



**Observatoire de la qualité
des environnements intérieurs**

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

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

7 juin 2025



Date	07/06/2025	
Code	SC-QEI-2025-109	
Version	6	
Diffusion	<input type="checkbox"/> Interne	<input checked="" type="checkbox"/> Externe
Confidentialité	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non

Les travaux afférents à la campagne nationale logements 2 (CNL2) ont été initiés par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) devenu l'Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI) au 1^{er} janvier 2024. Ces travaux ont été financés par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), la Direction générale de la santé (DGS), la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP), l'Agence de la transition écologique (Ademe) et Santé publique France. L'unité phytopharmacovigilance de l'Anses a financé le volet spécifique au prélèvement et à l'analyse des pesticides dans l'air et les poussières des logements.

L'Observatoire de la Qualité des Environnements Intérieurs (OQEI), est piloté par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

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'OQEI, de l'Anses ou du CSTB 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., 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 OQEI, SC-QEI-2025-109, juin 2025, 308 pages. <https://doi.org/10.82199/oqei-cn12-9xa1-n126>

REMERCIEMENTS

Financiers :



Financement complémentaire :



Contribution pour la mesure du radon :



Contribution pour l'échantillonnage des logements :



Prestataire de recrutement :



Prestataires en charges des enquêtes :



Laboratoires en charges des analyses :



SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	4
SOMMAIRE	5
INDEX DE TABLEAUX ET FIGURES	11
SIGLES ET ABREVIATIONS	18
GLOSSAIRE	21
RESUME	23
ABSTRACT	25
0. PREAMBULE.....	27
1. INTRODUCTION.....	28
1.1. Contexte.....	28
1.2. Evolution du parc et de la réglementation en 15 ans	28
1.2.1. Evolution de la réglementation thermique des bâtiments	29
1.2.2. Evolution des mesures en santé environnementale	30
1.2.2.1. Plans nationaux en santé environnement.....	31
1.2.2.2. Réglementations directement liées à la qualité de l'air intérieur.....	33
1.2.3. Elaboration de valeurs de référence pour les environnements intérieurs.....	35
1.2.3.1. Elaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI)	35
1.2.3.2. Elaboration de valeurs d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur ..	38
1.2.4. Evolution du parc résidentiel	39
1.2.5. Evolution de la pollution de l'air extérieur.....	40
1.2.6. Evolutions du nombre de fumeurs dans la population.....	40
1.2.7. Evolutions en matière de sensibilisation de la population à la QAI.....	41
1.2.7.1. Actions de diffusion des connaissances menées par l'OQAI	41
1.2.7.2. Autres actions de sensibilisation du grand public.....	42
1.2.8. Survenue d'un épisode pandémique en 2020 (Covid)	43
1.3. Objectifs de la CNL2	44
2. PREPARATION DE LA CNL2	45
2.1. Sélection des polluants mesurés dans la CNL2	45
2.2. RECRUTEMENT DES LOGEMENTS	50
2.2.1. Base d'échantillonnage.....	50
2.2.2. Estimation de l'effectif d'enquête pour la CNL2 et de sa répartition.....	52

2.2.3.	Organisation du prestataire en charge du recrutement	56
2.2.4.	Finalisation du recrutement des logements.....	57
2.2.4.1.	Documents transmis aux occupants.....	57
2.2.4.2.	Obtention des accords pour la vague 1.....	58
2.2.4.3.	Obtention des accords pour la vague 2.....	60
2.2.4.4.	Bilan global des accords	62
2.2.4.5.	Refus de consentement.....	65
3.	TERRAIN DE LA CAMPAGNE CNL2.....	71
3.1.	Organisation des enquêtes	71
3.1.1.	Équipes sélectionnées pour la vague 1	71
3.1.2.	Équipes sélectionnées pour la vague 2	72
3.1.3.	Formation des équipes	74
3.1.4.	Déroulé de l'enquête CNL2	74
3.1.5.	Vérification du matériel à mi-campagne	78
3.1.6.	Vérification du matériel en fin de campagne	81
3.2.	Mesure des polluants dans les logements	81
3.2.1.	Stratégie de prélèvement.....	81
3.2.1.1.	Choix des méthodes de prélèvements	81
3.2.1.2.	Choix du capteur QAI déployé dans la CNL2	82
3.2.1.3.	Choix des pièces du logement instrumentées.....	83
3.2.1.4.	Conditions de mesures.....	84
3.2.2.	Laboratoires partenaires.....	84
3.2.3.	Liste des polluants recherchés dans la CNL2 et analysés en laboratoire	85
3.2.4.	Synthèse des méthodes de prélèvement et d'analyse des différentes substances cibles	94
3.2.5.	Suivi des analyses	96
3.3.	Questionnaires	98
3.3.1.	Description des questionnaires CNL2	98
3.3.2.	Questionnaire complémentaire sur les habitudes de vie en période de crise sanitaire 102	
3.4.	Suivi des enquêtes	105
3.4.1.	Fichier de suivi des enquêtes par les enquêteurs.....	105
3.4.2.	Suivi des enquêtes en temps réel grâce au déploiement des capteurs connectés 107	
3.5.	Bilan des enquêtes réalisées à la fin du terrain au 28 février 2023.....	108
3.5.1.	Bilan global	108
3.5.2.	Difficultés rencontrées lors de la campagne	112

