



PESTILOGE

Mesure des pesticides dans l'air et les poussières dans le cadre de la campagne nationale logements 2 - Volet air

Olivier RAMALHO, Claire DASSONVILLE, Anthony GREGOIRE,
Sutharsini SIVANANTHAM, Emma LAFAURIE, Maria José RUEDA LOPEZ, Pierre
BONNET, Virginie DESVIGNES et Driss SAMRI

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
Direction Santé Confort

Mars 2025

Rapport final



Observatoire de la qualité de
l'air intérieur

CSTB
le futur en construction

Date	03/03/2025	
Code	SC-QEI-2025-038	
Version	3	
Maître d'œuvre	CSTB (DSC)	
Contact responsable de l'étude	Olivier Ramalho (olivier.ramalho@cstb.fr)	
Maître d'ouvrage	Anses (DER/UPPV)	
Niveau de lecture	expert	
Diffusion	☐ Interne	☒ Externe
Confidentialité	☐ Oui	☒ Non

Ce rapport a fait l'objet d'un financement de l'Anses au titre du dispositif de phytopharmacovigilance (<https://www.anses.fr/fr/content/la-phytopharmacovigilance>) et dans le cadre d'un contrat de coopération signé entre les parties le 9 décembre 2020. Les conclusions exprimées dans ce rapport n'engagent que leurs auteurs. Le contenu de ce rapport ne fait pas l'objet d'une validation de l'Anses et ne reflète pas nécessairement son avis définitif. La responsabilité de l'Anses ne peut être engagée en cas d'informations incomplètes ou erronées. Toute utilisation ou modification de ce rapport par des tiers, sous quelque forme que ce soit, est faite sous leur seule et entière responsabilité, sans que celle de l'Anses ne puisse être recherchée.

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).

CITATION DE CE RAPPORT

Ramalho O., Dassonville C., Grégoire A., Sivanantham S., Lafaurie E., Rueda Lopez M.J., Desvignes V., Samri D. (2025). PestiLoge - Mesure des pesticides dans l'air et les poussières dans le cadre de la campagne nationale logements 2 – Volet Air. Rapport final SC-QEI-2025-038, mars 2025, 137 pages. <https://doi.org/10.82199/oqi-cnl2-m4qp-jp07>

Dans le texte : (Ramalho et al., 2025).

REMERCIEMENTS

Financier de la campagne PestiLoge :



Financeurs de la campagne nationale logements 2 (CNL2) :



Contribution pour l'échantillonnage :



Prestataire de recrutement :



Prestataires en charges des enquêtes :



Laboratoires en charges des analyses de pesticides dans l'air et les poussières :



SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	4
SOMMAIRE	5
INDEX DE TABLEAUX ET FIGURES	8
SIGLES ET ABREVIATIONS	12
GLOSSAIRE	14
RESUME	15
ABSTRACT	17
1. Contexte et objectifs de la campagne nationale logement 2.....	18
2. Sélection des pesticides à mesurer dans l'air des logements	19
2.1. La CNL2	19
2.2. Les pesticides dans l'air	21
2.3. Sélection des pesticides mesurés dans l'air	21
3. usages de produits pesticides dans ou à l'extérieur du logement	30
3.1. Données du questionnaire occupant (première visite)	30
3.2. Données du semainier d'activités sur la semaine d'enquête.....	32
3.3. Données du questionnaire occupants (seconde visite)	32
4. Mesure des pesticides dans l'air des logements	34
4.1. Prélèvement des pesticides dans l'air des logements	34
4.1.1. Technique de prélèvement	34
4.1.2. Données de prélèvement	37
4.2. Préparation, extraction et analyse des pesticides mesurés dans l'air	39
4.2.1. Nettoyage et conditionnement des cartouches URG	39
4.2.2. Contrôle des lots de filtres et de mousses	40
4.2.3. Extraction des pesticides de la cartouche URG	40
4.3. Données d'analyses	44
5. Validation des données	46
5.1. Validation des données de prélèvement	46
5.1.1. Validation des données de suivi de prélèvement fournies par l'enquêteur....	46
5.1.2. Validation des données de prélèvement issues du fonctionnement de la pompe	46
5.1.3. Codes qualité associés au prélèvement.....	47
5.1.4. Validation finale des données de prélèvement	47
5.2. Validation des limites de détection et de quantification.....	55

5.2.1.	Contrôle des blancs de lot	57
5.2.2.	Contrôle des blancs de conditionnement.....	57
5.2.3.	Contrôle des blancs de terrain	58
5.2.4.	Limites de détection et de quantification de la méthode (LDM et LQM)	59
5.3.	Validation des données d'analyse	60
5.3.1.	Analyses invalides.....	60
5.3.2.	Validation des délais d'analyse	60
5.3.3.	Validation de la donnée au niveau substance.....	61
5.4.	Validation des données de concentration des pesticides dans l'air	62
5.4.1.	Calcul des données de concentration	62
5.4.2.	Validation finale des données de concentration.....	63
5.5.	Bilan de validation des mesures de pesticides dans l'air	64
5.6.	Validation des données issues des questionnaires	65
6.	Méthodologie statistique	66
6.1.	Unité statistique et représentativité des résultats.....	66
6.2.	Incertitudes sur les centiles de distribution de concentration	67
6.3.	Redressement et pondérations.....	67
6.4.	Croisements entre concentrations de pesticides et caractéristiques des logements	68
7.	Mesure des pesticides dans l'air des logements en France	69
7.1.	Synthèse de la méthode de mesure	69
7.2.	Fongicides	69
7.3.	Herbicides.....	72
7.4.	Insecticides	74
7.5.	Autres pesticides	77
7.6.	Résultats complémentaires pour le géraniol et le citriodiol	79
7.6.1.	Méthode de mesure du citriodiol et du géraniol	80
7.6.2.	Résultats de mesure du citriodiol et du géraniol	80
7.7.	Synthèse des résultats de mesure des pesticides dans l'air	81
8.	Caractéristiques des logements enquêtés	84
8.1.	Caractéristiques des logements	84
8.2.	Caractéristiques de l'environnement extérieur au logement	87
8.3.	Caractéristiques de la pièce instrumentée pour la mesure de pesticides.....	88
8.4.	Usages de produits pesticides sur l'année	89
8.5.	Autres caractéristiques domestiques	91
8.6.	Utilisation de produits pesticides sur la semaine.....	96

8.6.1.	Utilisation de produits pesticides sur la semaine d'enquête	97
8.6.1.	Autres activités sur la semaine d'enquête susceptibles d'influencer la présence ou la concentration de pesticides dans l'air ou les poussières	102
9.	Analyse conjointe des niveaux de concentrations de pesticides.....	106
9.1.	Corrélation entre les niveaux de concentrations de pesticides mesurés dans l'air	106
9.2.	Logements avec niveaux élevés de pesticides dans l'air	108
10.	Croisement des niveaux de concentration en pesticides avec des caractéristiques des logements.....	110
10.1.	Type de logement (individuel / collectif)	110
10.2.	Proximité d'une zone de culture.....	112
10.3.	Usages de produits pesticides dans le logement.....	112
11.	Comparaison avec la campagne CNL1 / ECOS-PM	114
12.	Comparaison des niveaux de concentrations de la CNL2 avec ceux de la CNEP	117
13.	Conclusion	125
14.	Références.....	128
ANNEXE 1 - Assurance qualité		130
ANNEXE 2 - Autres valeurs de distribution des pesticides mesurés dans l'air intérieur ...		133

INDEX DE TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1. Liste des 81 pesticides recherchés et analysés dans l'air des logements.....	24
Tableau 2. Liste des 81 pesticides recherchés et analysés dans l'air des logements classé par famille.....	28
Tableau 3. Limites de détection (LD) et de quantification (LQ) analytiques des 81 pesticides recherchés.	42
Tableau 4. Substances détectées dans les blancs de conditionnement	57
Tableau 5. Substances détectées dans les blancs de terrain.....	58
Tableau 6. Limite de détection (LDM) et de quantification de la méthode (LQM) des 21 substances détectées au moins une fois dans les blancs de terrain	59
Tableau 7. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 26 fongicides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	69
Tableau 8. Distribution des concentrations des 26 fongicides mesurées dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).	70
Tableau 9. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 20 herbicides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).	72
Tableau 10. Distribution des concentrations des 20 herbicides mesurées dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).	73
Tableau 11. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 27 insecticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	74
Tableau 12. Distribution des concentrations des 27 insecticides mesurées dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	75
Tableau 13. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 8 autres pesticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	78
Tableau 14. Distribution de la concentration des 8 autres pesticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	78
Tableau 15. Limites et fréquences de détection et de quantification pour le citriodiol et le géraniol mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	81
Tableau 16. Distribution des concentrations de citriodiol et de géraniol mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	81
Tableau 17. Caractéristiques des logements (champ : parc de résidences principales)	84
Tableau 18. Typologie urbaine/rurale de la commune du logement (champ : parc de résidences principales).....	87
Tableau 19. Zone de cultures ou de champs cultivé (y compris, pépinières, serres et jardins publics) à moins de 200 m du logement (champ : parc de résidences principales)	87
Tableau 20. Caractéristiques de la pièce instrumentée pour la mesure de pesticides dans l'air (champ : parc de résidences principales)	88
Tableau 21. Utilisation de produits pesticides dans le logement dans les 12 derniers mois (champ : parc de résidences principales)	89
Tableau 22. Utilisation de produits pesticides à l'extérieur du logement (jardin/terrain/cour) (champ : parc de résidences principales)	89
Tableau 23. Changement d'habitudes sur l'utilisation de produits pesticides avec la crise sanitaire (champ : parc de résidences principales).....	90

Tableau 24. Nombre de produits pesticides utilisés au cours de l'année et répertoriés (champ : échantillon de logements)	90
Tableau 25. Présence d'animaux domestiques dans le logement (champ : parc de résidences principales)	91
Tableau 26. Caractéristiques et pratiques liées à la présence de nuisibles dans le logement (champ : parc de résidences principales)	92
Tableau 27. Nombre de pièces avec présence de plantes d'intérieur (champ : parc de résidences principales).....	94
Tableau 28. Pratique de se déchausser à l'entrée du logement comme facteur limitant l'apport de poussières depuis l'extérieur (champ : parc de résidences principales).....	95
Tableau 29. Gêne liée à la poussière extérieure (champ : parc de résidences principales) ...	95
Tableau 30. Gêne liée aux odeurs extérieures (champ : parc de résidences principales)	96
Tableau 31. Nombre de logements ayant déclaré au moins une utilisation de produits pesticides au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales).....	98
Tableau 32. Fréquence d'utilisation de produits pesticides au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)	98
Tableau 33. Liste des produits pesticides mentionnés avoir été utilisés durant la semaine par un ou plusieurs logements et répertoriés par usage.....	99
Tableau 34. Nombre de produits pesticides décrits et photographies disponibles selon les usages à partir des données recueillies sur la semaine d'enquête.....	102
Tableau 35. Nombre de logements ayant déclaré au moins une activité à l'intérieur du logement au cours de la semaine d'enquête (champ : parc de résidences principales).....	102
Tableau 36. Fréquence de certaines activités (nettoyage, sprays) à l'intérieur du logement au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)	103
Tableau 37. Fréquence de certaines activités (bougies, encens, désodorisants, fumer, vapoter) à l'intérieur du logement au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales).....	103
Tableau 38. Fréquence d'aération des pièces sur la semaine (champ : parc de résidences principales)	104
Tableau 39. Liste de 12 pesticides dont la concentration dans l'air est associée au type de logement.....	110
Tableau 40. Comparaison des limites de détection et de quantification des pesticides entre les deux campagnes de mesure CNL1/ECOS-PM et CNL2 (en ng/m ³).	115
Tableau 41. Comparaison des fréquences de détection (%>LD) et de quantification (%>LQ), de la concentration médiane et du 95ème centile entre les deux campagnes de mesure CNL1/ECOS-PM et CNL2 (en ng/m ³). (champ : parc de résidences principales)	115
Tableau 42. Comparaison des limites et fréquences de détection (%FD) et de quantification (%FQ), des centiles de distribution de concentration entre les campagnes CNL2 (2020 - 2023) et CNEP (2018 - 2019).	122
Tableau 43. Tests de conservation des extraits sur 3 et 6 mois	130
Tableau 46. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 26 fongicides mesurés dans le séjour du logement	133
Tableau 47. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 herbicides mesurés dans le séjour du logement	134
Tableau 48. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 28 insecticides mesurés dans le séjour du logement.....	135
Tableau 49. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de la concentration des autres pesticides mesurés dans le séjour du logement	136

FIGURES

Figure 1. Schéma récapitulatif de l'échantillonnage des résidences principales pour la CNL2	19
Figure 2. Répartition géographique des communes avec au moins une enquête réalisée. ...	20
Figure 3. Schéma général de validation des substances analysables dans les environnements intérieurs par prélèvement sur cartouche URG (filtre quartz / mousse PUF) à un débit de 4 L/min et sur une durée de 7 jours (étude POPEI, Ramalho et al., 2020).	23
Figure 4. Cartouche URG personnelle avec tête de prélèvement PM _{2,5}	34
Figure 5. Pompe de prélèvement des pesticides dans l'air et débitmètre de vérification.	35
Figure 6. Caisson insonorisé abritant la pompe de prélèvement des pesticides dans l'air et celle de prélèvement des COSV et portoir de fixation des cartouches URG à une hauteur de 1m20.	35
Figure 7. Cartouche conditionnée au laboratoire prête à être utilisée, avec sa date de préparation et sa date limite d'utilisation.....	36
Figure 8. Distribution des débits avant et après prélèvement pour les 319 échantillons conformes (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).	49
Figure 9. Distribution du débit de prélèvement moyen et de l'écart de débit (final-initial) pour les 319 échantillons conformes (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).	50
Figure 10. Distribution de la durée effective de prélèvement (RT) pour les 319 échantillons conformes et (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).	51
Figure 11. Distribution du volume de prélèvement pour les 319 échantillons conformes et (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).	52
Figure 12. Influence du délai d'utilisation de cartouches conditionnées > 31 jours (1) par rapport à un délai d'utilisation conforme (≤ 31 jours, codé 0), sur les concentrations de deltaméthrine et de triallate (en ng/m ³). Test non significatif pour le triallate en tenant compte de la correction de Bonferroni (niveau de risque corrigé à 0,0006).	53
Figure 13. Nombre de températures à réception non renseignés par date de réception au laboratoire.....	55
Figure 14. Fréquence de détection et de quantification des 24 fongicides détectés dans l'air (gauche) et 95 ^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).	71
Figure 15. Fréquence de détection et de quantification des 20 herbicides détectés dans l'air (gauche) et 95 ^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).	74
Figure 16. Fréquence de détection et de quantification des 24 insecticides détectés dans l'air (gauche) et 95 ^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).	77
Figure 17. Fréquence de détection et de quantification des 8 autres pesticides détectés dans l'air (gauche) et 95 ^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).	79
Figure 18. Fréquence de détection et de quantification des 71 pesticides détectés au moins une fois dans l'air des logements sur la semaine. A gauche, les 34 pesticides détectés dans plus de 5 % des logements et à droite, les 37 pesticides détectés dans moins de 5 % des logements.	82
Figure 19. Représentation des concentrations médianes et 95 ^{ème} centiles des 34 pesticides les plus détectés au regard des limites de détection (LDM) et de quantification (LQM). Les pesticides sont classés par ordre décroissant de leur médiane respective (champ : parc de résidences principales).....	83

Figure 20. Corrélogramme des pesticides avec au moins un coefficient de corrélation de Spearman supérieur à 0,5 (champ : 542 logements).	106
Figure 21. Corrélogramme des pesticides avec au moins un coefficient de corrélation de Spearman supérieur à 0,3 (champ : 542 logements).	107
Figure 22. Part de logements avec de multiples occurrences de pesticides avec des concentrations dans l'air jugées élevées (> P75). Champ : parc de résidences principales.	108
Figure 23. Part de logements avec de multiples occurrences de pesticides avec des concentrations jugées faibles (< P25). Champ : parc de résidences principales.	109
Figure 24. Influence du type de logement sur les concentrations en chlorpyrifos éthyl, en diazinon, en folpel, en lindane, en perméthrine et en propiconazole (concentrations en échelle logarithmique).	111
Figure 25. Influence de la proximité d'une zone de cultures à moins de 200 m du logement sur les concentrations en métolachlore (concentrations en échelle logarithmique).	112
Figure 26. Fréquences de détection et de quantification des 58 pesticides mesurés dans l'air et communs aux campagnes CNL2 (2020-2023, parc de résidences principales) et CNEP (2018-2019, air ambiant France métropolitaine).	119
Figure 27. Comparaison du 95 ^{ème} centile de concentration des 58 pesticides mesurés dans l'air et communs aux campagnes CNL2 (2020-2023, parc de résidences principales) et CNEP (2018-2019, air ambiant France métropolitaine), échelle logarithmique. Le domaine <LD est représenté en bleu clair pour la CNEP et en jaune clair pour la CNL2.	121

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFNOR	Association française de normalisation
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ASE	Extraction par solvant accélérée ou extraction par liquide pressurisée (PLE)
CCTP	Cahier des clauses techniques particulières
CNEP	Campagne nationale exploratoire de mesure des résidus de pesticides dans l'air ambiant (juin 2018 – juin 2019)
CNL1	Campagne nationale logements n°1 (septembre 2003 – décembre 2005)
CNL2	Campagne nationale logements n°2 (novembre 2020 – février 2023)
COSV	Composés organiques semi-volatils
COV	Composés organiques volatils
Covid-19	Maladie à coronavirus 2019
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CV	Coefficient de variation (ou écart-type relatif)
DEET	N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide (CAS n° : 134-62-3)
DGPR	Direction générale de la Prévention des Risques
DGS	Direction générale de la Santé
DHUP	Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages
DREES	Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques
DSC	Direction Santé Confort du CSTB
ECOS-PM	Volet de mesure des composés organiques semi-volatils dans la phase particulaire (PM ₁₀) des logements enquêtés durant la CNL1 dans le cadre du projet ECOS (Exposition Cumulée aux Composés organiques Semi-volatils dans l'habitat)
EHIS	Enquête de santé européenne (European Health Interview Survey)
GC	Chromatographie en phase gazeuse
HILIC	Chromatographie par interaction hydrophile
HPLC	Chromatographie en phase liquide haute performance
HR	Humidité relative
IC	Intervalle de confiance
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
IRDES	Institut de recherche et documentation en économie de la santé

LD	Limite de détection du laboratoire exprimée en masse collectée sur support ou en concentration (rapportée au volume prélevé)
LDM	Limite de détection de la méthode globale exprimée en masse collectée sur support ou en concentration (rapportée au volume prélevé)
LQ	Limite de quantification du laboratoire exprimée en masse collectée sur support ou en concentration (rapportée au volume prélevé)
LQM	Limite de quantification de la méthode globale exprimée en masse collectée sur support ou en concentration (rapportée au volume prélevé)
MS	Spectrométrie de masse
MS/MS	Spectrométrie de masse en tandem
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
OQEI	Observatoire de la qualité des environnements intérieurs
P25	25 ^{ème} centile
P50	Médiane
P75	75 ^{ème} centile
P90	90 ^{ème} centile
P95	95 ^{ème} centile
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PBDE	Polybromodiphényl éthers
PCB	Polychlorobiphényles
PERF	Catégorie de performance analytique d'une substance
PM_{2.5}	Fraction massique de particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
PM₁₀	Fraction massique de particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
POPEI	Convention de recherche et développement Anses/CSTB sur l'étude de faisabilité pour la mesure de pesticides dans la campagne nationale logements n° 2 de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur
PPV	Dispositif de phytopharmacovigilance
PUF	Mousse polyuréthane (<i>polyurethane foam</i>)
RDT	Rendement d'extraction
RET	Capacité de rétention (ou efficacité de piégeage)
SpF	Santé publique France
T	Température
TD	Désorption thermique
TTA	Tenax TA
URG	Fabricant de cartouches de prélèvement de pesticides (dites cartouches URG)
UU	Unité urbaine

GLOSSAIRE

Capacité de rétention : également appelée efficacité de piégeage, correspond au rendement de récupération d'une quantité de substance dopée sur un support dans les conditions de débit, durée et volume de prélèvement.

CNL2 : Campagne nationale logements 2 couvrant la France métropolitaine continentale répartie en 20 régions ou zones d'enquête et consistant à enquêter au domicile des participants au travers de l'administration de questionnaires et de la mise en place d'instruments de mesure. La CNL2 est menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) dont le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) est l'opérateur technique. Les financeurs de la CNL2 sont les ministères publics (DGPR, DHUP, DGS), l'Ademe, Santé publique France et l'Anses (pour le volet mesure des pesticides dans l'air et les poussières).

Pesticides : Les pesticides intègrent les produits phytopharmaceutiques (produits destinés à protéger les végétaux et les produits de culture), les produits biocides (produits destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles) et les antiparasitaires vétérinaires et humains. Ces produits regroupent des insecticides, des fongicides, des herbicides, etc. Ils permettent de prévenir, contrôler ou lutter contre des organismes jugés indésirables, qu'il s'agisse de plantes, de champignons ou de bactéries. Retenir le terme de « pesticides » pour désigner l'ensemble de ces produits est une convention. Elle ne présume pas de l'usage que peuvent faire différents acteurs de cette appellation.

Rendement d'extraction : Il correspond au rendement de récupération d'une quantité de substance dopée sur un support dans les conditions d'extraction et d'analyse du laboratoire.

RESUME

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) présente les résultats de mesure des pesticides dans l'air des logements dans le cadre de la deuxième campagne nationale sur la qualité de l'air dans les logements en France (CNL2). La campagne couvre la période de novembre 2020 à février 2023. Elle associe des mesures de qualité de l'air au domicile des participants sur une semaine de 7 jours à une enquête sur les caractéristiques des logements, des ménages et des équipements présents, complétée par la fréquence des activités domestiques et la perception des occupants sur leur confort.

Parmi les nombreux paramètres mesurés, les pesticides sélectionnés pour être mesurés dans l'air des logements ont été choisis sur la base de travaux de hiérarchisation menés par l'Anses en tenant compte de critère sanitaire et de la faisabilité métrologique. Un marché public a permis d'identifier un laboratoire au niveau national capable d'analyser 81 pesticides.

A la fin du terrain de l'enquête, 571 logements ont été enquêtés. Un total de 1516 individus a répondu aux questions de l'enquête. Les logements enquêtés sont répartis dans 321 communes et 84 départements. L'élaboration d'un jeu de pondération permet d'exprimer les résultats observés à l'échelle du parc national de 29,7 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

Sur les 81 pesticides recherchés dans l'air, dix d'entre eux n'ont jamais été détectés dans les logements. Quatre pesticides, dont deux insecticides et deux insectifuges (DEET, icaridine, lindane et transfluthrine) sont détectés dans plus de 80 % des logements. Avec la perméthrine, ils sont également quantifiés dans plus de 50 % des logements. Le fongicide le plus détecté et le plus quantifié est le folpel. Pour les herbicides, c'est le chlorprophame qui est le plus fréquemment détecté. Trente-sept pesticides ne sont que très rarement détectés. Dans une faible proportion de logements, les concentrations de certains pesticides dépassent 1 voire 10 ng/m³.

De fortes corrélations sont observées entre les trois herbicides pendiméthaline, prosulfocarbe et triallate, entre les deux insecticides lindane et pentachlorophénol et entre les deux insectifuges DEET et icaridine. Les premiers croisements réalisés montrent une association de certains pesticides avec le type de logement ou le mois de l'enquête.

Les résultats observés dans le cadre de PestiLoge montrent des résultats très différents pour 10 pesticides communs aux campagnes CNL2/PestiLoge et CNL1/ECOS-PM. Mais, ces différences tiennent surtout au fait que la matrice de mesure n'est pas la même (phases gazeuse et particulaire d'une part et uniquement phase particulaire de l'autre).

Une comparaison des niveaux de pesticides observés dans les logements avec les niveaux mesurés dans l'air ambiant dans le cadre de la Campagne Nationale Exploratoire de mesure des résidus de Pesticides dans l'air ambiant (CNEP, 2018-2019) a pu être menée sur les 58 pesticides en commun. En particulier, cinq pesticides (chlorprophame, pentachlorophénol, chlorpyriphos-éthyl, folpel et lindane) sont beaucoup plus souvent détectés dans les logements que dans l'air ambiant. Inversement, la pendiméthaline, le métolachlore, le propyzamide et le chlorpyriphos-méthyl sont plus fréquemment détectés en air ambiant.

Les niveaux de concentration en pesticides mesurés dans les poussières des logements viennent compléter les résultats présentés dans un rapport annexe.

MOTS CLES : Enquête nationale, résidentiel, fongicide, herbicide, insecticide, air intérieur.

ABSTRACT

The French Observatory of indoor air quality (OQAI) presents the results of pesticide measurements as part of the second national campaign on air quality in French dwellings. The campaign covers the period from November 2020 to February 2023. It combines air quality measurements over a 7-day week with a survey of the characteristics of dwellings, households and equipment, frequency of domestic activities and individual perception of their well-being and comfort.

Among the many parameters measured, the pesticides selected to be measured in the air of dwellings were chosen based on a hierarchical ranking carried out by Anses, taking into account health criteria and metrological feasibility. A public tender was used to identify a national laboratory able to analyze 81 pesticides of this list.

At the end of the field survey, 571 households were investigated and a total of 1516 individuals participated to the survey. These households are located in 321 municipalities and 84 departments. Sampling weights were used to express the results at the national level, i. e. the 29.7 million main residences in mainland France.

Among the 81 pesticides searched, ten of them were never detected in dwellings. Four pesticides, including two insecticides and two insect repellents (DEET, icaridin, lindane and transfluthrin) were detected in more than 80% of dwellings. Together with permethrin, they were also quantified in over 50% of homes. The most detected and the most quantified fungicide was folpel and chlorpropham was the most detected herbicide. Thirty-seven pesticides were detected very rarely. In a small proportion of dwellings, concentrations of certain pesticides exceed 1 or even 10 ng/m³.

Strong correlations were observed between the three herbicides pendimethalin, prosulfocarb and triallate, between the two insecticides lindane and pentachlorophenol, and between the two insect repellents DEET and icaridin. Initial cross-tabulations showed an association between some pesticides and the type of dwellings or the month of the survey.

Very different results were observed for 10 pesticides common to the CNL2 / PestiLoge and CNL1 / ECOS-PM campaigns. They are mainly caused by the difference between measurement matrices, the particulate phase for CNL1 vs gas and PM_{2,5} phase for CNL2.

A comparison of pesticide levels observed in dwellings with levels measured in ambient air (CNEP 2018-2019) was carried out on 58 pesticides in common. Five pesticides (chlorpropham, pentachlorophenol, chlorpyrifos-ethyl, folpel and lindane) were more frequently detected in dwellings than in ambient air. Conversely, pendimethalin, metolachlor, propyzamide and chlorpyrifos-methyl were more frequently detected in ambient air.

Pesticide concentration levels measured in house dust will supplement these results in a future report.

KEY WORDS: National survey, dwellings, fungicide, herbicide, insecticide, indoor air

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE NATIONALE LOGEMENT 2

Dans le cadre de ses missions, le dispositif de phytopharmacovigilance (PPV) souhaite renforcer ses connaissances en matière de contamination en pesticides des matrices air intérieur et poussières déposées dans le logement qui restent peu documentées.

Dans ce contexte, différents partenariats ont été mis en place entre le CSTB et l'ANSES concernant la PPV via les CRD ANSES / CSTB N°2017-CRD-16_PPV17 (POPEI) et N°2019-CRD-02-PPV19 (PESTIDUST). L'objectif était d'étudier la faisabilité de la mesure, dans l'air intérieur et les poussières déposées au sol, des pesticides hiérarchisés par l'Anses dans le cadre de la campagne nationale logement 2 (CNL2) de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). Ces projets ont permis de finaliser les développements analytiques nécessaires à la mesure de certaines substances activées jugées prioritaires à la fois dans l'air et les poussières.

L'ensemble de ces travaux ont permis de mettre en place le contrat de collaboration entre pouvoirs adjudicateurs (Anses et CSTB) relatif à la mesure des pesticides dans l'air et les poussières dans le cadre de la CNL2, ci-après nommé le programme PestiLoge.

En effet, l'OQAI a lancé une nouvelle campagne nationale visant à mieux connaître la qualité de l'air dans les logements en France métropolitaine continentale (CNL2). Elle a pour objectif d'actualiser un premier état de la qualité de l'air établi entre 2003 et 2005, tout en apportant de nouvelles connaissances sur des substances émergentes ou peu étudiées à ce jour.

La CNL2 vise notamment à établir une distribution des différents indicateurs de la qualité de l'air à l'échelle du parc national de résidences principales en France métropolitaine continentale, avec une précision relative de 10 % pour les polluants jugés prioritaires. Un échantillonnage à deux degrés après définition et tirage des zones d'enquête permet de sélectionner les logements à enquêter au sein de chaque zone, pour un échantillon cible de 600 logements.

Le présent rapport décrit l'ensemble des résultats obtenus associés à la mesure des pesticides dans l'air des logements enquêtés dans le cadre de la CNL2. Il convient de se référer au premier rapport descriptif de la CNL2 (Ramalho et al., 2025a) au regard des aspects relatifs au recrutement des logements, à la mise en œuvre des enquêtes, au descriptif des autres paramètres mesurés et au bilan terrain de la campagne CNL2. Les résultats associés à la mesure des pesticides dans les poussières ont fait l'objet d'un rapport complémentaire CSTB SC-QEI-2025-038 (Ramalho et al., 2025b).

Des premiers éléments liés au recueil des références des produits, des numéros d'autorisation de mise sur le marché et des photos de produits disponibles sont présentés. Une exploitation plus approfondie de ces données est nécessaire pour établir une liste exhaustive de la composition des produits utilisés. Le cadre de réalisation de cette exploitation reste à définir.

2. SELECTION DES PESTICIDES A MESURER DANS L'AIR DES LOGEMENTS

2.1. La CNL2

Un descriptif complet du recrutement des logements et de la mise en œuvre des enquêtes est détaillé dans le rapport Campagne Nationale Logements 2 : Etat de la qualité de l'air dans les logements en France métropolitaine (novembre 2020 – février 2023), Partie 1 : COV, COSV, NO₂, Particules et Radon (Ramalho et al., 2025). Une brève synthèse est présentée ci-après.

L'échantillonnage des logements enquêtés a été réalisé sur la base des 14 192 participants à l'enquête EHIS au niveau de la France métropolitaine en 2019 (Leduc et al., 2021), parmi lesquels 13 474 ont répondu à une question relative à l'autorisation de transmission de leurs coordonnées en vue d'obtenir plus de détails sur la campagne CNL2. Sur cette base et après consolidation, les coordonnées de 3 667 foyers désireux d'en savoir plus ont été communiquées au prestataire en charge du recrutement de la CNL2. Toutes les adresses ont été contactées. Après quelques relances, 750 accords de consentement à participer à la CNL2 ont été reçus. A la fin du terrain de l'enquête, 571 logements ont été enquêtés en deux vagues (de novembre 2020 à décembre 2021 et de janvier 2022 à février 2023). Un total de 1 516 individus a répondu aux questions de l'enquête.

La procédure d'échantillonnage des logements pour la CNL2 est résumée par la **Figure 1**.

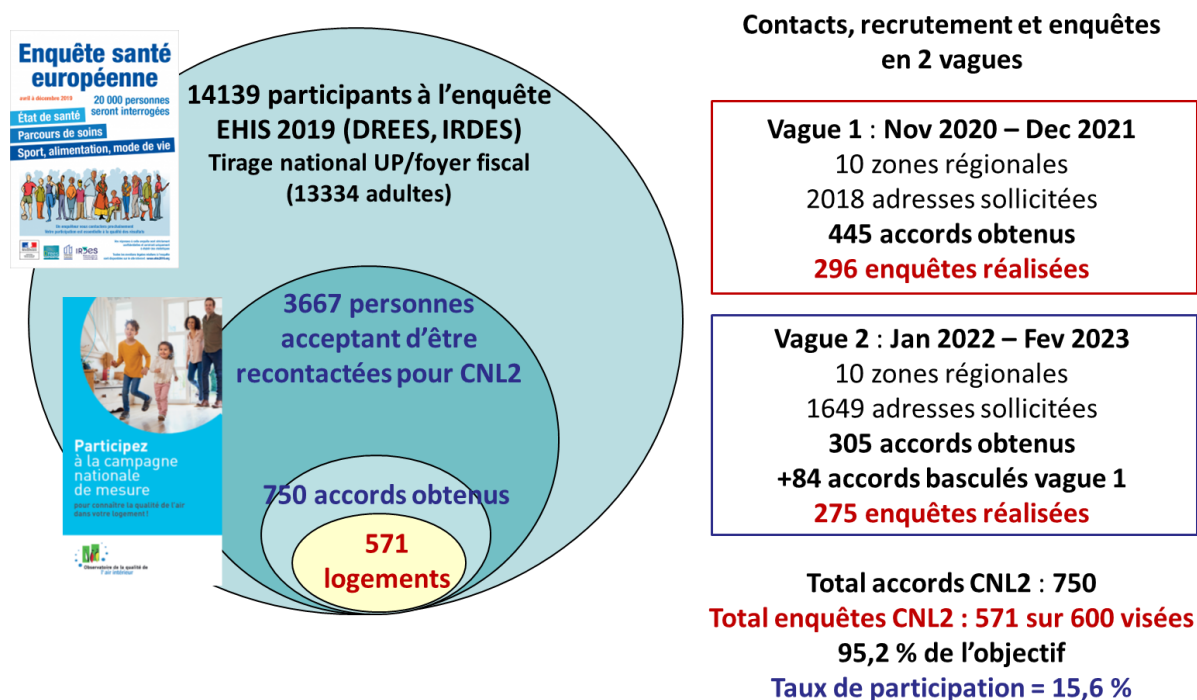


Figure 1. Schéma récapitulatif de l'échantillonnage des résidences principales pour la CNL2

Les 571 enquêtes réalisées se répartissent dans 321 communes sur les 389 communes des foyers ayant initialement donné leur consentement de participation (**Figure 2**). La répartition géographique est assez homogène malgré le faible nombre de communes représentées. Une à 32 enquêtes sont réalisées par commune.

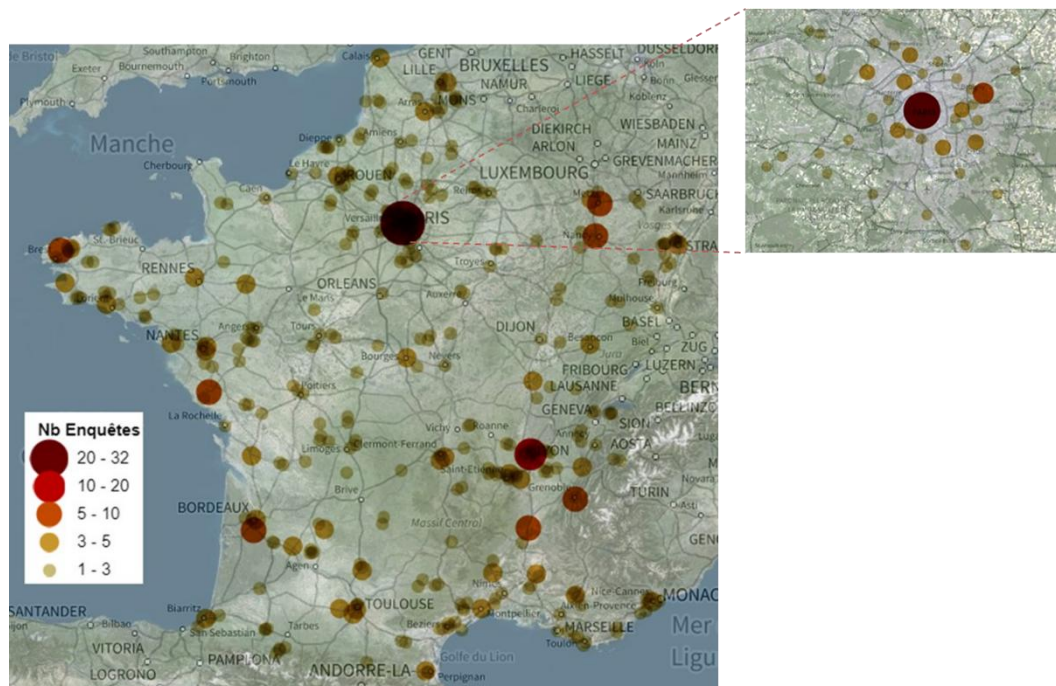


Figure 2. Répartition géographique des communes avec au moins une enquête réalisée.

Ces éléments permettent de voir que la représentativité temporelle d'une part n'est assurée que sur la période globale de la campagne et qu'il n'est pas conseillé de comparer différentes sous-périodes de la campagne (saisons, mois) entre elles.

D'autre part, la représentativité spatiale visée est celle de la France métropolitaine continentale. Il n'y a aucune représentativité possible à l'échelle de la région, du département ou de la commune.

L'enquête CNL2 peut être résumée de la façon suivante :

- Deux visites à 7 jours d'intervalle par 2 enquêteurs terrain ;
- Instrumentation de 2 pièces du logement : chambre de la personne de référence et séjour, avec également des mesures ponctuelles aux bouches de ventilation des pièces de service et l'instrumentation de l'extérieur du logement ;
- Mise en place de dispositifs de mesure par diffusion ou en continu sur une semaine en plus de mesures ponctuelles (débits d'air) ;
- Mesure des paramètres de confort ;
- Mesure des substances prioritaires (issues d'une hiérarchisation OQAI/CNL2) ;
- Mesure de substances pesticides (issues d'une hiérarchisation ANSES/PPV) ;
- Mesure du radon (prise en charge IRSN) et des moisissures (Université de Lille) ;
- Administration de questionnaires en face-à-face avec la personne de référence du ménage, ainsi qu'avec les individus composant le ménage (questionnaires individu) ;
- Distribution des questionnaires individuels auto-administrés (temps passé, semainier activités, semainier des symptômes, questionnaires santé de Santé publique France) ;

- Renseignement du questionnaire enquêteurs (descriptifs des équipements et matériaux des pièces).

Un redressement en trois étapes, suivi d'un calage sur marge (technique de redressement croisant plusieurs variables aux marges connues dans la population d'étude), a conduit à l'élaboration d'un jeu de pondération qui permet d'exprimer les résultats observés à l'échelle du parc de 29,7 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

2.2. Les pesticides dans l'air

Les pesticides sont des substances actives intégrées dans la formulation de produits pesticides et destinés à lutter contre les organismes jugés nuisibles, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, de champignons ou de bactéries. Ils sont utilisés dans de nombreux produits à usage domestique et professionnels pour les soins aux animaux, pour le traitement du bois, des textiles et du cuir, dans l'industrie de la peinture, etc. Certains pesticides peuvent entrer dans la composition des médicaments antiparasitaires à usage vétérinaire ou humain indiqués notamment pour l'éradication des poux, des lentes, de la gale et des tiques (ANSES 2010).

En usage agricole, les pesticides se retrouvent dans l'air ambiant lors du traitement des cultures, soit par dispersion des gouttelettes dans l'air au moment des pulvérisations, soit par volatilisation après application à partir des sols et plantes traités (évaporation des pesticides contenus dans les sols et les plantes), ou encore par érosion des sols traités sous l'action du vent (remise en suspension de particules dans l'air). Les pesticides ainsi présents dans l'air sont transportés par les masses d'air et peuvent se retrouver aussi bien à la campagne que dans de grosses agglomérations à plusieurs kilomètres des terres cultivées. Dans les villes, des produits pesticides peuvent également être appliqués lors du traitement des voiries ou d'usages particuliers tels que l'entretien des arbres, plantes et jardins ou la protection contre les insectes.

Dans les environnements intérieurs, les pesticides retrouvés proviennent d'une part des produits pesticides utilisés dans un cadre domestique pour lutter contre la prolifération d'insectes volants ou rampants, produits antimites, produits antiparasitaires à usage vétérinaire ou médicamenteux, produits de traitement du bois, etc., et d'autre part du transfert depuis l'air ambiant de pesticides à usage extérieur. Enfin, la grande majorité des substances actives sont semi-volatiles, ce qui implique qu'elles se partagent entre les différents compartiments des environnements intérieurs (phase gazeuse, phase particulaire, poussières sédimentées et surfaces). Les surfaces et poussières jouent en particulier un rôle de réservoir d'adsorption. Si bien qu'il est possible de retrouver quelquefois plusieurs années après leur utilisation, la présence de substances actives aujourd'hui interdites dans l'air et les poussières des environnements intérieurs.

2.3. Sélection des pesticides mesurés dans l'air

La liste de substances pertinentes à considérer dans le cadre de l'étude PestiLoge a été établie par l'Anses en s'appuyant au préalable sur des travaux de hiérarchisation issus de données

provenant de l'enquête Pesti'home¹ et de l'expertise Air ambiant et Pesticides de 2017². Deux listes ont ainsi été créées, une hautement prioritaire avec 92 représentants, et une prioritaire avec 27 représentants, pour un total de 119 substances actives ciblées. La méthodologie de priorisation des substances est décrite en détail dans la note technique du 6 novembre 2018 fournie élaborée par l'Anses³. La faisabilité de la mesure de ces substances dans les environnements intérieurs a fait l'objet de l'étude dédiée POPEI (Ramalho et al., 2020). Les conclusions de cette étude sont résumées ci-après.

Deux substances ont été rajoutées très tardivement à la liste initiale de 119 substances la portant à 121 substances. Il s'agit du 2,4-D (ester du 2-éthylhexyle) et du triclopyr (ester du butyl glycol) en remplacement de leurs versions acides pour lesquelles des difficultés dans le développement analytique sont apparues. Ces deux substances présentaient déjà une méthode d'analyse validée par le laboratoire par méthode ASE-GC-MS/MS avec un rendement d'extraction déterminé, mais aucun test d'efficacité de piégeage sur cartouche URG n'avait encore été réalisé.

La liste a été réduite à 118 substances (en comptant le 2,4-D ester et le triclopyr ester) du fait que 1) l'analyse du cuivre déjà listé permet de caractériser le sulfate de cuivre, 2) la phtalhrine est un synonyme de la tétraméthrine qui n'est analytiquement pas dissociable de la tétraméthrine-D et 3) le méthoprène n'est également pas dissociable du méthoprène-S.

Après échanges avec différents laboratoires nationaux, 95 substances sont analysables par méthode ASE-GC-MS/MS ou ASE-LC-MS/MS, sur la base d'un seul prélèvement et d'une seule méthode d'extraction. Douze substances nécessitent une autre voie analytique (et donc un prélèvement supplémentaire) pour être mesurés. Douze autres substances ne présentent pas de méthodes optimisées pour leur analyse.

La performance analytique des méthodes ASE-GC-MS/MS et ASE-LC-MS/MS pour les 95 substances reste inconnue dans le cadre d'un protocole de mesure dédié à l'environnement intérieur. Des adaptations et des développements analytiques ont été nécessaires pour déterminer cette performance analytique (étude POPEI, Ramalho et al., 2020).

La détermination du rendement d'extraction en laboratoire (RDT) et de la capacité de rétention (RET%) des 95 substances a permis de conclure sur la possibilité de mesurer ces substances dans l'air des environnements intérieurs à partir de prélèvements réalisés sur cartouche URG (filtre quartz / mousse PUF) avec un débit de 4 L/min et sur une durée de 7 jours (soit environ 40 m³ d'air prélevé).

