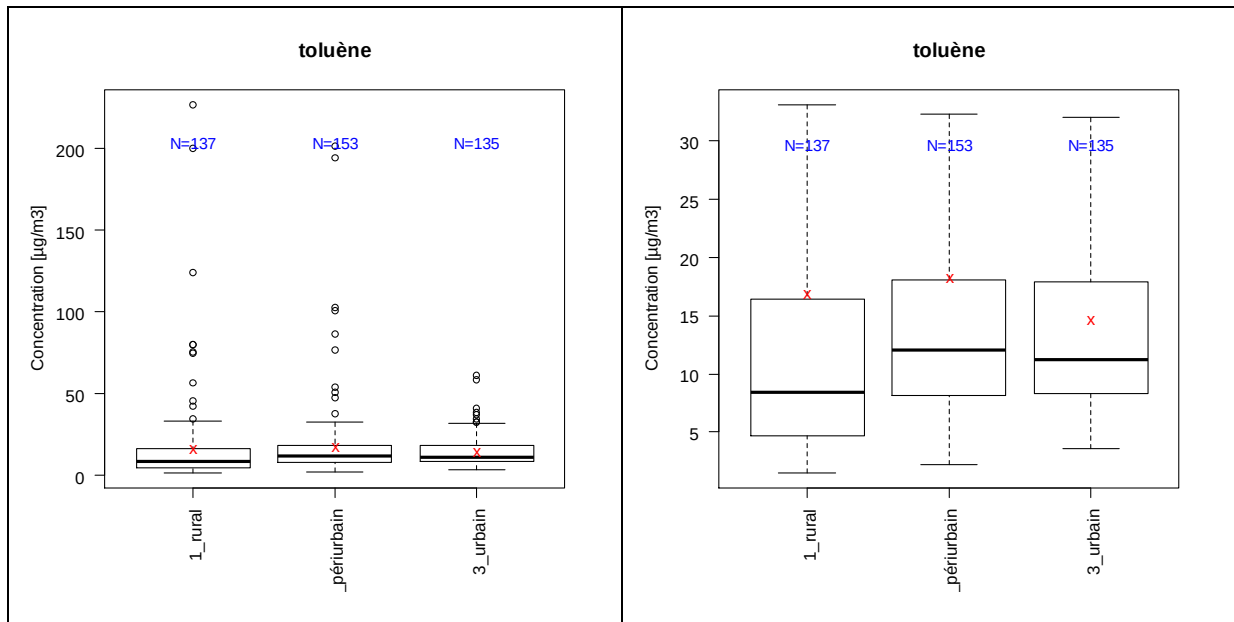


Figure 53 : Boîtes à moustaches des concentrations de toluène intérieures pour les différentes typologies considérées. **Logements sans communication avec un garage.** Avec et sans valeurs extrêmes.