3.6.	Synthèse terrain	117
3.6.1.	Bilan des prélèvements et analyses par famille de substances	117
3.6.2.	Bilan de l'administration des questionnaires	119
4.	DONNEES ET METHODOLOGIE STATISTIQUE.....	120
4.1.	Données.....	120
4.1.1.	Outils de collecte et de saisie des données	120
4.1.1.1.	Plateforme web dédiée aux enquêteurs terrain.....	120
4.1.1.2.	Espaces collaboratifs de partage Teams/Sharepoint.....	123
4.1.1.3.	Plateforme web dédiée à la saisie des données des semainiers d'activités et d'occupation.....	124
4.1.1.4.	Schéma global de relations entre les tables de données	125
4.1.2.	Suivi de saisie et premiers travaux sur les données.....	126
4.1.2.1.	Organisation et suivi Data de la Campagne.....	126
4.1.2.2.	Restructuration des données et premiers travaux de validation.....	127
4.1.3.	Validation et préparation des données pour l'exploitation.....	127
4.1.3.1.	Données Questionnaires	127
4.1.3.2.	Données de mesures, prélèvements et analyses	128
4.1.3.3.	Limites de détection et de quantification de la méthode.....	130
4.2.	Analyse statistique.....	131
4.2.1.	Méthodologie statistique.....	131
4.2.1.1.	Unité statistique et représentativité des résultats.....	131
4.2.1.2.	Expression des résultats et traitement des données censurées.....	132
4.2.1.3.	Traitement des mesures en continu.....	133
4.2.1.4.	Approche saisonnière de la température et de l'humidité relative	133
4.2.1.5.	Comparaison avec les valeurs de références	134
4.2.2.	Comparaison CNL1 – CNL2	140
4.2.2.1.	Méthodologie de comparaison	140
4.2.2.1.	Limites de la méthodologie de comparaison.....	142
4.2.3.	Redressement et pondérations	143
4.2.3.1.	Sélection des participants à la CNL2.....	143
4.2.3.2.	Calcul des poids logements à partir des poids individus EHIS	143
4.2.3.3.	Pondération liée à la probabilité de fournir ses coordonnées à la suite de l'enquête EHIS	144
4.2.3.4.	Pondération liée à la probabilité de participer à la CNL2.....	145
4.2.3.5.	Calage sur marges.....	146
5.	ETAT DE LA QAI DANS LES LOGEMENTS EN FRANCE.....	149
5.1.	Composés organiques volatils (COV)	149

5.1.1.	COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre	149
5.1.1.1.	COV à l'intérieur du logement.....	151
5.1.1.2.	COV à l'extérieur du logement.....	155
5.1.2.	COV émergents mesurés par prélèvement actif dans le séjour	158
5.2.	Aldéhydes	163
5.3.	Dioxyde d'azote (NO ₂).....	166
5.4.	Particules (PM _{2,5})	169
5.5.	Dioxyde de carbone (CO ₂)	172
5.6.	Composés organiques semi volatils (COSV).....	176
5.6.1.	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	176
5.6.2.	Phtalates	182
5.6.3.	Polybromodiphényles éthers (PBDE).....	187
5.6.4.	Polychlorobiphényles (PCB)	189
5.6.5.	Alkylphénols.....	194
5.6.6.	Muscs polycycliques.....	196
5.6.7.	Autres composés	198
5.6.7.1.	Tributylphosphate	198
5.6.7.2.	Triclosan	200
5.7.	Radon.....	203
6.	Température et humidité relative dans les logements en France	207
6.1.	Synthèse de la mesure de température et humidité relative	207
6.2.	Température intérieure.....	208
6.3.	Humidité relative intérieure	210
7.	Caractéristiques des ménages et des logements en France	212
7.1.	Caractéristiques des logements	212
7.2.	Caractéristiques des ménages	216
7.3.	Confort des occupants	217
8.	Comparaison des concentrations en polluants : CNL1 vs. CNL2	222
8.1.	Comparaison des concentrations intérieures en polluants	222
8.2.	Comparaison des concentrations extérieures en polluants	227
9.	DISCUSSION	230
9.1.	Fréquences de détection et niveaux de concentrations dans les logements	230
9.2.	Dépassement des valeurs de référence.....	232
9.3.	Points de vigilance associés aux concentrations élevées.....	233
9.4.	Polluants sans valeurs de référence	236
9.5.	Logements avec niveaux élevés ou faibles de pollution de l'air.....	236