La **Figure 3** présente le schéma général des différentes étapes de validation réalisées pour statuer sur la possibilité de mesurer ces substances avec les conditions de prélèvement et d'analyse requises pour les environnements intérieurs.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/pestihome-étude-sur-les-utilisations-domestiques-des-pesticides>

² <https://www.anses.fr/fr/content/recommandations-de-l'anses-pour-la-mise-en-oeuvre-d'une-surveillance-nationale-des-pesticides>

³ Note technique du 6 novembre 2018 de l'Anses relative à la priorisation des substances à surveiller dans l'air intérieur dans le cadre de l'étude PPV « POPEI ».

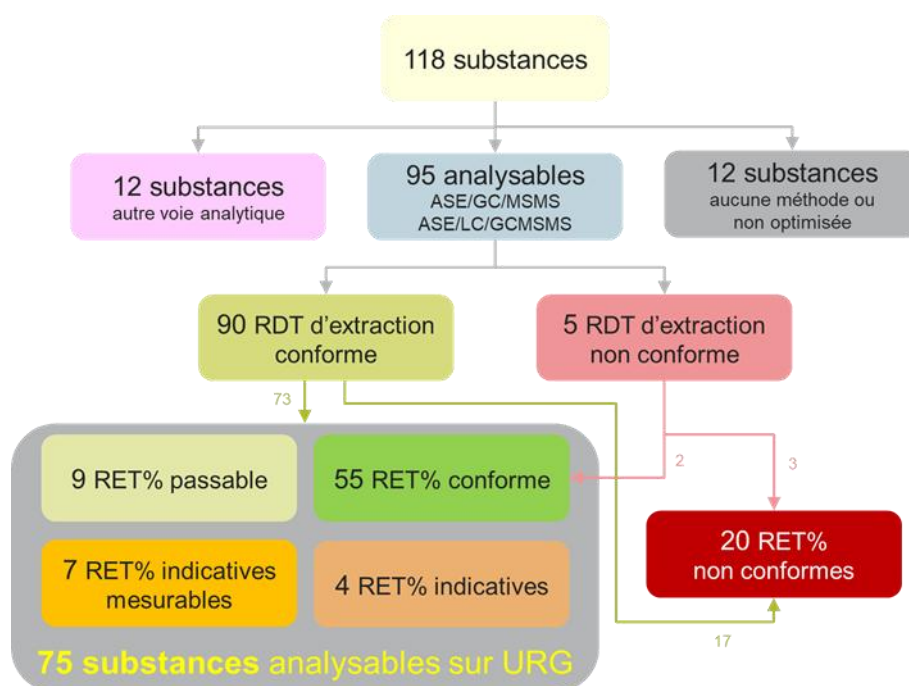


Figure 3. Schéma général de validation des substances analysables dans les environnements intérieurs par prélèvement sur cartouche URG (filtre quartz / mousse PUF) à un débit de 4 L/min et sur une durée de 7 jours (étude POPEI, Ramalho et al., 2020).

Sur les 118 substances initiales, 95 sont analysables par ASE-GC-MS/MS ou ASE-LC-MS/MS à partir d'un seul et même extrait issu d'un prélèvement. Douze substances nécessitent des voies analytiques spécifiques et par conséquent des prélèvements dédiés. Douze autres substances n'ont pas fait l'objet de développement analytique ou celui-ci n'est pas optimisé. Ces 24 substances n'ont pas fait l'objet d'essais spécifiques pour la détermination du rendement d'extraction ni de l'efficacité de piégeage.

Sur les 95 substances analysables, 90 présentent un rendement d'extraction conforme et 5 ont un rendement d'extraction non conforme ou trop variable.

Sur les 95 substances analysables, 20 présentent une capacité de rétention insuffisante et 75 seraient mesurables dans l'air des environnements intérieurs à partir de prélèvements sur cartouche URG. Mais, parmi ces 75 substances, il est nécessaire de distinguer différentes catégories :

- 55 substances ont une capacité de rétention conforme (comprise entre 60 % et 120 %) et sont quantifiables sur cartouche URG ;
- 9 substances présentent une capacité de rétention non conforme mais passable (comprise entre 50 % et 140 %) et en général stable. Ces substances sont quantifiables sur cartouche URG. Une correction pourrait être appliquée pour tenir compte du biais de sous-estimation ou de surestimation de la concentration. Ces neuf substances sont : acétamipride, bifenthrine, lambda-cyhalothrine, cyprodinil, diflufenicanil, diméthénamide, prochloraze, thiaclopride et triallate ;
- 7 substances présentent une capacité de rétention trop faible (entre 25 % et 38 %) ou trop élevée (entre 150 % et 165 %), mais qui reste stable. Ces substances sont quantifiables sur cartouche URG, mais les concentrations observées sont entachées d'une forte incertitude. Une correction peut être appliquée pour tenir compte du biais

de sous-estimation ou de surestimation de la concentration. Ces données chiffrées restent indicatives. Les 7 substances dans cette catégorie sont : le dicloran, l'endrine, le chlorprophame, le diazinon, le piperonyl butoxyde (PBO), le pentachlorophénol et le prosulfocarbe ;

- 4 substances présentent une capacité de rétention trop variable ou au-delà de 200 %. Pour ces substances, leur quantification sur cartouche URG est très délicate. Il n'est possible de se prononcer que sur la présence ou l'absence de la substance dans le prélèvement. Les 4 substances de cette catégorie sont : le carbaryl, le dicofol, le fluazinam et la terbutryne.

Pendant que l'étude POPEI se déroulait, la campagne pilote de la CNL2 a été menée dans 10 logements entre août et décembre 2019. Les résultats finaux de l'étude POPEI n'étant pas encore connus, 94 des 95 substances pressenties comme analysables par ASE-GC-MS/MS ou ASE-LC-MS/MS ont été recherchées dans l'air de ces logements. Le triclopyr (ester de butyl glycol) n'était pas recherché à ce stade. Cette liste a servi de base à l'élaboration du cahier des clauses techniques particulières (CCTP) pour la sélection d'un laboratoire d'analyse dans le cadre d'un marché public lancé avant la fin de l'étude POPEI.

Le laboratoire retenu suite à l'appel d'offres pour l'analyse des pesticides dans l'air, Ianesco, s'est prononcé sur l'analyse de 73 substances de la liste du CCTP et 9 substances d'une liste complémentaire incluant des substances recherchées dans le cadre de la campagne PestiRiv (exposition des riverains de champ viticoles aux pesticides). Après consolidation au regard des performances notamment en termes de capacité de rétention, 81 pesticides sont recherchés et analysés dans l'air des logements, dont 6 substances également associées à la campagne PestiRiv. Ces dernières ont fait l'objet d'une validation de leurs performances dans le cadre de l'étude Riverains (Ramalho et al., 2021), préparatoire à la campagne PestiRiv.

Le **Tableau 1** liste les 81 pesticides mesurés dans l'air des logements enquêtés dans le cadre de la CNL2, la technique d'analyse utilisée, leur rendement d'extraction (RDT) et leur capacité de rétention (RET), ainsi que les coefficients de variations associés.

Tableau 1. Liste des 81 pesticides recherchés et analysés dans l'air des logements.

Molécule	N° CAS	Technique d'analyse	RDT (%)	CV (%)	RET (%)	CV (%)	PERF
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	GC-MS/MS	95	13	82	13	1
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	GC-MS/MS	82	24	103	14	1
Acétamipride (Isomères Z + E)	160430-64-8	LC-MS/MS	75	15	58	32	2
Acétochlore	34256-82-1	GC-MS/MS	81	14	115	14	1
Bifenthrine	82657-04-3	GC-MS/MS	93	11	131	14	2
Boscalid	188425-85-6	LC-MS/MS	98	15	86	19	1
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	GC-MS/MS	87	13	98	18	1
Butraline	33629-47-9	GC-MS/MS	83	13	108	12	1
Carbaryl	63-25-2	GC-MS/MS	106	11	204	36	4
Carbétamide	16118-49-3	LC-MS/MS	93	12	85	13	1
Chlordane	57-74-9	GC-MS/MS	68	20	99	19	1

Molécule	N° CAS	Technique d'analyse	RDT (%)	CV (%)	RET (%)	CV (%)	PERF
Chlorothalonil	1897-45-6	GC-MS/MS	73	23	60	21	1
Chlorprophame	101-21-3	GC-MS/MS	93	21	35	13	3
Chlorpyriphos éthyl	2921-88-2	GC-MS/MS	88	16	91	11	1
Chlorpyriphos méthyl	5598-13-0	GC-MS/MS	85	19	65	9	1
Cyazofamide	120116-88-3	LC-MS/MS	103	19	91	16	1
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	GC-MS/MS	117	19	118	25	1
Cymoxanil	57966-95-7	LC-MS/MS	118	90	92	15	4
Cyperméthrine (somme des isomères)	52315-07-8	GC-MS/MS	110	23	106	26	1
Cyprodinil	121552-61-2	GC-MS/MS	96	13	132	18	2
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	LC-MS/MS	61	12	67	12	1
Deltaméthrine	52918-63-5	GC-MS/MS	97	14	117	16	1
Diazinon	333-41-5	GC-MS/MS	100	12	38	31	3
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle) (dont le dichlorprop-P)	79270-78-3	GC-MS/MS	90	9	90	16	1
Dicloran	99-30-9	GC-MS/MS	87	14	151	15	2
Dicofol	115-32-2	GC-MS/MS	120	16	244	41	4
Dieldrine	60-57-1	GC-MS/MS	93	16	119	14	1
Difénoconazole	119446-68-3	LC-MS/MS	102	15	86	19	1
Diflufénicanil	83164-33-4	GC-MS/MS	101	21	136	8	2
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8	LC-MS/MS	83	18	54	13	2
Diméthoate	60-51-5	GC-MS/MS	100	21	71	38	2
Diméthomorphe	110488-70-5	LC-MS/MS	88	21	84	23	1
Endrine	72-20-8	GC-MS/MS	98	20	162	15	2
Epoxiconazole	133855-98-8	LC-MS/MS	103	15	81	21	1
Etofenprox	80844-07-1	GC-MS/MS	90	8	113	5	1
Fénarimol	60168-88-9	GC-MS/MS	88	17	105	12	1
Fenprovidine	67306-00-7	LC-MS/MS	82	36	86	12	1
Fipronil	120068-37-3	GC-MS/MS	88	20	88	43	2
Fluazinam	79622-59-6	LC-MS/MS	88	24	73	63	4
Flumétraline	62924-70-3	GC-MS/MS	86	13	106	13	1
Fluopyram	658066-35-4	LC-MS/MS	87	9	76	11	1
Folpel	133-07-3	GC-MS/MS	100	28	101	5	1
Heptachlore	76-44-8	GC-MS/MS	83	17	114	24	1
Icaridine	119515-38-7	LC-MS/MS	77	7	68	18	1
Imidaclopride	138261-41-3	LC-MS/MS	83	28	76	18	1
Kresoxim-méthyl	143390-89-0	GC-MS/MS	107	29	84	10	1
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	GC-MS/MS	114	19	127	17	2

Molécule	N° CAS	Technique d'analyse	RDT (%)	CV (%)	RET (%)	CV (%)	PERF
Lindane	58-89-9	GC-MS/MS	85	14	98	19	1
Malathion	121-75-5	GC-MS/MS	102	9	68	31	2
Métazachlore	67129-08-2	GC-MS/MS	93	9	112	10	1
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2	GC-MS/MS	85	14	88	9	1
Métribuzine	21087-64-9	GC-MS/MS	91	18	91	18	1
Mirex (perchlordécone)	2385-85-5	GC-MS/MS	96	6	91	5	1
Myclobutanil	88671-89-0	GC-MS/MS	94	17	102	3	1
Oryzalin	19044-88-3	LC-MS/MS	90	16	68	20	1
Oxadiazon	19666-30-9	GC-MS/MS	101	21	97	8	1
Pendiméthaline	40487-42-1	GC-MS/MS	91	23	95	16	1
Pentachlorophénol (forme phénol)	87-86-5	LC-MS/MS	76	27	26	34	3
Perméthrine	52645-53-1	GC-MS/MS	100	11	92	10	1
Pipéronyl butoxide (PBO)	51-03-6	GC-MS/MS	97	16	25	15	3
Prochloraze	67747-09-5	LC-MS/MS	99	13	55	19	2
Propiconazole	60207-90-1	LC-MS/MS	95	21	85	22	1
Propyzamide	23950-58-5	GC-MS/MS	89	11	109	13	1
Prosulfocarbe	52888-80-9	LC-MS/MS	80	17	36	11	3
Pyriméthanil	53112-28-0	GC-MS/MS	86	13	108	23	1
Pyrimicarbe	23103-98-2	LC-MS/MS	82	8	65	11	1
Pyriproxyfène	95737-68-1	GC-MS/MS	88	9	107	10	1
Quinoxifen	124495-18-7	GC-MS/MS	97	16	87	13	1
Spiroxamine	118134-30-8	LC-MS/MS	63	53	67	17	2
Tau-fluvalinate	102851-06-9	GC-MS/MS	119	31	98	31	1
Tébuconazole	107534-96-3	LC-MS/MS	102	19	89	12	1
Tébuthiuron	34014-18-1	LC-MS/MS	93	10	86	12	1
Terbuthryne	886-50-0	LC-MS/MS	91	11	59	60	4
Thiaclopride	111988-49-9	LC-MS/MS	78	11	54	37	2
Tolylfluanide	731-27-1	GC-MS/MS	89	14	97	29	1
Transfluthrine	118712-89-3	GC-MS/MS	98	14	107	7	1
Triadiménol	55219-65-3	LC-MS/MS	98	12	99	9	1
Triallate	2303-17-5	GC-MS/MS	78	22	122	13	2
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	GC-MS/MS	104	13	87	14	1
Trifloxystrobine	141517-21-7	GC-MS/MS	110	18	99	7	1
Triticonazole	131983-72-7	LC-MS/MS	96	14	96	8	1

RDT : données de rendement d'extraction ; **RET** : capacité de rétention ; **CV** : coefficients de variation associés résultant de l'étude POPEI (Ramalho et al., 2020). **PERF** : catégorie de performance (1 : conforme ; 2 : passable ; 3 : faible ; 4 : indicatif)

122 capacité de rétention passable dans l'intervalle (50 % - 140 %)

36 capacité de rétention faible

244 capacité de rétention trop élevée du fait d'un effet matrice
37 coefficient de variation associée à la capacité de rétention élevé
60 coefficient de variation associée au rendement d'extraction ou à la capacité de rétention très élevé.

Pour les 81 pesticides recherchés dans le cadre de PestiLoge, les performances varient au regard du rendement d'extraction et surtout de la capacité de rétention pour une mesure dans l'air sur support URG à un débit de 4 L/min sur 7 jours à 20 - 25 °C. Plusieurs catégories de substances peuvent être établies au regard de leurs performances (colonne PERF du **Tableau 1**) :

- **Catégorie 1** (performance conforme) : Cette catégorie regroupe 56 substances pour lesquelles le rendement d'extraction et la capacité de rétention sur cartouche support URG sont conformes ;
- **Catégorie 2** (performance passable) : La catégorie compte 15 substances qui présentent une de ces trois conditions :
 - une capacité de rétention voisine des seuils de conformité (12 substances) avec parfois des variations élevées (CV entre 30 et 50 %) ;
 - une capacité de rétention élevée supérieure à 150 % mais stable (CV de 15 %). C'est le cas du dicloran et de l'endrine ;
 - une variation importante du coefficient de variation du rendement d'extraction au laboratoire pour la spiroxamine de 53 %, même si la capacité de rétention est du même ordre et ne présente pas de variation importante.
- **Catégorie 3** (performance faible) : La catégorie compte 5 substances qui présentent une capacité de rétention faible comprise entre 25 % et 38 % (chlorprophame, diazinon, pentachlorophénol, pipéronyl butoxyde, et prosulfocarbe). Pour ces substances, l'interprétation des données doit prendre en compte la faible efficacité de piégeage sur le support et une potentielle sous-estimation ;
- **Catégorie 4** (performance insuffisante ou forte variabilité) : La catégorie compte 5 substances qui présentent une de ces trois conditions :
 - une capacité de rétention trop élevée (supérieure à 200 %) pour le carbaryl et le dicofol. Cela traduit un effet matrice important qui peut entraîner de fortes incertitudes dans le résultat ;
 - une forte variation de la capacité de rétention pour le fluazinam et la terbuthryne (respectivement CV de 63 % et 60 %). La variabilité de ce paramètre se traduit en incertitude supplémentaire sur le résultat ;
 - une variation très importante du coefficient de variation du rendement d'extraction au laboratoire pour le cymoxanil de 90 %. Le laboratoire considère tout résultat relatif à cette substance comme indicatif. Toutefois, la capacité de rétention observée est du même ordre et reste très stable (CV de 15 %). Au regard de ces performances divergentes, il sera nécessaire d'être prudent dans l'interprétation des résultats.

Les 81 pesticides recherchés et analysés dans l'air des logements ont été classés selon leur mode d'action et leur famille chimique, au regard de la classification hiérarchique KEGG BRITE (<https://www.genome.jp/brite/br08007>) (cf. **Tableau 2**).

Tableau 2. Liste des 81 pesticides recherchés et analysés dans l'air des logements classé par famille

Substance prioritaire	N° CAS	Famille
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	Herbicide phénoxy
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	Herbicide phénoxy
Acétamipride (Isomères Z + E)	160430-64-8	Insecticide néonicotinoïde
Acétochlore	34256-82-1	Herbicide anilide
Bifenthrine	82657-04-3	Insecticide pyréthriñoïde
Boscalid	188425-85-6	Fongicide amide
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	Herbicide autre
Butraline	33629-47-9	Inhibiteur/retardateur de croissance végétale
Carbaryl	63-25-2	Insecticide carbamate
Carbétamide	16118-49-3	Herbicide carbanilate
Chlordane	57-74-9	Insecticide organochloré
Chlorothalonil	1897-45-6	Fongicide organochloré
Chlorprophame	101-21-3	Herbicide carbanilate
Chlorpyrifos éthyl	2921-88-2	Insecticide organophosphoré
Chlorpyrifos méthyl	5598-13-0	Insecticide organophosphoré
Cyazofamide	120116-88-3	Fongicide amide
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	Insecticide pyréthriñoïde
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	Insecticide pyréthriñoïde
Cymoxanil	57966-95-7	Fongicide aliphatique azoté
Cyperméthrine (isomères alpha+béta+théta+zéta)	52315-07-8	Insecticide pyréthriñoïde
Cyprodinil	121552-61-2	Fongicide pyrimidine
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	Répulsif contre les insectes
Deltaméthrine	52918-63-5	Insecticide pyréthriñoïde
Diazinon	333-41-5	Insecticide organophosphoré
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle) (dont le dichlorprop-P)	79270-78-3 (865363-39-9)	Auxine synthétique
Dicloran	99-30-9	Autre fongicide
Dicofol	115-32-2	Acaricide
Dieldrine	60-57-1	Insecticide organochloré
Difénoconazole	119446-68-3	Fongicide conazole
Diflufénicanil	83164-33-4	Herbicide pyridine
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8 (163515-14-8)	Herbicide amide

Substance prioritaire	N° CAS	Famille
Diméthoate	60-51-5	Insecticide organophosphoré
Diméthomorphe	110488-70-5	Fongicide morpholine
Endrine	72-20-8	Insecticide organochloré
Epoxiconazole	133855-98-8	Fongicide conazole
Etofenprox	80844-07-1	Insecticide pyréthriñoïde
Fénarimol	60168-88-9	Fongicide pyrimidine
Fenpropidine	67306-00-7	Fongicide conazole
Fipronil	120068-37-3	Insecticide pyrazole
Fluazinam	79622-59-6	Fongicide pyridine
Flumétraline	62924-70-3	Inhibiteur/retardateur de croissance végétale
Fluopyram	658066-35-4	Autre fongicide
Folpel	133-07-3	Fongicide dicarboximide
Heptachlore	76-44-8	Insecticide organochloré
Icaridine	119515-38-7	Répulsif contre les insectes
Imidaclopride	138261-41-3	Insecticide néonicotinoïde
Kresoxim-méthyl	143390-89-0	Fongicide strobilurine
Lindane	58-89-9	Insecticide organochloré
Malathion	121-75-5	Insecticide organophosphoré
Métazachlore	67129-08-2	Herbicide pyrazole
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2 (87392-12-9)	Herbicide anilide
Metribuzine	21087-64-9	Herbicide triazinone
Myclobutanil	88671-89-0	Fongicide conazole
Oryzalin	19044-88-3	Herbicide dinitroaniline
Oxadiazon	19666-30-9	Herbicide autre
Pendiméthaline	40487-42-1	Herbicide dinitroaniline
Pentachlorophénol (forme phénol)	87-86-5	Insecticide organochloré
Perchlordécone (Mirex)	2385-85-5	Insecticide organochloré
Perméthrine	52645-53-1	Insecticide pyréthriñoïde
Pipéronyl butoxide	51-03-6	Pesticide synergique
Prochloraze	67747-09-5	Fongicide amide
Propiconazole	60207-90-1	Fongicide conazole
Propyzamide	23950-58-5	Herbicide amide
Prosulfocarbe	52888-80-9	Herbicide thiocarbamate
Pyriméthanil	53112-28-0	Fongicide pyrimidine
Pyrimicarbe	23103-98-2	Insecticide carbamate
Pyriproxyfène	95737-68-1	Imitateur d'hormones d'insectes juvéniles
Quinoxifène	124495-18-7	Autre fongicide
Spiroxamine	118134-30-8	Autre fongicide

Substance prioritaire	N° CAS	Famille
Tau-fluvalinate	102851-06-9	Insecticide pyréthrianoïde
Tébuconazole	107534-96-3	Fongicide conazole
Tébutiuron	34014-18-1	Herbicide urée
Terbutryne	886-50-0	Herbicide triazine
Thiaclopride	111988-49-9	Insecticide néonicotinoïde
Tolylfluanide	731-27-1	Fongicide amide
Transfluthrine	118712-89-3	Insecticide pyréthrianoïde
Triadiménol	55219-65-3	Fongicide conazole
Triallate	2303-17-5	Herbicide thiocarbamate
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	Herbicide pyridine
Trifloxystrobine	141517-21-7	Autre fongicide
Triticonazole	131983-72-7	Autre fongicide

3. USAGES DE PRODUITS PESTICIDES DANS OU A L'EXTERIEUR DU LOGEMENT

Les questions relatives à l'usage de pesticides sont issues des différents questionnaires administrés en face à face à la personne de référence (questionnaires occupants première et deuxième visites), par inspection à vue (questionnaire enquêteur et pièces) et autoadministrés (semainier activités). Elles sont retranscrites ci-après.

3.1. Données du questionnaire occupant (première visite)

- **QPV1 - Au cours des 12 DERNIERS MOIS, avez-vous utilisé des produits de type fongicides, insecticides, herbicides ou pesticides dans votre balcon ou jardin, sur votre toiture ou le trottoir ?**
 - 1 ☐ Oui → QPV1a
 - 2 ☐ Non → QPV3
 - 3 ☐ Non concerné (ni balcon, ni jardin, ni toiture, ni trottoir) → QPV3
 - 4 ☐ Ne sait pas → QPV3
- **QPV1a - Quel produit avez-vous principalement utilisé ?** (L'enquêteur prend une photo du produit si possible, codage : code logement-code question-photo1)
 - 1 ☐ Indiquez la référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Le produit n'est pas ou n'est plus disponible. → QPV2
 - 3 ☐ Informations complémentaires sur le produit : (champ texte)
- **QPV1b - Le produit dispose-t-il d'un numéro AMM (autorisation de mise sur le marché)**
 - 1 ☐ Oui (+ champ numérique à 7 chiffres)

- 2 ☐ Non
- 3 ☐ Ne sait pas
- **QPV2 - Avez-vous utilisé un autre produit de type fongicides, insecticides, herbicides ou pesticides dans votre balcon ou jardin, sur votre toiture ou le trottoir ? (oui / non)**
- **QPV20 - Quel était cet autre produit de type fongicides, insecticides, herbicides ou pesticides, utilisé dans votre balcon ou jardin, sur votre toiture ou le trottoir ? (L'enquêteur prend une photo du produit si possible, codage : code logement-code question-photo1)**
 - 1 ☐ Indiquez la référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Le produit n'est pas ou n'est plus disponible.
 - 3 ☐ Informations complémentaires sur le produit : (champ texte)
- **QPV2a - Le produit dispose-t-il d'un numéro AMM (autorisation de mise sur le marché)**
 - 1 ☐ Oui (+ champ numérique à 7 chiffres)
 - 2 ☐ Non
 - 3 ☐ Ne sait pas
- **QPV2b - Si vous avez utilisé plus de 2 produits, vous pouvez indiquer les dénominations commerciales des autres produits utilisés. (champ texte libre). N° AMM non requis. Photos facultatives.**
- **QPV3 - Au cours des 12 DERNIERS MOIS, avez-vous utilisé dans votre logement des produits de type insecticides, fongicides, raticides, antiparasitaires pour animaux domestiques, etc. ? (oui / non / NSP)**
- **QPV3a - Quel produit avez-vous utilisé principalement ? (L'enquêteur prend une photo du produit si possible, codage : code logement-code question-photo1)**
 - 1 ☐ Référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Le produit n'est pas ou n'est plus disponible
 - 3 ☐ Informations complémentaires sur le produit : (champ texte)
- **QPV3b - Le produit dispose-t-il d'un numéro AMM (autorisation de mise sur le marché) ?**
 - 1 ☐ Oui (+ champ numérique à 7 chiffres)
 - 2 ☐ Non
 - 3 ☐ Ne sait pas
- **QPV4 Avez-vous utilisé dans votre logement un autre produit de type insecticides, fongicides, raticides, antiparasitaires pour animaux domestiques, etc. ? (oui / non)**
- **QPV40 Quel autre produit de type insecticides, fongicides, raticides, antiparasitaires pour animaux domestiques, etc., avez-vous utilisé ? (L'enquêteur prend une photo du produit si possible, codage : code logement-code question-photo1)**
 - 1 ☐ Référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Le produit n'est pas ou n'est plus disponible
 - 3 ☐ Informations complémentaires sur le produit : (champ texte)

- **QPV4a - Le produit dispose-t-il d'un numéro AMM (autorisation de mise sur le marché) ?**
 - 1 ☐ Oui (+ champ numérique à 7 chiffres)
 - 2 ☐ Non
 - 3 ☐ Ne sait pas
- **QPV4b - Si vous avez utilisé d'autres produits, vous pouvez indiquer ici leurs dénominations commerciales.** Champ texte libre. AMM non requis. Photos facultatives.

3.2. Données du semainier d'activités sur la semaine d'enquête

- **SEMAINIER ACTIVITES - Avez-vous utilisé dans votre logement des produits de type insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques ?** (une réponse par jour durant la semaine d'enquête)
 - sous forme d'aérosol (oui / non)
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)
 - sous une autre forme (piège, poudre, bloc, gel, collier, etc.) (oui / non)
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)
- **SEMAINIER ACTIVITES - Avez-vous utilisé, sur votre balcon, dans votre jardin, ou sur votre toiture ou votre trottoir, des produits pesticides, par ex. fongicides, herbicides ou insecticides ?** (une réponse par jour durant la semaine d'enquête) (oui / non)
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)

3.3. Données du questionnaire occupants (seconde visite)

Les questions suivantes ne sont posées que lorsque le semainier activités a bien été renseigné :

- **QPP1a - Quel produit de type PESTICIDES, INSECTICIDES, FONGICIDES, ANTIPARASITAIRES pour végétaux ou animaux domestiques, sous forme d'AÉROSOL, avez-vous utilisé principalement ?** (Prendre une photo du produit)
 - 1 Référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Pas de référence disponible
 - 3. N° AMM : (numérique 7 chiffres)
 - 4 ☐ Pas de n° AMM disponible
 - 5 ☐ Pas d'utilisation constatée sur le semainier
- **QPP1b - Si vous avez utilisé d'autres produits de type PESTICIDES, INSECTICIDES, FONGICIDES, ANTIPARASITAIRES pour végétaux ou animaux domestiques, sous forme d'AÉROSOL, vous pouvez indiquer ici leurs dénominations commerciales.** Champ texte libre. AMM non requis. Photo facultative.

- **QPP2a - Quel produit de type PESTICIDES, INSECTICIDES, FONGICIDES, ANTIPARASITAIRES pour végétaux ou animaux domestiques, sous forme de piège, contaminateur, poudre, bloc, gel, plaquette, ou diffuseur avez-vous utilisé principalement ?** (Prendre une photo du produit)
 - 1 Référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Pas de référence disponible
 - 3. N° AMM : (numérique 7 chiffres)
 - 4 ☐ Pas de n° AMM disponible
 - 5 ☐ Pas d'utilisation constatée sur le semainier
- **QPP2b - Si vous avez utilisé d'autres produits de type PESTICIDES, INSECTICIDES, FONGICIDES, ANTIPARASITAIRES pour végétaux ou animaux domestiques, sous forme de piège, contaminateur, poudre, bloc, gel, plaquette, ou diffuseur, vous pouvez indiquer ici leurs dénominations commerciales.** Champ texte libre. AMM non requis. Photo facultative.
- **QPPEa - Quel produit de type FONGICIDES, HERBICIDES, INSECTICIDES ou PESTICIDES avez-vous principalement utilisé sur votre balcon ou jardin, toiture ou trottoir ?** (Prendre une photo du produit)
 - 1 Référence commerciale : (champ texte)
 - 2 ☐ Pas de référence disponible
 - 3. N° AMM : (numérique 7 chiffres)
 - 4 ☐ Pas de n° AMM disponible
 - 5 ☐ Pas d'utilisation constatée sur le semainier
- **QPPEb - Si vous avez utilisé d'autres produits de type FONGICIDES, HERBICIDES, INSECTICIDES ou PESTICIDES sur votre balcon ou jardin, toiture ou trottoir, vous pouvez indiquer ici leurs dénominations commerciales.** Champ texte libre. AMM non requis. Photo facultative.
- **Q5. Les habitudes de votre foyer concernant l'utilisation des produits suivants ont-elles changé en raison de la crise sanitaire ? Insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques**
 - 1 ☐ Oui, utilisé plus souvent
 - 2 ☐ Oui, utilisé moins souvent
 - 3 ☐ Non, pas de changement d'habitude
 - 4 ☐ Sans objet, je n'utilise pas ce produit

4. MESURE DES PESTICIDES DANS L'AIR DES LOGEMENTS

4.1. Prélèvement des pesticides dans l'air des logements

4.1.1. Technique de prélèvement

Le prélèvement des pesticides est réalisé par pompage actif de l'air à un débit de 4 L/min au moyen d'une cartouche de prélèvement URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC, USA), constituée d'un corps en téflon PTFE et d'un tube en verre, munie d'une tête de prélèvement (impacteur) adaptée à la collecte de la fraction $PM_{2,5}$ de particules avec un filtre de 25 mm de diamètre en quartz, suivie d'une mousse polyuréthane (PUF). La cartouche permet la collecte de la phase particulaire et de la phase gazeuse simultanément (cf. **Figure 4**).

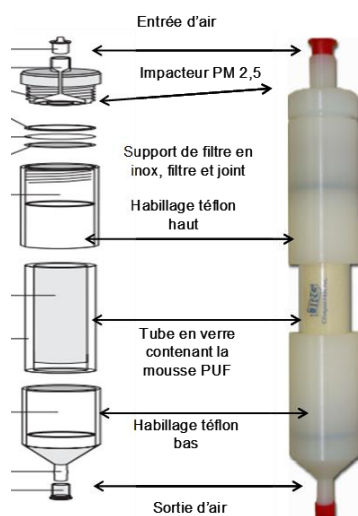


Figure 4. Cartouche URG personnelle avec tête de prélèvement $PM_{2,5}$

La pompe utilisée pour le prélèvement de l'air est une pompe M-30 (ATC) fonctionnant avec un débit nominal de 4 L/min. Le débit est vérifié avant et après prélèvement au moyen d'un débitmètre TSI 4146. Les séquences de vérification du débit sont réalisées avec une cartouche URG dédiée et ne sont pas prises en compte dans le volume de prélèvement final. Le débitmètre utilisé est vérifié avant, pendant et après la campagne, en le comparant à un débitmètre étalonné de référence. La tolérance sur le débit lu de la pompe est de 5 %, soit une plage de débit acceptée comprise entre 3,8 et 4,2 L/min. L'incidence du débit affecte surtout le diamètre des particules retenues au niveau de l'impacteur de la cartouche, et donc la masse de particules collectées. Une variation du débit entraîne une modification du diamètre de coupure de l'impacteur de quelques dixièmes de micromètres.



Figure 5. Pompe de prélèvement des pesticides dans l'air et débitmètre de vérification.



Figure 6. Caisson insonorisé abritant la pompe de prélèvement des pesticides dans l'air et celle de prélèvement des COSV et portoir de fixation des cartouches URG à une hauteur de 1m20.

La pompe de prélèvement est disposée dans un caisson insonorisé (cf. **Figure 6**) pour atténuer le plus possible le bruit et éviter de déranger et donc de modifier le comportement de l'occupant. Le caisson est branché en continu au secteur. Le caisson abrite également la pompe de prélèvement des composés organiques semi-volatils (COSV) dans l'air.

Le prélèvement est réalisé dans le séjour. Dans la pièce, le point de prélèvement doit être représentatif de la zone d'occupation des occupants et se fait au niveau de leurs voies respiratoires soit 1,20 mètre par rapport au sol (position assise). Le point de prélèvement est situé dans une zone de la pièce non largement exposée à une ventilation (proximité des portes et fenêtres, bouches de soufflage), dans une zone non susceptible d'être souillée par l'eau ou la poussière, et à l'abri du rayonnement solaire direct.

La cartouche de prélèvement et ses consommables neufs (filtre quartz et mousse PUF) sont préalablement nettoyées et conditionnées indépendamment par le laboratoire. Puis, la cartouche URG est montée au laboratoire. Elle est emballée dans du papier aluminium et

conservée au frais avant son utilisation. Le laboratoire mentionne sur la cartouche la date de préparation et la date de péremption (cf. **Figure 7**). Le délai de péremption est fixé à un mois. Le laboratoire envoie les cartouches aux enquêteurs sur demande. L'envoi se fait aux conditions ambiantes. Dès réception, l'enquêteur stocke les cartouches conditionnées au réfrigérateur. Pour l'enquête, il transporte la cartouche échantillon dans une glacière.



Figure 7. Cartouche conditionnée au laboratoire prête à être utilisée, avec sa date de préparation et sa date limite d'utilisation

La durée du prélèvement est fixée à 7 jours (10 080 min) en continu avec une tolérance de 25 % (soit entre 5,25 et 8,75 jours).

Le volume de prélèvement correspondant est égal à 40,32 m³. En combinant la tolérance sur le débit de 5 % et la tolérance sur la durée de 25 %, cela conduit à une plage de volume acceptable comprise entre 28,73 et 52,92 m³. Il est envisagé de ramener la tolérance sur le volume à 25 %, soit une plage finale acceptable comprise entre 30 et 50 m³. L'incidence d'un volume faible se répercute sur les limites de détection et de quantification qui augmentent. L'incidence d'un volume élevé est le risque d'une perte de l'efficacité de piégeage de certaines substances sur la cartouche.

Une fois le prélèvement réalisé, la cartouche échantillon étiquetée avec le code identifiant du logement et le code du prélèvement, est réemballée dans du papier aluminium puis insérée dans un sachet plastique ziplock avec une nouvelle étiquette du même code identifiant du logement. Elle est ensuite placée dans une glacière réfrigérée pour le transport jusqu'au pôle logistique de l'enquêteur où elle est maintenue au frais.

La cartouche échantillon est envoyée au laboratoire dans une pochette réfrigérée, accompagnée d'un petit flacon d'eau servant de témoin pour le contrôle de la température à réception. L'envoi se fait le lendemain de la fin du prélèvement avec une tolérance de 4 jours maximum pour les prélèvements se terminant du jeudi au samedi.

Un blanc de terrain est réalisé dans 10 % des logements instrumentés (soit un total de 60 cartouches témoins prévues). Les procédures de préparation, de conditionnement, de transport et d'analyse des cartouches témoins sont identiques à celles qui s'appliquent aux prélèvements des échantillons.

Au laboratoire, l'ensemble de la cartouche (filtre quartz + mousse PUF) est extrait dans un solvant. Et l'analyse est conduite sur deux filières GC/MSMS et LC/MSMS pour rechercher un total de 81 substances.

Les échantillons au nombre de 660 incluant les blancs de terrain sont pris en charge par l'ANSES, laboratoire retenu sur appel d'offre européen pour l'ensemble des analyses de pesticides dans l'air.

Le laboratoire interagit directement avec les enquêteurs pour accuser réception de leur demande de cartouches et de la réception des échantillons. Les enquêteurs quant à eux sollicitent le laboratoire une fois leurs enquêtes planifiées pour recevoir les supports de

prélèvement conditionnés et prêts à l'emploi. Tous ces échanges sont systématiquement tracés sur la boîte mail CNL2 (oqai.cnl2@cstb.fr).

4.1.2. Données de prélèvement

Les données de prélèvement sont renseignées par les enquêteurs sur une fiche de suivi de prélèvement papier ou informatique au moment de la mise en place du prélèvement (J1) et de son arrêt avec récupération de l'échantillon (J8). Ces données sont ensuite saisies par l'enquêteur au niveau de la plateforme de recueil des données de prélèvement et de questionnaires (plateforme People Vox).

Les données de suivi de prélèvement sont fournies à l'échelle du prélèvement. Une ligne est égale à un prélèvement échantillon ou témoin et correspond à un logement enquêté.

Les données de suivi de prélèvement s'accompagnent de fichiers d'enregistrement des paramètres de fonctionnement de la pompe. A partir de ces fichiers, de nouvelles données de prélèvement propres à la pompe sont récupérées ou calculées.

4.1.2.1. Données de suivi de prélèvement renseignées par l'enquêteur

- CODELOG : code identifiant du logement (type 99LABC88, avec 99 le code zone d'enquête 01 à 20, L caractère fixe pour logement, ABC : lettres aléatoires de A à Z et 88 : chiffres aléatoires de 00 à 99). Le code du logement est automatiquement vérifié lors de la saisie des données par l'enquêteur sur la plateforme. Aucune erreur n'est possible à ce stade, car l'absence de correspondance ne permet pas la saisie des données ;
- MPEST - Avez-vous réalisé le prélèvement des pesticides ?
 - 1. Oui, dans le séjour (ou studio ou la cuisine américaine principale) ;
 - 2. Oui, dans une autre pièce → AUTPIECEPEST ;
 - 3. Non. → WHYNOTPEST ;
- AUTPIECEPEST - Indiquez la raison et le code identifiant de la pièce instrumentée (champ texte) ;
- WHYNOTPEST - Pourquoi le prélèvement n'a pas pu être réalisé ? (champ texte) ;
- Code du prélèvement (type 99LABC88-SEJ1-PEST-E, avec les 8 premiers caractères associés au code du logement, SEJ1 le code pièce, PEST la nature du prélèvement et E pour échantillon ou T pour témoin). Pour des raisons informatiques, le code pièce est toujours SEJ1 dans le code du prélèvement. La pièce effectivement instrumentée sera déduite de AUTPIECEPEST ;
- CONDIPEST - Date de conditionnement de la cartouche URG (jj/mm/aaaa) ;
- M30 - N° de référence CSTB de la pompe M30 utilisée (type 20-0430) ;
- NOVALDEBIT1PEST_1 - Absence de valeur de débit avant prélèvement (oui / non / vide si MPEST = Non) ;

- VALDEBIT1PEST - Valeur de débit AVANT prélèvement en L/min (type 4,000) ;
- REFDEBIT1PEST - N° de référence CSTB du DEBITMETRE AVANT prélèvement (type 14-0016) ;
- DDEBPEST - Date de DEMARRAGE de la POMPE renseignée par l'enquêteur (jj/mm/aaaa) ;
- HDEBPEST - Heure de DEMARRAGE de la POMPE renseignée par l'enquêteur (hh:mm) ;
- DFINPEST - Date d'ARRÊT de la POMPE renseignée par l'enquêteur (jj/mm/aaaa) ;
- HFINPEST - Heure d'ARRÊT de la POMPE (hh:mm) ;
- CQPEST - Code qualité du prélèvement :
 - RIEN A SIGNALER (aucun problème) ;
 - PROBLEMES à signaler mais fichier de suivi de la pompe RECUPERE (total ou partiel) ;
 - PROBLEMES à signaler et fichier de suivi de la pompe NON RECUPERE ;
- PROBPEST - Problèmes rencontrés et commentaires généraux liés au prélèvement (champ texte) ;
- FILEPEST - Nom du fichier de suivi de la pompe, exemple : 10LXJJ56-SEJ1-PEST-SUIVI.csv) ;
- FILEPEST_filecount - Chargement du fichier de suivi de la pompe (0 si absent /1 si présent) ;
- QRTVOL - Avez-vous pu récupérer le Runtime (durée de prélèvement) et le Volume ? (vide si RAS, oui/non en cas de problème de prélèvement) ;
- RT42 - Le Runtime est-il supérieur à 24 heures (1440 minutes) ? (oui / non (pas d'analyse à faire)) ;
- RTPEST42 - RUNTIME (durée de prélèvement) en minutes (nombre entier type 0 à 10080) ;
- RTPEST - RUNTIME (durée de prélèvement) en minutes renseigné par l'enquêteur après lecture pompe (type 10080) ;
- VOLPEST - VOLUME de prélèvement en litres renseigné par l'enquêteur après lecture pompe (type 40320). Il s'agit du volume exprimé dans les conditions de température, humidité relative et pression du prélèvement. Pour un blanc de terrain, le volume est calculé de façon théorique (7 jours à 4 L/min soit 40320 L) ;
- NOVALDEBIT2PEST_1 - Absence de valeur de débit après prélèvement (oui / non / vide si MPEST = Non) ;
- VALDEBIT2PEST - Valeur de débit APRES prélèvement en L/min (type 4,000) ;
- REFDEBIT2PEST - Référence CSTB du DEBITMETRE APRES prélèvement (type 14-0016) ;

- ENVOIPEST - Date d'envoi du prélèvement au laboratoire (jj/mm/aaaa) ;
- MPESTTEM - Avez-vous réalisé un BLANC de TERRAIN ? (oui / non et si oui, code de prélèvement du BT) ;
- CONDIPESTTEM - Date de conditionnement de la cartouche URG BLANC de TERRAIN (jj/mm/aaaa).

4.1.2.2. Données de prélèvement issues du fichier d'enregistrement de la pompe

Les informations de prélèvement issues du fichier d'enregistrement de la pompe permettent de vérifier d'éventuelles incohérences entre les données transmises par l'enquêteur et les données de fonctionnement effectif de la pompe. L'horodatage du prélèvement fourni par les enquêteurs est prioritaire devant celui affiché par les pompes en cas d'incohérences, celui de l'appareil pouvant être mal réglé au départ alors que celui des enquêteurs est fourni par leur smartphone. Les passages à l'heure d'été ou d'hiver sont pris en compte dans le calcul de la durée effective du prélèvement.

- Code du fichier de suivi de la pompe ;
- Identifiant de la pompe utilisée ;
- Dates et heures de début et de fin d'enregistrement des données par la pompe ;
- Durée de prélèvement de la pompe (RT_POMPE en min) ;
- Débit de prélèvement moyen de la pompe (en mL/min). Cette donnée est indicative uniquement. Le débit effectivement pris en compte est le débit vérifié par les enquêteurs avant et après prélèvement ;
- Volume de prélèvement fourni par la pompe (L). Cette donnée est indicative. Le volume de prélèvement retenu est un volume corrigé calculé en fonction du débit moyen et de la durée de prélèvement de la pompe.