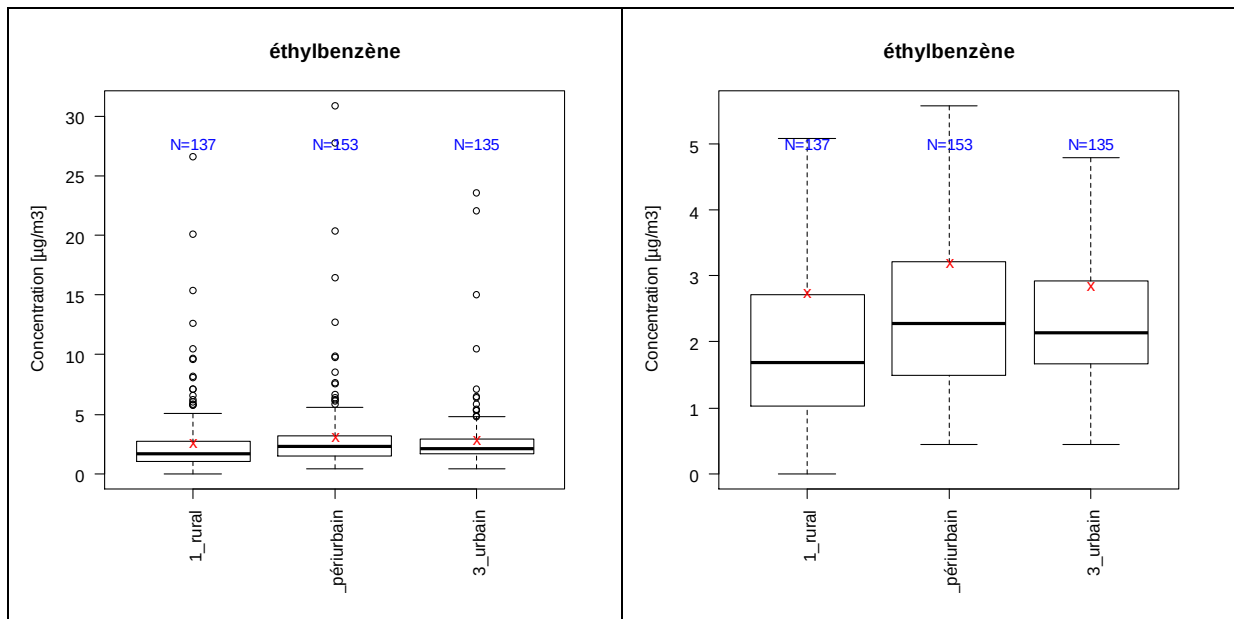


Figure 54 : Boîtes à moustaches des concentrations d'éthylbenzène intérieures pour les différentes typologies considérées. **Logements sans communication avec un garage.** Avec et sans valeurs extrêmes.

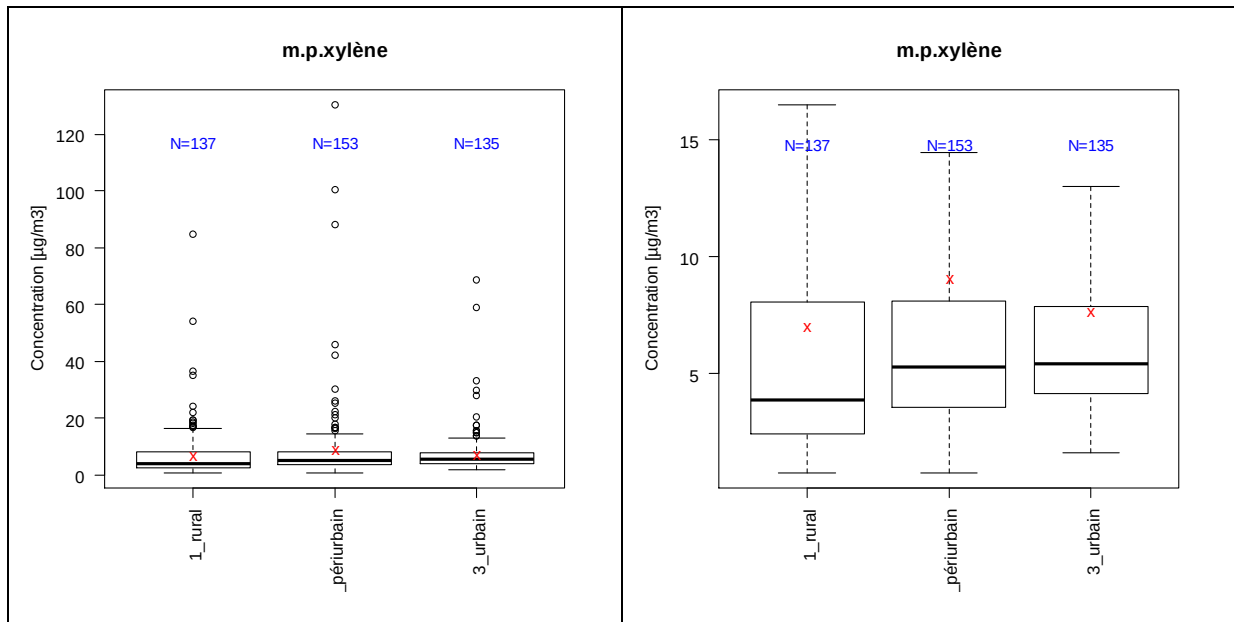


Figure 55 : Boîtes à moustaches des concentrations de m+p-xylène intérieures pour les différentes typologies considérées. **Logements sans communication avec un garage.** Avec et sans valeurs extrêmes.