9.6.	Substances très peu détectées dans les logements.....	238
9.7.	Spécificité de la qualité de l'air intérieur par rapport à l'extérieur	239
9.8.	Radon et zones à potentiel radon	243
9.9.	Température et humidité dans les logements.....	246
9.9.1.	Durant les mois d'été	247
9.9.2.	Durant les mois d'hiver.....	249
9.10.	Evolution des concentrations entre CNL1 et CNL2	251
9.10.1.	Synthèse des évolutions de concentrations entre CNL1 et CNL2.....	251
9.10.2.	Facteurs de variation et sources d'incertitudes	252
9.10.3.	Liens possibles avec l'évolution du parc et de la réglementation	255
9.11.	Comparaison avec d'autres études nationales et internationales	258
10.	CONCLUSION	271
11.	REFERENCES	277
	ANNEXE 1 – Synthèse des limites de détection et de quantification des substances mesurées au cours de la CNL2	285
	ANNEXE 2– Liste des variables avant modélisation	292
	ANNEXE 3 – Autres valeurs de distribution des substances mesurées	294
	Composés organiques volatils (COV).....	294
	Prélèvement diffusif	294
	COV à l'intérieur du logement	294
	COV à l'extérieur du logement	295
	COV par prélèvement actif.....	296
	Aldéhydes.....	297
	Dioxyde d'azote (NO ₂)	297
	Particules fines (PM _{2,5})	297
	Dioxyde de carbone (CO ₂).....	298
	Composés organiques semi volatils (COSV)	298
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	298
	Phtalates 299	
	Polybromodiphenyls éthers (PBDE)	299
	Polychlorobiphényles (PCB)	299
	Alkylphénols.....	300
	Muscs polycycliques	300
	Autres composés.....	301
	Tributylphosphate et triclosan.....	301
	Radon	301

ANNEXE 4 – Autres valeurs de distribution de température/humidité intérieure	302
ANNEXE 5 – Positionnement des concentrations de polluants au regard de valeurs seuils	303
ANNEXE 6 - Valeurs seuils intrinsèques associées aux 25 % de logements les plus exposés	305

INDEX DE TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1. Liste des substances ou paramètres étudiés en vue de proposer une VGAI	36
Tableau 2. Enjeux et objectifs de la hiérarchisation.....	45
Tableau 3 : Bilan des scores et qualifications attribuées à chaque effet – Description des 4 critères résultants (sur la base des hiérarchisations sanitaires menées par l’Anses en 2015 et 2017)	46
Tableau 4. Liste des 109 substances issues de la hiérarchisation sanitaire et prédéfinies pour être mesurées dans la CNL2. En bleu, les substances qui finalement n’ont pas été recherchées dans la CNL2.	47
Tableau 5. Accords obtenus pour les zones d’enquête de la vague 1 (en bleu % objectif > 100 %)	59
Tableau 6. Accords obtenus pour les zones d’enquête de la vague 2 (en rouge, nombre d’accords inférieur à l’objectif, en bleu % objectif > 100 %)	61
Tableau 7. Tableau de synthèse des attributions des zones d’enquête aux équipes	73
Tableau 8. Liste des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence et à l’extérieur du logement (cartouche Radiello® code 145 – Carbograph 4, analyse TD-GC-MS, laboratoire LDL26 de la Drôme).....	85
Tableau 9. Liste des 3 aldéhydes mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence (cartouche Radiello® code 165 – DNPH, analyse HPLC-UV, laboratoire LDL26 de la Drôme)	86
Tableau 10. Liste des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour sur 2 heures (tube PE Tenax TA, thermodésorption, analyse GC-MS, laboratoire Pollem du CSTB)	86
Tableau 11. Liste des 44 composés organiques semi-volatils (COSV) mesurés par prélèvement actif dans le séjour sur 7 jours (cartouche URG (filtre quartz/mousse PUF), analyse ASE-GC-MS/MS, laboratoire LERES).....	88
Tableau 12. Liste des 81 pesticides mesurés dans l’air par prélèvement actif dans le séjour sur 7 jours (cartouche URG (filtre quartz/mousse PUF), analyse ASE-GC-MS/MS ou ASE-LC-MS/MS, laboratoire Ianesco)	89
Tableau 13. Liste des 92 pesticides mesurés dans les poussières du logement (extraction au solvant par micro-onde et analyse GC-MS/MS, LC-MS/MS, ou extraction en phase aqueuse et HILIC-MS/MS, laboratoire Leres)	91
Tableau 14. Synthèse des méthodes de prélèvement et d’analyse utilisées lors de la CNL2 par famille de substances ciblées (COV, NO ₂ , aldéhydes)	94
Tableau 15. Synthèse des méthodes de prélèvement et d’analyse utilisées lors de la CNL2 par famille de substances ciblées (COSV, pesticides (air), PM _{2,5} et radon).....	95
Tableau 16. Synthèse des méthodes de mesures ponctuelles ou continues utilisées lors de la CNL2 (enregistrement par Class’air, par capteur QAI Cozyair, par HOB0 et mesure ponctuelle des débits de ventilation)	96
Tableau 17. Présentation succincte de chaque questionnaire	99
Tableau 18. Questionnaire sur les habitudes de vie dans le contexte de crise sanitaire.....	103
Tableau 19. Synthèse des enquêtes réalisées dans chaque zone à la fin de la campagne .	109
Tableau 20. Motifs de non-réalisation des enquêtes par zone (vague 1)	114
Tableau 21. Bilan en nombre de résultats exploitables des mesures et analyses réalisées	117
Tableau 22. Listes des valeurs de référence retenues à des fins de comparaison.....	139