4.2. Préparation, extraction et analyse des pesticides mesurés dans l'air

4.2.1. Nettoyage et conditionnement des cartouches URG

Afin d'écartier tout risque d'interférence analytique, les quantités résiduelles de polluants initialement présents sur la mousse ou le filtre sont éliminés par pré-conditionnement et nettoyage préalable. Le filtre quartz est calciné à 500 °C durant 5 heures puis enveloppé dans du papier aluminium et conservé dans un dessiccateur en attente du montage de la cartouche URG conditionnée prête à être expédiée pour utilisation. La mousse PUF neuve subit une extraction au dichlorométhane à l'ASE porté à 100 °C sous 100 bars. Elle est ensuite séchée sous courant d'azote puis enveloppée dans du papier aluminium et conservé dans un dessiccateur en attente du montage de la cartouche URG.

Le corps de la cartouche URG en téflon et verre et les supports de filtre en acier sont nettoyés avec un détergent puis à l'eau avant d'être séchées et enveloppées dans du papier aluminium

en attente du montage de l'ensemble de la cartouche. Lors du montage des cartouches URG conditionnées, il n'y a pas de graissage de l'impacteur PM_{2,5}, pour éviter les contaminations.

4.2.2. Contrôle des lots de filtres et de mousses

Pour chaque lot, un filtre et une mousse sont préparés puis extraits et analysés comme un échantillon. Les résultats doivent être inférieurs aux limites de quantification pour être conformes.

Pour chaque groupe de 50 cartouches, une cartouche appelée « blanc de conditionnement » est conservée pour être analysée afin de contrôler la procédure de nettoyage et de conditionnement en mesurant les quantités de pesticides cibles. Ces quantités doivent être inférieures à la limite de détection de chaque pesticide.

4.2.3. Extraction des pesticides de la cartouche URG

A réception, les cartouches à analyser sont déposées hermétiquement fermées au congélateur (-18 °C). Ainsi stockées, elles peuvent être conservées sur une durée maximale de 1 mois avant l'analyse.

Avant extraction, 125 µL d'une solution composée des étalons internes suivants sont rajoutés à l'échantillon : atrazine D5, folpel D4, pendiméthaline D5, métolachlore D6 et propachlore D5 dans l'acétone à 0,5 mg/L.

Les pesticides sont extraits simultanément des mousses PUF et des filtres en quartz par du dichlorométhane en utilisant une technique haute pression et haute température (PLE : pressurized liquid extraction ou ASE : accelerated solvent extraction) à 90 °C et 100 bars.

Après concentration sous courant d'azote et ajout des traceurs d'injection (hexabromobenzène en GC ou simeton en LC), les extraits sont analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) ou par chromatographie en phase liquide couplée à une spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) pour la détection et la quantification. La LC-MS/MS utilise une méthode d'ionisation par électrobulbion (ESI pour electrospray ionisation) qui peut être positive (ESI+) ou négative (ESI-) selon les substances cibles. L'extrait est conservé au maximum 1 mois au congélateur (-18 ± 5 °C) avant analyse.

Les détecteurs double masse présentent de meilleures sensibilités et spécificités. Le premier spectromètre de masse à technologie quadripolaire assure la fragmentation en ions de la molécule cible. Les ions fragments ainsi formés pénètrent dans le deuxième spectromètre de masse quadripolaire où les ions fils d'intérêt sont isolés et détectés. Le signal est ensuite amplifié par un multiplicateur d'électrons. Cette technologie permet de suivre les transitions ion parent/ion fils spécifiques à chaque composé. Le mode MRM (multiple reaction monitoring) est le mode retenu pour l'analyse.

Pour une analyse en GC-MS/MS, les transitions des molécules sont déterminées après injection d'une solution étalon des cibles à analyser. Une première injection en mode scan permet d'identifier l'ion parent. Une seconde en mode « product ion » est ensuite réalisée pour suivre les ions fils. D'autres injections en modes MRM sont effectuées avec des solutions plus diluées pour déterminer l'énergie de collision optimale (entre 5 et 30 eV).

En LC-MS/MS, les paramètres du détecteur sont optimisés automatiquement par le logiciel en fonction de la masse exacte de la molécule cible et du mode d'ionisation choisi (+ ou -).

L'équipement utilisé en GC-MS/MS est un chromatographe Agilent 7890A couplé à un spectromètre de masse triple quadripôle modèle 7000 et équipé d'un passeur automatique modèle 7693. La séparation chromatographique est assurée par une colonne capillaire DB5-MS UI (Agilent) avec 1 mètre de colonne utilisé en « retention gap ».

L'injection se fait en mode splitless à froid avec un gradient de température de 40 à 320 °C. Le volume d'injection de l'extrait est de 1 µL. L'injecteur est nettoyé systématiquement avant et après chaque passage d'échantillon par injections successives de solvants organiques hexane et dichlorométhane.

L'hélium est utilisé comme gaz vecteur dans la colonne capillaire à un débit constant de 1 mL/min avec un gradient de température du four de 40 à 340 °C. La température de la ligne de transfert est de 280 °C et celle de la source du spectromètre de masse de 250 °C. L'azote est utilisé comme gaz de collision à un débit de 1,5 mL/min.

Pour l'analyse en LC-MS/MS, un chromatographe avec pompe et injecteur Shimadzu Nexera XR couplé à un détecteur triple quadripôle SHIMADZLCMS-8050 mode ESI a été utilisé. La colonne utilisée est une colonne phase inverse Polaris C18-A (Agilent) avec une précolonne de garde.

L'élution est assurée par un mélange d'eau ultrapure (EUP) additionnée de 0,1 % d'acide formique et d'acétonitrile avec un gradient de phase de 95 % à 1 % en EUP. La température du passeur est de 20 °C et celle du four de 25 °C. La température d'interface avec le spectromètre de masse est de 300 °C.

Chaque substance cible est identifiée et quantifiée par étalonnage interne avec les étalons dopés avant l'extraction. Les courbes d'étalonnage sont en 5 points au minimum et sont de type quadratique. L'analyse conjointe de la mousse PUF et du filtre quartz permet de déterminer la masse de chaque substance prélevée au cours de la durée d'exposition de la cartouche (7 jours pour 40 m³ d'air).

La valeur retenue de limite de quantification (LQ) pour chaque substance est celle qui fournit sur le chromatogramme un pic ayant au moins un signal égal à 10 fois celui du bruit de fond pour les 2 ou 3 transitions de chaque molécule. La limite de détection (LD) correspond à 0,3 fois la LQ. Les limites de détection et de quantification analytiques des pesticides analysés sont détaillées au [Tableau 3](#).

Les contrôles réalisés en routine concernent :

- Le contrôle de la droite d'étalonnage : $R^2 \geq 0.99$ et biais ± 30 % au niveau LQ et ± 15 % aux autres niveaux ;
- Le contrôle de la dérive de l'étalonnage par injection de points de contrôle (= étalons) de façon régulière entre les échantillons de la série d'analyse (critère : ± 25 %) ;
- Le contrôle au niveau LQ en fin de série d'analyse par injection d'un point de contrôle LQ (critère : ± 25 %).

Tableau 3. Limites de détection (LD) et de quantification (LQ) analytiques des 81 pesticides recherchés.

Substance prioritaire	N° CAS	LD (ng)	LQ (ng)
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	0,375	1,25
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	0,75	2,5
Acétamipride	160430-64-8	1,875	6,25
Acétochlore	34256-82-1	0,75	2,5
Bifenthrine	82657-04-3	0,375	1,25
Boscalid	188425-85-6	1,875	6,25
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	1,5	5
Butraline	33629-47-9	1,875	6,25
Carbaryl	63-25-2	0,75	2,5
Carbétamide	16118-49-3	1,875	6,25
Chlordane	57-74-9	7,5	25
Chlorothalonil	1897-45-6	3	10
Chlorprophame	101-21-3	1,875	6,25
Chlorpyrifos éthyl	2921-88-2	0,75	2,5
Chlorpyrifos méthyl	5598-13-0	1,5	5
Cyazofamide	120116-88-3	1,875	6,25
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	2,25	7,5
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	1,875	6,25
Cymoxanil	57966-95-7	3	10
Cyperméthrine	52315-07-8	0,75	2,5
Cyprodinil	121552-61-2	1,875	6,25
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	1,5	5
Deltaméthrine	52918-63-5	0,9375	3,125
Diazinon	333-41-5	0,75	2,5
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle)	79270-78-3	1,875	6,25
Dicloran	99-30-9	3,75	12,5
Dicofol	115-32-2	3,75	12,5
Dieldrine	60-57-1	1,875	6,25
Difénoconazole	119446-68-3	0,375	1,25
Diiflufénicanil	83164-33-4	1,875	6,25
Diméthénamide	87674-68-8	3,75	12,5
Diméthoate	60-51-5	1,875	6,25
Diméthomorphe	110488-70-5	7,5	25
Endrine	72-20-8	1,875	6,25
Epoxiconazole	133855-98-8	0,75	2,5

Substance prioritaire	N° CAS	LD (ng)	LQ (ng)
Etofenprox	80844-07-1	0,75	2,5
Fénarimol	60168-88-9	1,875	6,25
Fenpropidine	67306-00-7	1,5	5
Fipronil	120068-37-3	1,875	6,25
Fluazinam	79622-59-6	1,5	5
Flumétraline	62924-70-3	1,875	6,25
Fluopyram	658066-35-4	2,25	7,5
Folpel	133-07-3	0,75	2,5
Heptachlore	76-44-8	1,875	6,25
Icaridine	119515-38-7	1,875	6,25
Imidaclopride	138261-41-3	0,75	2,5
Kresoxim-methyl	143390-89-0	0,75	2,5
Lindane	58-89-9	0,375	1,25
Malathion	121-75-5	0,75	2,5
Metazachlore	67129-08-2	0,9375	3,125
Métolachlore	51218-45-2	0,375	1,25
Metribuzine	21087-64-9	0,75	2,5
Myclobutanil	88671-89-0	0,75	2,5
Oryzalin	19044-88-3	1,5	5
Oxadiazon	19666-30-9	1,875	6,25
Pendiméthaline	40487-42-1	0,375	1,25
Pentachlorophénol	87-86-5	0,75	2,5
Perchlordécone (Mirex)	2385-85-5	1,875	6,25
Perméthrine	52645-53-1	1,5	5
Pipéronyl butoxide	51-03-6	0,75	2,5
Prochloraze	67747-09-5	1,875	6,25
Propiconazole	60207-90-1	1,875	6,25
Propyzamide	23950-58-5	0,75	2,5
Prosulfocarbe	52888-80-9	1,875	6,25
Pyriméthanil	53112-28-0	0,75	2,5
Pyrimicarbe	23103-98-2	1,875	6,25
Pyriproxifène	95737-68-1	0,75	2,5
Quinoxifène	124495-18-7	0,375	1,25
Spiroxamine	118134-30-8	1,875	6,25
Tau-fluvalinate	102851-06-9	1,875	6,25
Tébuconazole	107534-96-3	1,875	6,25
Tébuthiuron	34014-18-1	1,875	6,25

Substance prioritaire	N° CAS	LD (ng)	LQ (ng)
Terbutryne	886-50-0	1,875	6,25
Thiaclopride	111988-49-9	1,875	6,25
Tolylfluanide	731-27-1	1,5	5
Transfluthrine	118712-89-3	0,9375	3,125
Triadiménol	55219-65-3	1,875	6,25
Triallate	2303-17-5	0,75	2,5
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	0,75	2,5
Trifloxystrobine	141517-21-7	1,5	5
Triticonazole	131983-72-7	1,875	6,25

4.3. Données d'analyses

Le suivi des analyses est assuré par une plateforme collaborative privée Teams/SharePoint. Les fichiers d'analyse dont le format a été défini spécifiquement avec le laboratoire sont déposés dans cet espace collaboratif privé et accessible uniquement par l'équipe de coordination de la CNL2. Les fichiers de mesure sont récupérés directement des instruments de mesure par les enquêteurs à la fin de chaque enquête et déposés sur une plateforme web de saisie People Vox avec l'ensemble des données de prélèvements pour tous les paramètres.

Les données de prélèvement et les données d'analyse partagent un identifiant unique, qui est le code du logement enquêté et qui permet la jointure des données. C'est cette jointure au final qui permet d'exprimer les résultats des mesures en concentrations.

Les données d'analyse sont fournies à l'échelle de la substance. Une ligne correspond à une substance analysée. Les données propres aux prélèvements et au traitement de l'échantillon sont répétées pour chaque substance analysées dans un même prélèvement.

Le laboratoire indique en plus dans le fichier de résultat les métadonnées suivantes pour chaque substance analysée :

- Code identifiant du logement (99LABC88-SEJ1) ;
- Identifiant échantillon Ianesco (type E21-09000) ;
- Référence échantillon CSTB (99LABC88-SEJ1-PEST-E/T) ;
- Blanc terrain (O/N) ;
- Date de conditionnement de la cartouche (jj/mm/aaaa) ;
- Date de réception laboratoire (jj/mm/aaaa) ;
- Température à réception (0.0 °C / non disponible (ND) / mention « frais ») ;
- Analyse effectuée (oui / non) ;
- Date extraction (jj/mm/aaaa) ;
- Date analyse en LC (jj/mm/aaaa) ;

- Date analyse en GC (jj/mm/aaaa) ;
- Molécule (nom de la substance) ;
- Index (numéro d'index propre au laboratoire) ;
- N° CAS (type 000000-00-0) ;
- Technique d'analyse (GCMSMS ou LCMSMS ESI+ ou LCMSMS ESI-) ;
- Technique d'extraction (ASE) sur l'ensemble filtre quartz+ mousse PUF ;
- Rendement d'extraction de la substance (%), donnée de performance déterminée au préalable par le laboratoire. Le rendement d'extraction est déterminé de façon relative au regard de l'extraction de l'étalon interne associée à la substance ;
- Coefficient de variation du rendement d'extraction (%), donnée de performance déterminée au préalable par le laboratoire, le plus souvent issue de tests associés à des mesures dans l'air ambiant ;
- Incertitude du rendement (%), donnée de performance déterminée au préalable par le laboratoire ;
- Limite de détection du laboratoire (LD) en ng piégé sur la cartouche (non corrigé du rendement) au format 0,000 ;
- Limite de quantification du laboratoire (LQ) en ng piégé sur la cartouche (non corrigé du rendement) au format 0,000 ;
- Masse sur support non corrigé du RDT (résultat brut sous 3 formes) :
 - « <LD » : résultat en masse inférieur à la limite de détection (LD) ;
 - « <0,000 (0,0) » : résultat en masse inférieur à la limite de quantification (LQ = 0,000) mais supérieur à la LD, avec une masse brute estimée à 0,0 ng piégé, indiqué entre parenthèses. La masse brute entre parenthèses est utilisée en tant que tel pour l'exploitation ;
 - « 0000,000 » : résultat en masse supérieur ou égal à la LQ, exprimée en ng ;
- Code qualité analyse fourni par le laboratoire pour chaque substance (valide / suspect / invalide) ;
- Commentaires analyse (champ texte).

Le laboratoire fournit un fichier par série d'analyses pouvant comporter les résultats de plusieurs échantillons.

5. VALIDATION DES DONNEES

5.1. Validation des données de prélèvement

5.1.1. Validation des données de suivi de prélèvement fournies par l'enquêteur

Pour valider les données de prélèvement, un certain nombre de nouvelles variables sont créées :

- Conformité du débit initial ($3,75 \leq \text{Débit AVANT} < 4,25 \text{ L/min}$) ;
- Conformité du débit final ($3,75 \leq \text{Débit APRES} < 4,25 \text{ L/min}$) ;
- Le débit moyen calculé à partir des débits mesurés avant et après prélèvement (DEB_MOYEN en L/min). Cette donnée importante associée à la durée de prélèvement permet de déterminer le volume effectif de prélèvement ;
- L'écart de débit calculé (ECART_DEB = Débit APRES – Débit AVANT) en L/min. Il permet de vérifier que le débit est bien resté constant dans la tolérance de $\pm 0,4 \text{ L/min}$ fixée dans le protocole ;
- La durée de prélèvement calculée à partir des dates et heures de début et fin de prélèvement renseignées par le technicien (RT_HORLOGE) ;
- Le délai d'utilisation de la cartouche URG entre le début du prélèvement et la date de conditionnement permet de vérifier la conformité de la mise en œuvre du prélèvement. Ce délai ne doit pas normalement dépasser 1 mois (soit 31 jours). Néanmoins, des essais de conservation et de performance menés dans le cadre de la campagne PestiRiv sur 19 semaines (4,5 mois) ont montré l'absence d'impacts sur la majorité des substances. Parmi les substances analysées, trois d'entre elles méritent néanmoins une attention particulière : l'acrinathrine, le cymoxanil et la deltaméthrine. Les deux dernières sont mesurées dans le cadre de PestiLoge.

5.1.2. Validation des données de prélèvement issues du fonctionnement de la pompe

A partir des données d'enregistrement de la pompe, de nouvelles variables sont calculées :

- Durée effective de prélèvement (en L) : elle correspond en priorité au volume de fonctionnement de la pompe en cas d'incohérence avec les données des enquêteurs (sauf en cas d'absence de récupération du fichier de suivi). Au besoin, une correction liée à une période de passage à l'heure d'été ou d'hiver est effectuée. Une recherche des sources d'incohérences est effectuée et des corrections apportées dans la mesure du possible. Cela se fait au cas par cas. La tolérance sur la durée effective de prélèvement est de 25 % (soit 5,25 à 8,75 jours) ;
- Volume corrigé calculé à partir de la durée effective du prélèvement et du débit moyen mesuré par les enquêteurs (VOL_CORRIGE = RT_POMPE x DEB_MOYEN, en L). Il correspond au volume effectif de prélèvement utilisé pour le calcul de la concentration. La tolérance sur le volume corrigé de prélèvement est de 25 % (soit 30 à 50 m³).

5.1.3. Codes qualité associés au prélèvement

Un code qualité est attribué au prélèvement (VALIDATION_PREL) selon plusieurs niveaux de validation :

Premier niveau de validation :

- **OK** : prélèvement conforme à tous les niveaux (débit, durée, volume, absence d'incidents, délai d'utilisation) ;
- **INV** : prélèvement invalidé du fait en général de son absence liée à un refus ou bien d'un incident, comme l'arrêt soudain d'un prélèvement, conduisant à une durée et un volume de prélèvement trop courts ;
- **DNC** : prélèvement non conforme au niveau de la vérification du débit qui ne respecte pas la tolérance fixée ;
- **SUSPECT** : prélèvement qui présente une non-conformité (hors DNC) ou une incohérence à soulever.

Second niveau de validation :

- Les prélèvements codés DNC sont examinés au cas par cas. Si l'écart est jugé mineur, la donnée est considérée atypique mais exploitable au niveau du prélèvement. Le code qualité reste DNC. Si l'écart est important (par exemple un écart de débit supérieur à deux fois la tolérance), le code qualité bascule en donnée SUSPECTE en attente de la validation finale tenant compte des données d'analyse et du calcul final de la concentration.
- Pour un prélèvement SUSPECT au premier niveau de validation, un examen au cas par cas est réalisé pour décliner si possible ce statut intermédiaire de qualité en donnée exploitable après vérification et correction apportée (statut OK), donnée exploitable malgré la non-conformité ou l'incohérence (statut EXPLOITABLE), donnée inexploitable sans rendu possible aux occupants (INV) ou donnée inexploitable statistiquement mais avec un rendu possible aux occupants (statut INEXPLOITABLE, cas des mesures corrects sur une durée trop courtes). Le statut EXPLOITABLE ou INEXPLOITABLE n'est adopté qu'à partir de la validation finale tenant compte également des données d'analyse et du calcul final de la concentration.

5.1.4. Validation finale des données de prélèvement

5.1.4.1. Prélèvements invalides

Vingt prélèvements ont été invalidés :

- Un refus du prélèvement par un occupant du fait du bruit trop important de la pompe ;
- Une impossibilité de réaliser le prélèvement du fait du manque de cartouches URG conditionnées (colis envoyé par le laboratoire mais jamais arrivé à destination) ;

- Trois prélèvements arrêtés suite à une coupure de courant de longue durée sans que la batterie de la pompe puisse prendre efficacement le relais. Les trois prélèvements ont duré moins de 24 heures et ont donc été invalidés ;
- Quatre prélèvements ont été interrompus par les occupants avec une impossibilité de vérifier les débits ou une durée de prélèvement trop courte ;
- Onze prélèvements se sont arrêtés prématurément du fait d'une défaillance de la pompe de prélèvement, avec la plupart du temps une impossibilité de vérifier les débits et une durée trop courte. La pompe a ensuite été envoyée en réparation chez le fabricant.

5.1.4.2. Incohérences de saisie

Les incohérences dans les identifiants logements entre données prélèvements et analyses sont recherchées et les erreurs corrigées.

Une incohérence de saisie a été observée pour quatorze échantillons, pour lesquels le numéro de pompe utilisé et saisi par les enquêteurs ne correspond pas au fichier de suivi transmis. Dans tous les cas, le prélèvement s'est plutôt bien déroulé si ce n'est des écarts relatifs aux débits de consigne. Les conséquences sur le prélèvement sont jugées peu impactantes et non invalidantes. Néanmoins, les prélèvements concernés sont considérés SUSPECTS sur ce critère.

5.1.4.3. Changement de pièce

Un prélèvement (01LNKX74) a été déplacé par les occupants dans un couloir du logement. Le prélèvement a été jugé SUSPECT du fait d'un possible manque de représentativité des activités du logement.

5.1.4.4. Validation des débits de prélèvement

Seize prélèvements ont été jugés SUSPECTS du fait d'un écart de débit (final – initial) supérieur à 0,8 L/min (deux fois la tolérance de $\pm 0,4$ L/min).

Pour 178 prélèvements, une non-conformité mineure a été relevée au niveau de la vérification des débits :

- Débit initial < 3,8 L/min et Débit final conforme pour 39 prélèvements ;
- Débit initial > 4,2 L/min et Débit final conforme pour 3 prélèvements ;
- Débit initial < 3,8 L/min et Débit final < 3,8 L/min pour 15 prélèvements ;
- Débit initial < 3,8 L/min et Débit final > 4,2 L/min pour 3 prélèvements ;
- Débit initial > 4,2 L/min et Débit final < 3,8 L/min pour 1 prélèvement ;
- Débit initial > 4,2 L/min et Débit final > 4,2 L/min pour 12 prélèvements ;
- Débit final < 3,8 L/min et Débit initial conforme pour 7 prélèvements ;

- Débit final > 4,2 L/min et Débit initial conforme pour 95 prélèvements ;
- Un prélèvement avec un débit final manquant, du fait d'une pompe qui s'est arrêté le jour de la fin du prélèvement, sans incidence sur la durée du prélèvement et un impact faible sur le volume. Le débit initial était conforme ;
- Un prélèvement avec un débit initial manquant, du fait d'un débitmètre en panne le jour du lancement du prélèvement. La pompe a fonctionné au débit de consigne sur l'ensemble de la semaine. Le débit final était conforme ;
- Un prélèvement avec un écart de débit de +0,41 L/min, juste au-dessus de la tolérance fixée.

La non-conformité du débit entraîne un léger décalage dans les tailles de particules prélevées sur la cartouche URG du fait de la déviation au regard du débit nominal de 4 L/min. De ce fait, la fraction de la masse particulaire prélevée peut varier entre PM₂ et PM₃. Cela n'a pas d'incidence sur le volume prélevé hormis une plus forte incertitude autour de la valeur calculée.

Les distributions des débits mesurés avant et après prélèvement sont présentées à la **Figure 8** pour l'ensemble des 542 échantillons jugés au final exploitables (voir section 5.5) qui comprend 319 échantillons conformes et 223 échantillons suspects ou avec un débit non conforme (DNC). La moyenne des débits initiaux est de $3,96 \pm 0,11$ L/min pour les échantillons valides. Pour les échantillons suspects ou DNC, la valeur moyenne est proche, mais avec une dispersion plus importante ($3,92 \pm 0,24$ L/min). L'écart entre les deux sous-populations est plus marqué sur le débit final qui est plus élevé pour les échantillons suspects ou DNC ($4,25 \pm 0,38$ L/min) par rapport aux échantillons conformes ($4,07 \pm 0,12$ L/min).

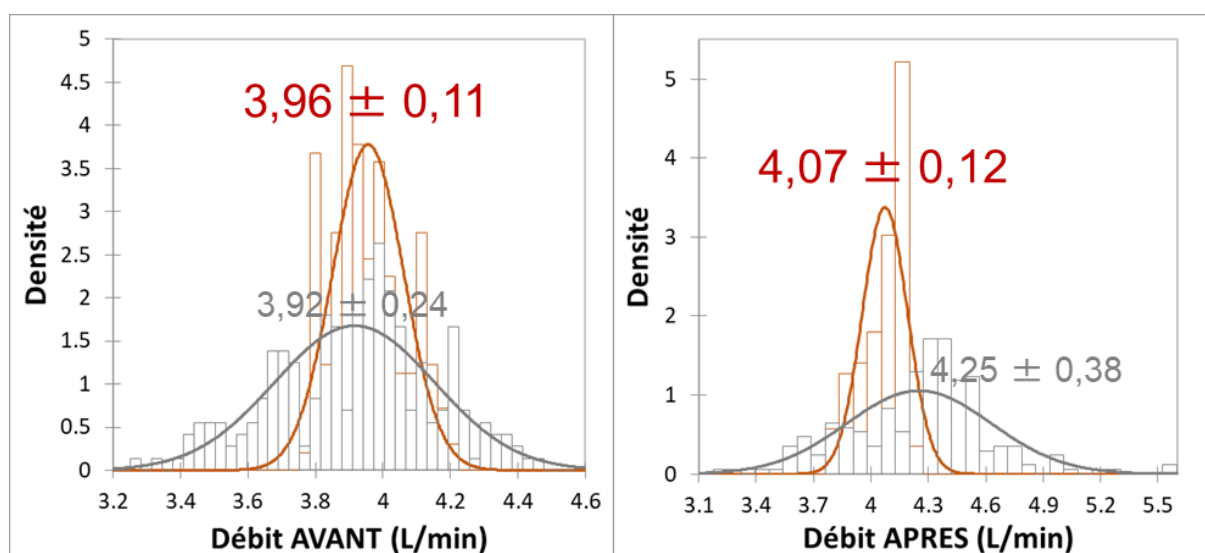


Figure 8. Distribution des débits avant et après prélèvement pour les 319 échantillons conformes (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).

Les distributions des débits de prélèvement moyens et des écarts de débit (final – initial) sont présentées à la **Figure 9**. Le débit moyen est en général un peu plus élevé pour les échantillons suspects ou DNC ($4,08 \pm 0,27$ L/min) par rapport aux échantillons conformes

($4,01 \pm 0,09$ L/min). L'écart de débit est légèrement positif : de l'ordre de $+0,12 \pm 0,14$ L/min pour les échantillons conformes et $+0,34 \pm 0,34$ L/min pour les échantillons suspects et DNC.

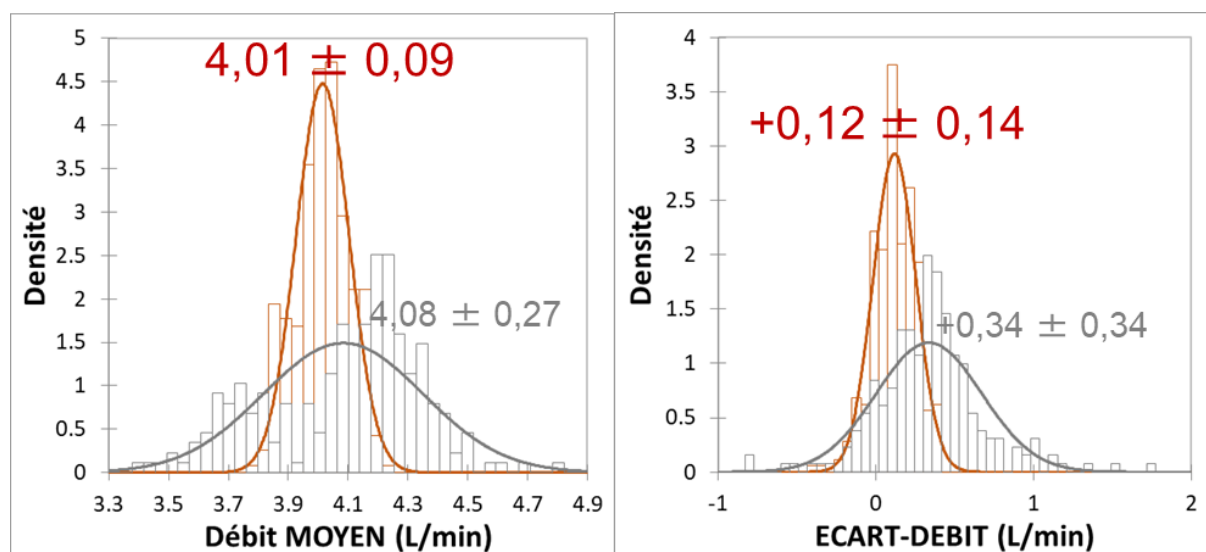


Figure 9. Distribution du débit de prélèvement moyen et de l'écart de débit (final-initial) pour les 319 échantillons conformes (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).

5.1.4.5. Validation des durées de prélèvement

Hors prélèvements invalides, sept prélèvements ont été écourtés suite à des interventions de l'occupant ou des arrêts de la pompe. Les durées effectives de ces prélèvements variaient de 2,3 à 4,8 jours, en deçà de la limite de 5,25 jours qui a été fixée. Les échantillons ont été considérés comme suspects et inexploitable.

Un prélèvement a duré plus longtemps que prévu (9,75 jours) du fait d'un cas de Covid survenu durant la semaine de mesure qui a repoussé la date de fin de prélèvement et de récupération du matériel. L'échantillon est considéré suspect mais exploitable. Une durée plus longue n'a normalement pas d'incidence sur le prélèvement (sauf si une dégradation d'une substance serait amenée à survenir sur le support). Par contre, une durée plus longue peut entraîner un volume plus important qui peut lui impacter la mesure.

Les durées de prélèvements sont conformes pour 543 échantillons dont 44 sont suspects sur d'autres critères, 178 sont classés DNC et 321 sont conformes sur tous les aspects. La durée de prélèvement moyenne est de $7,00 \pm 0,19$ jours pour les échantillons conformes et de $7,02 \pm 0,26$ jours pour les suspects et DNC (cf. **Figure 10**, représentation des échantillons exploitables). La durée effective minimum prise en compte est de 5,6 jours et monte à 9,75 jours.

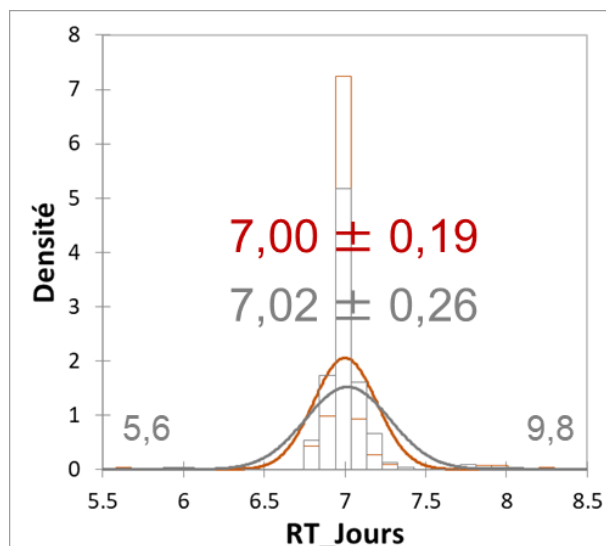


Figure 10. Distribution de la durée effective de prélèvement (RT) pour les 319 échantillons conformes et (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).

5.1.4.6. Validation des volumes de prélèvement

Hors prélèvements invalides, 14 prélèvements sont considérés suspects au regard du volume de prélèvement. Pour 6 de ces échantillons, les volumes calculés sur la base de la durée de prélèvement et de la vérification des débits sont corrects, mais les données de volume du fichier de suivi de la pompe ne sont pas en cohérence. Ils sont jugés exploitables. Sept de ces échantillons correspondent à des volumes trop faibles (entre 14 et 27 m³) associés à des durées trop courtes et sont inexploitable. Le dernier échantillon présente un volume de prélèvement élevé de 57,8 m³, correspondant à la durée de prélèvement de 9,75 jours.

Un volume de prélèvement élevé peut induire un phénomène de perçage des substances les plus volatiles en dehors du filtre et de la mousse entraînant une sous-estimation de la quantité prélevée et donc de la concentration. Les efficacités de piégeage des substances ciblées ont été testées en conditions ambiantes sur des volumes de prélèvement autour de 40 m³. L'efficacité de piégeage des substances pour un volume proche de 58 m³ n'est pas connue. La mesure reste exploitable, mais une vigilance particulière doit être adoptée lors de l'interprétation des résultats.

Les volumes de prélèvements sont conformes pour 537 échantillons dont 38 jugés suspects sur d'autres aspects, 178 DNC et 321 conformes sur tous les plans. Le volume de prélèvement moyen est de $40,5 \pm 1,5$ m³ pour les échantillons conformes et de $41,3 \pm 3,1$ m³ (32,8 à 57,9 m³) (cf. Figure 11).

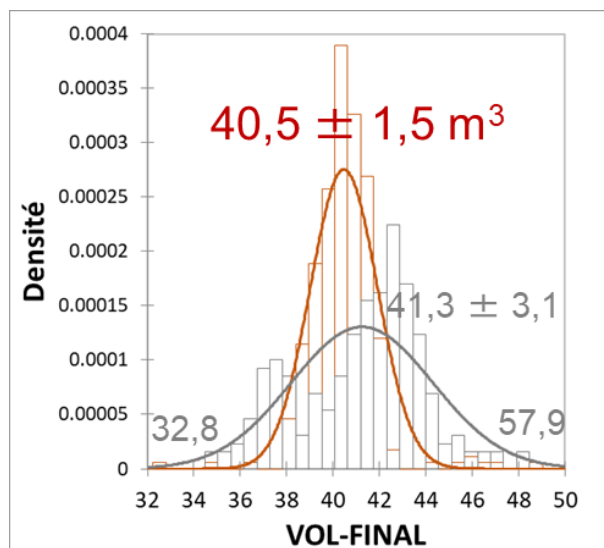


Figure 11. Distribution du volume de prélèvement pour les 319 échantillons conformes et (OK, en orange) et pour les 223 échantillons suspects ou DNC (en gris).

5.1.4.7. Validation des délais d'utilisation des cartouches

Une cartouche URG conditionnée peut être utilisée dans un délai de 1 mois selon le protocole établi par le laboratoire s'appuyant sur la norme XP X 43-059 (AFNOR, 2007) au regard de tests de performances réalisés notamment à partir de mousses utilisées en air ambiant. Passé ce délai, les enquêteurs avaient pour consigne de renvoyer les cartouches inutilisées pour en recevoir de nouvelles. Sur la durée de la campagne, 58 cartouches ont été renvoyées au laboratoire pour être reconditionnées.

Sur la base des 542 échantillons exploitables, le délai d'utilisation des cartouches variait de 0 à 76 jours avec une moyenne de $14,7 \pm 8,1$ jours. Quinze prélèvements ont été réalisés avec des cartouches de prélèvements qui ont été conditionnées plus de 31 jours au préalable.

Le risque de dépassement du délai de péremption d'une cartouche URG conditionnée est principalement associée à un niveau résiduel de contamination potentiellement plus élevé. Par ailleurs, un délai d'utilisation trop long pourrait affecter la capacité de sorption du support et donc sa performance. Toutefois, l'absence de réactifs dans le support limite ce risque.

Dans le cadre de la campagne PestiRiv piloté conjointement par Santé publique France et l'Anses, le laboratoire a contrôlé l'utilisation des cartouches conditionnées sur une durée pouvant atteindre 19 semaines soit 4,5 mois. Sur les 40 substances recherchées, 27 sont communes à la liste PestiLoge. Aucune contamination résiduelle n'a été observée après 137 jours de stockage d'une cartouche conditionnée sans utilisation et, en dehors de la deltaméthrine, aucun impact sur le rendement d'extraction n'a été observé. Le résultat observé pour la deltaméthrine montre un rendement d'extraction plus élevé qu'initialement (122-174 % au lieu de 98 % initialement), ce qui aurait comme possible conséquence de surestimer la concentration pour les échantillons dans ce cas.

Par contre, il est nécessaire de préciser que le délai d'utilisation des blancs de terrain de la campagne PestiLoge varie de 20 à 93 jours, avec une moyenne de 38 ± 14 jours, donc globalement plus important que celui observé pour les échantillons. Pour les blancs de terrain, du fait qu'ils ne sont pas exposés, le délai d'utilisation est calculé de la date de

conditionnement à la date d'extraction au laboratoire. Une éventuelle surcontamination des blancs de terrain due au délai d'utilisation trop long est forcément pris en compte dans la gestion du bruit de fond à même d'induire une modification des limites de détection et de quantification de la méthode (voir section 5.2).

Malgré tout, une vigilance particulière doit être apportée au moment de l'interprétation des résultats au regard du délai d'utilisation des cartouches. En première approche, il est possible de comparer les niveaux de concentrations mesurés dans les échantillons selon le délai d'utilisation de la cartouche conditionnée conforme (≤ 31 jours) ou dépassée (> 31 jours). Les comparaisons ont été menées et les tests de comparaison de Mann-Whitney n'ont pas fait apparaître de différences significatives. La **Figure 10** présente les résultats de comparaison observés pour la deltaméthrine et le triallate (seule substance à afficher une p-value $< 0,05$, mais celle-ci ne tient pas compte de la correction de Bonferroni au vu du nombre de tests réalisés). De manière générale, les 15 prélèvements avec un délai d'utilisation > 31 jours présentent des niveaux de concentrations plutôt faibles. Mais, il n'est pas possible de conclure sur une influence particulière du délai d'utilisation. Cette situation ne concerne finalement que 2,8 % des échantillons.

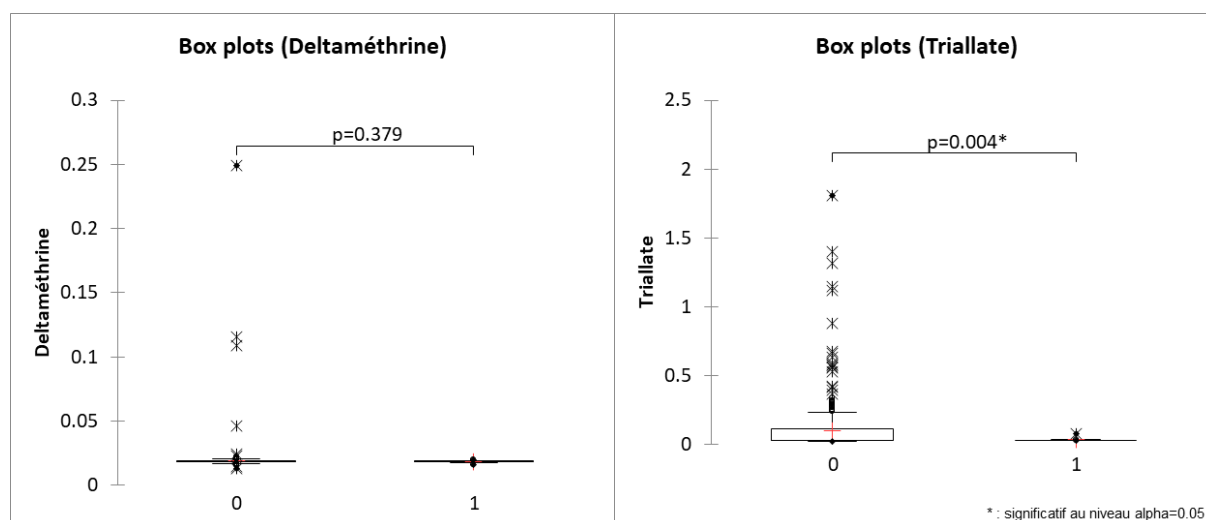


Figure 12. Influence du délai d'utilisation de cartouches conditionnées > 31 jours (1) par rapport à un délai d'utilisation conforme (≤ 31 jours, codé 0), sur les concentrations de conforme (n deltaméthrine et en triallate (en ng/m^3). Test non significatif pour le triallate en tenant compte de la correction de Bonferroni (niveau de risque corrigé à 0,0006).

5.1.4.8. Validation des délais d'envoi, de transport et de réception des échantillons

Les délais d'envoi, de réception et de transport sont également vérifiés. La tolérance pour le délai d'envoi est de 4 jours, pour le délai de réception de 7 jours et pour le délai de transport de 2 jours. Les échantillons reçus cumulant un délai non respecté avec une température à réception non respectée ou absente sont traités comme SUSPECT. A noter que le stockage des échantillons avant envoi se fait en conditions réfrigérées. Le respect des délais de transport est donc plus important.

Les délais d'envoi des échantillons varient de 0 à 12 jours avec une moyenne de $2,0 \pm 1,8$ jours. Le délai d'envoi tient compte de la date d'envoi renseignée par l'enquêteur et de la date de fin de prélèvement. Une tolérance de 4 jours avait été adoptée pour tenir compte des week-ends et éviter que le colis reste en dépôt sur cette période. Pour 52 échantillons (9,6 %) ce délai est dépassé. Durant cette période, les cartouches échantillons sont conservées au frais dans le local logistique des enquêteurs.

Le délai de transport des échantillons est calculé entre la date de réception au laboratoire et la date d'envoi. Il est en moyenne de $1,2 \pm 0,7$ jours (0 – 6 jours) avec 25 échantillons (4,6 %) qui dépasse la tolérance de 2 jours fixée pour un envoi en chronopost. Durant le transport, les cartouches échantillons sont maintenues au frais dans une pochette réfrigérée.

Le délai global de réception des échantillons au laboratoire combine les deux délais précédents et couvre la période allant de la date de fin de prélèvement à la date de réception au laboratoire. Il est en moyenne de $3,2 \pm 2,0$ jours (1 – 14 jours) avec 11 échantillons (2 %) qui dépassent 7 jours.

Sur l'ensemble de cette période, l'échantillon est maintenu au frais, mais si le transport prend plus de temps, la température des échantillons peut augmenter. La vérification de la température à réception permet de statuer sur l'état de l'échantillon à réception.

5.1.4.9. Validation des températures de réception

Le respect d'une température fraîche à réception doit être vérifié. La tolérance est de 8 °C. L'absence de flacon témoin pour la vérification de la température correspond à un code qualité SUSPECT si le délai de transport est de plus de 2 jours. Malgré l'absence du flacon, le laboratoire peut émettre dans certains cas un commentaire sur la fraîcheur de l'échantillon et indique la mention « frais ». Dans ce cas, la tolérance sur la température à réception est considérée respectée. Pour un traitement numérique de cette variable, la mention « frais » équivaut à une température par défaut de 8 °C.

Le non-respect de la tolérance sur la température ou son absence conduit à classer l'échantillon comme SUSPECT si dans le même temps le délai de transport est supérieur à 2 jours. Une température à réception supérieure à 2 fois la tolérance (> 16 °C) est également considérée comme SUSPECTE quel que soit le délai de transport.

Sur le nombre de prélèvements exploitables réceptionnés au laboratoire, la température à réception de 369 échantillons a pu être renseignée. Pour 39 échantillons réceptionnés sans flacons de contrôle, le laboratoire a indiqué qu'ils étaient restés frais, même si la température n'a pas pu être vérifiée. Pour ces échantillons, une température par défaut de 8 °C a été appliquée. Pour 132 échantillons essentiellement du début de la vague 1 (24 %), aucune température à réception ou mention de fraîcheur n'est indiquée (cf. [Figure 13](#)).