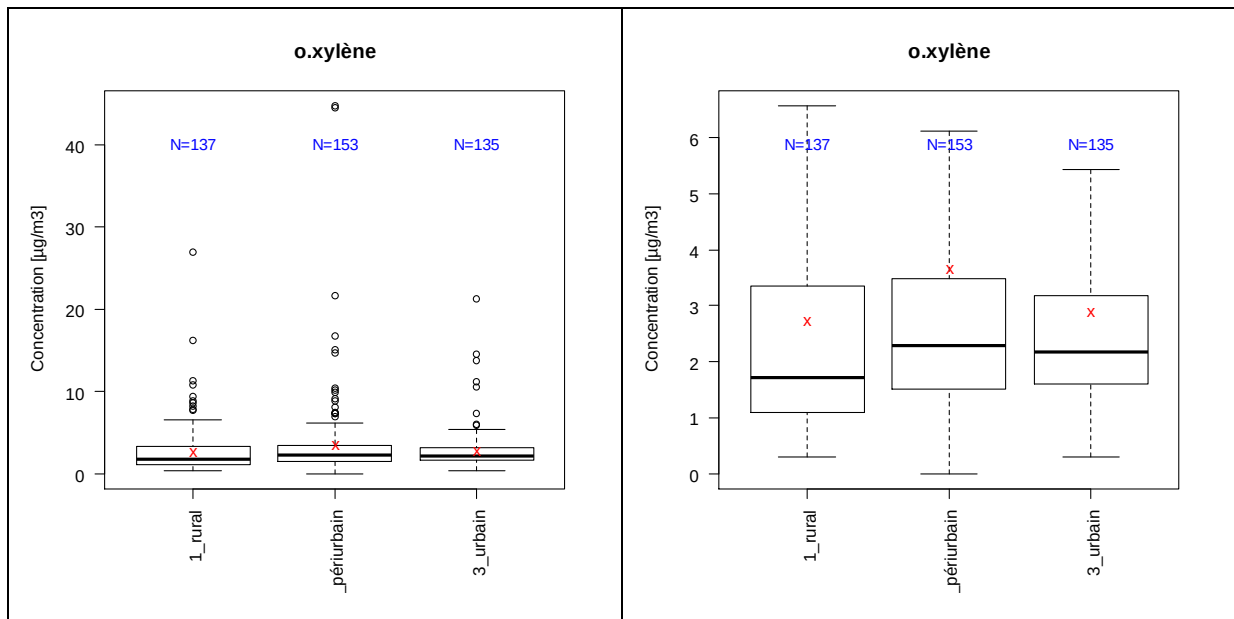


Figure 56 : Boîtes à moustaches des concentrations d'o-xylène intérieures pour les différentes typologies considérées. **Logements sans communication avec un garage.** Avec et sans valeurs extrêmes.

Statistiques en fonction de l'intensité du trafic

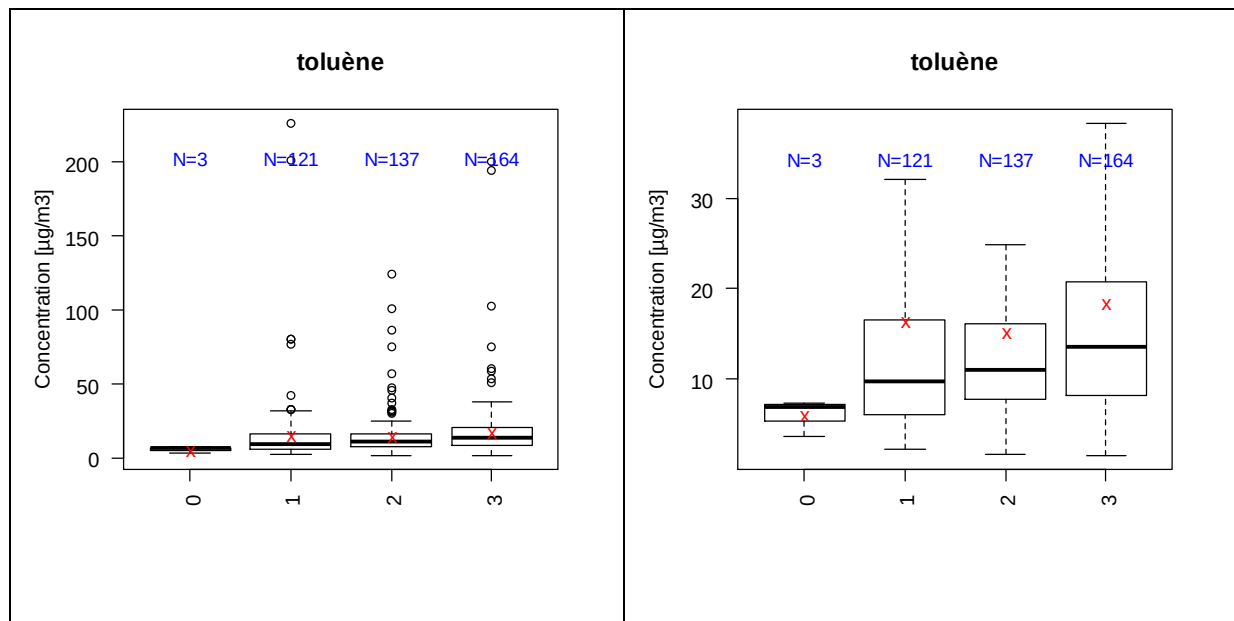


Figure 57: Boîtes à moustaches des concentrations intérieures de toluène pour les différentes intensités de trafic. **Logements sans communication avec un garage.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