Tableau 23. Sélection des participants à la CNL2	143
Tableau 24. Marges moyennées 2021/2022 fournies par l'INSEE	146
Tableau 25. Description de la pondération.....	148
Tableau 26. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre du logement (champ : parc de résidences principales).....	151
Tableau 27. Distribution des concentrations hebdomadaires des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre du logement.....	153
Tableau 28. Comparaison des niveaux des COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence du logement avec leur valeur de référence (champ : parc de résidences principales)	154
Tableau 29. Limites et fréquences de détection et de quantification des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur	156
Tableau 30. Distribution des concentrations hebdomadaires des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement (champ : parc de résidences principales)...	157
Tableau 31. Comparaison des niveaux des COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement avec leur valeur de référence (champ : parc de résidences principales).....	158
Tableau 32. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement	159
Tableau 33. Distribution des concentrations des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	161
Tableau 34. Fréquences de détection et de quantification, et distribution des concentrations des 3 aldéhydes mesurés dans la chambre du logement et comparaison avec leur valeur de référence.....	165
Tableau 35. Fréquences de détection et de quantification, et distribution des concentrations de NO ₂ dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales).....	168
Tableau 36. Distribution des concentrations de PM _{2,5} dans le séjour du logement et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales).....	171
Tableau 37. Distribution des concentrations moyennes hebdomadaires de CO ₂ dans la chambre principale du logement (champ : parc de résidences principales).....	174
Tableau 38. Distribution des concentrations maximales horaires de CO ₂ dans la chambre de la personne de référence du logement (champ : parc de résidences principales)	175
Tableau 39. Distribution de la moyenne des 60 plus grandes valeurs de CO ₂ comprises entre 1h00 et 05h10 du matin dans la chambre de la personne de référence du logement (champ : parc de résidences principales).....	175
Tableau 40. Limites et fréquences de détection et de quantification des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	178
Tableau 41. Distribution des concentrations hebdomadaires des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	181
Tableau 42. Limites et fréquences de détection et de quantification des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	183
Tableau 43. Distribution des concentrations hebdomadaires des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales).....	186
Tableau 44. Distribution des concentrations hebdomadaires des 5 polybromodiphényls éthers (PBDE) mesurés dans l'air du séjour des logements	188

Tableau 45. Limites et fréquences de détection et de quantification des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour du logement	191
Tableau 46. Distribution des concentrations hebdomadaires des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour des logements	193
Tableau 47. Distribution des concentrations hebdomadaires des 3 alkylphénols mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales).....	195
Tableau 48. Distribution des concentrations hebdomadaires des 2 muscs polycycliques mesurées dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales).....	198
Tableau 49. Distribution des concentrations hebdomadaires de tributylphosphate mesurées dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales)	200
Tableau 50. Distribution des concentrations hebdomadaires de triclosan mesurées dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)	201
Tableau 51. Distribution de l'activité volumique maximale de radon mesurée en pièce de vie et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales en France métropolitaine continentale sans distinction de zones à potentiel radon)	205
Tableau 52. Distribution de la température intérieure moyenne sur la semaine dans la chambre principale des logements (champ : parc de résidences principales).....	208
Tableau 53. Distribution de la température minimale sur la semaine dans la chambre principale des logements	209
Tableau 54. Distribution de la température maximale sur la semaine dans la chambre principale des logements	209
Tableau 55. Distribution de l'humidité relative moyenne dans les logements.....	210
Tableau 56. Distribution de l'humidité relative minimale sur la semaine dans les logements	210
Tableau 57. Distribution de l'humidité relative maximale sur la semaine dans les logements	210
Tableau 58. Caractéristiques des logements (champ : parc de résidences principales)	212
Tableau 59. Sources potentielles de pollution à moins de 200 m du logement (champ : parc de résidences principales)	215
Tableau 60. Distribution de l'âge de la personne de référence (champ : parc de résidences principales).....	216
Tableau 61. Caractéristiques des ménages (champ : parc de résidences principales)	216
Tableau 62. Perceptions exprimées par la personne de référence du ménage sur son logement (champ : parc de résidences principales)	218
Tableau 63. Comparaison des fréquences de détection et de quantification des substances mesurées à l'intérieur des logements dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales, sauf pour PM _{2,5})	223
Tableau 64. Comparaison des distributions des concentrations intérieures des substances mesurées dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales).....	224
Tableau 65. Comparaison des fréquences de détection et de quantification des substances mesurées à l'extérieur des logements dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales)	228
Tableau 66. Comparaison des distributions des concentrations extérieures des substances mesurées dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales, unités de concentration en µg/m ³).....	229
Tableau 67. Distribution des ratios de concentrations intérieures/extérieures (I/E) par tranches. En gras, pourcentage de logements supérieur à 50 %. (champ : parc de résidences principales en France métropolitaine continentale).....	242