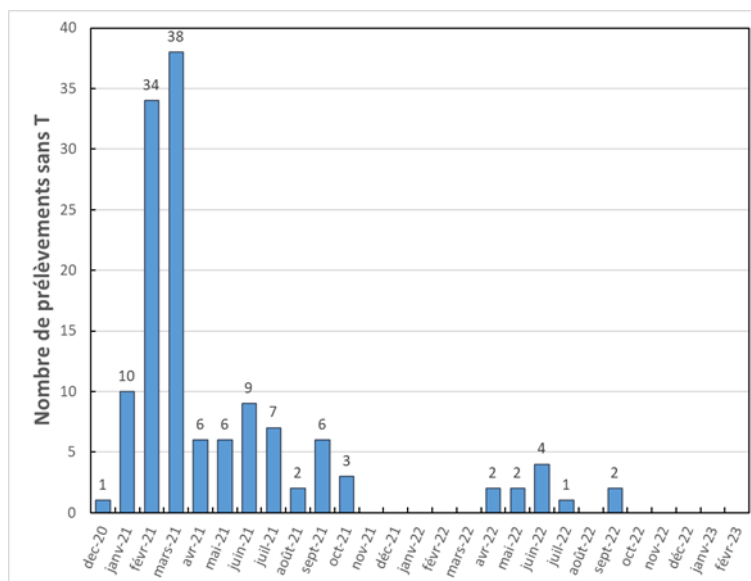


Figure 13. Nombre de températures à réception non renseignés par date de réception au laboratoire.

Pour les 410 échantillons avec une indication de température, la température moyenne à réception était de $6,3 \pm 2,6$ °C (0,5 à 22 °C). Pour 24 échantillons (4,4 %), la température à réception dépassait les 8 °C. pour ces échantillons, le délai de réception était correct (entre 1 et 7 jours) et le délai de transport variait de 1 à 5 jours.

Sur la base de ce critère, 15 échantillons (2,8 %) ont été considérés suspects :

- 8 échantillons sans mention de température avec un délai de transport > 2 jours ;
- 4 échantillons avec une température > 8 °C et un délai de transport > 2 jours ;
- 3 échantillons avec une température > 16 °C et un délai de transport de 1 à 2 jours.

5.2. Validation des limites de détection et de quantification

Le laboratoire établit les limites de détection et de quantification à l'échelle des méthodes analytiques mises en œuvre qui couvrent également la partie liée au traitement de l'échantillon. Ces limites établies par le laboratoire ne couvrent pas la dimension prélèvement, stockage et transport des échantillons avant réception au laboratoire.

Plusieurs éléments d'assurance qualité permettent de conforter ou à défaut d'ajuster ces limites :

- Contrôle des blancs de lot : vérification de l'absence de contamination des différents lots de filtre quartz et de mousses PUF utilisés au cours de la campagne. Une vérification est effectuée à chaque nouveau lot utilisé préalablement à leur utilisation ;
- Contrôle des blancs de conditionnement : vérification de l'absence de contamination des cartouches montées avec filtres et mousses conditionnées, nettoyées et préparées par le laboratoire, prêtes à être utilisées pour le prélèvement. Entre 5 et 10 vérifications de blancs de conditionnements sont prévus ;
- Contrôle des blancs de terrain : vérification de l'absence de contamination des cartouches témoins, qui suivent l'échantillon durant la durée du prélèvement, le

stockage et le transport. Aucun prélèvement n'est réalisé sur ces cartouches. Pour des raisons budgétaires, il n'est pas possible de déployer une cartouche témoin pour chaque échantillon. Le déploiement de cartouches témoins n'est réalisé que pour 10 % des échantillons (60 cartouches témoins).

La vérification des blancs de lot permet de valider l'utilisation de chaque lot pour les prélèvements. La détection ou la quantification des substances remet en cause l'utilisation du lot concerné qui est écarté.

La détection ou la quantification des substances dans plus de 5 % des blancs de conditionnement ou des cartouches témoins peut conduire à réévaluer les limites de détection et de quantification de la méthode de mesure globale. Cette réévaluation est faite sur les témoins jugés peu atypiques. Les cartouches témoins présentant des niveaux particulièrement élevés et jugés extrêmes (au travers d'un test de Grubbs) pour une ou plusieurs substances sont écartés. Si le nombre de cartouches avec des niveaux excessifs est supérieur à deux, ces cartouches ne sont pas considérées comme atypiques et sont conservées.

La présence de contamination dans les cartouches témoins représente un bruit de fond lié à la mise en œuvre de la mesure au cours de la campagne. La quantité piégée dans une cartouche échantillon doit être significativement supérieure à ce bruit de fond pour que la substance mesurée soit considérée détectée. Le plafond haut de bruit de fond dans les cartouches témoins est déterminée en additionnant :

- La quantité moyenne observée sur les cartouches témoins, si cette valeur moyenne est significativement différente de zéro. La moyenne est calculée sur l'ensemble des témoins, en imputant une valeur unique ($LD/2$) pour les résultats inférieurs à la limite de détection ;
- Trois fois l'écart-type arithmétique des quantités observées sur les cartouches témoins (après imputation des valeurs censurées), correspondant à un risque $< 0,5 \%$ que toute nouvelle mesure d'un témoin se situe au-delà de ce seuil sous hypothèse d'une distribution normale des données.

Cette valeur plafond est ensuite comparée à la LD fournie par le laboratoire. Si le plafond est inférieur à la LD laboratoire, la LD globale de la méthode de mesure (LDM) est égale à la LD du laboratoire. Si le plafond est supérieur à la LD laboratoire, c'est cette nouvelle valeur qui représente la LDM.

La limite de quantification de la méthode (LQM) reste égale à la limite de quantification (LQ) du laboratoire, si cette dernière reste supérieure à la LDM. La LQM est par contre ajustée à la valeur de la LDM si cette dernière est supérieure à la LQ du laboratoire. La quantité résiduelle présente dans les blancs de terrain n'a en effet pas d'incidence sur la capacité du laboratoire à fournir un résultat dans la gamme de mesure fixée lors du développement analytique de la substance considérée.

Le résultat en masse sur support d'une substance donnée est ensuite comparé aux nouvelles LDM et LQM. Le positionnement des résultats exploitables $\leq LDM$, $[LDM-LQM]$ et $> LQM$ permet ensuite de définir les fréquences de détection et de quantification.

Les LDM et LQM exprimées en masse sur support sont constantes pour une substance donnée. Mais, compte tenu des variations de durée de prélèvement et donc de volume de

prélèvement, les LDM et LQM exprimées en concentration peuvent varier d'un logement à l'autre.

De nouvelles variables sont créées à partir des nouvelles LDM et LQM :

- « SI < LDM » : si la valeur de MASSE_NUM est < LDM, elle est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.
- « SI [LDM-LQM[» : si la valeur de MASSE_NUM est la fois $\geq$ LDM et < LQM, elle est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.
- « SI $\geq$ LQM » : si la valeur de MASSE_NUM est $\geq$ LQM, la variable est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.

5.2.1. Contrôle des blancs de lot

L'ensemble des 4 lots de filtres quartz (représentant un total de 900 filtres) et des 3 lots de mousses PUF réceptionnés (680 mousses) pour la campagne ont été contrôlés. Pour chaque lot, un filtre quartz neuf ou une mousse PUF neuve ont été analysés. Les 7 blancs de lot contrôlés portaient les codes d'analyses E20-38954, E20-38955, E20-38956, E21-24819, E21-24820, E21-31239 et E21-31240. Ils ont été analysés pour les trois premiers en décembre 2020, en juillet et août 2021 pour les quatre autres.

Pour tous les lots, les résultats étaient systématiquement inférieurs à la limite de détection de chacune des 81 substances recherchées. L'ensemble des lots étaient conformes et ont donc été mis à disposition.

5.2.2. Contrôle des blancs de conditionnement

Dix blancs de conditionnement ont été vérifiés entre 22 avril 2021 et le 20 février 2023. Un blanc de conditionnement était prévu tous les 50 cartouches URG transmises aux enquêteurs.

Pour 75 substances, la quantité résiduelle sur le support était systématiquement inférieure à la LD analytique. Mais pour 4 blancs de conditionnement, au moins une substance a été retrouvée avec une quantité supérieure à la LD. Six substances sont concernées : carbaryl, DEET, perméthrine, transfluthrine, lindane et icaridine. Ces deux dernières substances sont mêmes retrouvées à des niveaux légèrement au-dessus de leur LQ (cf. [Tableau 4](#)).

Tableau 4. Substances détectées dans les blancs de conditionnement

Substance	Blanc de conditionnement	Date d'extraction	Masse résiduelle (ng)	> LD	> LQ
Carbaryl	E23-04389	20/02/2023	1,2	1	0
DEET	E22-21755	14/06/2022	2	1	0
Icaridine	E22-21755	14/06/2022	6,5	1	1
Lindane	E22-48738	29/11/2022	2	1	1
Permethrine	E22-48738	29/11/2022	3,5	1	0
Transfluthrine	E22-31150	05/08/2022	1,3	1	0

Les niveaux résiduels observés dans les blancs de conditionnement pour ces substances sont en général également retrouvés dans les blancs de terrain.

5.2.3. Contrôle des blancs de terrain

Sur l'ensemble de la campagne 60 blancs de terrain ont été réalisés entre fin janvier 2021 et mi-janvier 2023 (29 en 2021, 30 en 2022 et 1 en 2023). Pour chaque zone d'enquête, entre 1 et 6 blancs de terrain ont été mis en œuvre.

Pour 60 substances, la quantité résiduelle au niveau des blancs de terrain était systématiquement inférieure à la LD analytique. Mais, pour 21 substances, le niveau résiduel dans les blancs de terrain a dépassé au moins une fois la LD analytique (cf. **Tableau 5**).

Huit substances sont détectées dans plus de 5 % des blancs de terrain : carbaryl, lindane, DEET, perméthrine, icaridine, bifenthrine, prosulfocarbe, et triallate. A noter que pour le prosulfocarbe, une valeur résiduelle très élevée de 25 ng a été détectée et écartée du traitement statistique. En effet, ce blanc de témoin accompagnait un échantillon particulièrement chargé (300 ng de prosulfocarbe) et une contamination directe ne peut pas être exclue.

Huit substances sont quantifiées dans au moins un blanc de terrain : carbaryl, lindane, DEET, pendiméthaline, icaridine, bifenthrine, prosulfocarbe, et triallate.

Tableau 5. Substances détectées dans les blancs de terrain

Molécule	LD (ng)	LQ (ng)	Min (ng)	Max (ng)	% > LD	% > LQ
Carbaryl	0,75	2,5	< LD	9,1	28%	3%
Lindane	0,375	1,25	< LD	7,6	18%	5%
DEET	1,875	6,25	< LD	6,3	17%	2%
Perméthrine	1,5	5,0	< LD	4,9	17%	0%
Icaridine	1,875	6,25	< LD	9,5	12%	5%
Bifenthrine	0,375	1,25	< LD	1,5	10%	2%
Prosulfocarbe	1,875	6,25	< LD	7,8 (25)	8%	3%
Triallate	0,75	2,5	< LD	5,8	8%	2%
Lambda cyhalothrine	0,75	2,5	< LD	1,3	5%	0%
Pendiméthaline	0,75	2,5	< LD	3,1	3%	2%
Diazinon	0,938	3,125	< LD	2,8	3%	0%
Diflufénicanil	0,375	1,25	< LD	0,96	3%	0%
Métolachlore	0,375	1,25	< LD	1,2	3%	0%
Chlorpyrifos éthyl	0,75	2,5	< LD	0,86	2%	0%
Cyperméthrine	3,0	10,0	< LD	5,3	2%	0%
Dichlorprop	0,75	2,5	< LD	0,9	2%	0%

Molécule	LD (ng)	LQ (ng)	Min (ng)	Max (ng)	% > LD	% > LQ
Difénoconazole	1,875	6,25	< LD	1,9	2%	0%
Endrine	7,5	25	< LD	10	2%	0%
Malathion	0,75	2,5	< LD	1,7	2%	0%
Pentachlorophénol	1,875	6,25	< LD	2,3	2%	0%
Transfluthrine	0,938	3,125	< LD	1,4	2%	0%

% > LD : fréquence de détection ; % > LQ : fréquence de quantification

Au regard de ces éléments, il est nécessaire de vérifier pour ces 21 substances si les limites de détection et de quantification de la méthode sont susceptibles d'être impactées en calculant le plafond haut de bruit de fond.

5.2.4. Limites de détection et de quantification de la méthode (LDM et LQM)

La valeur de plafond haut de bruit de fond a été calculée pour les 21 substances détectées au moins une fois dans un blanc de terrain. Cela a conduit à réhausser la limite de détection de la méthode (LDM) pour 14 substances et à ajuster la limite de quantification de la méthode (LQM) pour 5 substances (cf. **Tableau 6**). Les substances qui ont subi les plus fortes augmentations de LDM sont notamment celles qui étaient également détectées au niveau des blancs de conditionnement comme le carbaryl, le lindane, l'icaridine, le DEET et la perméthrine.

Pour toutes les autres substances, les niveaux résiduels observés dans les blancs de terrain n'ont pas eu d'impact sur les limites de détection et de quantification. Pour ces substances, la LDM est égale à la LD analytique et la LQM est égale à la LQ analytique (cf. **Tableau 3**).

Tableau 6. Limite de détection (LDM) et de quantification de la méthode (LQM) des 21 substances détectées au moins une fois dans les blancs de terrain

Molécule	LD (ng)	LQ (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM (ng/m ³)	LQM (ng/m ³)
Carbaryl	0,75	2,5	4,61	4,61	0,12	0,12
Lindane	0,375	1,25	3,39	3,39	0,08	0,08
DEET	1,875	6,25	5,16	6,25	0,13	0,16
Perméthrine	1,5	5,0	4,82	5,0	0,12	0,13
Icaridine	1,875	6,25	7,07	7,07	0,18	0,18
Bifenthrine	0,375	1,25	0,84	1,25	0,02	0,03
Prosulfocarbe	1,875	6,25	4,34	6,25	0,11	0,16
Triallate	0,75	2,5	2,65	2,65	0,07	0,07
Lambda cyhalothrine	0,75	2,5	0,91	2,5	0,02	0,06
Pendiméthaline	0,75	2,5	1,5	2,5	0,04	0,06
Diazinon	0,94	3,13	1,54	3,13	0,04	0,08
Diflufénicanil	0,38	1,25	0,63	1,25	0,02	0,03

Molécule	LD (ng)	LQ (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM (ng/m ³)	LQM (ng/m ³)
Métolachlore	0,38	1,25	0,71	1,25	0,02	0,03
Chlorpyriphos éthyl	0,75	2,5	0,75	2,5	0,02	0,06
Cyperméthrine	3,0	10	3,0	10	0,08	0,25
Dichlorprop	0,75	2,5	0,75	2,5	0,02	0,06
Difénoconazole	1,88	6,25	1,88	6,25	0,05	0,16
Endrine	7,5	25	7,5	25	0,19	0,63
Malathion	0,75	2,5	0,91	2,5	0,02	0,06
Pentachlorophénol	1,88	6,25	1,88	6,25	0,05	0,16
Transfluthrine	0,94	3,13	0,94	3,13	0,02	0,08

En gras : substance pour laquelle la LDM a été réhaussée ; **En jaune** : valeur de LDM et LQM modifiée par rapport à la LD ou LQ analytique correspondante.

5.3. Validation des données d'analyse

Autant les données de prélèvement et les différents délais de traitement de l'échantillon permettent de valider les données à l'échelle de l'échantillon, autant les données d'analyse vont venir définir un niveau de validation à l'échelle d'une substance donnée.

Pour un prélèvement suspect, l'ensemble des données de chaque substance est considéré comme suspect. A l'inverse, si le résultat pour une substance donnée est jugé suspect cela n'a pas d'incidence sur un prélèvement considéré conforme. La validation du prélèvement reste conforme et la validation du résultat d'analyse de la substance conclut en donnée suspecte.

5.3.1. Analyses invalides

Trois échantillons avec un prélèvement conforme (OK) ou suspect n'ont pas pu être analysés ou l'ont été sans que cela soit exploitable :

- 05LTVA85 : erreur de manipulation au laboratoire (flacon contenant l'extrait renversé) ;
- 09LVZB36 : oubli d'ajout des étalons internes
- 10LZHU34 : erreur de manipulation au laboratoire (casse du réacteur de concentration).

5.3.2. Validation des délais d'analyse

Le délai d'extraction des échantillons calculé entre la date d'extraction et la date de réception au laboratoire est en moyenne de $10,7 \pm 5,0$ jours (0 – 26 jours). Le délai d'extraction dépasse 14 jours pour 69 échantillons (12,7 % des prélèvements exploitables). Il n'y avait pas de contraintes spécifiées sur le délai d'extraction au niveau du cahier des clauses techniques particulières (CCTP) du marché. La norme XP X43-059 (2007) autorise jusqu'à 150 jours de conservation avant extraction à -18 °C pour les prélèvements réalisés dans l'air ambiant. Dans

le cadre de la campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant (CNEP 2018-2019), un délai d'extraction sous 30 jours a été validé par l'Ineris.

La contrainte portait sur le délai d'analyse qui ne devait pas dépasser 1 mois (31 jours) à condition de conserver l'échantillon et l'extrait au congélateur à -18 °C, ce qui a été systématiquement fait. Le délai de conservation des extraits est donc au maximum de 31 jours si l'extraction est réalisée le jour de la réception. La norme XP X43-059 (2007) indique qu'après extraction, les extraits peuvent être conservés à une température inférieure ou égale à -18 °C pendant une durée maximale de 40 jours.

Le délai d'analyse sur la filière LC était en moyenne de $27,9 \pm 9,0$ jours (7 à 73 jours) avec 141 prélèvements (26 %) qui ont été analysés plus de 31 jours après réception. Parmi ceux-ci, un seul extrait a été conservé plus de 40 jours (66 jours).

Le délai d'analyse sur la filière GC était en moyenne de $36,3 \pm 13,1$ jours (8 à 98 jours) avec 309 prélèvements (57 %) qui ont été analysés plus de 31 jours après réception. Parmi ceux-ci, 47 extraits ont été conservés plus de 40 jours (41 à 91 jours).

Une majorité de substances a déjà été testée à 3 mois voire 6 mois pour certaines dans le cadre de la CNEP 2018-2019 (réanalyses d'extraits d'échantillons ou extraits de mousses dopées) et les résultats des essais conduits au laboratoire étaient satisfaisants (aux incertitudes de mesures près). De même, les solutions d'étalonnage sont-elles mêmes validées à 3 mois en LC et à 6 mois en GC. Néanmoins, des essais de conservation complémentaires ont été menés sur certaines substances non testées dans le cadre de la CNEP. Les résultats de ces essais sont présentés à l'Annexe 1 – Assurance qualité.

Plusieurs substances présentent des rendements légèrement en dehors de la plage de conformité (60 % - 120 %) : acétamipride, bêta-cyfluthrine, tau-fluvalinate, carbaryl et pyriproxyfène. Pour les 3 premières substances, les résultats se situent dans la plage d'incertitude du rendement initial (deux fois le coefficient de variation du rendement). Par contre, le carbaryl et le pyriproxyfène affichent un taux de rendement plus élevé sur un extrait conservé 3 mois (139 % pour les deux). Le malathion présente lui un rendement conforme de 78 % après conservation de l'extrait, mais plus faible par rapport au rendement initial (102 ± 9 %). Le taux de récupération de ces substances à partir de solutions étalons conservées jusqu'à 3 mois en LC ou jusqu'à 6 mois en GC est lui conforme et stable. A noter que le cymoxanil, qui présente un rendement très variable n'a pas été testé dans cette configuration.

Avec un seul essai réalisé, il est difficile de tirer des conclusions générales sur le comportement de ces substances après conservation de l'extrait. L'incertitude sur ces substances pour les échantillons concernées est sans doute plus élevée, sans les invalider pour autant. Ce critère de délai d'analyse affectant finalement la variabilité du rendement, déjà observé initialement pour certaines substances, il est décidé de ne pas en faire un critère de validation, mais de le regarder de manière plus large au regard de la performance globale de la méthode.

5.3.3. Validation de la donnée au niveau substance

De nouvelles variables sont créées à partir des données transmises par le laboratoire pour chaque substance :

- « SI < LD » : si la masse brute est égale à « <LD », elle est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.
- « SI [LD-LQ] » : si la masse brute est de la forme « <0,000 (0,0) », elle est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.
- « SI >= LQ » : si la masse brute est de la forme 0000,000 et supérieur à la LQ, la variable est codée comme 1 sinon 0, ou manquant en cas de donnée invalide.
- MASSE_NUM : cette nouvelle variable recode de façon intégralement numérique les données de masse sur support fournies par le laboratoire de la façon suivante :
 - Si « <LD », la nouvelle variable intègre l'imputation de la valeur numérique LD/2 (format 0,000 ng)
 - Si « <0,000 (0,0) », la nouvelle variable intègre le nombre 0,0 (format 0,000 ng)
 - Si « 0000,000 », la nouvelle variable reprend le nombre 0000,00 (format 0000,000 ng)
 - Si le laboratoire mentionne en commentaire « étalons internes oubliés donc invalide », alors MASS_NUM = NA (absence de données).

Dans certaines situations, un effet matrice est observé qui nécessite une dilution d'un facteur 2 et une réanalyse. La dilution entraîne une augmentation (doublement) de la LD et de la LQ. Dans ce cas, pour une masse brute affichant « < LD x 2 », « SI < LD » = 1 et la valeur LD est attribuée à MASSE_NUM. En cas de dilution et une masse brute affichant un résultat de type « <0,000 (0,0) », alors « SI [LD-LQ] » = 1 et MASSE_NUM = 0,0. Le code qualité de l'analyse est porté à SUSPECT.

Tout commentaire associée à l'analyse d'une substance qui porte sur une suspicion ou une incertitude plus importante, entraîne un code qualité SUSPECT.

Le laboratoire a parfois mentionné dans ses commentaires : « étalons internes oubliés donc invalide » tout en fournissant des données numériques. Celles-ci jugées très indicatives sont considérées invalides (INV). Pour ces situations, MASS_NUM = NA (absence de données).

Pour le cymoxanil, le laboratoire mentionne systématiquement le fait que le dosage n'est pas robuste, que la LD doit être ramenée au niveau de la LQ en indiquant un code qualité invalide. Une donnée numérique indicative a néanmoins été fournie quand c'était possible. Les performances de rendement au niveau laboratoire présentent en effet une incertitude importante, mais les essais réalisés en dynamique ont au contraire montré une efficacité de piégeage robuste. Il est décidé de maintenir à ce stade les valeurs fournies telles quelles sans les invalider en leur attribuant un code qualité SUSPECT et exploitable.

5.4. Validation des données de concentration des pesticides dans l'air

5.4.1. Calcul des données de concentration

Les données de prélèvement sont rapprochées des données laboratoires par jointure du code identifiant du logement et du code de prélèvement. La concentration C_NUM est calculée en divisant la valeur de MASSE_NUM par le VOLUME_CORRIGE pour un résultat numérique exprimé en ng/m³.

De la même façon, les LDM et LQM, propres à chaque substance, initialement exprimées en ng sont traduites en ng/m³ en divisant la valeur par le VOLUME_CORRIGE propre à chaque échantillon, et deviennent respectivement LDM_C et LQM_C.

Les variables SI < LDM, SI [LDM-LQM[et SI ≥ LQM sont conservées pour déterminer la fréquence de détection et de quantification et peuvent également servir pour modifier le traitement des valeurs censurées à gauche (< LDM) qui sont par défaut transposées en LDM/2, ainsi que pour exprimer les résultats de concentration de manière différente et pas forcément numérique.

5.4.2. Validation finale des données de concentration

Les variables LDM_C et LQM_C présentent une variabilité inhérente à la variabilité du volume de prélèvement. La tolérance sur le volume de prélèvement se traduit par une dispersion plus ou moins grande des valeurs de LDM_C et LQM_C. Cette dispersion peut créer des incohérences en termes de positionnement des valeurs entre elles. Par exemple, pour une substance, le positionnement d'une valeur mesurée de 0,05 ng/m³ (statut SI [LDM-LQM[= 1) pour un échantillon est difficile par rapport à la valeur < 0,07 ng/m³ (< LDM_C) pour un autre échantillon. Le traitement le plus probable de cette incohérence est de ne considérer que la plus haute valeur de LDM_C et LQM_C pour l'ensemble des échantillons. Une autre option serait d'invalider les échantillons les plus pénalisants ce qui revient à modifier la tolérance fixée initialement sur le volume en étant plus strict. Le traitement final des LDM_C et LQM_C sera examiné pour chaque substance au cas par cas.

La validation globale de chaque résultat est déterminée en combinant les validations intermédiaires observées au niveau du prélèvement (débit, durée, volume, délai d'utilisation) et au niveau de l'analyse (délais de réception et transport, température à réception, commentaires d'analyse). Le code qualité le plus pénalisant est conservé : INV > SUSPECT > DNC > OK. Les codes SUSPECT et DNC sont examinés au cas par cas pour établir leur caractère EXPLOITABLE ou INEXPLOITABLE.

Le caractère **EXPLOITABLE** correspond à une valeur pour une substance d'un échantillon pour lequel une non-conformité jugée mineure sans impact majeur sur le résultat est observée. Le résultat peut être exploité avec les autres données valides à des fins statistiques ou être utilisé pour un rendu individuel des résultats aux enquêtés. Le caractère EXPLOITABLE englobe les codes qualités OK, DNC et certains prélèvements et/ou analyses SUSPECTS.

Le caractère **INEXPLOITABLE** correspond à une valeur pour une substance d'un échantillon qui présente une non-conformité majeure ou une incohérence non corrigée qui met en doute la validité du résultat sans pour autant l'invalider ou bien lui confère une incertitude très élevée. Le résultat est écarté de toute exploitation statistique des données. Le caractère INEXPLOITABLE englobe les données invalides (INV) et certains prélèvements et/ou analyses SUSPECTS.

La validation finale du résultat peut également être modulée au regard des performances analytiques déterminées par ailleurs, notamment l'efficacité de piégeage (ou capacité de rétention) sur la cartouche URG. Les substances avec une efficacité de piégeage insuffisante ou variable, pourraient voir leurs résultats dégradés d'une variable numérique (concentration) à des données plus indicatives comme une variable ordinale (positionnement des échantillons

entre eux) voire binaire (présence / absence). Il serait également possible de corriger les résultats avec l'efficacité de piégeage si sa variabilité est faible, ce qui conduirait à rehausser les limites de détection et de quantification.

5.5. Bilan de validation des mesures de pesticides dans l'air

Sur l'ensemble de la campagne, le bilan des mesures de pesticides dans l'air est le suivant :

- 319 prélèvements sont conformes sur tous les critères (55,9 %) ;
- 23 prélèvements sont invalides (4,0 %) :
 - 2 prélèvements n'ont pas été réalisés (1 refus occupant dû au bruit de la pompe et 1 manque de cartouche URG pour retard de livraison avec colis perdu) ;
 - 11 arrêts inattendus de la pompe ;
 - 5 arrêts par inadvertance de l'occupant (débranchement) ;
 - 3 arrêts par coupures de courants lors du prélèvement ;
 - 3 prélèvements avec analyses invalides (2 casses flacon extrait + 1 oubli étalons internes) ;
- 51 prélèvements suspects ont été analysés (8,9 %) :
 - 6 prélèvements arrêtés au bout de quelques jours (1 coupure de courant, 2 arrêts de la pompe, 3 arrêts par occupants) avec un volume de prélèvement < 30 m³ [Inexploitables] ;
 - 16 écarts importants de débit > 0,8 L/min (écart [après - avant] > 20 %) ;
 - 17 incohérences sur les données de volume/durée/débit/id pompes ;
 - 10 prélèvements avec problèmes de température de réception trop élevée (> 8 °C) conjugué à un délai de transport trop important (> 2 jours), ou avec une température à réception très élevée (> 16 °C) ;
 - 1 prélèvement avec volume trop important > 50 m³ ;
 - 1 déplacement de la pompe hors de la pièce de vie (couloir dans le logement) ;
- 178 non-conformités mineures de débits (31,2 %) lié à un problème de réglage de la pompe.

Au total, 542 échantillons sont exploitables, soit 94,9 % des échantillons. Ce nombre inclut les 319 prélèvements conformes, les 45 prélèvements suspects jugés exploitables et les 178 prélèvements avec des non-conformités de débits mineures.

5.6. Validation des données issues des questionnaires

La validation globale et la préparation des données de la partie questionnaire consistent à traiter les points suivants :

- la vérification des réponses possibles et des enchaînements logiques sur les données ;
- l'identification et le codage des valeurs sans objet pour distinguer des non-réponses ;
- le traitement des variables textes : homogénéisation, correction en modalités existantes, ajout de nouvelles modalités le cas échéant ;
- le traitement et la correction des variables numériques ;
- la mise en place de contrôles de cohérence entre les variables pouvant être mises en relation les unes avec les autres et les corrections associées ;
- la création de variables agrégées ;
- le traitement des commentaires de saisie.

En parallèle, des dictionnaires de variables sont élaborés pour chaque questionnaire, indiquant pour chacune des variables, le libellé de la question, l'ordre et le chapitre/sous-chapitre associé, le type de variable, les réponses possibles (modalités ou intervalles), les enchaînements logiques liés à chaque modalité, le caractère obligatoire/facultatif ainsi que les informations liées à la création de nouvelles modalités ou nouvelles variables. Un diagramme d'enchaînement logique a également été réalisé concernant les questionnaires pour lesquels cela s'avère pertinent.

Des travaux supplémentaires ont été effectués sur les données du questionnaire Covid car les données provenaient de deux sources et deux types de recueil différents (Sepia Santé sur Excel pour une première partie des enquêtes puis les enquêteurs terrains sur la plateforme People Vox pour une seconde). Cela a consisté à nettoyer/recoder les données de la base fournie par Sepia avant de fusionner les 2 tables de données en traitant les doublons et données manquantes.

Des travaux spécifiques ont également été réalisés sur les semainiers d'activités et d'occupation : distinction entre les non-réponses et les inoccupations, traitement des remplissages ambigus de certains occupants, mise en relation avec les données des autres questionnaires etc.

6. METHODOLOGIE STATISTIQUE

Les analyses statistiques ont été réalisées avec SAS Enterprise Guide (version 8.3 ; SAS Institute Inc., USA) et R version 4.3.0 (R Core Team, 2023a), via R Studio version 2023.3.1.446 (RStudio Team, 2023), en exploitant les packages suivants : tidyverse (Wickham et al., 2019), icarus (Rebecq, 2016), ggplot2 (Wickham, 2016), stats (R Core Team, 2023b), FactoMineR (Husson et al., 2023), vcd (Meyer et al., 2023). Ces packages ont été essentiels pour manipuler, analyser et visualiser les données de la CNL2.

Une correction de Bonferroni (Dunn, 1961) a été appliquée à l'ensemble des tests réalisés, notamment lors du calcul des poids de sondage.

6.1. Unité statistique et représentativité des résultats

L'unité statistique d'intérêt dans le présent rapport est le logement.

Les niveaux de concentration sont présentés au niveau du logement même si les mesures ont été effectuées dans certaines pièces spécifiques du logement (séjour principal notamment). Chaque mesure est avant tout représentative de la pièce instrumentée. Les concentrations dans les différentes parties de la pièce sont considérées homogènes. Une mesure dans une pièce peut ne pas être représentative de l'ensemble du logement. Néanmoins, une mesure intégrée sur 7 jours permet de lisser les écarts pouvant apparaître liés à une hétérogénéité des concentrations dans une même pièce et entre les pièces d'un même logement. Cela tient également à l'hétérogénéité de la localisation des différentes sources au sein d'un logement.

L'instrumentation du séjour principal vise à capturer les émissions associées aux différentes activités domestiques. Le séjour en tant que pièce centrale du logement est au carrefour des différentes activités mises en œuvre dans le logement.

Même si chaque résultat de mesure est associé à un logement, il convient de se rappeler que la mesure est avant tout représentative de la pièce dans laquelle elle a été réalisée.

Chaque logement est instrumenté une seule fois sur une semaine particulière de l'année. Les variations possibles d'une semaine sur l'autre au sein d'un même logement, et donc les variations saisonnières ne sont pas couvertes par la campagne qui ne cible qu'une seule semaine dans l'année. La campagne représente une photographie instantanée de la qualité de l'air à l'échelle nationale sur une semaine moyenne intégrant un peu plus de deux années d'observation 2021 et 2022. A ce titre, l'analyse de l'ensemble des logements permet de rendre compte des estimations moyennées annuellement. En revanche, la comparaison entre différentes périodes doit tenir compte de la variation d'autres facteurs, notamment le fait que toute comparaison se fera nécessairement sur différents logements avec les limites que cela comporte.

De la même façon, le nombre de logements enquêtés a été établi pour représenter le parc de résidences principales en France métropolitaine continentale. Les données collectées ne sont absolument pas représentatives à l'échelle d'une région, d'un département ou d'une commune enquêtée.

6.2. Incertitudes sur les centiles de distribution de concentration

Un centile de distribution d'une concentration peut se traduire par la proportion de logements dépassant un certain niveau de concentration. Ce dernier est lié à la taille de l'échantillon de logements. En effet, l'absence de dépassement d'un niveau de concentration au sein des logements enquêtés ne signifie pas pour autant une absence de dépassement au niveau de la population. En réalisant de nouvelles enquêtes sur de nouveaux logements (donc en augmentant la taille de l'échantillon), il existe une probabilité même faible d'observer un dépassement de ce niveau, alors qu'aucun dépassement n'avait été observé sur l'échantillon précédent.

De même, une incertitude accompagne toute estimation du centile de distribution de la concentration. La proportion de dépassement (et donc la valeur de concentration associée au centile) est rattachée avant tout à l'échantillon de logements enquêtés, lequel représente le parc de résidences principales avec un jeu de pondération centré sur les caractéristiques du logement et du ménage. Toutes les sources de pollution et les activités domestiques pouvant affecter la concentration des pesticides ne sont pas forcément représentées dans l'échantillon de logements enquêtés, même s'il est représentatif des caractéristiques du parc. L'échantillon de logements peut intégrer des logements atypiques et inversement des logements atypiques peuvent ne pas avoir été pris en compte. Le centile de distribution d'une concentration reste donc une estimation de la part du parc affecté, qui s'accompagne d'une incertitude.

6.3. Redressement et pondérations

Une pondération est appliquée à l'échantillon de logements dans les analyses statistiques afin de rendre leurs conclusions représentatives de celles du parc national de logements. Le calcul des pondérations a donc pour but de supprimer ou de limiter les biais introduits par la non-réponse des logements (Deroyon, 2017) et d'améliorer la précision des estimations en mobilisant au mieux l'information auxiliaire disponible via un calage sur marges.

L'individu statistique d'intérêt est donc le logement en tant que résidence principale.

La méthodologie de redressement et de pondérations est détaillée dans le premier rapport descriptif de la CNL2 (Ramalho et al., 2025). Les différentes étapes sont résumées ci-après.

Un redressement en trois étapes, suivi d'un calage sur marge, a conduit à l'élaboration d'un jeu de pondération qui permet d'exprimer les résultats observés à l'échelle du parc de 29,7 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

La première étape a consisté à transformer les poids de sondage établis à l'échelle des individus dans l'enquête EHIS en poids de sondage à l'échelle du logement. Dans la deuxième étape, la probabilité d'accepter de fournir ses coordonnées pour être contacté afin de participer à la CNL2 a été modélisée. Le modèle tient compte de différentes variables socio-démographiques (catégorie socio-professionnelle, âge et situation maritale de la personne de référence, du nombre d'occupants du logement, du type de logement, du niveau de vie du ménage et du statut du répondant au sein du ménage), de variables propres au logement ou au ménage (gêne perçue associée à la chaleur estivale ou aux bruits extérieurs, dégâts liés à l'humidité dans le logement), d'une variable géographique (région administrative) et d'une variable associée à la passation du questionnaire EHIS (durée du questionnaire). La troisième

étape du calcul des poids consiste à intégrer la probabilité de participation finale à l'enquête CNL2 dans le redressement.

Les variables retenues dans le modèle final sont la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence, le statut d'occupation du logement, la structure du ménage, la surface totale du logement et le mode de collecte des données (face-à-face ou téléphone).

La dernière étape du calcul des poids de sondage consiste à réaliser un calage sur marges en prenant comme référence les années 2021 et 2022. Cette étape permet de « caler » la répartition des logements de l'échantillon sur celle du parc de résidences principales en France, au regard de différentes variables auxiliaires (appelées variables de calage). Les variables utilisées pour le calage sont la pyramide des âges par sexe, la région (même découpage que celui utilisé pour la CNL1), la tranche de taille d'unité urbaine, la zone climatique d'hiver, la date de construction et le type de logement, le nombre de personnes du ménage et le statut d'occupation.

6.4. Croisements entre concentrations de pesticides et caractéristiques des logements

Les croisements entre concentrations de pesticides dans l'air et caractéristiques des logements et des ménages ont été réalisées à l'échelle de l'échantillon des 542 logements. Les comparaisons ne sont pas réalisées sur des données pondérées et ne sont donc pas exprimées à l'échelle de la population.

Les concentrations prises en compte sont toutes numériques en imputant la valeur LDM/2 à toute valeur inférieure à la LDM. Les valeurs brutes comprises entre LDM et LQM ont été conservées. Des tests de Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis ont été réalisés pour vérifier la significativité des différences observées sur les concentrations croisées selon les différentes modalités. Une correction de Bonferroni a été appliquée systématiquement pour tenir compte du nombre de comparaisons effectuées pour chaque caractéristique visée.

7. MESURE DES PESTICIDES DANS L'AIR DES LOGEMENTS EN FRANCE

7.1. Synthèse de la méthode de mesure

Technologie de prélèvement : prélèvement actif sur filtre quartz et mousse polyuréthane (cartouche URG, URG Corporation, Chapel Hill, USA) à un débit de 4 L/min pour un volume total de prélèvement de 40,3 m³. Pour la phase particulaire, la fraction collectée est la fraction PM_{2,5}.

Durée de prélèvement : intégrée sur 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour principal du logement.

Laboratoire d'analyse : Laboratoire Ianesco, accrédité Cofrac pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant (LAB GTA 96) portant sur un grand nombre de substances phytosanitaires selon la méthode interne MA-MPO-130. L'accréditation couvre en particulier : chlorpyrifos éthyl, diflufenicanil, lindane, métolachlore (dont s-métolachlore), oxadiazon, propyzamide, analysés en GC-MS/MS, et boscalid, epoxiconazole, prosulfocarbe analysés en LC-MS/MS.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz par du dichlorométhane en utilisant une technique haute pression et haute température (ASE). Analyse en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) ou en chromatographie en phase liquide couplée à une spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS) selon les substances pour la détection et la quantification. Chaque pesticide cible est identifié et quantifié par étalonnage interne.

Mesurande : concentration moyenne dans l'air (combinant la phase gazeuse et la phase particulaire) intégrée sur 7 jours et exprimée en ng/m³.

Regroupement : Les pesticides mesurés sont présentés ci-après selon les 4 familles d'effets (fongicides, herbicides, insecticides et autres). Les pesticides classés en autres usages correspondent à des acaricides, des inhibiteurs/retardateurs de croissance végétale, des répulsifs contre les insectes, des pesticides synergiques, des imitateurs d'hormones d'insectes juvéniles, et des auxines synthétiques.

7.2. Fongicides

Parmi les 81 pesticides recherchés dans l'air, 26 sont des fongicides. Le **Tableau 7** montre les fréquences de détection et de quantification observées pour ces substances. Cinq substances affichent des fréquences de détection supérieures à 10 % avec par ordre décroissant le folpel (65 %), le pyriméthanil (46 %), le dicloran (37 %), le tolyfluanide (33 %) et le propiconazole (20 %). A l'inverse, le prochloraze et le triticonazole n'ont jamais été détectés.

Tableau 7. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 26 fongicides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Boscalid	188425-85-6	0,046	0,15	0,4	0,3
Chlorothalonil	1897-45-6	0,074	0,25	1,3	0,7
Cyazofamide	120116-88-3	0,046	0,15	0,04	0

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Cymoxanil	57966-95-7	0,046	0,15	1,8	1,8
Cyprodinil	121552-61-2	0,018	0,06	2,0	0,9
Dicloran	99-30-9	0,046	0,15	37,4	4,1
Difénoconazole	119446-68-3	0,046	0,15	2,5	0,2
Diméthomorphe	110488-70-5	0,046	0,15	0,3	0,2
Epoxiconazole	133855-98-8	0,046	0,15	0,2	0,2
Fénarimol	60168-88-9	0,018	0,06	0,2	0
Fenpropidine	67306-00-7	0,046	0,15	8,7	3,0
Fluazinam	79622-59-6	0,046	0,15	1,3	0,4
Fluopyram	658066-35-4	0,046	0,15	2,5	1,3
Folpel	133-07-3	0,055	0,18	65,2	27,7
Kresoxim-methyl	143390-89-0	0,018	0,06	2,9	0
Myclobutanil	88671-89-0	0,037	0,12	0,3	0
Prochloraze	67747-09-5	0,046	0,15	0	0
Propiconazole	60207-90-1	0,046	0,15	19,8	7,3
Pyriméthanil	53112-28-0	0,018	0,06	46,1	16,4
Quinoxifen	124495-18-7	0,009	0,03	1,0	0
Spiroxamine	118134-30-8	0,046	0,15	2,0	0,4
Tébuconazole	107534-96-3	0,046	0,15	8,1	1,5
Tolyfluanide	731-27-1	0,037	0,12	33,4	19,0
Triadiménol	55219-65-3	0,046	0,15	0,03	0,03
Trifloxystrobine	141517-21-7	0,037	0,12	0,4	0,3
Triticonazole	131983-72-7	0,046	0,15	0	0

LDM : limite de détection de la méthode globale (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode globale (moyenne) ; %>LDM : fréquence de détection (**en gras**, valeur > 10 %) ; %>LQM : fréquence de quantification (**en gras**, valeur > 10 %). Les noms de **substances en gras** indiquent une substance détectée dans au moins 10 % des logements. **En grisé** : substance jamais détectée

Le **Tableau 8** fournit les paramètres de distribution de la concentration dans l'air de ces 26 fongicides à l'échelle du parc de résidences principales. Les minimum et maximum observés dans l'échantillon de 542 logements sont également indiqués. Le folpel, le pyriméthanil et le tolyfluanide sont les seules substances à être quantifiées pour au moins 10 % du parc (P90 > LQ). La valeur la plus élevée est observée pour le tolyfluanide avec plus de 120 ng/m³.

Tableau 8. Distribution des concentrations des 26 fongicides mesurées dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de résidences principales						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	P75	P90	P95
Boscalid	188425-85-6	542	<LD	0,74	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Chlorothalonil	1897-45-6	542	<LD	0,82	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cyazofamide	120116-88-3	542	<LD	<LQ	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cymoxanil	57966-95-7	542	<LD	1,66	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cyprodinil	121552-61-2	542	<LD	0,44	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Dicloran	99-30-9	542	<LD	0,92	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,15
Difénoconazole	119446-68-3	542	<LD	0,16	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Dimetomorphe	110488-70-5	542	<LD	1,28	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Epoxiconazole	133855-98-8	542	<LD	0,26	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fénarimol	60168-88-9	542	<LD	<LQ	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fenpropidine	67306-00-7	542	<LD	14,5	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Fluazinam	79622-59-6	542	<LD	0,27	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fluopyram	658066-35-4	542	<LD	0,48	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Folpel	133-07-3	542	<LD	5,72	28 492 452	<LD	<LQ	<LQ	0,2	0,31	0,41
Kresoxim-methyl	143390-89-0	542	<LD	<LQ	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de résidences principales						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	P75	P90	P95
Myclobutanil	88671-89-0	542	<LD	<LQ	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Prochloraze	67747-09-5	542	<LD	<LD	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Propiconazole	60207-90-1	542	<LD	7,73	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,24
Pyriméthanil	53112-28-0	542	<LD	1,04	28 492 452	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,086	0,13
Quinoxifène	124495-18-7	542	<LD	<LQ	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Spiroxamine	118134-30-8	542	<LD	0,82	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Tébuconazole	107534-96-3	542	<LD	4,55	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Tolyfluanide	731-27-1	542	<LD	122	28 492 452	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,38	1,2
Triadiménol	55219-65-3	542	<LD	0,22	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Trifloxystrobine	141517-21-7	542	<LD	0,14	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Triticonazole	131983-72-7	542	<LD	<LD	28 492 452	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; <LD : concentration inférieure à la LDM. **En gras** : valeurs > LD. Les noms de **substance en gras** indiquent les substances avec un 90^{ème} centile quantifié. **En grisé** : substance jamais détectée

La **Figure 14** représente la fréquence de détection et de quantification des 24 fongicides détectés dans l'air (à gauche) et le 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (à droite). Seules 5 substances présentent une concentration supérieure ou égale à leur LQM pour au moins 5 % des logements (folpel, pyriméthanil, dicloran, tolyfluanide et propiconazole).