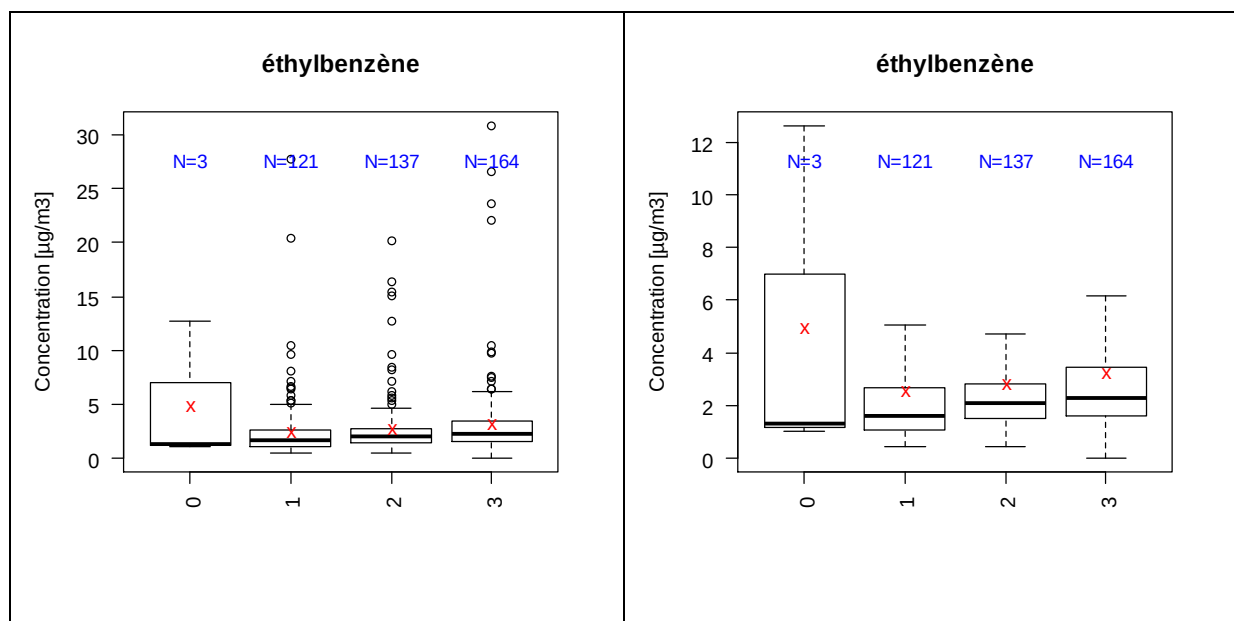


Figure 58: Boîtes à moustaches des concentrations intérieures d'ethylbenzène pour les différentes intensités de trafic. **Logements sans communication avec un garage.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