Tableau 68. Statistiques de distribution de l'activité volumique maximale en radon dans les logements selon la catégorie de potentiel radon de la commune (champ : échantillon de 427 logements).....	245
Tableau 69. Facteurs de variation et sources d'incertitude susceptibles d'influencer la comparaison des niveaux de concentration de polluants entre la CNL1 et la CNL2.....	253
Tableau 70. Concentrations hebdomadaires médianes de COV (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales	261
Tableau 71. Concentrations médianes de COV jugés émergents (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales	262
Tableau 72. Concentrations hebdomadaires médianes des aldéhydes (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales.....	263
Tableau 73. Concentrations hebdomadaires médianes en NO_2 et $\text{PM}_{2,5}$ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales.....	264
Tableau 74. Concentrations hebdomadaires médianes en CO_2 (ppm) dans d'autres études internationales.....	265
Tableau 75. Activités volumiques médianes en radon (Bq/m^3) dans d'autres études internationales.....	265
Tableau 76. Concentrations hebdomadaires médianes en COSV (ng/m^3) dans d'autres études internationales.....	266
Tableau 77. Comparaison des données CNL2 avec les données de l'Association allemande des instituts de recherche environnementaux (Agöf, 2013).....	269
Tableau 78. Limites de détection et de quantification des COV prélevés par diffusion	286
Tableau 79. Limites de détection et de quantification des COV prélevés par pompage actif de l'air.....	287
Tableau 80. Limites de détection et de quantification des aldéhydes prélevés par diffusion	288
Tableau 81. Limites de détection et de quantification du NO_2 prélevé par diffusion.....	288
Tableau 82. Limites de détection et de quantification des particules fines (fraction $\text{PM}_{2,5}$)	289
Tableau 83. Limites de détection et de quantification des composés organiques semi-volatils (COSV)	289
Tableau 84. Limites de détection et de quantification pour la mesure du radon	291
Tableau 85. Variables EHIS/SEPIA testées en bivariés	292
Tableau 86. Variables retenues à la suite des tests bivariés	293
Tableau 87. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence du logement.....	294
Tableau 88. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement	295
Tableau 89. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement.....	296
Tableau 90. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 3 aldéhydes mesurés dans la chambre de la personne de référence du logement	297
Tableau 91. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de NO_2 dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement	297
Tableau 92. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de particules fines (fraction $\text{PM}_{2,5}$) dans le séjour du logement.....	297
Tableau 93. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations hebdomadaires de CO_2 dans la chambre de la personne de référence du logement.....	298
Tableau 94. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement.....	298

Tableau 95. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour du logement.....	299
Tableau 96. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 5 polybromodiphenyls éthers (PBDE) mesurés dans l'air du séjour du logement.....	299
Tableau 97. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour du logement	299
Tableau 98. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 3 alkylphénols mesurés dans l'air du séjour du logement	300
Tableau 99. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 2 muscs polycycliques mesurés dans l'air du séjour du logement	300
Tableau 100. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de tributylphosphate et triclosan mesurés par prélèvement actif dans l'air du séjour du logement	301
Tableau 101. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de l'activité volumique maximale en radon observée en pièce de vie	301
Tableau 102. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de la température hebdomadaire moyenne intérieure mesurée dans la chambre	302
Tableau 103. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de l'humidité relative hebdomadaire moyenne intérieure mesurée dans la chambre	302
Tableau 104. Positionnement des concentrations de polluants par rapport à des valeurs seuils avec dépassement ou non de valeurs de références compatibles avec la durée d'agrégation de la mesure.	303
Tableau 105. Valeurs seuils intrinsèques des polluants correspondant aux 25 % de logements les plus exposés (P75 ou 75 ^{ème} centile de la concentration).....	305

FIGURES

Figure 1. Répartition régionale des 3667 adresses de la base d'échantillonnage CNL2 selon les zones d'enquêtes (les différents tons de couleurs permettent de différencier les zones entre elles avec en tons verts, les zones d'enquêtes de la vague 1 et en tons jaunes celles de la vague 2).	52
Figure 2. Répartition estimée des 600 enquêtes de la CNL2 selon les adresses disponibles par région. Les régions avec plus de 40 enquêtes sont subdivisées en 2 zones (ou 4 pour l'Île-de-France).....	54
Figure 3. Schéma récapitulatif de l'échantillonnage des résidences principales pour la CNL2	55
Figure 4. Documents transmis aux occupants contactés pour la CNL2.....	58
Figure 5. Comparaison du taux de consentement réel (% , en bleu) avec le taux estimé selon les régions	60
Figure 6. Comparaison du taux de consentement réel (% , en bleu) avec le taux initialement estimé selon les régions (vague 2).....	62
Figure 7. Analyse du nombre et du mode de relance des contacts.....	63
Figure 8. Répartition des 750 accords par commune, obtenus en France métropolitaine continentale.....	64
Figure 9. Répartition des accords obtenus en fonction de la zone urbaine ou rurale	65
Figure 10. Catégories de refus exprimées par les personnes sollicitées parmi les 139 retours avec motif de refus mentionné	67