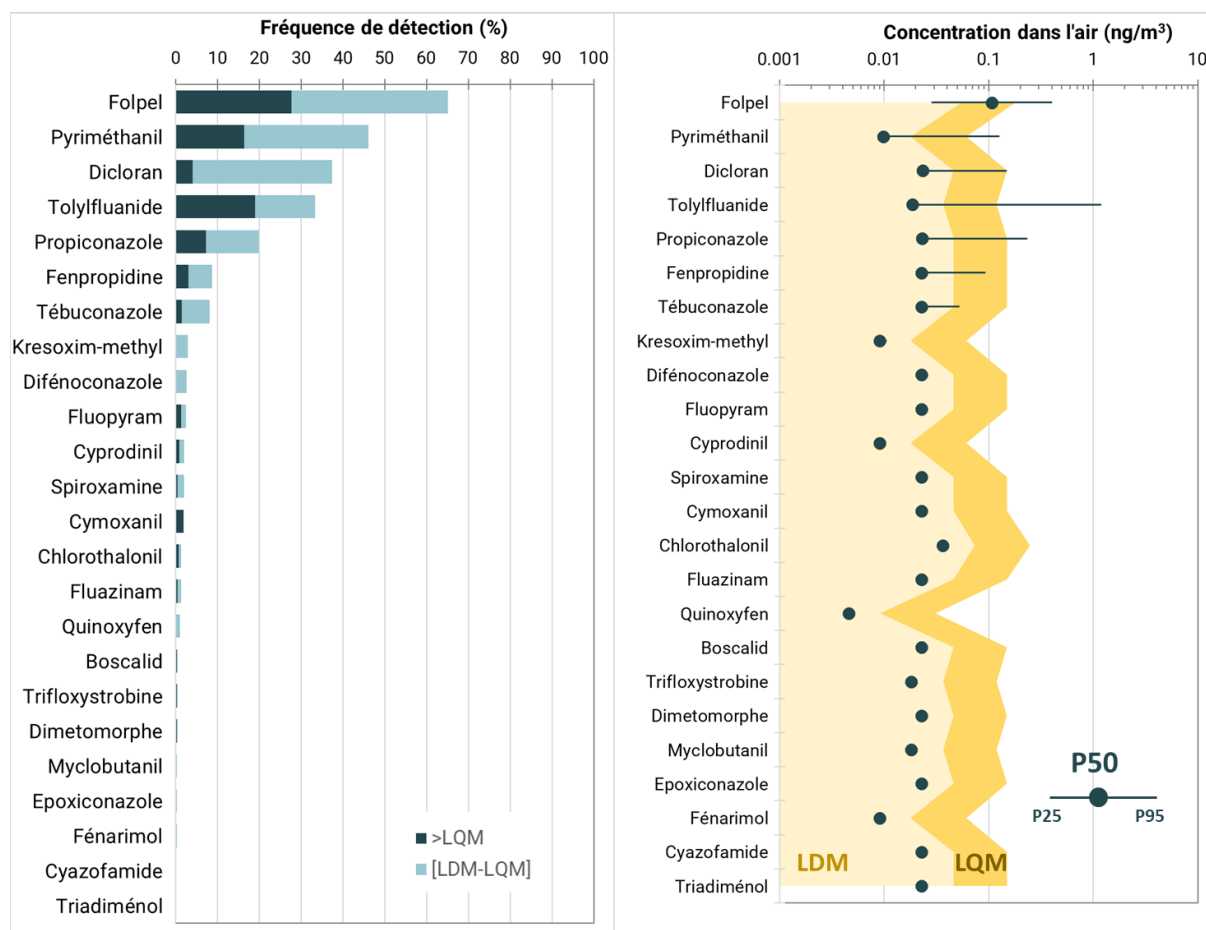


Figure 14. Fréquence de détection et de quantification des 24 fongicides détectés dans l'air (gauche) et 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).

L'Annexe 3 présente d'autres estimateurs de distribution des niveaux de concentration en fongicides (cf. **Tableau 44**).

7.3. Herbicides

Parmi les 81 pesticides recherchés dans l'air, 20 sont des herbicides. Le **Tableau 9** présente les limites et fréquence de détection et de quantification de ces 20 herbicides. Six substances sont détectées dans plus de 10 % des logements : le chlorprophame (70 %), la pendiméthaline (64 %), le prosulfocarbe (47 %), le triallate (46 %), le métolachlore (30 %) et la terbutryne (18 %). A l'inverse, quatre substances ne sont jamais détectées : acétochlore, carbétamide, oryzalin et tébuthiuron.

Tableau 9. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 20 herbicides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).

Herbicide (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	0,009	0,031	6,9	1,3
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	0,018	0,062	3,2	1,4
Acétochlore	34256-82-1	0,018	0,062	0	0
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	0,037	0,123	0,09	0
Carbétamide	16118-49-3	0,046	0,154	0	0
Chlorprophame	101-21-3	0,046	0,154	70,3	33,6
Diéflufénicanil	83164-33-4	0,016	0,031	4,0	1,1
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8	0,046	0,154	2,5	0,5
Métazachlore	67129-08-2	0,023	0,077	8,4	1,1
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2	0,018	0,031	30,1	14,8
Métribuzine	21087-64-9	0,018	0,062	0,4	0
Oryzalin	19044-88-3	0,046	0,154	0	0
Oxadiazon	19666-30-9	0,009	0,031	3,4	1,4
Pendiméthaline	40487-42-1	0,037	0,062	63,9	40,8
Propyzamide	23950-58-5	0,018	0,062	4,2	2,1
Prosulfocarbe	52888-80-9	0,107	0,154	46,7	36,7
Tébuthiuron	34014-18-1	0,046	0,154	0	0
Terbutryne	886-50-0	0,046	0,154	17,6	8,2
Triallate	2303-17-5	0,065	0,065	46,2	46,2
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	0,018	0,062	1,2	0,07

LDM : limite de détection de la méthode globale (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode globale (moyenne) ; %>LDM : fréquence de détection (**en gras**, valeur > 10 %) ; %>LQM : fréquence de quantification (**en gras**, valeur > 10 %). Les noms de **substances en gras** indiquent une substance détectée dans au moins 10 % des logements. **En grisé** : substance jamais détectée.

Le **Tableau 10** montre les paramètres de distribution de la concentration dans l'air des 20 herbicides. Seuls cinq substances présentent une concentration quantifiée dans plus de 10 % des logements (P90 > LQ) : prosulfocarbe, chlorprophame, triallate, pendiméthaline et métolachlore. Les valeurs maximales observées sont autour de 20 ng/m³ pour le prosulfocarbe et la terbutryne.

Tableau 10. Distribution des concentrations des 20 herbicides mesurées dans le séjour du logement
(champ : parc de résidences principales).

Herbicide (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de résidences principales (n = 28 492 452)					
		N	Min	Max	P25	P50	MG	P75	P90	P95
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	542	<LD	0,23	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	542	<LD	0,38	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Acétochlore	34256-82-1	542	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	542	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Carbétamide	16118-49-3	542	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Chlorprophame	101-21-3	542	<LD	2,73	<LD	<LQ	<LQ	0,20	0,33	0,43
Diflufénicanil	83164-33-4	542	<LD	0,22	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8	542	<LD	0,41	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Métazachlore	67129-08-2	542	<LD	0,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2	542	<LD	0,93	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,06	0,09
Métribuzine	21087-64-9	542	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Oryzalin	19044-88-3	542	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Oxadiazon	1966630-9	542	<LD	0,35	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Pendiméthaline	40487-42-1	542	<LD	3,18	<LD	<LQ	<LQ	0,10	0,24	0,38
Propyzamide	23950-58-5	542	<LD	0,39	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Prosulfocarbe	52888-80-9	542	<LD	19,8	<LD	<LD	<LQ	0,24	0,62	1,13
Tébutiuron	34014-18-1	542	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Terbutryne	886-50-0	542	<LD	21,9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,35
Triallate	2303-17-5	542	<LD	1,81	<LD	<LD	0,071	0,14	0,31	0,42
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	542	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; <LD : concentration inférieure à la LDM. **En gras** : valeurs > LD. Les noms de **substance en gras** indiquent les substances avec un 90^{ème} centile quantifié. **En grisé** : substance jamais détectée

La **Figure 15** montre la fréquence de détection et de quantification des herbicides détectés au moins une fois dans l'air des logements sur la partie gauche. La partie droite de la figure affiche le 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM. Seules 6 substances présentent une concentration supérieure ou égale à leur LQM pour au moins 5 % des logements (chlorprophame, pendiméthaline, prosulfocarbe, métolachlore et terbutryne).

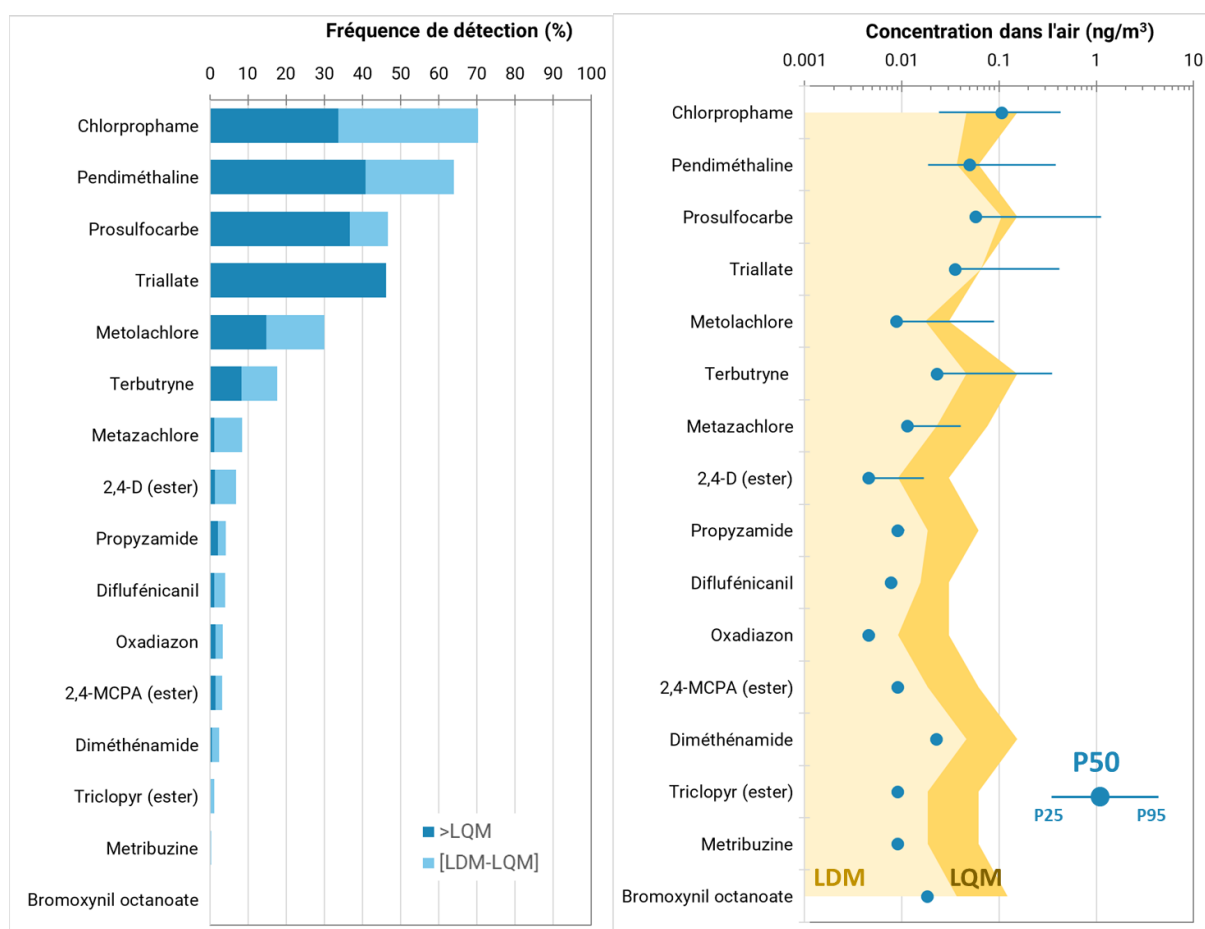


Figure 15. Fréquence de détection et de quantification des 20 herbicides détectés dans l'air (gauche) et 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).

L'Annexe 3 présente d'autres estimateurs de distribution des niveaux de concentration en herbicides (cf. **Tableau 45**).

7.4. Insecticides

Sur les 81 pesticides recherchés dans l'air des logements, 27 sont des insecticides. Le **Tableau 11** donne les limites et fréquence de détection et de quantification de ces 20 herbicides. Dix substances sont détectées dans plus de 10 % des logements : le lindane (97 %), la transfluthrine (92 %), le pentachlorophénol (70 %), le chlorpyriphos éthyl (65 %), la perméthrine (55 %), le diazinon (33 %), la dieldrine (29 %), le carbaryl (27 %), la cyperméthrine (26 %) et l'heptachlore (12 %). A l'inverse, trois substances ne sont jamais détectées dans l'air des logements : bêta-cyfluthrine, diméthoate et tau-fluvalinate.

Tableau 11. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 27 insecticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Insecticide (ng/m³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Acétamipride (isomères Z + E)	160430-64-8	0,046	0,154	0,1	0
Bifenthrine	82657-04-3	0,021	0,031	5,0	2,4
Carbaryl	63-25-2	0,113	0,113	26,8	26,8

Insecticide (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Chlordane	57-74-9	0,185	0,615	3,9	1,9
Chlorpyriphos éthyl	2921-88-2	0,018	0,062	65,2	31,5
Chlorpyriphos méthyl	5598-13-0	0,037	0,123	0,7	0,2
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	0,055	0,185	0	0
Cyperméthrine (somme des isomères)	52315-07-8	0,074	0,246	26,0	7,6
Deltaméthrine	52918-63-5	0,037	0,123	1,0	0,8
Diazinon	333-41-5	0,038	0,077	33,1	27,7
Dieldrine	60-57-1	0,092	0,308	29,2	14,2
Diméthoate	60-51-5	0,092	0,308	0	0
Endrine	72-20-8	0,185	0,615	3,4	0,5
Etofenprox	80844-07-1	0,018	0,062	2,8	0,2
Fipronil	120068-37-3	0,037	0,123	5,1	1,6
Heptachlore	76-44-8	0,018	0,062	12,0	4,9
Imidaclopride	138261-41-3	0,046	0,154	5,4	3,0
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	0,022	0,062	5,6	0,9
Lindane	58-89-9	0,083	0,083	96,8	96,8
Malathion	121-75-5	0,022	0,062	1,0	0,2
Pentachlorophénol (forme phénol)	87-86-5	0,046	0,154	70,3	48,1
Perchlordécone (Mirex)	2385-85-5	0,018	0,062	0,6	0
Perméthrine	52645-53-1	0,119	0,123	54,9	54,2
Pyrimicarbe	23103-98-2	0,046	0,154	0,2	0
Tau-fluvalinate	102851-06-9	0,046	0,154	0	0
Thiaclopride	111988-49-9	0,046	0,154	0,5	0
Transfluthrine	118712-89-3	0,023	0,077	91,5	71,2

LDM : limite de détection de la méthode globale (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode globale (moyenne) ; %>LDM : fréquence de détection (**en gras**, valeur > 10 %) ; %>LQM : fréquence de quantification (**en gras**, valeur > 10 %). Les noms de **substances en gras** indiquent une substance détectée dans au moins 10 % des logements. En grisé : substance jamais détectée.

Le **Tableau 12** indique les paramètres de distribution de la concentration dans l'air des 27 insecticides mesurés. Huit substances affichent une concentration quantifiée dans au moins 10 % des logements : carbaryl, chlorpyriphos éthyl, diazinon, dieldrine, pentachlorophénol, lindane perméthrine et transfluthrine. Ces trois dernières substances sont également quantifiées dans plus de 50 % des logements, avec une concentration médiane de 0,93, 0,14 et 0,21 ng/m³ respectivement. Les concentrations maximales mesurées atteignent plus de 500 ng/m³ pour la transfluthrine et le lindane, près de 300 ng/m³ pour le diazinon et près de 100 ng/m³ pour le pentachlorophénol.

Tableau 12. Distribution des concentrations des 27 insecticides mesurées dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Insecticide (ng/m ³)	N CAS	Echantillon (n = 542)		Parc national de résidences principales (n = 28 492 452)					
		Min	Max	P25	P50	MG	P75	P90	P95
Acétamipride	160430-64-8	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Bifenthrine	82657-04-3	<LD	0,45	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Carbaryl	63-25-2	<LD	3,24	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,31	0,55
Chlordane	57-74-9	<LD	19,3	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Chlorpyriphos éthyl	2921-88-2	<LD	26,8	<LD	<LQ	<LQ	0,080	0,26	0,37
Chlorpyriphos méthyl	5598-13-0	<LD	2,82	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cyperméthrine	52315-07-8	<LD	6,48	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,4
Deltaméthrine	52918-63-5	<LD	0,25	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Insecticide (ng/m ³)	N CAS	Echantillon (n = 542)		Parc national de résidences principales (n = 28 492 452)					
		Min	Max	P25	P50	MG	P75	P90	P95
Diazinon	333-41-5	<LD	290	<LD	<LD	<LQ	0,096	0,37	0,79
Dieldrine	60-57-1	<LD	44,6	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,42	0,87
Diméthoate	60-51-5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Endrine	72-20-8	<LD	4,97	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Etofenprox	80844-07-1	<LD	0,08	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fipronil	120068-37-3	<LD	4,24	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Heptachlore	76-44-8	<LD	0,72	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ
Imidaclopride	138261-41-3	<LD	10,0	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	<LD	0,3	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Lindane	58-89-9	<LD	505	0,39	0,93	1,06 [0,82 ; 1,38]	2,44	6,00	10,2
Malathion	121-75-5	<LD	0,21	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Pentachlorophénol	87-86-5	<LD	92,9	<LD	<LQ	0,19 [0,14 ; 0,25]	0,79	2,47	5,78
Perchlorodécone (Mirex)	2385-85-5	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Perméthrine	52645-53-1	<LD	14,7	<LD	0,14	0,18 [0,15 ; 0,23]	0,39	1,65	2,44
Pyrimicarbe	23103-98-2	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Tau-fluvalinate	102851-06-9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Thiaclopride	111988-49-9	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Transfluthrine	118712-89-3	<LD	573	<LQ	0,21	0,21 [0,16 ; 0,28]	0,63	1,49	3,27

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; <LD : concentration inférieure à la LDM. **En gras** : valeurs > LD. Les noms de **substance en gras** indiquent les substances avec un 90^{ème} centile quantifié. En grisé : substance jamais détectée

Sur la partie gauche de la **Figure 16**, la fréquence de détection et de quantification des insecticides détectées au moins une fois dans l'air des logements est représentée. La partie droite de la figure montre le 95ème centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM. Seules 9 substances présentent une concentration supérieure ou égale à leur LQM pour au moins 5 % des logements (lindane, transfluthrine, pentachlorophénol, chlorpyrifos éthyl, perméthrine, diazinon, dieldrine, carbaryl et cyperméthrine).

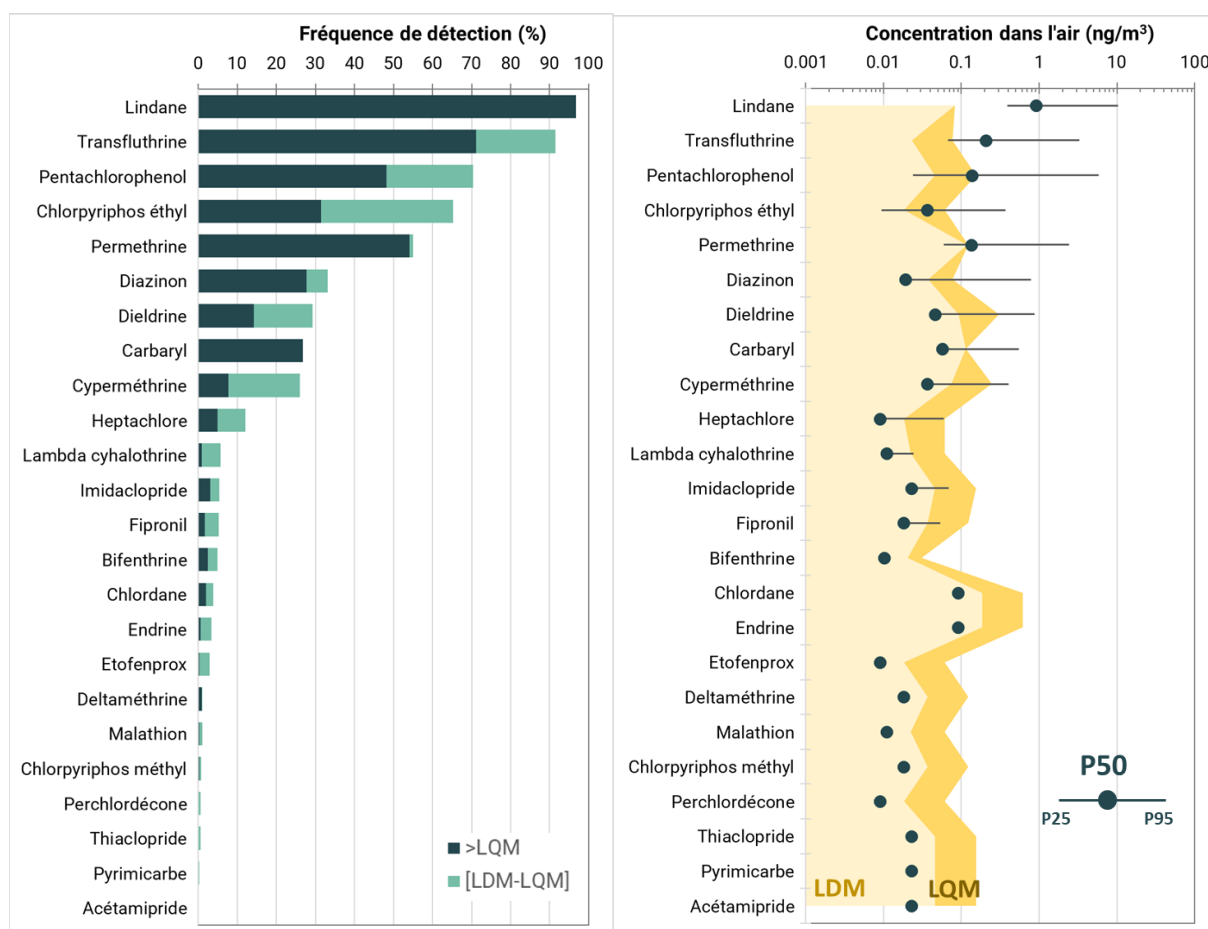


Figure 16. Fréquence de détection et de quantification des 24 insecticides détectés dans l'air (gauche) et 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).

L'Annexe 3 présente d'autres estimateurs de distribution des niveaux de concentration en insecticides (cf. [Tableau 46](#)).

7.5. Autres pesticides

Huit autres pesticides ont été recherchés dans l'air des logements enquêtés :

- Deux inhibiteurs/retardateurs de croissance végétale (butraline et flumétraline) ;
- Deux insectifuges (DEET et icaridine) ;
- Une auxine synthétique (dichlorprop) ;
- Un acaricide (dicofol) ;
- Un imitateur d'hormones d'insectes juvéniles (pyriproxifène) ;
- Un pesticide synergique (pipéronyl butoxide).

Sur ces 8 pesticides, 4 d'entre eux sont détectés dans plus de 10 % des logements, en particulier le DEET (99 %), l'icaridine (81 %), le pipéronyl butoxide (58 %) et le dicofol (10,5 %) (cf. [Tableau 13](#)). La flumétraline n'est jamais détectée dans l'air des logements et la butraline très peu.

Tableau 13. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 8 autres pesticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Autres pesticides (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Butraline	33629-47-9	0,046	0,154	0,4	0
DEET	134-62-3	0,127	0,154	99,2	96,4
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle)	79270-78-3	0,018	0,062	5,5	0,2
Dicofol	115-32-2	0,092	0,308	10,5	4,6
Flumétraline	62924-70-3	0,037	0,123	0	0
Icaridine	119515-38-7	0,174	0,174	81,0	81,0
Pipéronyl butoxide (PBO)	51-03-6	0,018	0,062	57,6	40,2
Pyriproxyfène	95737-68-1	0,018	0,062	5,7	2,2

LDM : limite de détection de la méthode globale (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode globale (moyenne) ; %>LDM : fréquence de détection (**en gras**, valeur > 10 %) ; %>LQM : fréquence de quantification (**en gras**, valeur > 10 %). Les noms de **substances en gras** indiquent une substance détectée dans au moins 10 % des logements. **En grisé** : substance jamais détectée.

Le **Tableau 14** présente les paramètres de distribution de la concentration des 8 autres pesticides mesurés dans l'air des logements. Trois pesticides montrent un 90^{ème} centile de la concentration quantifié : le DEET (25 ng/m³), l'icaridine (18 ng/m³) et le PBO (0,5 ng/m³). Le DEET présente les niveaux de concentration les plus élevés dépassant 1000 ng/m³ pour 4 logements représentant 0,2 % du parc. Pour l'icaridine, la concentration de 1000 ng/m³ n'est atteinte que dans un seul logement (0,04 %). Une concentration de plus de 100 ng/m³ est retrouvée dans un seul logement représentant 0,09 % du parc. Le DEET et l'icaridine sont les deux seuls autres pesticides à avoir une concentration médiane quantifiée de respectivement 1,9 et 0,7 ng/m³.

Tableau 14. Distribution de la concentration des 8 autres pesticides mesurés dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Autres pesticides (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de résidences principales (n = 28 492 452)					
		N	Min	Max	P25	Médiane	MG	P75	P90	P95
Butraline	33629-47-9	542	<LD	<LQ	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
DEET	134-62-3	542	<LD	5256	<LD	1,91	2,41 [1,85 ; 3,12]	5,85	24,7	42,7
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle)	79270-78-3	542	<LD	0,69	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Dicofol	115-32-2	542	<LD	77,5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ
Flumétraline	62924-70-3	542	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Icaridine	119515-38-7	542	<LD	1137	0,27	0,72	1,04 [0,73 ; 1,47]	3,17	18,0	76,3
Pipéronyl butoxide (PBO)	51-03-6	542	<LD	193	<LD	<LQ	<LQ	0,21	0,47	1,35
Pyriproxyfène	95737-68-1	542	<LD	0,54	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ;
 <LD : concentration inférieure à la LDM. **En gras** : valeurs > LD. Les noms de **substance en gras**
 indiquent les substances avec un 90^{ème} centile quantifié. **En grisé** : substance jamais détectée.

La **Figure 17** montre dans sa partie gauche la fréquence de détection et de quantification des 8 autres pesticides détectés au moins une fois dans l'air des logements. La partie droite de la figure montre le 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM. Seules 3 substances présentent une concentration supérieure ou égale à leur LQM pour au moins 5 % des logements (DEET, icaridine et PBO).

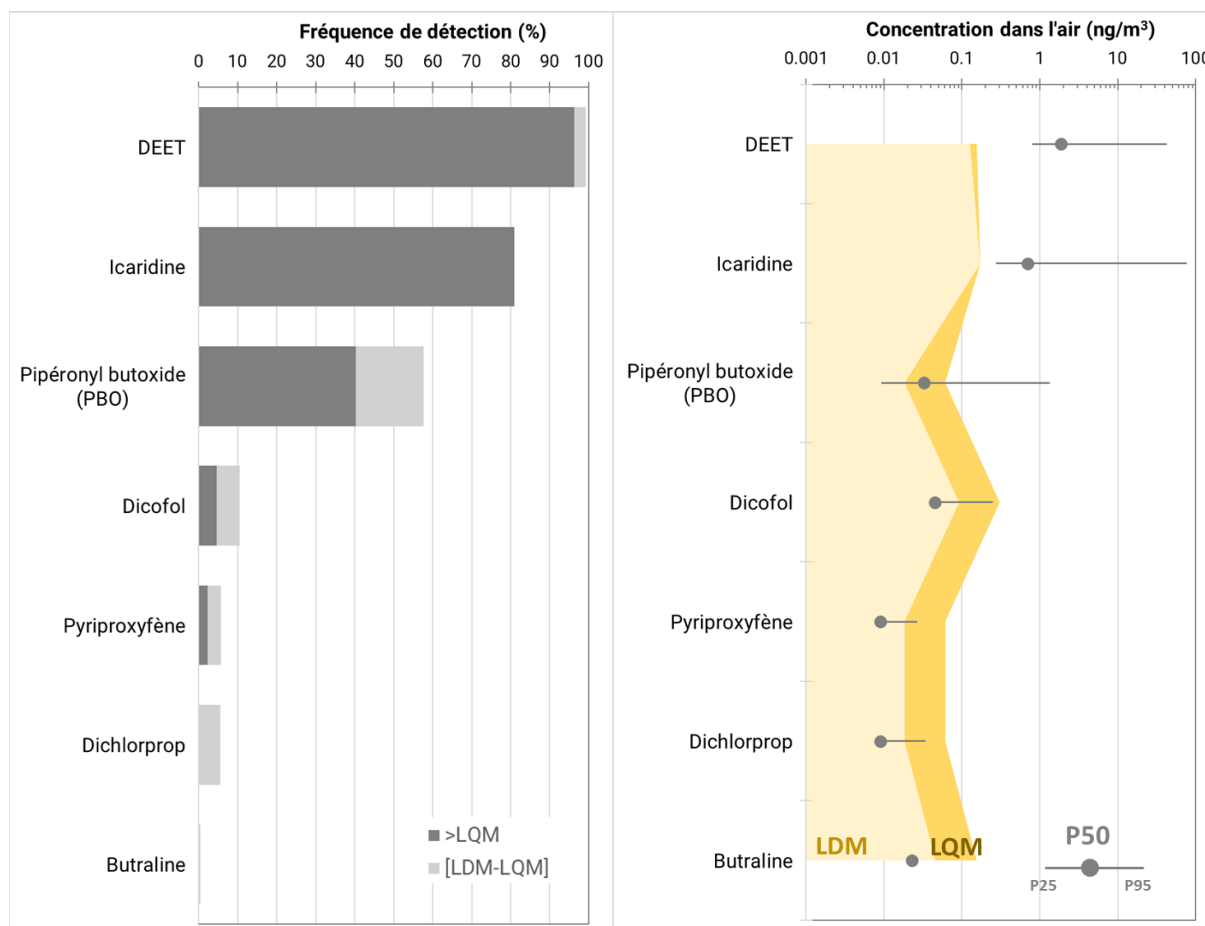


Figure 17. Fréquence de détection et de quantification des 8 autres pesticides détectés dans l'air (gauche) et 95^{ème} centile (P95) de leur concentration dans l'air au regard des LDM et LQM (droite).

L'Annexe 3 présente d'autres estimateurs de distribution des niveaux de concentration en pesticides (cf. **Tableau 47**).

7.6. Résultats complémentaires pour le géraniol et le citriodiol

Dans le cadre de la CNL2, deux autres substances classées prioritaires dans la liste initiale des 119 pesticides ont été recherchées en même temps que d'autres composés organiques volatils (COV) jugés émergents et d'intérêt. Il s'agit du citriodiol et du géraniol. Les deux substances sont des composés terpéniques utilisés comme répulsif d'insectes.

Au vu de la technique de mesure, les limites de détection et de quantification de ces deux substances sont de l'ordre du $\mu\text{g}/\text{m}^3$ soit 1000 fois plus élevées que celles observées pour les autres pesticides (de l'ordre du ng/m^3). Par ailleurs, la durée de prélèvement n'est que de 2 heures. Les résultats ne peuvent donc pas être comparées aux autres pesticides mesurés sur une semaine avec un volume de prélèvement plus important et des limites de détection et de quantification beaucoup plus faibles.

7.6.1. Méthode de mesure du citriodiol et du géraniol

Technologie de prélèvement : prélèvement actif sur tube Tenax TA® (adsorbant de type polymère poreux) à un débit de 60 mL/min pour un volume total de prélèvement de 7,2 L.

Durée de prélèvement : 2 heures

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Substances pesticides analysées :

- citriodiol (p-menthane-3,8-diol, n° CAS 42822-86-6, mélange d'isomères trans- et cis-), monoterpène, insectifuge ;
- géraniol (trans-3,7-diméthyl-2,6-octadien-1-ol, n° CAS 106-24-1, alcool terpénique, insectifuge.

Mesurande : concentration en phase gazeuse en moyenne sur 2 heures exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et intégrant les différents isomères (somme des isomères).

Laboratoire d'analyse : Laboratoire Pollem (CSTB) accrédité Cofrac (HP ENV) sur l'analyse des COV par prélèvement actif.

Méthode analytique : extraction par thermodésorption suivie d'une analyse en chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (TD/GC/MS). Les COV cibles sont identifiés et quantifiés par spectrométrie de masse (impact électronique en mode balayage) avec étalonnage interne (toluène- d_8 gazeux). Le mode opératoire du laboratoire répond aux spécifications des norme NF EN ISO 16017-1 (2001), NF EN 16516 (2020) et NF ISO 16000-6 (2021).

Éléments de contrôle qualité :

- **Blancs de terrain :** 59 blancs de terrain ont été analysés pour suivre l'éventuelle contamination résiduelle. Pour le citriodiol, l'ensemble des résultats pour les deux isomères trans- et cis-p-menthane-3,8-diol étaient inférieurs à la LD analytique. Pour le géraniol, tous les résultats étaient également inférieurs à la LD analytique sauf un qui restait inférieur à la LQ analytique. Ce dernier résultat n'a pas d'impact sur la LDM et la LQM.

7.6.2. Résultats de mesure du citriodiol et du géraniol

Le **Tableau 15** présente les fréquences de détection et de quantification du citriodiol et du géraniol. Pour le citriodiol, les limites de détection et de quantification sont différentes pour les deux isomères. Les LDM et LQM finales représentent le minimum des LDM et LQM

respectives, en considérant que le citriodiol est détecté dès lors qu'un des deux isomères est détecté. Dans les conditions de mesure, le géraniol est détecté dans plus de 7 % du parc. Le citriodiol n'est lui détecté que dans un seul logement représentant 0,22 % du parc. Le géraniol est quantifié dans moins de 5 % des logements.

Tableau 15. Limites et fréquences de détection et de quantification pour le citriodiol et le géraniol mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Géraniol	106-24-1	0,14	0,41	7,55	4,31
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	2,89	9,63	0,22	0,22

LDM : limite de détection de la méthode globale (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode globale (moyenne) ; %>LDM : fréquence de détection ; %>LQM : fréquence de quantification.

Le **Tableau 16** fournit les paramètres de distribution des concentrations de citriodiol et de géraniol. Les valeurs maximales observées atteignent plus de $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le géraniol et plus de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le citriodiol. La concentration de géraniol dépasse $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 10 logements, soit 1,7 % du parc.

Tableau 16. Distribution des concentrations de citriodiol et de géraniol mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	P75	P90	P95
Géraniol	106-24-1	567	<LD	7,35	29 600 966	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	567	<LD	17,1	29 600 966	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : concentration inférieure à la LDM ; <LQ : concentration inférieure à la LQM. En **gras** : valeurs > LD.

7.7. Synthèse des résultats de mesure des pesticides dans l'air

Sur les 81 pesticides recherchés dans l'air des logements durant la semaine d'enquête, **dix substances ne sont jamais détectées**, parmi lesquelles :

- deux fongicides (prochloraze et triticonazole) ;
- quatre herbicides (acétochlore, carbétamide, oryzalin et tébuthiuron) ;
- trois insecticides (cyfluthrine (bêta), diméthoate et tau-fluvalinate) ;
- un inhibiteur/retardateur de croissance végétale (flumétraline).

La **Figure 18** reprend les fréquences de détection et de quantification des 71 pesticides détectés au moins une fois dans l'air des logements.

- 34 pesticides sont détectés dans au moins 5 % des logements (partie gauche du graphique).

- 4 pesticides sont détectés dans plus de 80 % des logements : DEET, lindane, transfluthrine et icaridine.
- 5 pesticides sont quantifiés dans plus de 50 % des logements : DEET, lindane, icaridine, transfluthrine et perméthrine.
- 37 pesticides sont détectés dans moins de 5 % des logements (partie droite du graphique).

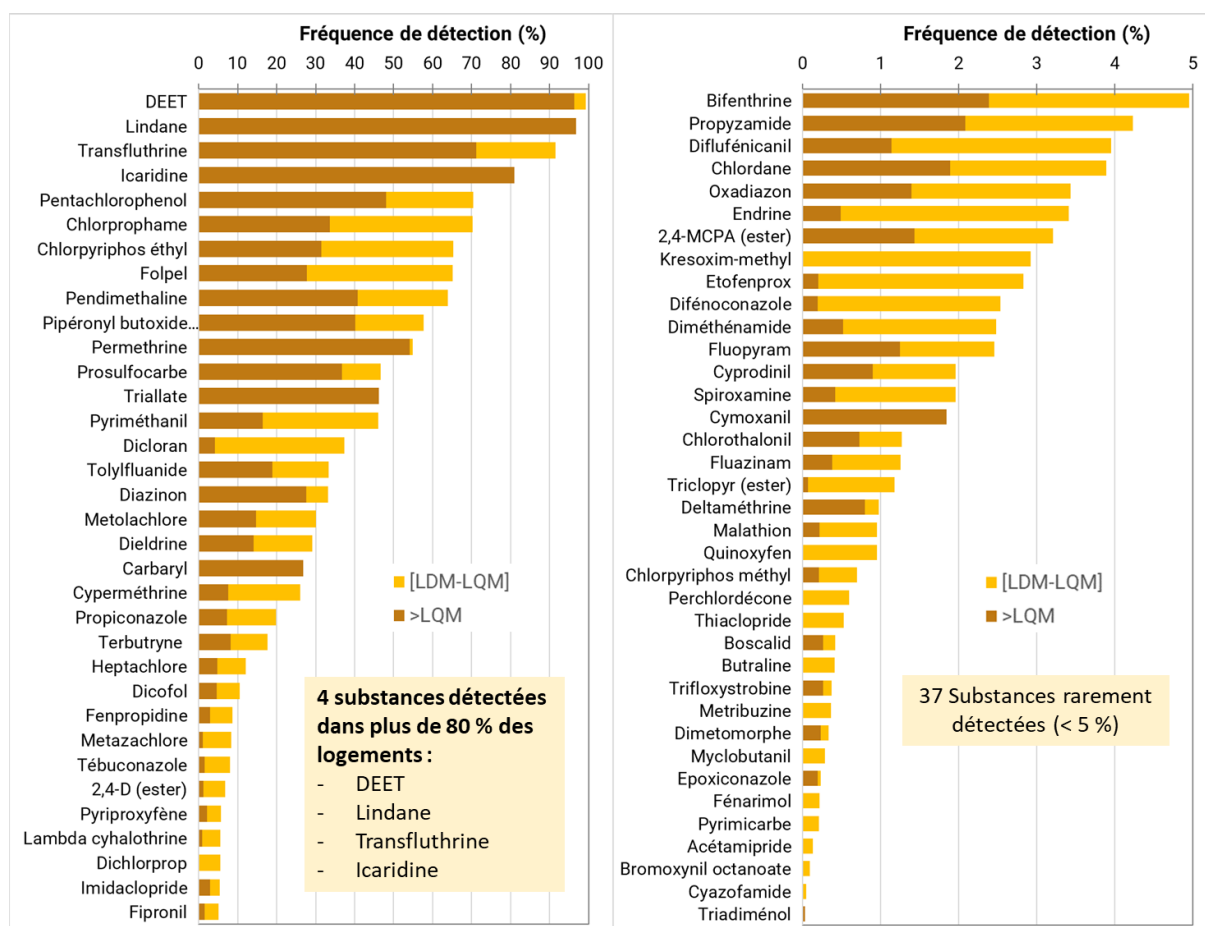


Figure 18. Fréquence de détection et de quantification des 71 pesticides détectés au moins une fois dans l'air des logements sur la semaine. A gauche, les 34 pesticides détectés dans plus de 5 % des logements et à droite, les 37 pesticides détectés dans moins de 5 % des logements.

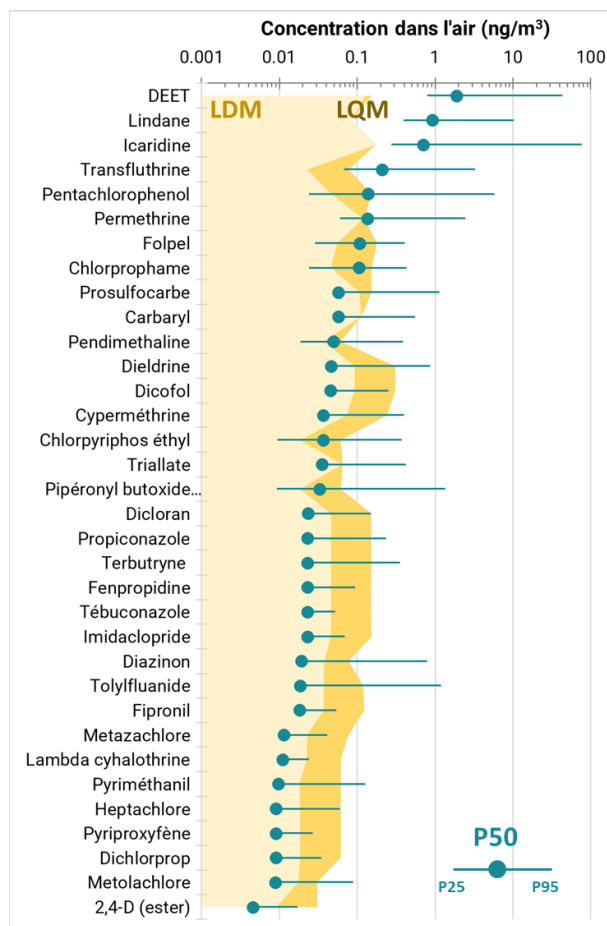


Figure 19. Représentation des concentrations médianes et 95^{ème} centiles des 34 pesticides les plus détectés au regard des limites de détection (LDM) et de quantification (LQM). Les pesticides sont classés par ordre décroissant de leur médiane respective (champ : parc de résidences principales).