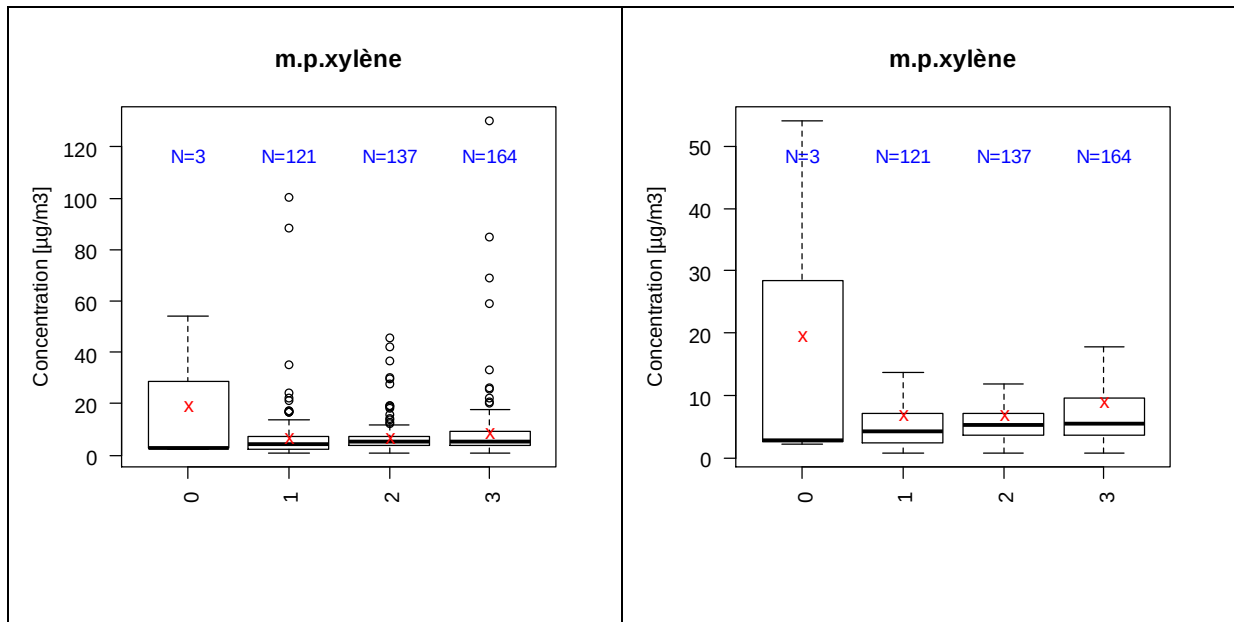


Figure 59: Boîtes à moustaches des concentrations intérieures de m+p-xylène pour les différentes intensités de trafic. **Logements sans communication avec un garage.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.

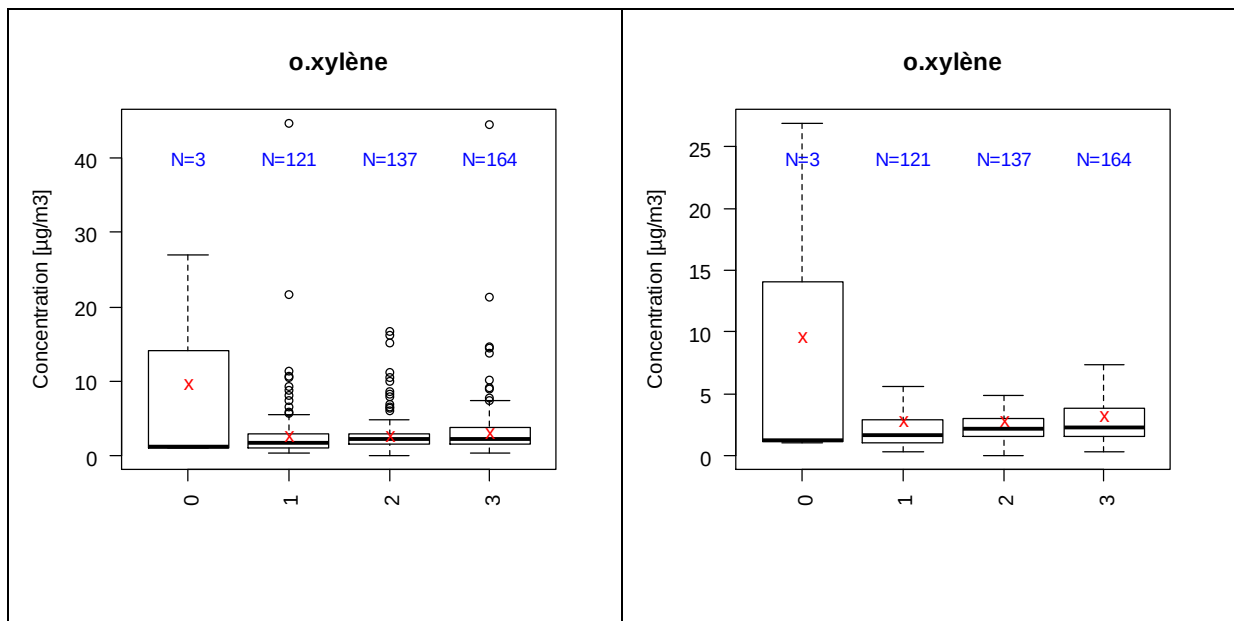


Figure 60: Boîtes à moustaches des concentrations intérieures de o-xylène pour les différentes intensités de trafic. **Logements sans communication avec un garage.** Avec (à gauche) et sans (à droite) valeurs extrêmes. En rouge : la moyenne.