Figure 11. Taux de réponse en fonction de l'âge des personnes sollicitées au moment de l'enquête EHIS	68
Figure 12. Taux de consentement en fonction de l'âge des personnes sollicitées au moment de l'enquête EHIS	69
Figure 13. Taux de consentement en fonction du nombre de relances	70
Figure 14. Mise en œuvre des mesures et prélèvements dans la chambre de la personne de référence sans pompe et sans fil.....	75
Figure 15. Mise en œuvre des prélèvements dans le séjour	76
Figure 16. Détail des prélèvements et mesures mis en œuvre dans le séjour	76
Figure 17. Mise en œuvre des prélèvements à l'extérieur du logement.....	77
Figure 18. Mesures ponctuelles et autres prélèvements à l'échelle du logement.....	78
Figure 19. Mesures du radon et des moisissures	78
Figure 20. Exemple de vérification des Class'air en enceinte climatique pour une température de référence de 15,5°C et une tolérance de 0,5°C	79
Figure 21. Exemple d'installation pour un test d'intercomparaison de capteurs Cozyair avec des appareils Class'air référents début décembre 2021 par colocation dans un logement test	80
Figure 22. Exemple d'intercomparaison pour le CO ₂ avec les capteurs Cozyair (1 courbe par capteur).....	80
Figure 23. Exemple de résultat d'intercomparaison pour la fraction de particules PM _{2,5} avec les capteurs Cozyair. Un capteur Grimm Dustmonitor 1.108 est utilisé ici comme référence (en noir).....	81
Figure 24. Exemple de fichier de suivi des analyses sur l'espace collaboratif Teams/SharePoint pour les PM _{2,5}	97
Figure 25. Présentation globale des questionnaires CNL2	98
Figure 26. Semainier des activités dans le logement au cours de la semaine d'enquête.....	101
Figure 27. Semainier individuel d'occupation du logement durant la semaine de mesure ..	101
Figure 28. Exemple de fichier de suivi des enquêtes par les enquêteurs (exemple de l'équipe 12 ITGA en Normandie)	105
Figure 29. Exemple de fichier de suivi des contacts par les enquêteurs (exemple de l'équipe 3 Evadies/A2L Environnement reconduite en vague 2 pour les régions Grand Est (partie ouest) et Bourgogne Franche Comté)	106
Figure 30. Suivi de l'instrumentation des logements enquêtés au travers des connexions de capteurs Cozyair sur le site Cozyconnect	107
Figure 31. Répartition des enquêtes réalisées par région (fin du terrain)	110
Figure 32. Taux de réalisation des enquêtes de la CNL2 selon l'objectif initialement fixé (fin du terrain).....	111
Figure 33. Rythme d'enquêtes de la campagne nationale logements 2 qui s'est déroulée de fin novembre 2020 à fin février 2023.	111
Figure 34. Répartition géographique des communes avec au moins une enquête réalisée.112	
Figure 35. Taux de désistement ou d'injoignabilité en fonction de l'âge de la personne contactée au moment de l'enquête EHIS	115
Figure 36. Taux de désistement ou d'injoignabilité en fonction de la date de consentement	116
Figure 37. Exemples de saisie des données d'un questionnaire pièces (gauche) et des informations de prélèvement de COV par diffusion (droite) sur la plateforme People Vox..	121
Figure 38. Suivi de la saisie des informations de mesure sur la plateforme People Vox (mesure des particules dans l'exemple représenté)	121

Figure 39. Visualisation brute des données saisies (exemple pour le type de ventilation du questionnaire enquêteur)	122
Figure 40. Exemple de table de données exportées au format CSV (prélèvement des pesticides)	122
Figure 41. Organisation des espaces Teams/SharePoint pour les équipes d'enquêteurs et les laboratoires.....	124
Figure 42. Structure schématique des différentes tables de données de la CNL2	126
Figure 43 : Distribution cumulée des concentrations hebdomadaires de benzène mesurées dans la chambre et à l'extérieur du logement avec mention des valeurs de P25, P50 et P75.	154
Figure 44 : Distribution cumulée des niveaux de concentrations hebdomadaires de l'alpha-pinène, du limonène et du toluène avec mention de la médiane (P50).	155
Figure 45: Distribution des niveaux de concentration des aldéhydes (LDM : limite de détection de la méthode)	166
Figure 46 : Distribution cumulée des niveaux de concentration en NO ₂ à l'intérieur et à l'extérieur du logement (médiane et 75 ^{ème} centile, LDM : limite de détection).....	169
Figure 47 : Distribution cumulée des niveaux de concentration en PM _{2,5} avec indication du 25 ^{ème} centile, de la médiane et du 75 ^{ème} centile.....	172
Figure 48 : Détection et quantification des niveaux de concentration en HAP dans l'air des logements.....	179
Figure 49 : Distribution des niveaux de concentrations en HAP dans l'air des logements... ..	180
Figure 50 : Détection et quantification des niveaux de concentration en phtalates.....	184
Figure 51. Distribution des niveaux de concentrations en phtalates.....	185
Figure 52 : Détection et quantification des niveaux de concentration en PBDE dans l'air des logements.....	189
Figure 53 : Détection et quantification des niveaux de concentration en PCB dans l'air.....	192
Figure 54 : Détection et quantification des niveaux de concentration du tributylphosphate et du triclosan, comparativement aux muscs et aux alkylphénols.....	202
Figure 55 : Distribution de l'activité volumique maximale du radon dans les pièces de vie.	206
Figure 56. Distribution de la température moyenne hebdomadaire dans le logement par période saisonnière.....	209
Figure 57. Distribution de l'humidité relative moyenne hebdomadaire dans le logement par période saisonnière.....	211
Figure 58 : Distribution comparée des niveaux de concentration intérieure entre CNL1 et CNL2 et comparaison aux valeurs de référence (ligne en pointillé) : A. benzène, B. formaldéhyde, C. tétrachloroéthylène, D. trichloroéthylène	226
Figure 59. Part de logements avec de multiples occurrences de polluants avec des niveaux jugés élevés (> P75). Champ : parc de résidences principales.	237
Figure 60. Part de logements avec de multiples occurrences de polluants avec des niveaux jugés faibles (< P25). Champ : parc de résidences principales.....	238
Figure 61. Répartition des 286 communes avec au moins une mesure de radon valide (Communes CNL2) selon la catégorie de potentiel radon comparativement à celle des 35 438 communes de France métropolitaine continentale (Communes FR).....	244
Figure 62. Distribution de l'activité volumique maximale en radon dans les logements selon la catégorie de potentiel radon de la commune (champ : échantillon de 427 logements).	245