La **Figure 19** représente les concentrations médianes (P50) et 95^{ème} centiles (P95) observés des 34 pesticides les plus détectés par rapport à leur limite de détection (LDM) et de quantification (LQM) respectives :

- **5 pesticides présentent une concentration médiane quantifiée** : DEET (1,9 ng/m³), lindane (0,9 ng/m³), icaridine (0,7 ng/m³), transfluthrine (0,2 ng/m³) et perméthrine (0,14 ng/m³). Le pentachlorophénol affiche une concentration médiane juste inférieure à sa LQM.
- 3 pesticides présentent un 95^{ème} centile de concentration supérieur à 10 ng/m³ : DEET, icaridine et lindane.
- **9 pesticides présentent un 95^{ème} centile de concentration supérieur à 1 ng/m³** : DEET, icaridine, lindane, pentachlorophénol, transfluthrine, perméthrine, pipéronyl butoxide, prosulfocarbe et tolylfluamide.
- 23 pesticides présentent un 95^{ème} centile de concentration supérieur à leur limite de quantification (LQM).
- Pour 48 des 71 pesticides détectés, le 95^{ème} centile de concentration est inférieur à la limite de quantification (LQM).

8. CARACTERISTIQUES DES LOGEMENTS ENQUETES

8.1. Caractéristiques des logements

Les caractéristiques principales des logements sont décrites ci-après.

Après redressement, les maisons individuelles représentent près de 56 % des logements enquêtés lors de la Campagne Nationale Logement 2 (**Tableau 17**), pourcentage très proche de celui observé en France métropolitaine pour les résidences principales (Insee, 2022). Le redressement a permis de corriger un décalage initialement présent dans l'échantillon avec une surreprésentation des maisons individuelles (70 % de l'échantillon). Les logements sont principalement occupés par des propriétaires dans près de 60 % des cas, pourcentage légèrement plus élevé que la proportion de propriétaires ou accédant à la propriété observé dans le parc de résidences principales en France métropolitaine (57,6 % ; Insee, 2022). Un peu plus de 80 % des logements correspondent à des habitations de 5 pièces ou moins. Plus de 35 % des logements datent d'avant 1968. A l'inverse, ils sont près de 21 % à avoir été construits après 2000 dont 9 % après 2012. Près de 60 % des logements disposent, d'un jardin, d'un terrain ou d'une cour privative.

La présence d'un système de ventilation mécanique prédomine dans les logements (64 %), représenté majoritairement par une ventilation simple flux par extraction autoréglable (plus de 34 % du parc). La présence d'extraction hygroréglable est observée dans plus de 15 % du parc de résidences principales. La ventilation ponctuelle ou répartie par pièces, qui regroupe notamment la présence d'aérateurs dans les pièces humides ou l'ouverture motorisée des fenêtres, est utilisée dans plus de 13 % des logements. La ventilation double flux n'est observée que dans 0,8 % du parc. Aucun système de ventilation par insufflation n'a été observé.

Un dispositif de ventilation naturelle est observé dans près de 22 % des logements, qui repose indifféremment sur la présence de grilles d'aération hautes et basses ou d'un conduit de ventilation à tirage naturel, majoritairement sans assistance mécanique. Près de 15 % de logements restent dépourvus de tout système spécifique de ventilation.

Tableau 17. Caractéristiques des logements (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Type de logement		
Maison individuelle	16 613 526	55,9
Appartement en immeuble collectif	13 087 558	44,0
Logement dans un immeuble à usage professionnel	10 510	0,1
Total	29 711 595	100
Nombre de pièces d'habitation du logement		
1	1 775 020	5,95
2	6 261 166	21,1
3	4 152 582	14,0

Caractéristiques	N	Pourcentage
4	5 395 989	18,2
5	6 344 521	21,4
6	3 039 488	10,2
7	1 571 786	5,28
8	672 754	2,24
9	372 029	1,23
10 pièces et plus	126 259	0,42
Total	29 711 595	100
Nombre total d'étage(s) de l'immeuble ou de la maison au-dessus du rez-de-chaussée		
0	4 970 203	16,7
1	10 163 144	34,2
2	4 831 710	16,3
3 et plus	9 746 537	32,8
Total	29 711 595	100
A quel étage se situe le logement ?		
0 (y compris entresol et niveau inférieur au RDC)	1 915 579	64,5
1	4 613 285	15,5
2	1 857 559	6,3
3 et plus	4 081 172	13,7
Total	29 711 595	100
Surface du logement (m²)		
[20 – 50]	5 892 189	19,8
]50 – 100]	12 948 188	43,6
]100 – 200]	9 906 562	33,3
]200 – 600]	964 656	3,3
Total	29 711 595	100
Statut d'occupation		
Propriétaire	17 742 850	59,7
Locataire/sous-locataire	11 564 391	38,9
Logé gratuitement	404 354	1,4
Total	29 711 595	100
Période de construction		
Avant 1871	1 890 574	6,36
Entre 1871 et 1914	1 675 550	5,64

Caractéristiques	N	Pourcentage
Entre 1915 et 1948	2 563 981	8,63
Entre 1949 et 1961	1 869 698	6,29
Entre 1962 et 1967	2 489 314	8,38
Entre 1968 et 1974	3 559 443	12,0
Entre 1975 et 1981	3 691 048	12,4
Entre 1982 et 1989	2 606 373	8,77
Entre 1990 et 2000	3 158 215	10,6
Entre 2001 et 2005	1 406 778	4,73
Entre 2006 et 2012	2 124 383	7,15
Après 2012	2 676 237	9,01
Total	29 711 595	100
Le logement dispose-t-il d'un jardin, d'un terrain ou d'une cour pour son seul usage ?		
Oui	17 632 194	59,3
Non	12 079 401	40,7
Total	29 711 595	100
Chauffage principal en fonctionnement au cours de la semaine d'enquête		
Oui	16 708 052	56,2
Non	13 003 543	43,8
Total	29 711 595	100
Système spécifique de ventilation		
Ventilation mécanique	18 977 647	63,9
...Simple flux par extraction autoréglable	10 203 058	34,3
...Simple flux par extraction hygroréglable	4 564 584	15,4
...Double flux	233 165	0,8
...Ponctuelle ou répartie	3 976 840	13,4
Ventilation naturelle	6 381 722	21,5
...Par grilles d'aération hautes et basses	2 796 095	9,4
...Par conduit d'extraction à tirage naturel	2 857 919	9,6
...Par conduit d'extraction à tirage naturel avec assistance mécanique (ventilation hybride)	727 708	2,5
Aucun dispositif spécifique de ventilation	4 352 226	14,6
Total	29 711 595	100

8.2. Caractéristiques de l'environnement extérieur au logement

L'analyse de la typologie des communes révèle une prédominance urbaine (66 %) des logements enquêtés (**Tableau 18**). Un peu plus d'un tiers des logements appartiennent à une commune classée comme rurale au regard de la grille communale de densité de l'Insee de 2023 (<https://www.insee.fr/fr/information/6439600>).

Tableau 18. Typologie urbaine/rurale de la commune du logement
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Typologie urbaine/rurale de la commune du logement		
Urbain	19 596 544	66,0
Rural	10 115 051	34,0
Total	29 711 595	100

Plus de 32 % des logements sont situés à proximité d'une zone de cultures ou de champs cultivé (y compris, pépinières, serres et jardins publics) (**Tableau 19**). En écartant la présence spécifique et exclusive d'un jardin public (9,3 % des logements), cette proportion chute à un peu plus de 23 %. Il s'agit le plus souvent d'un champ de céréales, maïs ou colza (14,5 % des logements). Près de 4,7 % des logements sont situés à proximité de plusieurs zones de cultures, incluant les serres et pépinières mais en excluant les jardins publics. Dans 0,9 % des cas, les logements à proximité de jardins publics sont situés également à proximité d'autres cultures.

Tableau 19. Zone de cultures ou de champs cultivé (y compris, pépinières, serres et jardins publics) à moins de 200 m du logement (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Présence d'une zone de cultures ou de champ cultivé à moins de 200 m		
Non	20 071 755	67,6
Oui	9 639 839	32,4
...dont champ de céréales (ou maïs, colza)	4 303 458	14,5
...dont jardins publics ou squares	3 031 769	10,2
...dont vigne	1 084 731	3,7
...dont cultures maraîchères	873 370	2,9
...dont verger	725 968	2,4
...dont serres (cultures non identifiées)	449 342	1,5
...dont pépinières (plantes ornementales)	162 455	0,5
...dont autres types de cultures	895 235	3,0
...dont « ne sait pas : cultures, champs non spécifiés »	331 892	1,1
Total	29 711 595	100

8.3. Caractéristiques de la pièce instrumentée pour la mesure de pesticides

La pièce du logement visée pour la mesure des pesticides dans l'air est le séjour principal, pièce de vie principale et en général centrale qui communique le plus avec les autres pièces du logement et qui voit souvent se croiser les différentes activités des occupants. Les caractéristiques de la pièce instrumentée sont présentées au **Tableau 20**. Il s'agit dans plus de 99 % d'un séjour qui se décline soit en séjour sans cuisine ouverte (51 %), en séjour avec cuisine ouverte (44,4 %) ou d'un studio qui cumule les fonctions de chambre et séjour (3,8 %). Pour 3 logements enquêtés (représentant moins de 0,8 % du parc), la mesure a été réalisée dans une autre pièce (une chambre, une véranda ou une cuisine fermée utilisée comme pièce de vie).

La surface de la pièce est le souvent comprise entre 20 et 50 m² avec une hauteur de 2 à 2,5 mètres.

Tableau 20. Caractéristiques de la pièce instrumentée pour la mesure de pesticides dans l'air
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Type de pièce instrumentée pour la mesure des pesticides dans l'air		
Séjour	15 158 507	51,0
Séjour avec cuisine ouverte	13 201 847	44,4
Studio	1 131 992	3,8
Chambre	172 919	0,6
Véranda	31 832	0,1
Cuisine fermée (utilisée comme pièce principale)	14 496	0,05
Total	29 711 595	100
Surface de la pièce instrumentée pour la mesure des pesticides dans l'air (m²)		
[9,8 - 15]	3 254 780	11,0
]15 - 20]	3 693 736	12,4
]20 - 50]	19 681 211	66,2
]50 - 100]	2 859 611	9,6
Non renseignée	222 256	0,7
Total	29 711 595	100
Hauteur de la pièce instrumentée pour la mesure des pesticides dans l'air (m)		
[2,00 - 2,50]	19 296 908	65,0
]2,50 - 3,00]	8 257 388	27,8
]3,00 - 6,45]	1 935 042	6,5
Non renseignée	222 256	0,7
Total	29 711 595	100

8.4. Usages de produits pesticides sur l'année

L'usage de produits pesticides dans le logement dans les 12 derniers mois a été indiquée par 29 % des foyers, parmi lesquels plus de 16 % ont affirmé avoir utilisé plus d'un produit pesticide (**Tableau 21**). Ils sont un peu moins nombreux (16,1 %) à déclarer avoir utilisé un produit pesticide à l'extérieur de leur logement (dans leur jardin, leur balcon, leur toiture ou leur trottoir). Parmi ceux-ci, environ 15 % ont utilisé plusieurs produits différents (**Tableau 22**).

Tableau 21. Utilisation de produits pesticides dans le logement dans les 12 derniers mois
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Au cours des 12 derniers mois, avez-vous utilisé dans votre logement des produits de type insecticides, fongicides, raticides, antiparasitaires pour animaux domestiques, etc. ?		
Oui	8 610 462	29,0
Non	20 969 164	70,6
Ne sait pas	131 969	0,4
Total	29 711 595	100
Avez-vous utilisé dans votre logement un AUTRE PRODUIT de type insecticides, fongicides, raticides, antiparasitaires pour animaux domestiques, etc. ?		
Oui	1 390 653	16,2
Non	7 141 385	82,9
Ne sait pas	78 425	0,9
Total	8 610 462	100

Tableau 22. Utilisation de produits pesticides à l'extérieur du logement (jardin/terrain/cour)
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Au cours des 12 derniers mois, avez-vous utilisé des produits de type fongicides, insecticides, herbicides ou pesticides dans votre BALCON ou JARDIN, sur votre TOITURE ou le TROTTOIR ?		
Oui	4 793 482	16,1
Non	20 487 935	69,0
Non concerné (ni balcon, ni jardin, ni toiture, ni trottoir)	4 239 775	14,3
Ne sait pas	190 403	0,6
Total	29 711 595	100
Avez-vous utilisé un AUTRE PRODUIT de type fongicides, insecticides, herbicides ou pesticides dans votre BALCON ou JARDIN, sur votre TOITURE ou le TROTTOIR ?		
Oui	728 835	15,2

Caractéristiques	N	Pourcentage
Non	3 986 222	83,2
Ne sait pas	78 425	1,6
Total	4 793 482	100

Il était demandé à tous les foyers, si certains usages comme l'utilisation de produits pesticides avaient pu changer en raison de la crise sanitaire (**Tableau 23**). Il en ressort que très peu de logements (0,4 %) ont déclaré avoir modifié leurs habitudes d'usages concernant l'utilisation de produits pesticides.

Tableau 23. Changement d'habitudes sur l'utilisation de produits pesticides avec la crise sanitaire (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Les habitudes de votre foyer concernant l'utilisation des produits insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques, ont-elles changé en raison de la crise sanitaire ?		
Oui, utilisé plus souvent	100 202	0,3
Oui, utilisé moins souvent	44 030	0,1
Non, pas de changement d'habitude	12 796 022	43,1
Sans objet, je n'utilise pas ce type de produit	14 682 489	49,4
Ne sait pas, ne souhaite pas répondre	2 088 851	7,0
Total	29 711 595	100

Pour les foyers ayant déclaré l'utilisation de produits pesticides sur l'année écoulée, il était demandé de communiquer les références des produits utilisés et s'ils étaient encore disponibles leur éventuel numéro d'autorisation de mise sur le marché (n° AMM) et de pouvoir les photographier. Le **Tableau 24** répertorie l'ensemble des références produits communiquées, le nombre de n° AMM transmis, le nombre de produits photographiés et le nombre total de photos disponibles pour traitement selon le type d'usage (extérieur ou intérieur et principal ou supplémentaire). Ainsi, 325 références de produits sont disponibles, dont 233 ont été photographiés (475 photos au total couvrant le plus souvent les différentes faces d'un produit) et pour lesquels 71 n° AMM ont été communiqués.

Tableau 24. Nombre de produits pesticides utilisés au cours de l'année et répertoriés (champ : échantillon de logements)

	Produits pesticides utilisés au cours de l'année				
	Usage extérieur		Usage intérieur		TOTAL
	Principaux	Supp.	Principaux	Supp.	
Nombre de produits référencés	105	26	153	41	325
N° AMM	28	8	28	7	71

N produits photographiés	69	19	108	37	233
Total photos	137	45	202	91	475

8.5. Autres caractéristiques domestiques

Les données présentées dans les **Tableau 25** à **Tableau 30** offrent un aperçu détaillé des autres caractéristiques domestiques au sein du parc de logements en France. Les caractéristiques présentées ici sont celles qui seraient susceptibles indirectement d'influencer l'usage de produits pesticides et/ou de modifier la concentration de pesticides dans l'air du logement.

Environ la moitié des foyers en France partagent leur espace avec des animaux de compagnie, représentant 46,7% des ménages. Parmi ces foyers, la présence de chats est plus répandue (67,5%) que celle des chiens (38,4%), tandis que d'autres types d'animaux tels que les oiseaux, les rongeurs, et d'autres espèces sont moins fréquents. Pour plus de 64 % des foyers, les animaux domestiques ont reçu un traitement contre les parasites au cours de la dernière année, le plus externe (**Tableau 25**).

Tableau 25. Présence d'animaux domestiques dans le logement
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Avez-vous ou gardez-vous un ou plusieurs animaux domestiques dans votre logement ?		
Oui	13 860 888	46,7
Non	15 850 707	53,3
Total	29 711 595	100
Garde d'un ou plusieurs chien(s)		
Oui	5 371 758	38,8
Non	8 489 130	61,2
Total	13 860 888	100
Garde d'un ou plusieurs chat(s)		
Oui	9 437 984	68,1
Non	4 422 904	31,9
Total	13 860 888	100
Garde d'un ou plusieurs oiseau(x)		
Oui	153 672	1,1
Non	13 707 216	98,9
Total	13 860 888	100
Garde d'un ou plusieurs rongeur(s)		

Caractéristiques	N	Pourcentage
Oui	577 311	4,2
Non	13 283 578	95,8
Total	13 860 888	100
Garde d'un ou plusieurs autre(s) animal(aux)		
Oui	1 590 307	11,5
Non	12 270 581	88,5
Total	13 860 888	100
...Au cours des 12 derniers mois, cet (ces) animal (animaux) a-t-il (ont-ils) été traité(s) contre les parasites ? (Utilisation de poudres, colliers, liquides, par exemple)		
Oui, traitement	8 880 229	64,1
...traitement externe seul	6 136 251	44,3
...traitement interne seul	2 093 392	15,1
...traitement externe et interne	650 586	4,7
Non, aucun traitement	4 980 659	35,9
Total	13 860 888	100

Au regard de la présence de nuisibles, environ 3,6% des logements ont déclaré avoir été infestés par des rongeurs et 17,5% par des insectes au cours de l'année (**Tableau 26**). Les cafards (13,1%) et les fourmis (38,1%) figurent parmi les insectes les plus fréquemment rencontrés. De très nombreux logements (près de 45 %) évoquent également l'infestation par d'autres insectes ou arthropodes considérés nuisibles, le plus souvent mouches, moustiques, guêpes et mites.

Environ deux logements sur trois (64 %) a eu recours à un traitement contre les rongeurs s'étant avéré efficace en général, dans quelques cas, inefficace, ou bien toujours en cours. Près de 58 % des logements ont eu recours à des traitements contre les insectes, efficaces pour la majorité d'entre eux.

Tableau 26. Caractéristiques et pratiques liées à la présence de nuisibles dans le logement
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Au cours des 12 derniers mois, votre logement a-t-il été infesté par des rongeurs nuisibles ?		
Oui	1 070 417	3,6
Non	28 518 448	96,0
Ne sait pas	122 730	0,4
Total	29 711 595	100
Le logement a-t-il été traité chimiquement contre ces rongeurs durant cette période ? (Utilisation de poudres ou autres produits)		

Caractéristiques	N	Pourcentage
Oui, traitement achevé et efficace	356 416	33,3
Oui, traitement achevé mais inefficace	80 912	7,6
Oui, traitement en cours	249 129	23,3
Non	376 940	35,2
Ne sait pas	7 021	0,6
Total	1 070 417	100
Au cours des 12 derniers mois, votre logement a-t-il été infesté par des insectes ?		
Oui	5 210 730	17,5
Non	24 500 865	82,5
Total	29 711 595	100
Infestation de blattes/cafards		
Oui	706 736	13,6
Non	4 503 994	86,4
Total	5 210 730	100
Infestation de fourmis		
Oui	2 046 131	39,3
Non	3 164 600	60,7
Total	5 210 730	100
Infestation de puces		
Oui	265 741	5,1
Non	4 944 990	94,9
Total	5 210 730	100
Infestation de termites		
Oui	50 160	1,0
Non	5 160 570	99,0
Total	5 210 730	100
Infestation de punaises de lit		
Oui	45 416	0,9
Non	5 165 314	99,1
Total	5 210 730	100
Infestation d'autres insectes ou arthropodes		
Oui	2 328 385	44,7
Non	2 882 345	55,3
Total	5 210 730	100

Caractéristiques	N	Pourcentage
Le logement a-t-il été traité chimiquement contre ces insectes durant cette période ? (Utilisation de produits aérosols, poudres, diffuseurs, etc.)		
Non	2 187 428	42,0
Oui, traitement achevé et efficace	2 300 998	44,2
Oui, traitement en cours	491 422	9,4
Oui, traitement achevé mais inefficace	217 165	4,2
Ne sait pas	13 717	0,2
Total	5 210 730	100

Les autres formes de traitement contre les pathologies du bâtiment comme l'apparition de moisissures ou de contamination par la mэрule par exemple sont beaucoup plus rares et ne concernent que 2,4 % des logements.

Le **Tableau 27** fournit des informations relatives à la présence de plantes d'intérieurs dans le logement. Un peu plus de 20 % des foyers ne comptent pas de plante d'intérieur chez eux. Mais, la grande majorité des foyers en dénombrent le plus souvent dans une seule pièce du logement. Le traitement éventuel des plantes d'intérieurs n'a pas été renseigné lors de l'enquête.

Tableau 27. Nombre de pièces avec présence de plantes d'intérieur
(champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Nombre de pièces du logement avec présence de plantes d'intérieur parmi les pièces décrites par les enquêteurs		
0	6 070 765	20,4
1	12 603 266	42,4
2	6 254 823	21,1
3	3 399 992	11,4
4	924 387	3,11
5	365 704	1,25
6	82 044	0,30
7	10 614	0,04
Total	29 711 595	100

Le **Tableau 28** se focalise sur la pratique de se déchausser au moment d'entrer dans le logement. C'est un facteur qui est lié à l'apport de poussières depuis l'extérieur. Près de la moitié des foyers (46 %) s'y établissent systématiquement, ce qui tendrait à limiter le transfert de poussières depuis l'extérieur. Cette variable est susceptible d'influencer les niveaux de pesticides dans les poussières, voire les concentrations dans l'air étant donné que les pesticides sont pour la plupart des composés semi-volatils qui se partagent entre les

différents compartiments des environnements intérieurs (gaz, particules en suspension, poussières et surfaces).

Tableau 28. Pratique de se déchausser à l'entrée du logement comme facteur limitant l'apport de poussières depuis l'extérieur (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Est-ce que les personnes du ménage se déchaussent en entrant dans le logement ?		
Oui, tous et systématiquement	13 572 507	45,7
Oui, mais pas systématiquement ou pas tous les membres du foyer	10 737 431	36,1
Non	5 401 657	18,2
Total	29 711 595	100

Les **Tableau 29** et **Tableau 30** montrent quant à eux la gêne liée à la présence de poussières (dans le sens particules en suspension) et d'odeurs présentes à l'extérieur lors de l'ouverture des fenêtres. Les questions se focalisent sur la saison et plus particulièrement la période en cours au moment de l'enquête. Ces questions apportent un éclairage sur l'exposition des logements aux conditions de pollution extérieures susceptibles d'influencer la concentration des pesticides dans l'air. Près d'un quart des foyers (23,7 %) déclarent être gênés par la poussière provenant de l'extérieur à cette époque de l'année. Il s'agit le plus souvent de poussières associées au trafic routier, mais dans certains cas les pollens sont mis en cause (14,6 %), les activités agricoles (9,2 %) et même le jardinage (1,2 %).

En ce qui concerne les odeurs extérieures, 35 % des logements sont gênés ne serait-ce que de temps en temps. Ces odeurs sont majoritairement associées au trafic (près de 25 %), mais également à l'activité agricole pour 22 % des cas.

Tableau 29. Gêne liée à la poussière extérieure (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
A cette époque de l'année, si vous ouvrez vos fenêtres, êtes-vous gêné par de la poussière provenant de l'extérieur ?		
Oui souvent	3 645 467	12,3
Oui de temps en temps	3 390 824	11,4
Non pas du tout	22 660 156	76,2
Ne sait pas	15 148	0,1
Total	29 711 595	100
Quelle est l'origine principale de cette poussière ?		
Circulation (routière, ferroviaire)	2 587 507	36,8
Présence de chantiers	505 058	7,2

Caractéristiques	N	Pourcentage
Etablissements environnants : usines, commerces, par exemple.	173 101	2,4
Autre cas	3 044 153	43,3
...dont pollens	1 026 811	14,6
...dont activités agricoles	647 103	9,2
...dont jardinage	82 838	1,2
Ne sait pas	726 472	10,3
Total	7 036 291	100

Tableau 30. Gêne liée aux odeurs extérieures (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
A cette époque de l'année, si vous ouvrez vos fenêtres, êtes-vous gêné par des odeurs provenant de l'extérieur ?		
Oui souvent	3 049 069	10,2
Oui de temps en temps	7 356 002	24,8
Non pas du tout	19 277 659	64,9
Ne sait pas	28 865	0,1
Total	29 711 595	100
Quelle est l'origine principale de ces odeurs ?		
Circulation (routière, ferroviaire)	2 593 244	24,9
Activités agricoles environnantes (élevage par ex.)	2 326 646	22,4
Activités industrielles ou artisanales (usines, commerces, par ex.)	2 076 119	20
Voisinage	1 917 760	18,4
Autre cas	1 231 169	11,8
Ne sait pas	260 133	2,5
Total	10 405 071	100

8.6. Utilisation de produits pesticides sur la semaine

Les activités sur la semaine ont été renseignées par la personne de référence du ménage pour l'ensemble du foyer. Elles sont renseignées à l'échelle de la journée à partir du jour de début d'enquête. Le semainier couvre ainsi 8 jours. Toutefois, pour certains foyers, la huitième journée, celle de la seconde visite et de la récupération du questionnaire, n'est jamais utilisée. Ainsi, selon les foyers, les activités renseignées portent sur 7 ou 8 jours.

Un total de 564 semainiers d'activité a été collecté avec au moins une donnée renseignée. Pour 7 foyers, le semainier d'activités n'a pas été récupéré. Un foyer a remis un semainier d'activités complètement vide. Pour ces cas-là, des réponses à certaines questions du questionnaire rétrospectif sur la semaine (questionnaire de seconde visite) ont permis de renseigner certains éléments du semainier d'activité. Par ailleurs, le semainier d'activité d'un foyer enquêté deux fois a été écarté (celui de la première enquête est conservé). Sur cette base et après complétion par des informations complémentaires, les données d'activités des 571 logements enquêtés sont jugées exploitables.

Le taux de remplissage par foyer (pourcentage de variables renseignées) varie de 3 % à 100 %. Le remplissage est complet pour 310 foyers. Le semainier est rempli au moins à 90 % pour 134 foyers. Pour 51 foyers, il est rempli pour plus de la moitié (entre 56 % à près de 90 %). Pour 27 foyers, il est rempli à moins de la moitié (26 % à 49 %). Enfin, il est rempli à moins de 25 % pour 49 foyers.

Le taux de remplissage par variable est lui compris entre 84 % (récupération de vêtements après nettoyage à sec) et 96 % (utilisation de produits pesticides en extérieur).

Les données des semainiers sont traduites en nombre de jours sur la semaine d'enquête où l'activité spécifiée a eu lieu. Puis, ce nombre est rapporté au nombre de jours renseignés (7 ou 8 jours selon les foyers) pour exprimer une fréquence d'utilisation sur la semaine. Les données manquantes ne sont pas prises en compte dans le calcul.

8.6.1. Utilisation de produits pesticides sur la semaine d'enquête

L'utilisation de produits pesticides sur la semaine d'enquête se déclinait sous la forme des questions suivante :

- Avez-vous utilisé dans votre logement des produits de type insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques ?
 - sous forme d'aérosol (oui / non) – QPP1
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)
 - sous une autre forme (piège, poudre, bloc, gel, collier, etc.) (oui / non) – QPP2
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)
- Avez-vous utilisé, sur votre balcon, dans votre jardin, ou sur votre toiture ou votre trottoir, des produits pesticides, par ex. fongicides, herbicides ou insecticides ? (oui / non) - QPPE
 - Si oui, précisez les produits : (champ texte)

Le **Tableau 31** indique la proportion de logements ayant déclaré au moins une utilisation de produits pesticides au cours de la semaine d'enquête. Celle-ci reste relativement faible avec 32 logements (représentant près de 6 % du parc) qui ont déclaré utilisé un produit pesticide sous forme d'aérosol, 35 logements (représentant 5,5 % du parc) déclarant utilisé un produit sous forme solide (piège, poudre, bloc, gel ou autre) et seulement 31 logements (4,6 % du parc) ayant utilisé un produit pesticide à l'extérieur du logement. Cela représente un total combiné de 80 logements (12,6 % du parc) à avoir renseigné l'utilisation d'au moins un produit pesticide sur la semaine quel que soit son usage.

Pour ces logements, la fréquence d'utilisation de produits pesticides est en général (plus de 75 % des cas) limitée à un ou deux jours par semaine pour les usages de produits sous formes d'aérosols à l'intérieur des logements ou pour les usages extérieurs (**Tableau 32**). L'utilisation de produits pesticides sous forme solide se fait le plus souvent (dans plus de 2 logements sur 3) de façon régulière sur la semaine avec une utilisation chaque jour ou de manière continue.

Tableau 31. Nombre de logements ayant déclaré au moins une utilisation de produits pesticides au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)

Utilisation de produits pesticides	n	Nparc	%Activité
Utilisation de pesticides sous forme d'aérosol dans le logement	493	24 981 586	5,93 %
Utilisation de pesticides sous forme de piège, poudre, gel, etc. dans le logement	486	24 233 879	5,48 %
Utilisation de pesticides à l'extérieur du logement	491	24 798 237	4,63 %

n : Effectif de logements de l'échantillon ayant répondu ; Nparc : Effectif de logements ayant répondu à l'échelle du parc ; %Activité : proportion de logements ayant utilisé des pesticides au cours de la semaine à l'échelle du parc de résidences principales.

Tableau 32. Fréquence d'utilisation de produits pesticides au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)

Fréquence d'utilisation (nombre de jours d'utilisation)	Utilisation de pesticides (aérosol) dans le logement	Utilisation de pesticides (piège, etc.) dans le logement	Utilisation de pesticides à l'extérieur du logement
Jamais	94,1 %	94,5 %	95,4 %
1	3,24 %	1,07 %	2,79 %
2	1,23 %	0,34 %	0,84 %
3	0,56 %	0,19 %	0,14 %
4	0 %	0,10 %	0,17 %
5	0,65 %	0,12 %	0 %
6	0 %	0 %	0,55 %
Tous les jours	0,24 %	3,67 %	0,15 %

Résultats exprimés en proportion de logements à l'échelle du parc utilisant des produits pesticides à la fréquence indiquée.

Sur l'ensemble des foyers ayant déclaré l'utilisation d'un produit pesticide sur la semaine d'enquête, 95 produits ont été répertoriés par les occupants couvrant l'ensemble des usages (**Tableau 33**). L'utilisation de ces produits se répartit sur 117 logements. Certains logements sont amenés à utiliser plusieurs produits différents sur la semaine. La description des produits est souvent très générique. Certains produits listés ne sont pas forcément considérés comme produits pesticides (bicarbonate de soude, vinaigre blanc par exemple). Cette liste brute nécessite d'être mise à jour au regard des autres informations disponibles sur ces produits.

Tableau 33. Liste des produits pesticides mentionnés avoir été utilisés durant la semaine par un ou plusieurs logements et répertoriés par usage

Produit	Usage intérieur (aérosol)	Usage intérieur (solide)	Usage extérieur	Nombre de foyers utilisant le produit
Acto volants	1			1
Acto rempart à insectes			1	1
Acto spécial rampants (anti-fourmis) au Polymère végétal			1	1
Anti-moustiques	1	1	1	3
Anti-moustiques (prise) N°CAS: 23031-36-9		1		1
Anti-moustiques PURESSENTIEL ANTI-PIQUE	2			2
Anti-moustiques RAID MOUCHES ET MOUSTIQUES	2	1		3
Anti-fourmis	2	2		4
Anti-fourmis (Jardipousse)		1		1
Anti-fourmis poudre)		1	1	2
Anti-insectes volants	1			1
Antimites		1		1
Antimites Marque repère	1			1
Antimites Raid tue les mites		1		1
Anti-mousse (mur-maison)			1	1
Antipoux		1		1
Apta araignées	1			1
Attrape mouche		1		1
Barrière à insectes Green			1	1
Baygon Fourmis et Cafards	2			2
BHS Insecticides polyvalent			1	1
Bicarbonate de soude		1		1
Bloq'insectes	2		1	3
BROADLINE	1	1		2
Bougie	1			1
Bougie anti-moustiques (citronnelle)			1	1
CARREFOUR Anti rampants	1			1
CATCH Antimoustiques		1		1
CATCH EXPERT (Azamethiphos CAS 35575-96-3)		1		1
CATCH Expert - Mouches et moustiques	1			1
CATCH Expert - Multi-rampants	1			1
Catch Multi-Insectes Volants	1			1
CATCH RECHARGE ANTI-MOUSTIQUE		1		1
CAUSSADE ANTI NUISIBLE		1		1
CINQ SUR CINQ TROPIC	1			1
Collier		2		2
Collier de Joya		1		1
DECAMP Mouches du terreau	1			1
Désherbant			1	1

Produit	Usage intérieur (aérosol)	Usage intérieur (solide)	Usage extérieur	Nombre de foyers utilisant le produit
Désherbant bio			1	1
Diffuseur anti-moustiques		2		2
Diffuseur RAID			1	1
Diffuseur Raid moustiques		2	1	3
Engrais			1	1
Etamine du Lys - Insecticide Foudroyant (Huiles essentielles citronnelle/Géranium) TP18	1			1
FERRAMOL ANTI-LIMACE	1			1
Fertiligène			1	1
Florame - Spray Anti-Acariens	1			1
Frontline		1		1
FULGATOR	1			1
Fulgator halte araignée	1			1
Granulé anti-limaces			1	1
Halte araignées catch expert (henkel)	1			1
HAMSTER TOILET LITIERE		1		1
Herbicide Glyphos jardin				0
Insectes polyvalent Akomedine Pyethrines			1	1
Insecticide	2			2
Insecticide Bacillus thuringensis SOLABIOL			1	1
Insecticide BENGAL			1	1
Insecticide Huiles essentielles citronnelle Géranium			1	1
Insecticide KB volants	1			1
Insecticide Leader price	1			1
Insecticide mouches COBRA	1			1
Insecticide pucerons			1	1
KB Fourmis Fipronil		1		1
KB - Fourmis Poudrage, Arrosage	1			1
KB Guêpes/Frelons foudroyant			1	1
KB Home Defense - Rats et Souris	1			1
Oridermyl (pommade oriculaire contre la galle chat)		1		1
Piège à fourmis spinosad		1		1
Pièges à mites alimentaires		1		1
Piège double appât cafards catch expert		1		1
Piège double appât cafards catch expert		1		1
Pipette antipuces		1		1
Pipette Fyperix		1		1
Prise anti-moustiques		1		1
Produit contre cochenilles Jardin Bio			1	1
Produits pétrolifères			1	1
PROTECT EXPERT FOURMIS			1	1

Produit	Usage intérieur (aérosol)	Usage intérieur (solide)	Usage extérieur	Nombre de foyers utilisant le produit
Pyrel - Antimoustique en diffuseur		1		1
Pyrel insecticide	1		1	2
Pyrel sur fenêtre	1			1
Pyrel SC Johnson		1		1
RAID	1		1	2
RAID - JOHNSON - Fourmis, Araignées et cafards	1			1
RAID Araignée, Mouches	1			1
Répulsif insecte à brûler		1		1
Répulsifs mites textiles	1			1
Ruban attrape mouches	1			1
Seresto - Collier	1	2		3
Shampooing VETOCANIS		1		1
Solabiol Oriange 3 en 1			1	1
Traitement du bois (portique, terrasse)			1	1
Vermifuge comprimé		1		1
Vinaigre blanc			2	2
TOTAL	43	42	31	117

Les numéros d'autorisation de mise sur le marché (n° AMM) ne sont quasiment pas renseignés par les enquêteurs au regard des produits utilisés sur la semaine d'enquête. Seuls, cinq n° AMM sont disponibles :

- BHS Insecticides polyvalent : 2110149 ;
- Collier SERESTO : FR/V/1111378 0/2011 ;
- Collier SERESTO : 7403801 ;
- Glyphos jardin : AMM9400495 ;
- Oridermyl (pommade oriculaire contre la galle chat) : FR/V/1501 980 8/2008.

Mais, les autres produits utilisés sur la semaine peuvent avoir été préalablement identifiés lors de l'entretien avec la personne de référence sur les usages de produits au cours de l'année, et leur n° AMM renseignés. L'exploitation de ces données nécessitent d'appréhender et de confronter l'ensemble des questions relatives à l'usage des produits.

L'identification des produits utilisés nécessitent de disposer de la dénomination précise du produit ou du n° AMM. L'absence de ce numéro ou de détails précis peuvent handicaper l'identification précise du produit. Lorsque le produit était encore disponible et avec l'accord de l'occupant, des photos des produits utilisés étaient prises. Il était également demandé des informations sur d'autres produits éventuellement utilisés et de les photographier si possible (produits supplémentaires). L'analyse de ces photos permettrait avec un travail approfondi de déterminer plus exactement les produits utilisés et leur composition.

Le nombre de photographies de produits pesticides disponibles pour analyse approfondie est détaillé au **Tableau 34**. Les 97 photos recensées et disponibles couvrent 58 produits pesticides utilisés durant la semaine d'enquête.

Tableau 34. Nombre de produits pesticides décrits et photographies disponibles selon les usages à partir des données recueillies sur la semaine d'enquête

	Produits aérosols		Produits solides		Produits extérieurs		TOTAL
	Principaux	Supp	Principaux	Supp	Principaux	Supp	
N_Produits	27	2	14	3	11	1	58
Total photos	46	6	23	4	15	3	97

Supp : Produits supplémentaires

8.6.1. Autres activités sur la semaine d'enquête susceptibles d'influencer la présence ou la concentration de pesticides dans l'air ou les poussières

Les activités d'intérêt au regard de l'exposition aux pesticides concernent les activités de nettoyage du logement par aspirateur, balai ou produit d'entretien sur les aspects poussières. L'utilisation d'autres nettoyants ménagers de sprays désodorisants ou parfumants, de bougies, d'encens, ou d'autres produits désodorisants (diffuseurs mèches, gels, lampes, etc.) peuvent influencer la production de particules en suspension et affecter la concentration en pesticides dans l'air. Il en est de même pour la présence de fumeurs et dans une moindre mesure de vapoteurs au cours de la semaine.

La part de logements ayant déclaré au moins une de ces activités au cours de la semaine est présentée au **Tableau 35**. Une grande majorité de logements (87 %) ont nettoyé leur logement avec un aspirateur au cours de la semaine d'enquête. A l'inverse, le vapotage et le brûlage d'encens sont rares sur la semaine (respectivement 4,2 % et 4,8 % du parc).

Tableau 35. Nombre de logements ayant déclaré au moins une activité à l'intérieur du logement au cours de la semaine d'enquête (champ : parc de résidences principales)

Activité	n	Nparc	%Activité
Nettoyage du logement avec un aspirateur	548	27 868 934	87,2 %
Nettoyage du logement avec un balai	504	24 760 240	61,8 %
Nettoyage des surfaces avec un produit d'entretien	544	28 372 997	68,9 %
Utilisation d'un autre type de nettoyant ménager	523	26 434 500	45,3 %
Utilisation de sprays désodorisant ou parfums d'ambiance	501	25 171 291	30,3 %
Utilisation de bougies	494	25 447 799	15,6 %
Utilisation d'encens	493	24 692 854	4,8 %
Utilisation d'autres produits désodorisants (diffuseurs, etc.)	519	25 875 491	34,6 %
Fumer une ou plusieurs cigarettes	508	26 346 670	14,9 %
Vapotage	508	25 505 487	4,2 %

n : Effectif de logements de l'échantillon ayant répondu ; Nparc : Effectif de logements ayant répondu à l'échelle du parc de résidences principales ; %Activité : proportion de logements à l'échelle du parc de résidences principales ayant réalisé l'activité au moins une fois dans la semaine représenté.

La distribution des fréquences des activités d'intérêt survenues à l'intérieur du logement au cours de la semaine est présentée au **Tableau 36** et **Tableau 37**.

Tableau 36. Fréquence de certaines activités (nettoyage, sprays) à l'intérieur du logement au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)

Fréquence d'utilisation (nombre de jours d'utilisation)	Nettoyage du logement avec aspirateur	Nettoyage du logement avec balai	Nettoyage des surfaces avec produit d'entretien	Utilisation d'un autre type de nettoyant ménager	Utilisation de sprays désodorisant ou parfums d'ambiance
Jamais	12,8%	38,2%	31,1%	54,7%	69,7%
1	26,7%	16,7%	32,2%	23,1%	11,3%
2	19,0%	7,3%	13,1%	9,7%	2,5%
3	14,3%	8,8%	6,7%	2,7%	2,0%
4	7,5%	9,0%	6,5%	1,7%	1,7%
5	3,7%	3,0%	1,6%	1,0%	3,2%
6	6,1%	5,5%	1,0%	0,3%	1,0%
Tous les jours	10,1%	11,4%	7,8%	6,8%	8,7%

Résultats exprimés en proportion de logements à l'échelle du parc réalisant l'activité à la fréquence indiquée.

Tableau 37. Fréquence de certaines activités (bougies, encens, désodorisants, fumer, vapoter) à l'intérieur du logement au cours de la semaine (champ : parc de résidences principales)

Fréquence d'utilisation (nombre de jours d'utilisation)	Utilisation de bougies	Utilisation d'encens	Utilisation d'autres produits désodorisants (diffuseurs, etc.)	Fumer une ou plusieurs cigarettes	Vapotage
Jamais	84,4%	95,2%	65,4%	85,1%	95,8%
1	8,9%	3,4%	8,2%	3,2%	1,3%
2	0,8%	1,1%	2,4%	2,2%	0,04%
3	0,4%	0%	1,4%	0,09%	0,06%
4	1,0%	0%	0,9%	0,3%	0,2%
5	0,2%	0%	0,7%	0%	0,2%
6	0,2%	0,3%	0,6%	0,1%	0,02%
Tous les jours	4,2%	0%	20,4%	9,1%	2,5%

Résultats exprimés en proportion de logements à l'échelle du parc réalisant l'activité à la fréquence indiquée.

Pour plus de la moitié des logements, l'aspirateur a été passé 1 à 3 jours sur la semaine d'enquête. Pour 10 % des foyers, l'aspirateur est passé tous les jours. Il en est de même avec le balayage. Le nettoyage des surfaces avec un produit d'entretien est le plus souvent réalisé 1 à 3 fois par semaine. L'utilisation d'un autre type de produit ménager (pour four ou plaques de cuisson, anticalcaire, anti-moisissure, débouche évier, détachant, etc.) est moins fréquente, comme pour l'utilisation de sprays désodorisants ou de parfums d'ambiance.

L'utilisation de bougies sur la semaine d'enquête est peu fréquente, au mieux une fois par semaine pour près de 9 % des logements et plus rarement tous les jours (plus de 4 % des logements). Le brûlage d'encens est encore moins fréquent. L'utilisation de produits

désodorisants de type diffuseur, lampe, pot-pourri, bloc WC, solide, gel, ou autre, se fait le plus souvent en continu pour les logements qui en utilisent. De même, fumer se fait plutôt de manière quotidienne pour les logements qui ont déclaré fumer au moins une fois dans la semaine. Cette observation concerne également le vapotage même si cette activité est moins répandue parmi les logements enquêtés.

La fréquence d'aération du séjour (pièce instrumentée pour la mesure des pesticides dans l'air) et plus généralement du logement dans son ensemble sont présentées au **Tableau 38** et déclinées sur la journée ou la nuit. La majorité des logements déclarent aérer leur séjour plus d'une heure par jour (53 %) et plus globalement leur logement (59 %) durant la journée. Par contre, durant la nuit, les fenêtres restent le plus souvent fermées aussi bien dans le séjour (78 %) que dans l'ensemble du logement (72 %).

Tableau 38. Fréquence d'aération des pièces sur la semaine (champ : parc de résidences principales)

Aération du logement	N	Pourcentage
Au cours de la semaine, combien de temps avez-vous ouvert les fenêtres de la pièce instrumentée pour les mesures de pesticide dans l'air, durant le jour ?		
Rarement ou jamais	1 323 388	4.5
Moins d'une demi-heure par jour	5 146 783	17.3
Entre une demi-heure et une heure par jour	6 535 001	22.0
Plus d'une heure par jour	15 780 963	53.1
Ne sait pas / Ne souhaite pas répondre	925 460	3.1
Total	29 711 595	100
Au cours de la semaine, combien de temps avez-vous ouvert les fenêtres de la pièce instrumentée pour les mesures de pesticide dans l'air, durant la nuit ?		
Rarement ou jamais	23 203 722	78,1
Moins d'une demi-heure par jour	316 603	1,0
Entre une demi-heure et une heure par jour	199 566	0,7
Plus d'une heure par jour	5 014 226	16,9
Ne sait pas / Ne souhaite pas répondre	977 478	3,3
Total	29 711 595	100
Au cours de la semaine, dans tout votre logement, avez-vous ouvert au moins une fenêtre, le jour ?		
Rarement ou jamais	1 486 998	5,0
Moins d'une demi-heure par jour	3 833 537	12,9
Entre une demi-heure et une heure par jour	6 551 267	22,1
Plus d'une heure par jour	17 650 971	59,4
Ne sait pas / Ne souhaite pas répondre	188 822	0,6
Total	29 711 595	100

Aération du logement	N	Pourcentage
Au cours de la semaine, dans tout votre logement, avez-vous ouvert au moins une fenêtre, la nuit ?		
Rarement ou jamais	21 381 889	72,0
Moins d'une demi-heure par jour	477 810	1,6
Entre une demi-heure et une heure par jour	454 578	1,5
Plus d'une heure par jour	7 286 371	24,5
Ne sait pas / Ne souhaite pas répondre	110 947	0,4
Total	29 711 595	100

9. ANALYSE CONJOINTE DES NIVEAUX DE CONCENTRATIONS DE PESTICIDES

9.1. Corrélation entre les niveaux de concentrations de pesticides mesurés dans l'air

La corrélation entre les pesticides mesurés dans l'air a été recherchée en considérant l'échantillon des 542 logements enquêtés avec mesures valides. La corrélation a été réalisée sur la base de données transformées en rangs pour rendre compte du lien entre les variations de profils de concentration en faisant abstraction des différences de niveaux de concentrations entre les pesticides. Toutes les données inférieures à la LDM ont été imputées à la valeur 0 de façon à affecter le même rang minimum à tous les pesticides dans ce cas. Le coefficient de corrélation de Spearman obtenu varie de +1 pour une évolution des rangs identique à -1 pour une évolution inverse des rangs.

La **Figure 20** montre le corrélogramme obtenu pour 11 pesticides avec au moins un coefficient de corrélation de Spearman significatif supérieur à 0,5 (p-value < 0,0001). La **Figure 21** élargit le nombre de pesticides à ceux qui présentent au moins un coefficient de Spearman supérieur à 0,3.

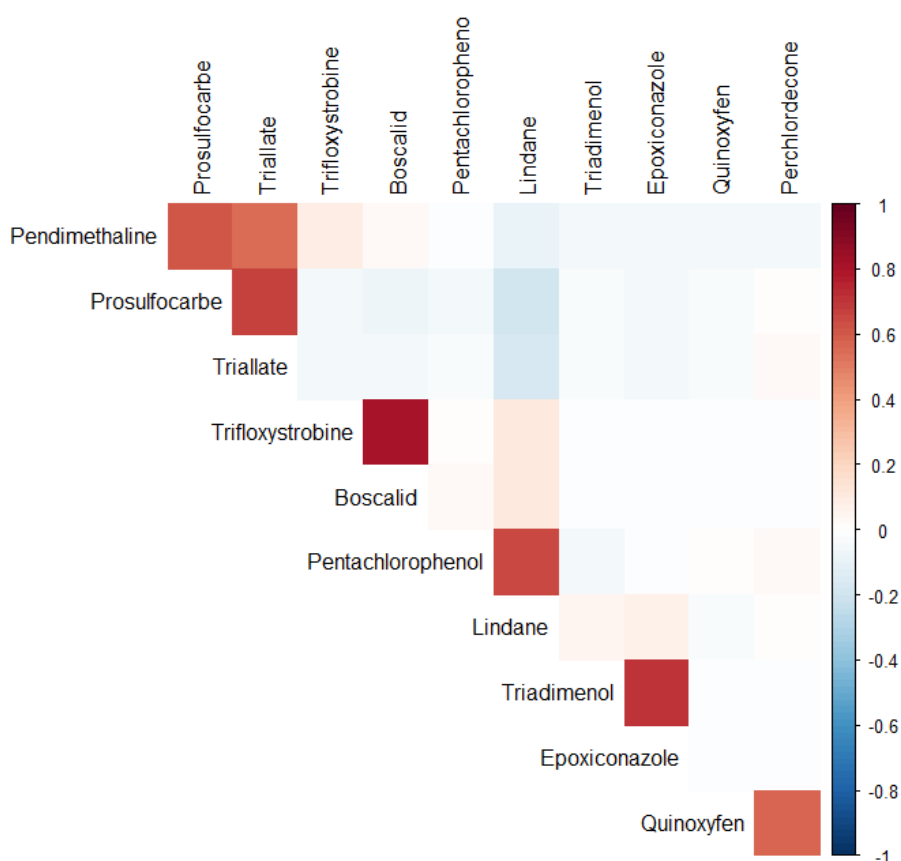


Figure 20. Corrélogramme des pesticides avec au moins un coefficient de corrélation de Spearman supérieur à 0,5 (champ : 542 logements).

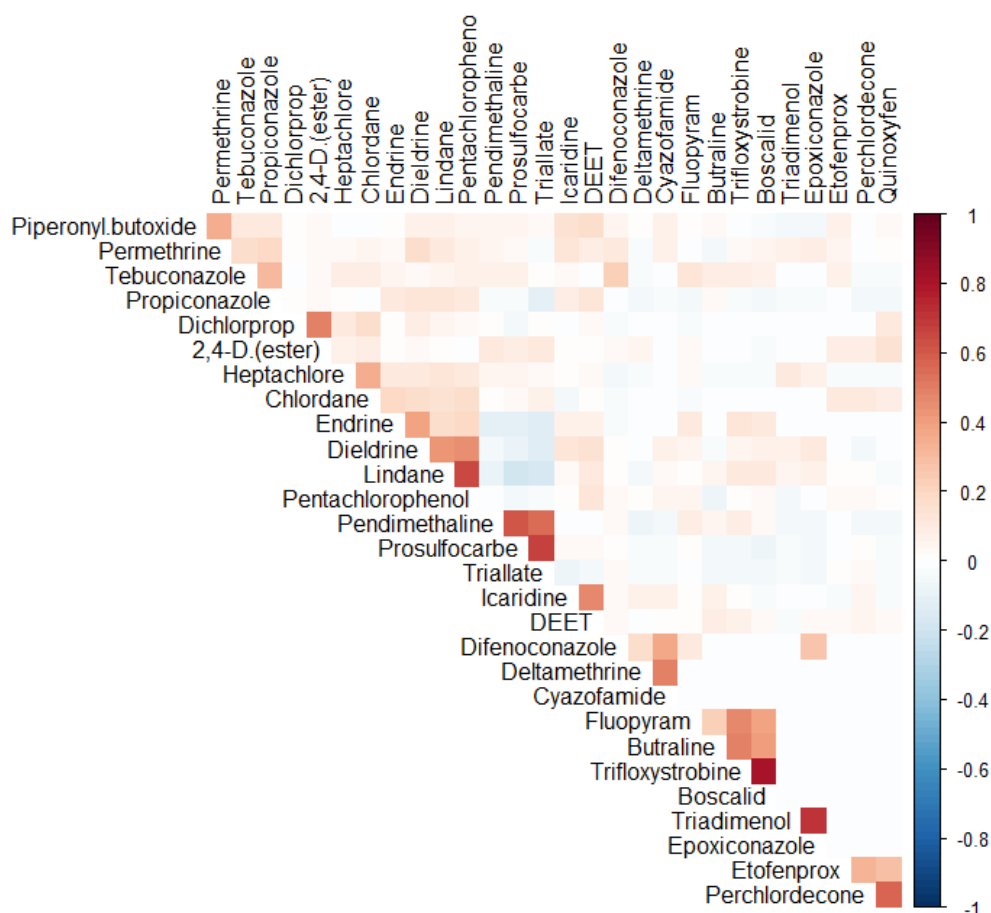


Figure 21. Corrélogramme des pesticides avec au moins un coefficient de corrélation de Spearman supérieur à 0,3 (champ : 542 logements).

Les deux herbicides **prosulfocarbe et triallate** (0,665) ou du **prosulfocarbe avec la pendiméthaline** (0,616) et dans une moindre mesure de la **pendiméthaline avec le triallate** (0,553) sont bien corrélées entre elles. Les trois substances apparaissent étroitement associées.

Une forte corrélation est également observée entre le **lindane et le pentachlorophénol** (0,648), deux insecticides utilisés notamment dans le traitement du bois.

Les deux insectifuges **DEET et icaridine** sont également très corrélés entre eux (0,467, $p < 0,0001$).

Remarque : La corrélation la plus élevée est observée entre le boscalid et la trifloxystrobine (0,816), mais elle est liée à quelques rares occurrences de détection conjointes pour un très grand nombre de données < LDM. La corrélation entre l'époxyconazole et le triadiménol (0,705) est dans le même cas. Il en est de même entre la perchlordécone et le quinoxyfen (0,573), entre le 2,4-D et le dichlorprop, entre la cyazofamide et la deltaméthrine ou encore entre la butraline, le fluopyram et la trifloxystrobine. Pour ces substances très peu détectées, un test d'indépendance du χ^2 serait plus approprié pour qualifier la relation entre elles.

9.2. Logements avec niveaux élevés de pesticides dans l'air

Certains logements peuvent avoir plusieurs occurrences de concentrations élevées pour différents pesticides. La notion relative de concentration élevée prise en compte correspond au fait de dépasser le 75^{ème} centile de la distribution de concentration pour la substance concernée. Dans le cas où cette valeur est inférieure à la LDM ou la LQM, la LQM est considérée en lieu et place du 75^{ème} centile. Une valeur inférieure à la LQM ne peut pas être considérée comme une concentration élevée. Les valeurs manquantes ne sont pas intégrées. Ce qui implique pour les logements concernés, que le nombre de polluants considéré est plus faible que celui des autres logements.

La **Figure 22** représente la part de logements avec de multiples occurrences de pesticides ayant des concentrations élevées dans l'air (supérieures à P75) à l'échelle du parc de résidences principales.

- Aucun logement ne montre de concentrations élevées pour plus de 15 pesticides ;
- Pour 37 logements représentant 5,1 % du parc de résidences principales, la concentration d'au moins 10 et jusqu'à 15 pesticides est supérieure au 75^{ème} centile ;
- Pour 21 logements (5,6 % du parc), aucun pesticide ne dépasse en concentration le 75^{ème} centile ;
- Pour 34 logements (5,4 % du parc) un seul pesticide voit sa concentration dépasser le 75^{ème} centile ;
- Pour le reste des logements (450 soit 83,9 % du parc), un dépassement du 75^{ème} centile est observée pour 2 à 9 des pesticides mesurés.

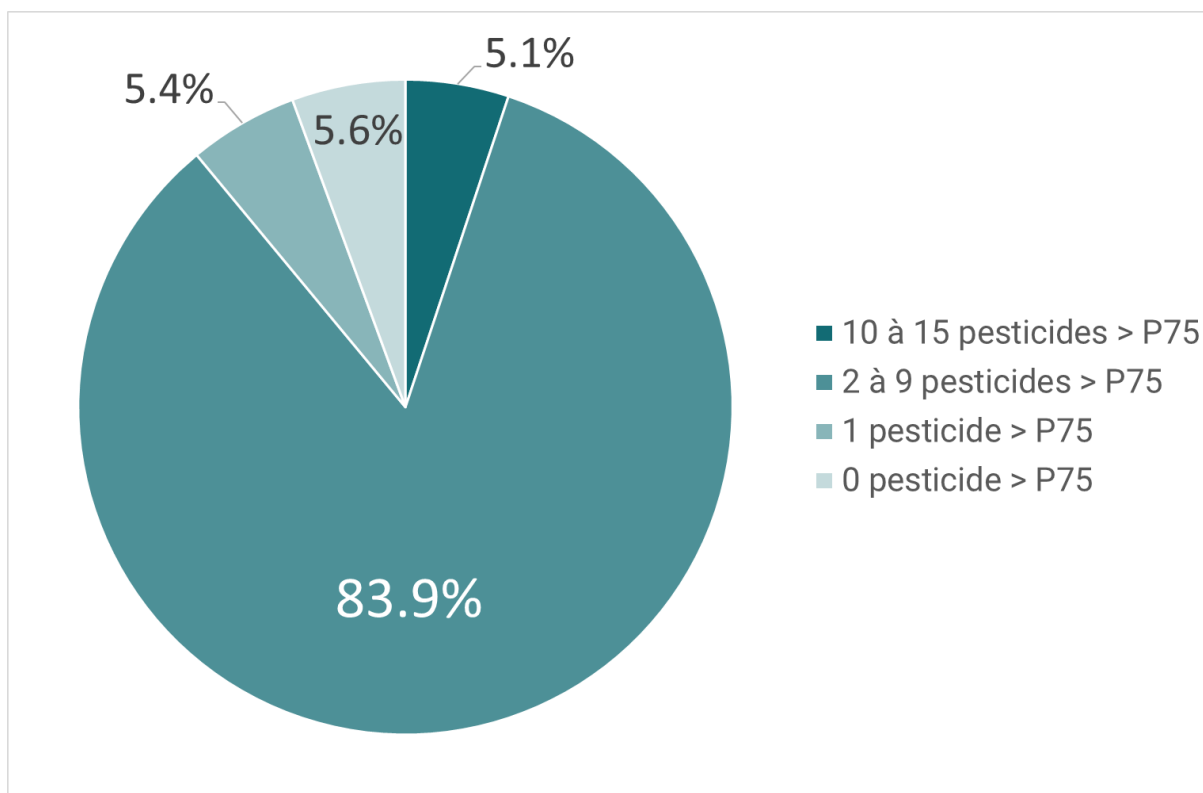


Figure 22. Part de logements présentant de multiples occurrences de pesticides avec des concentrations dans l'air jugées élevées (> P75). Champ : parc de résidences principales.

De la même façon, les logements peu pollués ont été recherchés. L'hypothèse prise en compte pour représenter la notion relative d'une faible concentration de polluants correspond au fait de ne pas dépasser le 25^{ème} centile de la distribution pour la substance concernée. Dans le cas où cette valeur est inférieure à la LDM ou la LQM, la LDM est prise en compte. Une concentration inférieure à la LDM est considérée de fait comme une concentration faible.

La **Figure 23** indique la part de logements à l'échelle du parc de résidences principales avec de multiples occurrences de pesticides pour lesquels la concentration est jugée faible (< P25).

- Un seul logement (0,15 % du parc) présente une concentration systématiquement inférieure au 25^{ème} centile de la distribution ou à la limite de détection pour l'ensemble des pesticides mesurés ;
- Pour tous les autres logements, la concentration observée à l'intérieur est inférieure au 25^{ème} centile de la distribution pour 55 à 80 pesticides (soit 68 % à 99 % des pesticides mesurés).

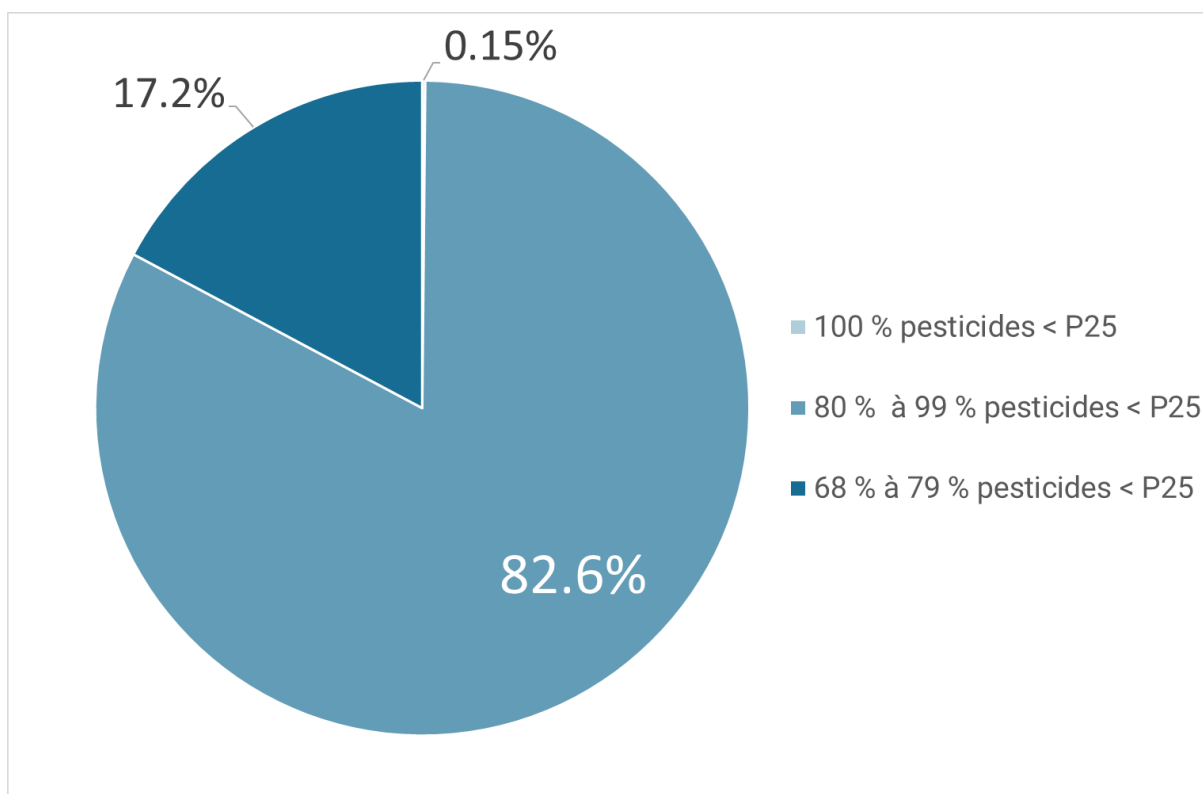


Figure 23. Part de logements présentant de multiples occurrences de pesticides avec des concentrations dans l'air jugées faibles (< P25). Champ : parc de résidences principales.

Ces premiers éléments restent à compléter avec une étude multidimensionnelle plus poussée pour analyser les caractéristiques de ces logements et comment cette multipollution se répartit entre les logements.

10. CROISEMENT DES NIVEAUX DE CONCENTRATION EN PESTICIDES AVEC DES CARACTERISTIQUES DES LOGEMENTS

Certaines caractéristiques des logements comme sa typologie (logement individuel ou collectif) ou la proximité d'une zone de culture ont été prises en compte pour identifier une éventuelle association de ces variables avec les concentrations de pesticides dans l'air. Les caractéristiques d'usages de produits pesticides ont également été intégrés, tout comme la période d'enquête. Ces comparaisons sont réalisées à l'échelle de l'échantillon des 542 logements. Les comparaisons ne sont pas réalisées sur des données pondérées et ne sont donc pas exprimées à l'échelle de la population.

10.1. Type de logement (individuel / collectif)

L'influence du type de logement (individuel ou collectif) sur les concentrations en pesticides dans l'air a été étudiée. Le type de logement est significativement associé avec les concentrations de 12 pesticides dans l'air (cf. [Tableau 39](#) et [Figure 24](#)).

Tableau 39. Liste de 12 pesticides dont la concentration dans l'air est associée au type de logement

Substance	Logement individuel	Logement collectif	p-valeur
Chlorpyrifos éthyl	-	+++	$p < 0,0001$
Chlorpyrifos méthyl	++	-	$p < 0,001$
Cyprodinil	++	-	$p < 0,001$
Diazinon	+++	-	$p < 0,0001$
Dieldrine	++		$p < 0,001$
Fipronil	++		$p < 0,001$
Folpel	-	++	$p < 0,001$
Imidaclopride	++	-	$p < 0,001$
Lindane	+++	-	$p < 0,0001$
Perméthrine	+++	-	$p < 0,0001$
Propiconazole	+++	-	$p < 0,0001$
Pyriproxyfène	++	-	$p < 0,001$

+++ : concentration significativement plus élevée dans ce type de logement avec $p < 0,0001$;
 ++ : concentration significativement plus élevée dans ce type de logement avec $p < 0,001$

Pour la plupart de ces pesticides, les concentrations (principalement du 75^{ème} au 99^{ème} centile) sont plus élevées dans les logements individuels que dans les logements collectifs). Deux exceptions sont observées avec le chlorpyrifos éthyl et le folpel avec des concentrations significativement plus élevées en logement collectif.

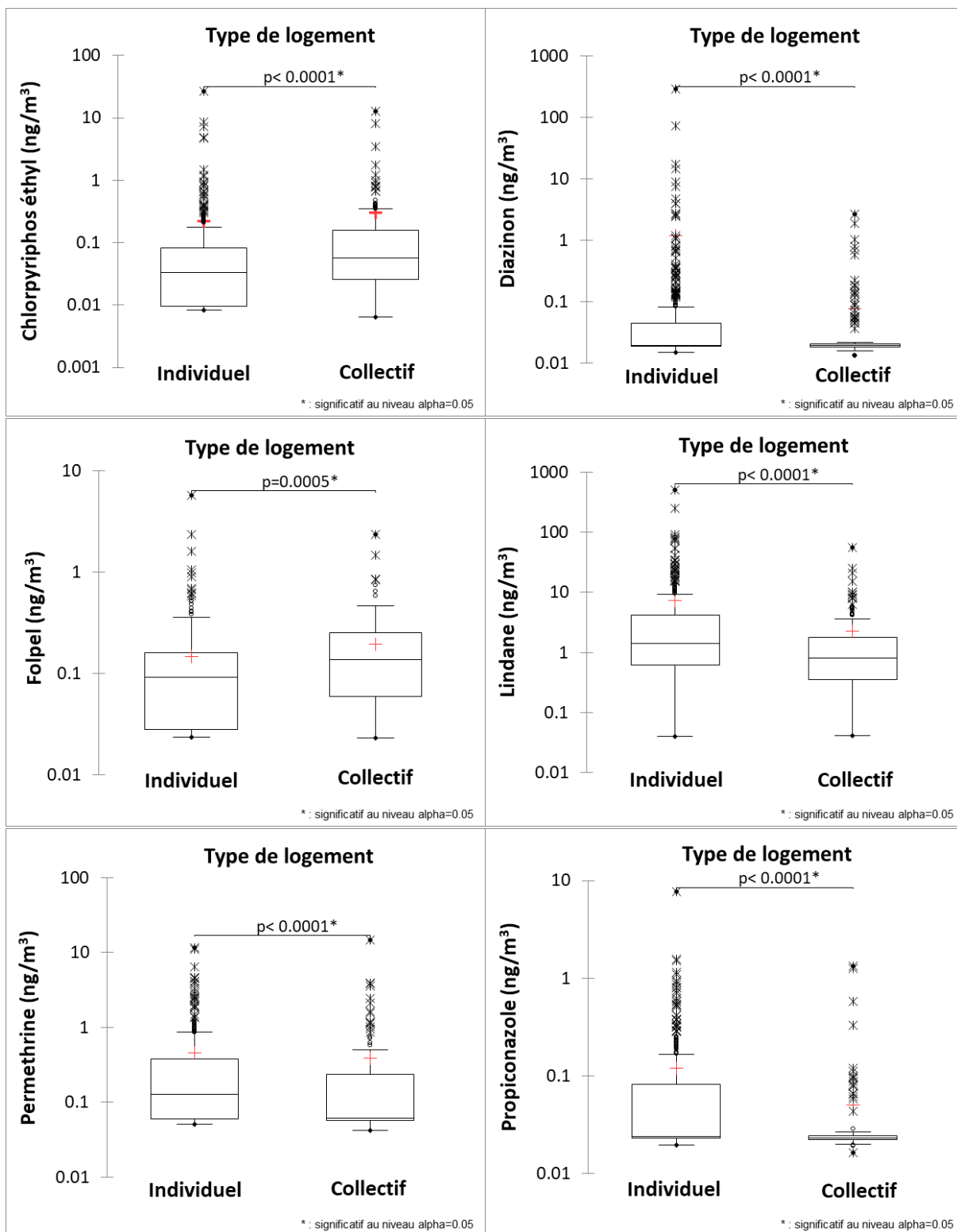


Figure 24. Influence du type de logement sur les concentrations en chlorpyrifos éthyl, en diazinon, en folpel, en lindane, en perméthrine et en propiconazole (concentrations en échelle logarithmique).

Mis à part 12 pesticides (carbaryl, cyperméthrine, DEET, dicloran, heptachlore, icaridine, métolachlore, pendiméthaline, pentachlorophénol, pipéronyl butoxide, pyrimethanil et transfluthrine), tous les autres pesticides affichent également une tendance (tests significatifs

avant la correction de Bonferroni) qui va dans le sens de concentrations dans l'air différentes selon le type de logements.

10.2. Proximité d'une zone de culture

L'influence de la proximité d'une zone de cultures (incluant, serres, pépinières et jardins publics) à moins de 200 m du logement a été étudiée. Le nombre et le type de cultures à proximité n'ont pas été pris en compte à ce stade.

Un seul pesticide montre une association significative avec la proximité d'une zone de cultures : le métolachlore (cf. **Figure 25**). Les concentrations sont globalement un peu plus élevées dans les logements à proximité de zone de cultures par rapport aux autres.

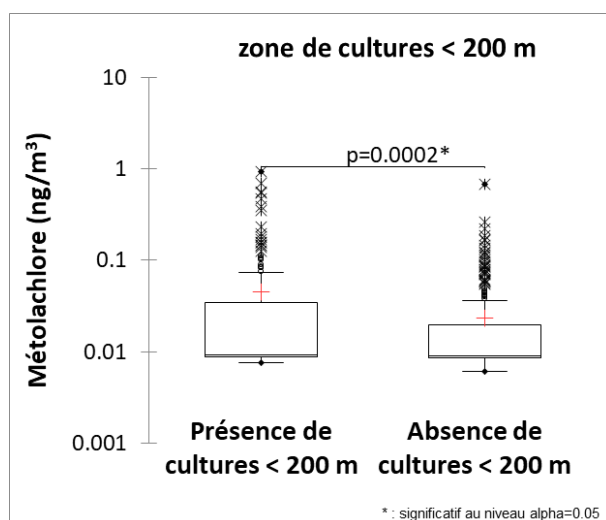


Figure 25. Influence de la proximité d'une zone de cultures à moins de 200 m du logement sur les concentrations en métolachlore (concentrations en échelle logarithmique).

Quatre autres pesticides montrent des tendances (tests significatifs avant la correction de Bonferroni) qui vont dans le même sens : le diazinon, le fipronil, la pendiméthaline et la transfluthrine.

Pour aller plus loin, il serait nécessaire d'affiner la variable de proximité d'une zone de cultures par une description plus détaillée de l'occupation des sols, ainsi que développer une approche par type de culture prise indépendamment.

10.3. Usages de produits pesticides dans le logement

Les variables d'usage de produits pesticides dans le logement sont déclinées par période (durant l'année écoulée ou durant la semaine d'enquête) et par destination (dans le logement ou à l'extérieur).

Le croisement de la variable QPV1 (utilisation de produits pesticides à l'extérieur dans les 12 derniers mois, recodée en variable binaire) avec les concentrations dans l'air des 81 pesticides ne montrent pas d'associations significatives. Un lien possible (tests significatifs avant la correction de Bonferroni) est observé pour la terbuthryne et la transfluthrine, mais qui reste à confirmer.

Il en va de même pour le croisement des mesures de concentration des 81 pesticides dans l'air avec la variable QPV3 (utilisation de produits pesticides à l'intérieur dans les 12 derniers mois, recodée en variable binaire) sans aucune association significative observée. Les tendances concernent le fipronil, l'icaridine et la transfluthrine avec des tests significatifs avant application de la correction de Bonferroni (et donc une significativité qui peut être liée au hasard à force de multiplier les tests).

Même constat pour l'usage de produits pesticides à l'intérieur du logement sur la semaine que ce soit sous forme aérosol ou autre (variable combinant zPP1 et zPP2 et recodée sous forme binaire pour faire apparaître au moins un usage de produit sur la semaine) qui ne montre aucune association significative. L'icaridine et le pipéronyl butoxide montrent un semblant d'association avec des tests significatifs avant application de la correction de Bonferroni.

L'usage d'au moins un produit pesticide à l'extérieur du logement sur la semaine n'est pas non plus associé de manière significative à la concentration des pesticides dans l'air. Par contre, plus de la moitié des pesticides (42) montrent une tendance à l'association de cette variable avec leur concentration dans l'air. C'est toutefois à relativiser avec l'effectif faible de 29 logements ayant déclaré un usage de ces produits en extérieur.

L'association entre les usages et la concentration mesurée dans l'air n'est pas si apparente en première approche. Cela demande une exploitation plus poussée des données faisant intervenir d'autres facteurs.

11. COMPARAISON AVEC LA CAMPAGNE CNL1 / ECOS-PM

Dans le cadre du projet ECOS-PM (Exposition cumulée aux composés organiques semi-volatils dans l'habitat), une analyse des composés organiques semi-volatils, qui comptent certains pesticides, a été menée sur les filtres de particules collectés lors de la CNL1 (Mandin et al., 2016). Les résultats ne tiennent compte que de la phase particulaire de la fraction PM₁₀. La phase gazeuse n'est pas du tout prise en compte. Les prélèvements ont été réalisés dans des logements entre septembre 2003 et décembre 2005 sur une durée d'une semaine en sélectionnant les périodes de soirée et de nuit (entre 17h00 et 08 h00) et les week-ends. Le débit de prélèvement était de 1,8 L/min avec un volume final en moyenne de $12,6 \pm 0,9 \text{ m}^3$. Les filtres PTFE utilisés pour collecter les particules ont ensuite été pesés puis stockés au congélateur à -18 °C en attente de leur analyse.

L'analyse a été réalisée par thermodésorption couplée à une analyse en GC-MS/MS selon une méthode multi-résidus. Les substances ont été quantifiées par étalonnage interne à l'aide de congénères marqués. La thermodésorption permet d'atteindre des limites de détection basses sans utiliser de solvant, mais n'est pas adaptée aux molécules les plus lourdes ou thermosensibles.

Sur les 66 substances semi-volatiles recherchées, 17 étaient des pesticides, dont 11 sont communs avec PestiLoge : cis- et trans-chlordane, diazinon, dieldrine, endrine, chlorpyrifos-éthyl, heptachlore, lindane, métolachlore, oxadiazon et perméthrine.

Le **Tableau 40** montre les différences de limite de détection et de quantification entre les deux campagnes. Les LD et LQ de la campagne CNL1/ECOS-PM sont en général plus faibles sauf pour le chlorpyrifos-éthyl et le diazinon. A noter que pour la CNL2, les deux isomères cis- et trans- du chlordane ne sont pas distingués. Mais le cis-chlordane n'a jamais été détecté dans la campagne CNL1/ECOS-PM. La comparaison se fera donc directement en considérant les concentrations observées de l'isomère trans-chlordane.

La comparaison des fréquences de détection et de quantification pour chaque pesticide est faite en harmonisant les données au maximum des limites de détection et de quantification observées entre les deux campagnes.

Malgré le faible nombre d'échantillons valides retenus dans la campagne CNL1/ECOS-PM ($n = 285$ pour 568 enquêtes), un travail de redressement et de calcul des poids de sondage a été réalisé permettant d'exprimer les résultats à l'échelle du parc de résidences principales en France métropolitaine continentale. La méthode de calcul des poids de sondage entre les deux campagnes est très différente. Notamment, des données de performance propres aux équipes d'enquêteurs étant intervenus dans la CNL1 ont été prises en compte pour justifier du faible taux de données valides obtenus. Il n'est pas possible de recalculer des poids de sondage pour les données de la CNL2 en tenant compte des variables utilisées dans la campagne CNL1/ECOS-PM pour diminuer les incertitudes de comparaison. La comparaison est faite avec les poids tels qu'ils ont été calculés et apportant une part d'incertitude.

Tableau 40. Comparaison des limites de détection et de quantification des pesticides entre les deux campagnes de mesure CNL1/ECOS-PM et CNL2 (en ng/m³).

Campagne	CNL1 / ECOS-PM		CNL2	
Matrice	Fraction PM ₁₀		Air (gaz + fraction PM _{2,5})	
n (échantillons)	285		542	
N (parc)	24 672 136		28 492 452	
Pesticide	LD	LQ	LDM	LQM
cis_Chlordane	0,002	0,004	0,185	0,615
trans_Chlordane	0,002	0,004		
Diazinon	0,042	0,084	0,038	0,077
Dieldrine	0,004	0,008	0,092	0,308
Endrine	0,010	0,021	0,185	0,615
Chlorpyriphos-éthyl	0,042	0,084	0,018	0,062
Heptachlore	0,010	0,021	0,018	0,062
Lindane	0,002	0,004	0,083	0,083
Métolachlore	0,001	0,002	0,018	0,031
Oxadiazon	0,0004	0,001	0,009	0,031
Perméthrine	0,021	0,042	0,119	0,123

Le **Tableau 41** compare les fréquences de détection et de quantification entre les deux campagnes, ainsi que les concentrations médianes et 95^{ème} centiles observés à l'échelle du parc. Les LD et LQ les plus pénalisantes des deux campagnes sont prises en compte.

Tableau 41. Comparaison des fréquences de détection (>LD) et de quantification (>LQ), de la concentration médiane et du 95^{ème} centile entre les deux campagnes de mesure CNL1/ECOS-PM et CNL2 (en ng/m³). (champ : parc de résidences principales)

	CNL1 / ECOS-PM				CNL2			
	%>LD	%>LQ	P50	P95	%>LD	%>LQ	P50	P95
Chlordane	0%	0%	< LD	< LD	3,9%	1,9%	< LD	< LD
Chlorpyriphos-éthyl	9,5%	2,9%	< LD	< LQ	46,8%	24,4%	< LD	0,37
Diazinon	2,1%	1,0%	< LD	< LD	32,2%	27,3%	< LD	0,79
Dieldrine	1,1%	0%	< LD	< LD	29,2%	14,2%	< LD	0,87
Endrine	0%	0%	< LD	< LD	3,4%	0,5%	< LD	< LD
Heptachlore	0%	0%	< LD	< LD	12,0%	4,9%	< LD	< LQ
Lindane	2,8%	2,8%	< LD	< LD	96,8%	96,8%	0,93	10,2
Métolachlore	0%	0%	< LD	< LD	30,1%	14,8%	< LD	0,09
Oxadiazon	0,9%	0%	< LD	< LD	3,4%	1,4%	< LD	< LD
Perméthrine	30,0%	29,5%	< LD	1,85	54,9%	54,2%	0,14	2,44

Les fréquences de détection et de quantification de ces pesticides sont beaucoup plus faibles dans la campagne CNL1 / ECOS-PM que dans la CNL2, une fois les mêmes limites adoptées. Le lindane par exemple détecté dans près de 97 % des logements en CNL2 est détecté dans à

peine 3 % des logements en CNL1. La perméthrine détectée dans près de 55 % des logements de la CNL2 ne l'est que dans 30 % des logements de la CNL1. Un constat similaire peut être fait en comparant les 95^{ème} centiles de concentration souvent quantifiés en CNL2 et pratiquement toujours inférieure à la LD en CNL1.

Les fortes différences observées dans les résultats entre les deux campagnes tiennent au fait que la matrice de mesure n'est pas la même. Avec d'un côté, la campagne CNL1 / ECOS-PM qui n'a pris en compte que la phase particulaire des pesticides, mettant plutôt en évidence les substances les moins volatiles et de l'autre, la CNL2 qui a tenu compte également de la forme gazeuse des pesticides en plus de la phase particulaire. Blanchard et al. (2014) avait observé dans une même campagne qu'une part prépondérante du lindane se trouvait en phase gazeuse par rapport à la phase particulaire. A l'inverse, la perméthrine et le diazinon se trouvaient plus en phase particulaire. Alors que la dieldrine et le chlorpyrifos-éthyl se retrouvaient plus facilement dans les deux phases.

Les résultats des deux campagnes sont donc très différents, du fait qu'elles ne mesurent pas exactement la même chose. Les deux campagnes doivent être interprétées de façon indépendante.

12. COMPARAISON DES NIVEAUX DE CONCENTRATIONS DE LA CNL2 AVEC CEUX DE LA CNEP

À l'initiative de l'Anses, une campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant (CNEP) a été réalisée en collaboration avec les partenaires de la PPV, Atmo France (AASQA) et le Laboratoire central de la surveillance de la qualité de l'air / Institut national de l'environnement industriel et des risques (LCSQA/Ineris). La mise en œuvre de cette campagne avait pour objectif de réaliser des mesures de pesticides dans l'air ambiant sur un ensemble de sites répartis sur tout le territoire national, incluant les départements et régions d'Outre-mer (DROM), et sur une année complète. Cette campagne a permis d'optimiser le protocole de mesures en vue de la mise en place d'une surveillance nationale pérenne des pesticides dans l'air ambiant. Des travaux, réalisés par le LCSQA/Ineris et financés par l'Agence Française pour la Biodiversité par le biais du plan Ecophyto, ont permis de définir le protocole harmonisé pour la CNEP (LCSQA, 2018).

Les prélèvements sur le terrain ont ainsi été réalisés entre juin 2018 et juin 2019 sur 50 sites (métropole et DROM). L'exploitation de ces premières données de contamination collectées de manière homogène au niveau national (Métropole et DROM) a été réalisée par le LCSQA/Ineris avec l'appui d'Atmo France (Anses, 2020 ; LCSQA, 2020). Plus de 1800 échantillons ont été analysés par un seul laboratoire (Ianesco).

Le prélèvement des pesticides a été effectué grâce à des prélèvements hebdomadaires (7 jours soit 168 h) avec un préleveur bas volume (Partisol) dont le débit était de $1\text{m}^3/\text{h}$, avec une tête de prélèvement de coupure granulométrique $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}). La phase gazeuse et la phase particulaire des pesticides est collectée et analysée ensemble. Les pesticides sont extraits au solvant par ASE et analysés par GC-MS/MS ou LC-MS/MS selon les substances.

Sur une liste initiale de 90 pesticides, 75 substances (74 substances actives et un métabolite du glyphosate) ont été recherchées dans la CNEP. Parmi ces substances, 58 sont communes à celles mesurées dans le cadre de PestiLoge ([Tableau 42](#)).

Les 5 sites associés aux DROM ont été écartées de la comparaison. Pour la France métropolitaine, les 45 sites de mesures sont répartis sur les 13 régions (incluant la Corse). Chaque région compte entre 2 et 6 sites. Pour chaque site, les mesures sont répétées entre 11 et 34 fois sur la période. Les statistiques associées à la CNEP sont établies sur le nombre total de mesures disponibles pour chaque substance (mesures répétées x sites = 1269 données).

Les limites de détection et de quantification des deux campagnes sont très voisines malgré la différence de volume prélevé (environ 40 m^3 pour la CNL2 et autour de 160 m^3 pour la CNEP). Elles sont quasiment identiques pour 50 pesticides. L'écart le plus important est observé pour le lindane avec une LDM plus de 9 fois plus élevée dans la CNL2 du fait des niveaux résiduels dans les témoins. Cela reste sans conséquence au vu de la fréquence de détection très élevée de cette substance dans les logements. La LDM de la perméthrine et du triallate est trois fois plus élevée dans la CNL2, mais là encore ce sont deux substances qui sont détectés dans plus de 40 % des logements et l'impact reste faible. Les LDM de la bifenthrine, du métolachlore, de la pendiméthaline et du prosulfocarbe sont environ deux fois plus élevées que dans la CNEP,

dans l'ordre de grandeur des variations de volume de prélèvement. Pour l'étofenprox, la LDM atteinte dans la CNL2 est deux fois plus faible que celle de la CNEP. L'écart entre les limites de quantification des deux campagnes est encore plus resserré, avec au maximum un rapport de 3 pour le lindane sans conséquences sur la comparaison. De ce fait, les limites de détection et de quantification n'ont pas été ajustées entre les deux campagnes pour les besoins de la comparaison.

Les fréquences de détection (%FD) et de quantification (%FQ) ont été comparées entre les deux campagnes (cf. **Tableau 42** et **Figure 26**). Dans les deux campagnes, le lindane a été détecté dans plus de 90 % des prélèvements. Mais, la LD du lindane dans la CNEP était particulièrement faible. En ajustant la LD de la CNEP au niveau de la LDM CNL2 (0,084 ng/m³), la fréquence de détection tomberait à 23 %.

Parmi les 6 pesticides détectés dans plus de 60 % des logements :

- 5 d'entre eux sont détectés moins de 30 % du temps dans l'air ambiant (chlorprophame, pentachlorophénol, chlorpyriphos-éthyl, folpel et lindane après ajustement de la LD) ;
- La pendiméthaline est par contre encore plus souvent détectée dans l'air ambiant (près de 80 % du temps).

Cinq autres substances sont détectées plus de 30 % du temps en air ambiant :

- Le prosulfocarbe et le triallate présentent des fréquences de détection du même ordre (entre 40 % et 60 %) dans les logements et dans l'air ambiant ;
- Le métolachlore détecté plus de 50 % du temps en air ambiant n'est détecté que dans 30 % des logements ;
- Le propyzamide et le chlorpyriphos-méthyl détectés respectivement plus de 30 % et de 40 % du temps en air ambiant, ne sont que très peu détectés dans les logements (moins de 5 %).

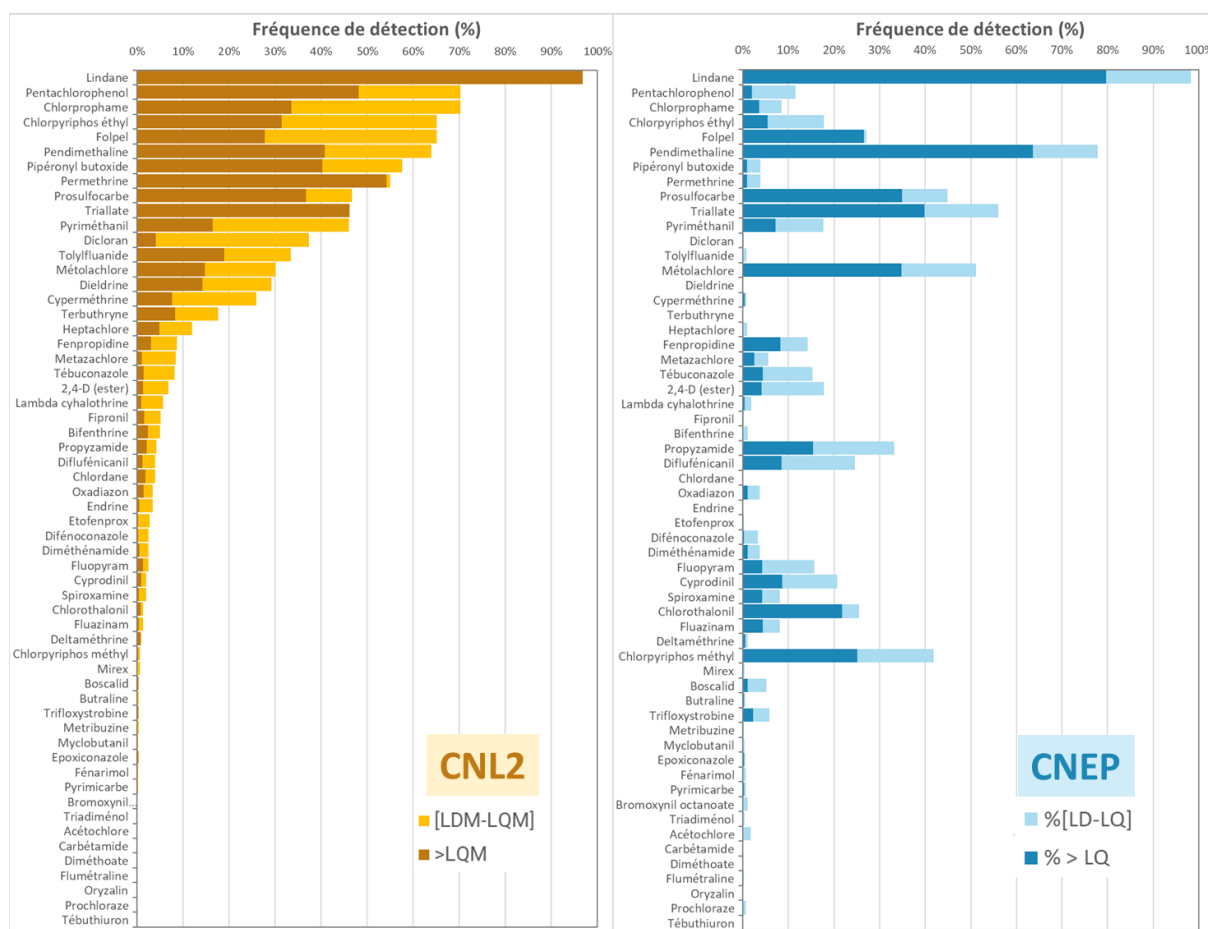


Figure 26. Fréquences de détection et de quantification des 58 pesticides mesurés dans l'air et communs aux campagnes CNL2 (2020-2023, parc de résidences principales) et CNEP (2018-2019, air ambiant France métropolitaine).