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)
CNL1	Campagne nationale logements n°1 (septembre 2003 – décembre 2005)
CNL2	Campagne nationale logements n°2 (novembre 2020 – février 2023)
CO	Monoxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
COSV	Composés organiques semi-volatils
COV	Composés organiques volatils
COVA	COV issus de prélèvements actifs (par pompage de l'air)
COVL	Composés organiques volatils légers
COVT	Composés organiques volatils totaux
Covid-19	Maladie à coronavirus 2019
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
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
EHIS	Enquête de santé européenne (European Health Interview Survey)
EHPAD	Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes
GC	Chromatographie en phase gazeuse
GRH	Groupe de réponse homogène
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCSP	Haut Conseil de la Santé Publique
HILIC	Chromatographie par interaction hydrophile
HPLC	Chromatographie en phase liquide haute performance
HR	Humidité relative
I/E	Ratio intérieur/extérieur ou rapport de la concentration intérieure sur la concentration extérieure
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
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
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
NO₂	Dioxyde d'azote
NPAI	N'habite plus à l'adresse indiquée
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
OQEI	Observatoire de la qualité des environnements intérieurs
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PBDE	Polybromodiphényl éthers
PCB	Polychlorobiphényles
P25	25 ^{ème} centile
P50	Médiane (50 ^{ème} centile)
P75	75 ^{ème} centile
P90	90 ^{ème} centile
P95	95 ^{ème} centile
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
PPV	Dispositif de phytopharmacovigilance
QPV	Personnes habitant dans un quartier prioritaire de la ville
SpF	Santé publique France
T	Température
TD	Désorption thermique
TTA	Tenax TA
UP	Unité primaire
UU	Unité urbaine

- VAR** Valeur d'action rapide indicative proposée par le HCSP
- VGAI** Valeur guide de qualité d'air intérieur. Elle peut être réglementaire et fixée par décret ou indicative et proposée par l'Anses sur des critères sanitaires.
- VRAI** Valeur repère pour la qualité de l'air intérieur, valeur repère indicative proposée par le HCSP

GLOSSAIRE

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. 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).

Consentement signé : Document (feuillet de consentement physique ou numérisé) complété et signé par le participant attestant d'accepter de participer à la CNL2.

Données identifiantes : Les noms, prénoms, coordonnées postales, téléphoniques et électroniques et coordonnées X,Y de géolocalisation d'une adresse, ainsi que l'âge des personnes sont considérées comme des données à caractère personnel donc identifiantes dans la présente étude.

Enquêteur régional (ou prestataire régional, ou prestataire d'enquête) : Une équipe d'enquêteurs associée à une région administrative spécifique (ou à une zone d'enquête qui constitue une sous-partie de région administrative) et qui est chargée de conduire les enquêtes chez les personnes ayant donné leur consentement éclairé de participation.

Non-consentement signé : Document (feuillet de consentement physique ou numérisé) complété et signé par le participant attestant le refus de participer à la CNL2.

Personnel habilité à traiter des données identifiantes : Seuls, le prestataire en charge du recrutement (Sépia Santé) et les prestataires chargés des enquêtes (enquêteurs régionaux) sont habilités à manipuler et traiter des données identifiantes. Les données identifiantes ne sont jamais transmises aux responsables de traitement.

Recrutement : Le recrutement d'un participant est acté lorsque le participant a retourné un consentement signé au prestataire et lorsque ses données nominatives et coordonnées postales, téléphoniques et numériques ont été intégralement transmises et reçues par l'enquêteur régional de la zone d'enquête dont dépend le participant.

Responsable de traitement : l'équipe centrale de l'OQAI est responsable de traitement des données collectées dans le cadre de la CNL2 à l'exclusion des données de santé. L'équipe centrale de l'OQAI est constituée par les agents du CSTB faisant partie de la division Qualité des Environnements Intérieurs au sein de la direction DSC.

Responsable de traitement des données de santé : Santé publique France est seul responsable de traitement des données de santé recueillies dans le cadre de la CNL2 de façon anonyme par les enquêteurs et directement transmise à Santé publique France.

Sécurisation des envois par mail de données identifiantes : Tout fichier numérique transmis par courriel est crypté et protégé par mot de passe. Le mot de passe est fourni au destinataire par un autre moyen (téléphone ou SMS par exemple).

Sécurisation du stockage des données identifiantes : Le stockage numérique des fichiers contenant des données identifiantes est protégé et accessible uniquement aux personnes

habilités à travailler sur ces fichiers pour les seuls besoins de la présente prestation. Les fichiers stockés sont également cryptés et protégés par mot de passe afin de prévenir un quelconque accès non autorisé. Dans le cas où ces fichiers sont stockés sur des plateformes sécurisées, celles-ci doivent obligatoirement être hébergées sur des serveurs situés dans l'union européenne.

Le stockage physique des documents comportant des données identifiantes est sécurisé. Les documents sont stockés dans une armoire ou coffre fermé à clé et dans un local lui-même fermé à clé. Seules les personnes habilitées à travailler sur ces documents y ont accès.

Valeur de référence : Le terme valeur de référence utilisé dans ce rapport désigne une concentration (ou un niveau) d'un polluant donné dans l'air et spécifique à l'environnement intérieur et associée soit à des critères exclusivement sanitaires (VGAI) soit à des actions de gestion (VRAI, VAR ou VGAI réglementaire). Il intègre également les valeurs guides préconisées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'air.