Quatorze pesticides sont détectés moins de 1 % du temps à la fois dans l'air ambiant et dans les logements, dont trois n'ont jamais été détectés (signalés par *) :

Butraline	Mirex (perchlordécone)
Carbétamide*	Myclobutanil
Diméthoate	Oryzalin*
Epoxiconazole	Prochloraze
Fénarimol	Pyrimicarbe
Flumétraline	Tébutiuron*
Métribuzine	Triadiménol

le 95^{ème} centile de distribution des concentrations en pesticides dans l'air a été comparé entre les deux campagnes (cf. **Figure 27** et valeurs dans le **Tableau 42**).

Cinq substances présentent un 95^{ème} centile de concentration en apparence beaucoup plus élevé dans les logements que dans l'air ambiant :

- Le lindane (CNL2 : 10,2 ng/m³ et CNEP : 0,14 ng/m³) ;
- Le pentachlorophénol (CNL2 : 5,8 ng/m³ et CNEP : 0,08 ng/m³) ;
- La perméthrine (CNL2 : 2,4 ng/m³ et CNEP : < 0,04 ng/m³) ;

- Le pipéronyl butoxide (CNL2 : 1,3 ng/m³ et CNEP : < 0,02 ng/m³) ;
- Le tolyfluanide (CNL2 : 1,2 ng/m³ et CNEP : < 0,04 ng/m³).

A l'inverse, six pesticides montrent un 95^{ème} centile de concentration en apparence beaucoup plus élevé dans l'air ambiant que dans les logements :

- Le prosulfocarbe (CNEP : 14,6 ng/m³ et CNL2 : 1,1 ng/m³) ;
- Le folpel (CNEP : 3,7 ng/m³ et CNL2 : 0,4 ng/m³) ;
- La pendiméthaline (CNEP : 3,4 ng/m³ et CNL2 : 0,4 ng/m³) ;
- Le chlorothalonil (CNEP : 1,8 ng/m³ et CNL2 : < 0,07 ng/m³) ;
- Le chlorpyrifos méthyl (CNEP : 0,8 ng/m³ et CNL2 : < 0,04 ng/m³) ;
- Le propyzamide (CNEP : 0,2 ng/m³ et CNL2 : < 0,02 ng/m³).

Le lindane présente une concentration médiane quantifiée dans les deux campagnes : 0,9 ng/m³ pour la CNL2 et 0,05 g/m³ pour la CNEP.

La perméthrine affiche une concentration médiane quantifiée de 0,14 ng/m³ dans la CNL2.

Pour la CNEP, la seule autre concentration médiane quantifiée est de 0,14 ng/m³ pour la pendiméthaline.

Aucune autre substance ne montre une concentration médiane quantifiée que ce soit dans la CNL2 ou dans la CNEP.

La comparaison entre les données de PestiLoge/CNL2 et la CNEP reste indicative. La représentativité temporelle diverge entre les deux études (distribution agrégée sur deux années dans différents logements d'une part et mesures répétées dans un nombre restreint de sites d'ambiant sur une année d'autre part).

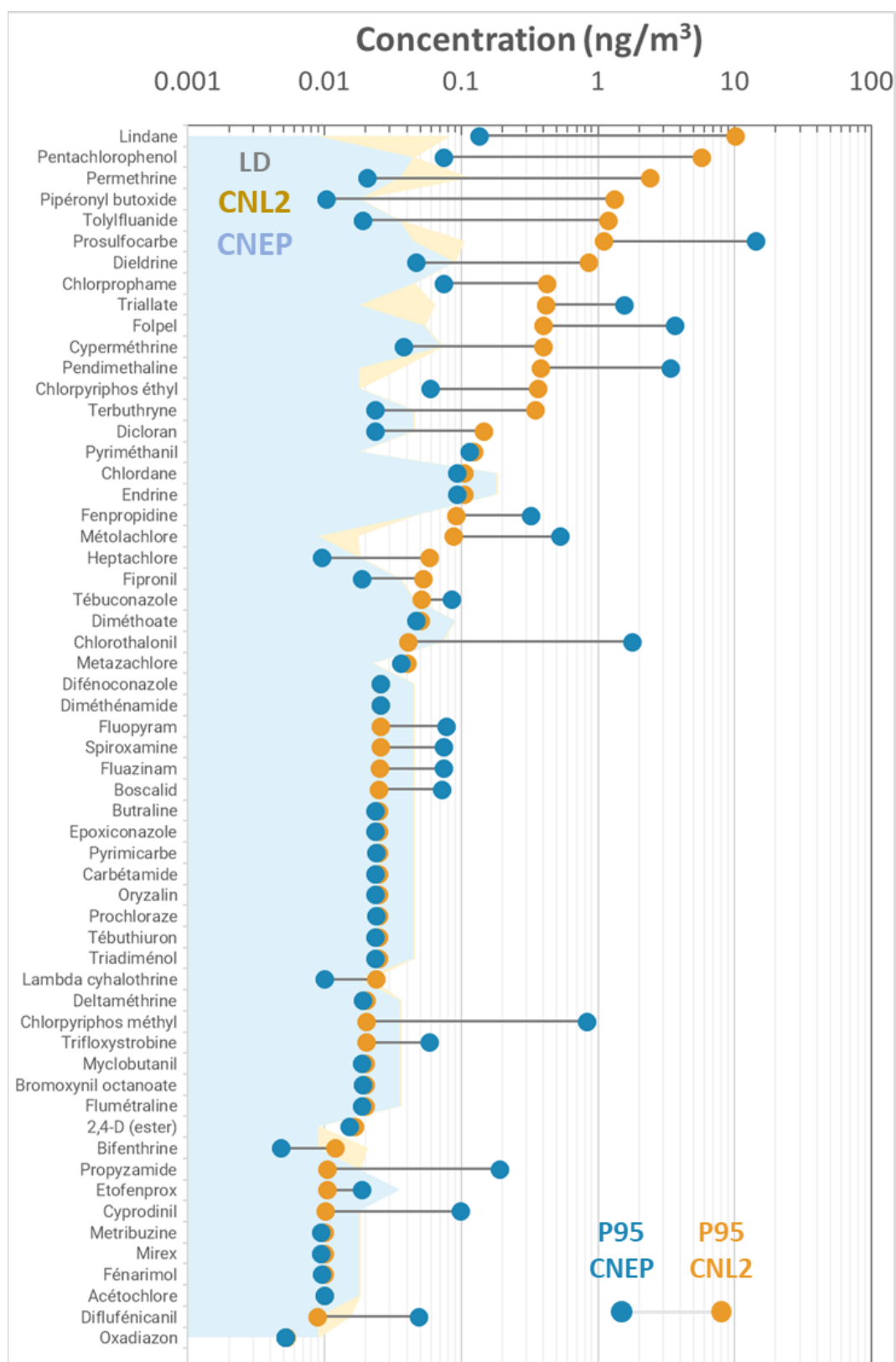


Figure 27. Comparaison du 95^{ème} centile de concentration des 58 pesticides mesurés dans l'air et communs aux campagnes CNL2 (2020-2023, parc de résidences principales) et CNEP (2018-2019, air ambiant France métropolitaine), échelle logarithmique. Le domaine <LD est représenté en bleu clair pour la CNEP et en jaune clair pour la CNL2.

Tableau 42. Comparaison des limites et fréquences de détection (%FD) et de quantification (%FQ), des centiles de distribution de concentration entre les campagnes CNL2 (2020 - 2023) et CNEP (2018 - 2019).

Pesticide	CNL2 (2020-2023)									CNEP (2018 – 2019) – France métropolitaine								
	Parc de résidences principales (N = 29 492 452)									Air ambiant (n = 1269)								
	LDM	LQM	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99	LD	LQ	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	0,009	0,031	6,9%	1,3%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,03	0,009	0,030	17,8%	4,1%	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,09
Acétochlore	0,018	0,062	0,0%	0,0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,018	0,060	1,7%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Bifenthrine	0,021	0,031	5,0%	2,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,09	0,009	0,030	1,1%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Boscalid	0,046	0,154	0,4%	0,3%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	5,2%	1,0%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,15
Bromoxynil octanoate	0,037	0,123	0,1%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	1,0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Butraline	0,046	0,154	0,4%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0,5%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Carbétamide	0,046	0,154	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Chlordane	0,185	0,615	3,9%	1,9%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,87	0,179	0,598	0,1%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Chlorothalonil	0,074	0,246	1,3%	0,7%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,072	0,239	25,5%	21,7%	<LD	<LQ	1,01	1,81	4,01
Chlorprophame	0,046	0,154	70,3%	33,6%	<LQ	0,20	0,33	0,43	1,53	0,045	0,149	8,4%	3,6%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,60
Chlorpyriphos éthyl	0,018	0,062	65,2%	31,5%	<LQ	0,08	0,26	0,37	4,67	0,018	0,060	17,7%	5,4%	<LD	<LD	<LQ	0,06	0,38
Chlorpyriphos méthyl	0,037	0,123	0,7%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	41,8%	25,1%	<LD	<LQ	0,44	0,84	2,58
Cyperméthrine	0,074	0,246	26,0%	7,6%	<LD	<LQ	<LQ	0,40	4,49	0,072	0,239	0,8%	0,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cyprodinil	0,018	0,062	2,0%	0,9%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,018	0,060	20,7%	8,6%	<LD	<LD	<LQ	0,10	0,38
Deltaméthrine	0,037	0,123	1,0%	0,8%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	1,1%	0,6%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Dicloran	0,046	0,154	37,4%	4,1%	<LD	<LQ	<LQ	<LQ	0,30	0,045	0,149	0,2%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Dieldrine	0,092	0,308	29,2%	14,2%	<LD	<LQ	0,43	0,87	1,40	0,090	0,299	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Difénoconazole	0,046	0,154	2,5%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,045	0,149	3,3%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Diflufénicanil	0,016	0,031	4,0%	1,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,009	0,030	24,5%	8,4%	<LD	<LD	<LQ	0,05	0,15
Diméthénamide	0,046	0,154	2,5%	0,5%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,045	0,149	3,7%	1,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,18
Diméthoate	0,092	0,308	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,090	0,299	0,1%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Endrine	0,185	0,615	3,4%	0,5%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,179	0,598	0,1%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Epoxiconazole	0,046	0,154	0,2%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0,6%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Étofenprox	0,018	0,062	2,8%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,036	0,120	0,3%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Pesticide	CNL2 (2020-2023)									CNEP (2018 – 2019) – France métropolitaine								
	Parc de résidences principales (N = 29 492 452)									Air ambiant (n = 1269)								
	LDM	LQM	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99	LD	LQ	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99
Fénarimol	0,018	0,062	0,2%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,018	0,060	0,7%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fenpropidine	0,046	0,154	8,7%	3,0%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,48	0,045	0,149	14,3%	8,2%	<LD	<LD	<LQ	0,33	3,42
Fipronil	0,037	0,123	5,1%	1,6%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,15	0,036	0,120	0,2%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fluazinam	0,046	0,154	1,3%	0,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,045	0,149	8,0%	4,3%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,83
Flumétraline	0,037	0,123	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	0,2%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Fluopyram	0,046	0,154	2,5%	1,3%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,25	0,045	0,149	15,7%	4,3%	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,46
Folpel	0,055	0,185	65,2%	27,7%	<LQ	0,20	0,31	0,41	0,98	0,054	0,179	27,0%	26,6%	<LD	0,22	1,54	3,73	19,05
Heptachlore	0,018	0,062	12,0%	4,9%	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,25	0,018	0,060	0,9%	0,2%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Lambda cyhalothrine	0,022	0,062	5,6%	0,9%	<LD	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,018	0,060	1,8%	0,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Lindane	0,083	0,083	96,8%	96,8%	0,93	2,44	6,00	10,24	35,14	0,009	0,030	98,3%	79,7%	0,05	0,08	0,11	0,14	0,22
Metazachlore	0,023	0,077	8,4%	1,1%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,09	0,022	0,075	5,5%	2,5%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,13
Métolachlore	0,018	0,031	30,1%	14,8%	<LD	<LQ	0,06	0,09	0,26	0,009	0,030	51,1%	34,8%	<LQ	0,08	0,30	0,54	2,50
Metribuzine	0,018	0,062	0,4%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,018	0,060	0,3%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Mirex	0,018	0,062	0,6%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,018	0,060	0,4%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Myclobutanil	0,037	0,123	0,3%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	0,4%	0,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Oryzalin	0,046	0,154	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Oxadiazon	0,009	0,031	3,4%	1,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,04	0,009	0,030	3,7%	1,0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Pendiméthaline	0,037	0,062	63,9%	40,8%	<LQ	0,10	0,24	0,38	0,82	0,018	0,060	77,8%	63,7%	0,14	0,50	1,82	3,43	9,13
Pentachlorophénol	0,046	0,154	70,3%	48,1%	<LQ	0,79	2,47	5,78	19,41	0,045	0,149	11,5%	2,0%	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,20
Perméthrine	0,119	0,123	54,9%	54,2%	0,14	0,39	1,65	2,44	4,48	0,036	0,120	3,8%	0,9%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ
Pipéronyl butoxide	0,018	0,062	57,6%	40,2%	<LQ	0,21	0,47	1,35	2,60	0,018	0,060	3,9%	0,9%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,06
Prochloraze	0,046	0,154	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0,6%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Propyzamide	0,018	0,062	4,2%	2,1%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,12	0,018	0,060	33,2%	15,4%	<LD	<LQ	0,10	0,19	0,60
Prosulfocarbe	0,107	0,154	46,7%	36,7%	<LD	0,24	0,62	1,13	3,76	0,045	0,149	44,9%	34,9%	<LD	0,54	5,95	14,56	59,15
Pyriméthanil	0,018	0,062	46,1%	16,4%	<LD	<LQ	0,09	0,13	0,32	0,018	0,060	17,7%	7,2%	<LD	<LD	<LQ	0,12	1,31
Pyrimicarbe	0,046	0,154	0,2%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0,7%	0,3%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Pesticide	CNL2 (2020-2023)									CNEP (2018 – 2019) – France métropolitaine								
	Parc de résidences principales (N = 29 492 452)									Air ambiant (n = 1269)								
	LDM	LQM	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99	LD	LQ	%FD	%FQ	P50	P75	P90	P95	P99
Spiroxamine	0,046	0,154	2,0%	0,4%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,045	0,149	8,0%	4,3%	<LD	<LD	<LD	<LQ	1,74
Tébuconazole	0,046	0,154	8,1%	1,5%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,17	0,045	0,149	15,2%	4,3%	<LD	<LD	<LQ	<LQ	0,29
Tébutiuron	0,046	0,154	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Terbuthryne	0,046	0,154	17,6%	8,2%	<LD	<LD	<LQ	0,35	3,98	0,045	0,149	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Tolyfluanide	0,037	0,123	33,4%	19,0%	<LD	<LQ	0,37	1,20	8,13	0,036	0,120	0,8%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Triadiménol	0,046	0,154	0%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,045	0,149	0,4%	0%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Triallate	0,065	0,065	46,2%	46,2%	<LD	0,14	0,31	0,42	0,88	0,018	0,060	56,0%	39,9%	<LQ	0,21	0,82	1,57	4,18
Trifloxystrobine	0,037	0,123	0,4%	0,3%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,036	0,120	5,8%	2,2%	<LD	<LD	<LD	<LQ	0,24

LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; LD : limite de détection de la CNEP (moyenne) ; LQ : limite de quantification de la CNEP (moyenne) ; %FD : fréquence de détection (%) ; %FQ : fréquence de quantification (%) ; P50 à P99 : 50^{ème} au 99^{ème} centile de distribution des concentrations. Les valeurs de LD, LQ, LDM, LQM et P50 à P99 sont exprimées en ng/m³. En **gras** : valeurs supérieures à la limite de détection. **Substance en gras** : substance avec au moins une valeur quantifiée dans l'une des deux campagnes.

13. CONCLUSION

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) présente les résultats de mesure des pesticides dans le cadre de la deuxième campagne nationale sur la qualité de l'air dans les logements en France (CNL2). Elle couvre la période de novembre 2020 à février 2023. La campagne associe des mesures de qualité de l'air au domicile des participants sur une semaine de 7 jours à une enquête sur les caractéristiques des logements, des ménages et des équipements présents, complétée par la fréquence des activités domestiques et la perception des occupants sur leur confort. Le recueil d'un auto-questionnaire relatif à la santé respiratoire et allergique des occupants pour exploitation par Santé publique France clôture l'enquête.

Les pesticides mesurés ont été sélectionnés à partir de travaux de hiérarchisation menés par l'Anses en tenant compte de la faisabilité métrologique. Un marché public a permis d'identifier un laboratoire au niveau national capable d'analyser 81 pesticides.

L'échantillonnage des logements enquêtés a été réalisé sur la base des 14 192 participants à l'enquête EHIS au niveau de la métropole, parmi lesquels 13 474 ont répondu à une question relative à l'autorisation de transmission de leurs coordonnées en vue d'obtenir plus de détails sur la CNL2. Sur cette base et après consolidation, les coordonnées de 3 667 foyers désireux d'en savoir plus ont été communiquées au prestataire en charge du recrutement de la CNL2. Toutes les adresses ont été contactées. Après quelques relances, 750 accords de consentement à participer à la CNL2 ont été reçus. A la fin du terrain de l'enquête, 571 logements ont été enquêtés en deux vagues (de novembre 2020 à décembre 2021 et de janvier 2022 à février 2023). Un total de 1516 individus a répondu aux questions de l'enquête. Les logements enquêtés sont répartis dans 321 communes et 84 départements.

Un redressement en trois étapes, suivi d'un calage sur marge, a conduit à l'élaboration d'un jeu de pondération qui permet d'exprimer les résultats observés à l'échelle du parc de 29,7 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

Les logements enquêtés représentent pour près de 56 % des maisons individuelles. Près de 60 % des logements disposent d'un jardin ou d'un espace privatif. Un peu plus de 32 % des logements sont situés à proximité d'une zone de culture ou d'un jardin public. D'autres caractéristiques du logement ou du ménage sont également décrites. Les usages de produits pesticides sur l'année écoulée sont fournis, avec 29 % et 16 % des foyers ayant déclaré avoir utilisé au moins un produit respectivement en intérieur ou en extérieur. Seulement 13 % des foyers ont indiqué un usage de produits pesticides durant la semaine d'enquête. D'autres caractéristiques d'usages potentiellement en lien avec la concentration de pesticides dans l'air sont également décrites comme la présence d'animaux domestiques, de nuisibles ou encore des activités de tabagisme et de fréquences de nettoyage entre autres. Le temps passé dans le logement a également été estimé à un peu plus de 17 heures en moyenne par jour pour un individu.

L'état de la qualité de l'air intérieur des logements s'exprime sous la forme de distributions statistiques montrant, pour chaque pesticide, la répartition des logements en fonction des concentrations mesurées.

Sur les 81 pesticides recherchés, dix d'entre eux n'ont jamais été détectés dans les logements. Quatre pesticides, dont deux insecticides et deux insectifuges (DEET, icaridine, lindane et transfluthrine) sont détectés dans plus de 80 % des logements. Cinq substances sont

quantifiées dans plus de 50 % des logements en comptant les quatre pesticides précédant auxquels vient s'ajouter la perméthrine. Le fongicide le plus courant est le folpel détecté dans plus de 60 % des logements. Pour les herbicides, c'est le chlorprophame qui est le plus fréquent (70 % des logements). Trente-sept pesticides ne sont que très rarement détectés (dans moins de 5 % des logements). Dans 5 % des logements, les concentrations de certains pesticides dépassent 1 voire même 10 ng/m³.

Pour près de 95 % des logements, la concentration d'au moins un pesticide est jugée élevée (sur la base du dépassement du 75^{ème} centile). Un seul logement (0,15 % du parc) présente des concentrations faibles pour l'ensemble des pesticides recherchés.

De fortes corrélations sont observées entre les trois herbicides pendiméthaline, prosulfocarbe et triallate, entre les deux insecticides lindane et pentachlorophénol et entre les deux insectifuges DEET et icaridine.

Des premiers croisements des concentrations mesurées avec certaines caractéristiques des logements ou des foyers ont mis en évidence une association entre le type de logement et les niveaux de concentrations dans l'air de certains pesticides. La proximité d'une zone de culture n'a fait ressortir qu'une seule association avec le métolachlore. Le croisement avec les données d'usage sur l'année écoulée ou durant la semaine n'ont pas fait ressortir d'associations significatives. Par contre, des tendances saisonnières ont pu être observées au travers de la variation mensuelle des niveaux pris globalement. Ces premières observations restent indicatives et nécessitent d'être approfondies par une démarche faisant intervenir plusieurs facteurs. Les associations observées sont d'ordre statistiques sans avoir forcément un lien de causalité.

Une comparaison des concentrations de 10 pesticides mesurées dans l'air et communs aux campagnes CNL2 / PestiLoge et CNL1 (projet ECOS-PM) a été réalisée. De fortes différences sont observées dans les résultats entre les deux campagnes qui tiennent surtout au fait que la matrice de mesure n'est pas la même. En effet, pour la CNL1 (projet ECOS PM), les pesticides ont été mesurés dans la phase particulaire uniquement à partir des filtres de particules collectés et sans prendre en compte la phase gazeuse. Les deux campagnes ne peuvent donc pas être comparées et doivent être interprétées de façon indépendante.

Enfin, une comparaison des niveaux de pesticides observés dans les logements avec les niveaux mesurés dans l'air ambiant dans le cadre de la CNEP (2018-2019) a pu être menée sur les 58 pesticides en commun. Cinq pesticides parmi les plus fréquemment détectés dans les logements, le sont beaucoup moins dans l'air ambiant (chlorprophame, pentachlorophénol, chlorpyriphos-éthyl, folpel et lindane). Inversement, la pendiméthaline, le métolachlore, le propyzamide et le chlorpyriphos-méthyl sont fréquemment détectés en air ambiant, mais plus rarement dans les logements. Cinq substances présentent un 95^{ème} centile de concentration environ 100 fois plus élevé dans les logements que dans l'air ambiant : lindane, pentachlorophénol, perméthrine, pipéronyl butoxide et tolyfluanide. A l'inverse, six pesticides montrent un 95^{ème} centile de concentration entre 10 et 50 fois plus élevé dans l'air ambiant que dans les logements : prosulfocarbe, folpel, pendiméthaline, chlorothalonil, chlorpyriphos-méthyl et propyzamide.

Les premiers résultats présentés dans ce rapport ont été complétés par les niveaux de concentration en pesticides mesurés dans les poussières des logements (rapport associé Ramalho et al., 2025c).

Un rapport individuel a été transmis à chacun des participants mentionnant le résultat mesuré dans leur logement, leur positionnement par rapport à des valeurs de référence quand elles existent et par rapport à la valeur médiane observée dans l'échantillon de logements.

Les pistes d'exploitation de ces données sont nombreuses, notamment :

- **Une étude plus détaillée des produits pesticides utilisés dans les logements** : un inventaire des produits pesticides les plus couramment utilisés sur l'année a été effectué lors de l'enquête de la CNL2 en recueillant le nom et des photographies des produits (325 produits référencés dont 233 photographiés). Un inventaire similaire est disponible couvrant les usages sur la semaine avec 95 produits référencés dont 58 photographiés. Un traitement conjoint de l'ensemble de ces informations serait nécessaire pour récupérer la composition des produits pesticides utilisés et les associer aux différents logements enquêtés. Cela nécessite un travail conséquent d'analyse des photos transmises pour transcrire les informations utiles contenues dans les images en données numériques exploitables (caractéristiques du produit, n° AMM, composition). Pour certains produits, il devra être complété par une recherche d'informations manquantes dans des bases de données (E-Phy notamment), fiches de sécurité ou directement sur le web. La connaissance des substances utilisées, permettrait d'une part d'apporter de la connaissance supplémentaire sur de potentiels pesticides non mesurés lors de l'enquête et d'autre part d'établir un lien plus étroit entre l'utilisation de produits et les concentrations mesurées. Une comparaison avec l'étude Pesti'home pourrait venir compléter ce volet ;
- **Une étude plus approfondie du lien entre la proximité d'une zone de culture selon son type avec les concentrations de pesticides mesurés dans l'air** : le type de culture serait renseigné de manière plus détaillée selon l'occupation des sols à proximité des bâtiments enquêtés et serait croisé avec les données mesurées ;
- **Une exploitation plus poussée des liens entre les concentrations de pesticides dans l'air et les caractéristiques des logements, des foyers et de leurs usages** ;
- **Une exploitation plus détaillée des tendances saisonnières observées en lien avec celles observées dans l'air ambiant et les calendriers de traitement** ;
- **Une étude des liens entre l'usage réglementaire des substances et les niveaux de concentration observés** ;
- **Une classification des logements par niveau de co-occurrence des pesticides dans les logements** (multipollution en pesticides des logements) avec description des groupes identifiées selon les caractéristiques de ces logements et des usages de produits pesticides ;
- **Une recherche des corrélations entre les pesticides et d'autres polluants de l'air intérieur** mesurés dans le cadre de la CNL2 ;
- Une comparaison des concentrations dans l'air des logements avec les données disponibles dans l'air ambiant de la base de Phytatmo rapprochées à la fois spatialement et temporellement (à la fois sur la période couverte novembre 2020 à février 2023 et sur la semaine ou à défaut le mois de mesure).

14. REFERENCES

- AFNOR (2007). XP X43-058. Air ambiant - Dosage des substances phytosanitaires (pesticides) dans l'air ambiant – prélèvement actif, septembre 2007. 19 p.
- AFNOR (2007). XP X43-059. Air ambiant - Dosage des substances phytosanitaires (pesticides) dans l'air ambiant – Préparation des supports de collecte – Analyse par méthodes chromatographiques, septembre 2007. 37 p.
- Anses (2010). Exposition de la population générale aux résidus de pesticides en France. Synthèse et recommandations du comité d'orientation et de prospective scientifique de l'observatoire des résidus de pesticides (ORP). Rapport scientifique. 365 p.
- Anses (2020). Campagne nationale exploratoire des pesticides dans l'air ambiant. Premières interprétations sanitaires. Rapport. Juin 2020. 152 p.
- Blanchard O., Glorennec P., Mercier F., Bonvallot N., Chevrier C., Ramalho O., Mandin C., Le Bot B. (2014), Semi-volatile organic compounds in indoor air and settled dust in 30 French dwellings, *Environmental Science & Technology*, 48(7), 3959-3969.
- Deroyon, T. (2017). *La correction de la non-réponse par repondération*.
- Dunn, O. J. (1961). Multiple Comparisons among Means. *Journal of the American Statistical Association*, 56(293), 52-64. <https://doi.org/10.1080/01621459.1961.10482090>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583-621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
- LCSQA (2018). Protocole harmonisé pour la campagne nationale exploratoire de surveillance des pesticides dans l'air ambiant. Juillet 2018. 54 p.
- LCSQA (2020). Résultats de la Campagne Nationale Exploratoire de mesure des résidus de Pesticides dans l'air ambiant (2018-2019). Juin 2020. 535 p.
- Leduc, A., Deroyon, T., Rochereau, T., & Renaud, A. (2021). *Premiers résultats de l'enquête santé européenne (EHIS) 2019*.
- Mandin, C., Mercier, F., Ramalho, O., Lucas, J.-P., Gilles, E., Blanchard, O., Bonvallot, N., Glorennec, P., & Le Bot, B. (2016). Semi-volatile organic compounds in the particulate phase in dwellings: A nationwide survey in France. *Atmospheric Environment*, 136, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.04.016>
- Ramalho O., Dassonville C., Gregoire A., Sivanantham S., Lafaurie E., Rueda Lopez M.J., Bonnet P., Desvignes V., Samri D. (2025). Campagne Nationale Logements 2 : Etat de la qualité de l'air dans les logements en France métropolitaine (novembre 2020 – février 2023). Partie 1 : COV, COSV, NO₂ et Radon. Rapport final SC-QEI-2024-157, février 2025, 307 pages.
- Ramalho O., Dassonville C., Grégoire A., Sivanantham S., Lafaurie E., Rueda Lopez M.J., Desvignes V., Samri D. (2025b). PestiLoge - Mesure des pesticides dans l'air et les poussières dans le cadre de la campagne nationale logements 2 – Volet Poussières. Rapport final SC-QEI-2025-039, mars 2025, 142 pages.

Ramalho O., Dassonville C., Schneider I. & Mandin C. (2021). Projet RIVERAINS : étude de faisabilité de la mesure dans les milieux intérieurs des substances actives jugées prioritaires dans le cadre de la future étude sur l'exposition des riverains des zones agricoles aux substances phytopharmaceutiques, convention de recherche et développement ANSES/CSTB n° 2018-CRD-19_PPV18, Rapport final CSTB-DSC-OBS / 2021-026, mars 2021, 117 p.

Ramalho O., Schneider I. & Mandin C. (2020). Projet POPEI : phytopharmaceutiques dans l'environnement intérieur, convention de recherche et développement ANSES/CSTB n° 2017-CRD-16_PPV17, rapport final CSTB-DSC-OBS / 2020-213, septembre 2020, 157 p.

ANNEXE 1 - Assurance qualité

Tests de conservation des extraits sur 3 et 6 mois

Tableau 43. Tests de conservation des extraits sur 3 et 6 mois

Molécule	Durée de conservation de l'extrait (mois)	RDT% (après x mois)	CV%	n	RDT% d'un extrait de mousse dopée conservée 3 mois (n = 1)	RDT% solutions étalons stockées 3 mois (LC) ou 6 mois (GC)	RDT% initial	CV% initial
2,4 D (ester de 2-éthylhexyle)	5	87	14	9	-	85	95	13
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	non présent				89	91	82	24
Acétamipride	non présent				56	91	75	15
Acétochlore	6	95	14	11	-	89	81	14
Bifenthrine	6	100	12	11	-	86	93	11
Boscalid	3	87	4	8	-	89	98	15
Bromoxynil octanoate	6	95	23	9	-	96	87	13
Butraline	6	89	12	11	-	94	83	13
Carbaryl	non présent				139	92	106	6
Carbétamide	3	95	2	8	-	93	93	12
Chlordane	6	84	17	11	-	107	68	20
Chlorothalonil	6	102	34	12	-	101	73	23
Chlorprophame	3	109	8	8	-	104	93	21
Chlorpyrifos éthyl	3	100	4	8	-	94	88	16
Chlorpyrifos méthyl	3	102	27	8	-	92	85	19
Cyazofamide	non présent				119	127	103	19
Cyfluthrine (Béta)	non présent				125	103	117	19
Cymoxanil	non testé						118	90
Cyperméthrine	3	103	18	9	-	102	110	23
Cyprodinil	6	96	18	10	-	94	96	13
DEET	non présent				70	95	61	12
Deltaméthrine	3	83	8	8	-	107	97	14
Diazinon	non présent				108	100	100	12
Dichlorprop	non présent				86	102	90	9
Dicloran	6	76	14	11	-	93	87	14
Dicofol	non présent				118	124	120	16
Dieldrine	3	104	12	8	-	88	93	16
Difénoconazole	3	99	3	8	-	92	102	15
Diflufenicanil	3	80	11	8	102	77	101	21
Diméthénamide	3	94	4	8	-	87	83	18
Diméthoate	3	126	26	8	-	94	100	21

Molécule	Durée de conservation de l'extrait (mois)	RDT% (après x mois)	CV%	n	RDT% d'un extrait de mousse dopée conservée 3 mois (n = 1)	RDT% solutions étalons stockées 3 mois (LC) ou 6 mois (GC)	RDT% initial	CV% initial
Diméthomorphe	non présent				74	90	88	21
Endrine	6	99	18	11	-	90	98	20
Epoxiconazole	3	98	2	8	-	91	103	15
Etofenprox	6	80	22	11	-	98	90	8
Fénarimol	6	87	12	11	-	92	88	17
Fenpropidine	3	55	25	8	-	100	82	36
Fipronil	3	79	28	8	-	90	88	20
Fluazinam	3	115	13	8	-	97	88	24
Flumétraline	6	99	6	11	-	90	86	13
Fluopyram	3	87	4	8	-	94	87	9
Folpel	5	76	12	6	95	82	100	28
Heptachlore	6	104	26	11	-	93	83	17
Icaridine	non présent				77	93	77	7
Imidaclopride	non présent				66	92	83	28
Kresoxim-methyl	non présent				116	94	107	29
Lambda cyhalothrine	3	105	12	8	-	102	114	19
Lindane	6	94	20	13	-	95	85	15
Malathion	non présent				78	86	102	9
Métazachlore	5	80	11	9	-	95	93	9
Métolachlore	6	87	17	12	-	102	85	14
Métribuzine	3	108	6	8	-	90	91	18
Mirex	6	88	10	11	-	113	96	6
Myclobutanil	3	92	6	8	-	99	94	17
Oryzalin	3	89	5	8	-	100	90	16
Oxadiazon	3	104	6	8	-	97	101	21
Pendiméthaline	non présent				108	107	91	23
Pentachlorophénol	3	90	13	6	-	102	76	27
Perméthrine	5	111	21	9	-	100	100	11
Pipéronyl butoxide (PBO)	3	94	14	8	-	98	97	16
Prochloraze	3	100	3	8	-	94	99	13
Propiconazole	non présent				114	100	95	21
Propyzamide	3	85	5	8	-	95	89	11
Prosulfocarbe	6	101	16	9	-	99	80	17
Pyriméthanil	3	96	23	8	-	91	86	13
Pyrimicarbe	3	83	5	8	-	95	82	8
Pyriproxyfène	non présent				139	99	88	9
Quinoxyfen	non présent				105	93	97	16
Spiroxamine	3	43	40	8	-	101	63	53

Molécule	Durée de conservation de l'extrait (mois)	RDT% (après x mois)	CV%	n	RDT% d'un extrait de mousse dopée conservée 3 mois (n = 1)	RDT% solutions étalons stockées 3 mois (LC) ou 6 mois (GC)	RDT% initial	CV% initial
Tau-fluvalinate	non présent				122	105	119	31
Tébuconazole	3	97	3	8	-	98	102	19
Tébutiuron	3	92	2	8	-	94	93	10
Terbutryne	3	94	1	8	-	93	91	11
Thiaclopride	non présent				62	92	78	11
Tolyfluanide	3	83	22	8	-	95	89	14
Transfluthrine	non présent				97	89	98	14
Triadiménol	3	98	5	8	-	96	98	12
Triallate	6	90	9	10	-	91	78	22
Triclopyr (ester de butyl glycol)	non présent				118	96	104	13
Trifloxystrobine	3	122	16	8	-	96	110	18
Triticonazole	non présent				111	95	96	14

RDT% : rendement en % ou taux de recouvrement ; CV% : coefficient de variation du rendement en % ; n : nombre de tests réalisés dans le cadre de la CNEP 2018-2019.

55 : valeur de rendement en % non conforme (< 60 % ou > 120 %) ;

23 : coefficient de variation du rendement élevé (> 30 %)

Carbaryl : substance dont le rendement a varié dans l'extrait conservé plusieurs mois au-delà de l'incertitude initiale (2 x CV %), indépendamment de la conformité ou non du rendement.

ANNEXE 2 - Autres valeurs de distribution des pesticides mesurés dans l'air intérieur

Fongicides

Tableau 44. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 26 fongicides mesurés dans le séjour du logement

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Difénoconazole	119446-68-3	0,026	0,016	0,022	0,022	0,026
Myclobutanil	88671-89-0	0,019	0,0031	0,017	0,017	0,02
Propiconazole	60207-90-1	0,064	0,22	0,022	0,022	0,24
Tébuconazole	107534-96-3	0,04	0,23	0,022	0,022	0,052
Triadiménol	55219-65-3	0,023	0,0037	0,022	0,022	0,025
Boscalid	188425-85-6	0,025	0,037	0,022	0,022	0,025
Cyazofamide	120116-88-3	0,023	0,0013	0,022	0,022	0,025
Prochloraze	67747-09-5	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025
Tolyfluanide	731-27-1	0,36	2,55	0,017	0,018	1,2
Cyprodinil	121552-61-2	0,011	0,015	0,0086	0,0087	0,01
Fénarimol	60168-88-9	0,0093	8e-04	0,0086	0,0087	0,01
Fluazinam	79622-59-6	0,024	0,011	0,022	0,022	0,026
Pyriméthanil	53112-28-0	0,04	0,078	0,0087	0,0089	0,13
Cymoxani	57966-95-7	0,033	0,11	0,022	0,022	0,026
Folpel	133-07-3	0,15	0,26	0,027	0,027	0,41
Dimetomorphe	110488-70-5	0,026	0,061	0,022	0,022	0,025
Chlorothalonil	1897-45-6	0,042	0,059	0,034	0,035	0,041
Kresoxim-methyl	143390-89-0	0,01	0,0047	0,0086	0,0087	0,011
Dicloran	99-30-9	0,052	0,068	0,022	0,022	0,15
Epoxiconazole	133855-98-8	0,024	0,011	0,022	0,022	0,025
Fenpropidine	67306-00-7	0,048	0,3	0,022	0,022	0,094
Fluopyram	658066-35-4	0,027	0,035	0,022	0,022	0,026
Quinoxifen	124495-18-7	0,0047	0,0014	0,0043	0,0044	0,0051
Spiroxamine	118134-30-8	0,028	0,052	0,022	0,022	0,026

Fongicide (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Trifloxystrobine	141517-21-7	0,019	0,0066	0,017	0,017	0,02
Triticonazole	131983-72-7	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025

ET : écart type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile.

Herbicides

Tableau 45. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 herbicides mesurés dans le séjour du logement

Herbicide (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8 (163515-14-8)	0,026	0,024	0,022	0,022	0,026
Propyzamide	23950-58-5	0,013	0,026	0,0086	0,0087	0,011
Acétochlore	34256-82-1	0,0092	5e-04	0,0086	0,0087	0,01
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2 (87392-12-9)	0,026	0,06	0,0083	0,0084	0,088
Carbétamide	16118-49-3	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025
Chlorprophame	101-21-3	0,17	0,25	0,022	0,023	0,43
Oryzalin	19044-88-3	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025
Pendiméthaline (Pénoxaline)	40487-42-1	0,11	0,25	0,018	0,018	0,38
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	0,0062	0,011	0,0043	0,0044	0,017
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	0,012	0,023	0,0086	0,0087	0,011
Diflufénicanil	83164-33-4	0,0093	0,013	0,0073	0,0074	0,009
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	0,0096	0,0037	0,0086	0,0087	0,01
Prosulfocarbe	52888-80-9	0,34	1,35	0,05	0,052	1,13
Triallate	2303-17-5	0,12	0,17	0,031	0,032	0,42
Metazachlore	67129-08-2	0,015	0,016	0,011	0,011	0,041
Terbutryne	886-50-0	0,13	0,75	0,022	0,022	0,35
Metribuzine	21087-64-9	0,0093	0,0014	0,0086	0,0087	0,01
Tébutiuron	34014-18-1	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	0,018	0,0023	0,017	0,017	0,02
Oxadiazon	1966630-9	0,0057	0,0099	0,0043	0,0044	0,0053

ET : écart type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile.

Insecticides

Tableau 46. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 28 insecticides mesurés dans le séjour du logement

Insecticide (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Chlordane	57-74-9	0,13	0,39	0,086	0,087	0,11
Dieldrine	60-57-1	0,19	0,78	0,043	0,044	0,87
Endrine	72-20-8	0,11	0,16	0,086	0,087	0,11
Heptachlore	76-44-8	0,019	0,047	0,0086	0,0087	0,06
Lindane	58-89-9	3,48	14,4	0,16	0,21	10,2
Mirex	2385-85-5	0,0094	0,0018	0,0086	0,0087	0,01
Pentachlorophénol (forme phénol)	87-86-5	1,22	4,52	0,022	0,023	5,78
Bifenthrine	82657-04-3	0,013	0,019	0,0096	0,0098	0,012
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	0,028	0,0015	0,026	0,026	0,03
Cyperméthrine (alpha+béta+théta+zéta)	52315-07-8	0,16	0,59	0,034	0,035	0,4
Deltaméthrine	52918-63-5	0,02	0,021	0,017	0,017	0,02
Etofenprox	80844-07-1	0,01	0,0047	0,0086	0,0087	0,011
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	0,013	0,013	0,01	0,01	0,024
Perméthrine	52645-53-1	0,5	1,02	0,056	0,057	2,44
Tau-fluvalinate	102851-06-9	0,023	0,0012	0,022	0,022	0,025
Transfluthrine	118712-89-3	1,21	14,3	0,012	0,025	3,27
Chlorpyrifos éthyl	2921-88-2	0,18	1,09	0,0089	0,0091	0,37
Chlorpyrifos méthyl	5598-13-0	0,022	0,093	0,017	0,017	0,02
Diazinon	333-41-5	2,5	25,4	0,018	0,018	0,79
Diméthoate	60-51-5	0,046	0,0024	0,043	0,044	0,051
Malathion	121-75-5	0,012	0,0062	0,01	0,011	0,012
Acétamipride (Isomères Z + E)	160430-64-8	0,023	0,0017	0,022	0,022	0,025
Imidaclopride	138261-41-3	0,067	0,45	0,022	0,022	0,068
Thiaclopride	111988-49-9	0,023	0,0039	0,022	0,022	0,025
Carbaryl	63-25-2	0,14	0,22	0,053	0,054	0,55
Pyrimicarbe	23103-98-2	0,023	0,0019	0,022	0,022	0,025
Dicofol	115-32-2	0,1	1,06	0,043	0,044	0,25
Fipronil	120068-37-3	0,031	0,17	0,017	0,018	0,054

ET : écart type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile.

Autres pesticides

Tableau 47. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de la concentration des autres pesticides mesurés dans le séjour du logement

Pesticide synergique (ng/m³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Butraline	33629-47-9	0,023	0,0032	0,022	0,022	0,025
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	17,9	183	0,3	0,43	42,7
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle)	79270-78-3	0,012	0,028	0,0086	0,0087	0,034
Flumétraline	62924-70-3	0,018	0,001	0,017	0,017	0,02
Icaridine	119515-38-7	11,4	44,9	0,086	0,087	76,3
Pipéronyl butoxide	51-03-6	0,42	5,98	0,0088	0,009	1,35
Pyriproxifène	95737-68-1	0,012	0,018	0,0086	0,0087	0,027

ET : écart type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile.



Siège social

84, avenue Jean Jaurès
Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée cedex 2
www.cstb.fr