Zone d'enquête : Territoire couvrant tout ou partie d'une région administrative, dans lequel un enquêteur régional est en charge de la réalisation des enquêtes de la CNL2.

RESUME

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) devenu l'Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI) présente les résultats 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 paramètres mesurés ont été choisis sur la base d'une hiérarchisation sanitaire mise à jour d'après leur dangerosité et leur occurrence. Plus de 170 polluants et paramètres sont ainsi mesurés dans l'air des logements pour cette campagne nationale : composés organiques volatils (COV dont aldéhydes), composés organiques semi-volatils (COSV parmi lesquels hydrocarbures aromatiques polycycliques, phtalates, retardateurs de flamme bromés, polychlorobiphényles, alkylphénols, muscs), pesticides, particules fines (fraction $PM_{2,5}$), dioxyde d'azote (NO_2), dioxyde de carbone (CO_2), radon, température, humidité relative, débit d'air ou pression aux bouches de ventilation.

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 de 29,7 millions de résidences principales en France métropolitaine continentale.

Ce premier rapport se focalise sur les résultats concernant la mesure des COV, des COSV, des particules fines, du NO_2 et du radon. Des premiers éléments relatifs au CO_2 , à la température et à l'humidité relative sont également décrits.

De nombreux polluants sont détectés et quantifiés dans au moins 50 % des logements. Les concentrations médianes varient de quelques centièmes de nanogrammes par m^3 (ng/m^3) pour certains COSV à moins d'une vingtaine de microgrammes par m^3 ($\mu g/m^3$) pour les terpènes, les aldéhydes et les particules fines. Des valeurs très élevées de plusieurs centaines de microgrammes par m^3 sont observées dans un petit nombre de logements représentant moins de 2,5 % du parc pour quelques COV (principalement limonène, alpha-pinène, toluène et xylènes), le NO_2 et les particules fines.

Pour mettre en perspective les niveaux de concentration mesurés dans les logements, ceux-ci ont été comparés à des valeurs de référence qui visent à protéger la santé des populations. Des dépassements de ces valeurs sont observés pour certains polluants. Les dépassements concernent les particules fines pour plus de 70 % des logements au regard de l'objectif cible de $10 \mu g/m^3$ proposé par le Haut conseil de la santé publique (HCSP) en 2013. La valeur d'action rapide (VAR) de $50 \mu g/m^3$ recommandée par le HCSP est dépassée dans près de 11 % des logements. Le niveau de référence réglementaire de $300 Bq/m^3$ de radon est dépassée dans près de 8 % des logements. Le formaldéhyde est sujet au dépassement de la valeur de gestion provisoire de $30 \mu g/m^3$ proposée par le HCSP dans un peu plus de 6 % des logements. Pour le NO_2 , près de 3 % des logements présentent au moins un dépassement sur la semaine de la valeur guide journalière de $25 \mu g/m^3$ recommandée par l'OMS en 2021. La concentration

hebdomadaire en benzène dépasse la valeur repère de gestion de la qualité de l'air intérieur (VRAI) de 6 µg/m³ proposée par le HCSP en 2024 dans près de 1,4 % des logements. Celle du trichloroéthylène dépasse la VRAI de 10 µg/m³ pour 0,05 % des logements. Aucun dépassement des valeurs de référence n'a été observé pour l'acétaldéhyde, l'éthylbenzène, le tétrachloroéthylène et le toluène. Même si aucun dépassement n'a pu être observé, les concentrations parfois élevées mesurées pour certains polluants soulignent le besoin de maintenir une vigilance à leur encontre en particulier pour ceux qui sont associés à des effets cancérigènes sans seuil comme le benzo(a)pyrène et le tétrachloroéthylène.

Sur l'ensemble des polluants mesurés, assez peu disposent de valeurs de référence sur lesquelles s'appuyer afin de déterminer si les niveaux observés sont satisfaisants ou non. Cela souligne le besoin d'améliorer les connaissances sur leurs effets sanitaires pour permettre l'élaboration de valeurs guides spécifiques aux environnements intérieurs.

Plusieurs substances sont très peu détectées dans les logements (fréquence de détection inférieure à 5 %), parmi lesquelles des COV halogénés (trichloroéthylène, 1,2-dibromoéthane, bromodichlorométhane), la 2-butanone oxime, le méthyl eugénol, la p-hydroquinone, le citriodiol, les retardateurs de flammes bromés, le PCB-77 et le 4-n-nonylphénol.

De manière générale, une baisse des niveaux de concentration intérieure en COV, aldéhydes et particules est observée pour la CNL2 par rapport à la première campagne menée entre 2003 et 2005 dans les logements (CNL1). Elle est particulièrement marquée (plus de 80 % de baisse) pour les COV chlorés (1,4-dichlorobenzène, trichloroéthylène et tétrachloroéthylène), le 1-méthoxy-2-propanol et le n-décane. Une baisse moins importante mais statistiquement significative de 28 % à 47 % est observée pour le benzène, les particules fines et le formaldéhyde. Quelques polluants ne montrent pas d'évolution entre les deux campagnes. Il s'agit de l'hexaldéhyde, du 1-méthoxy-2-propyl acétate (très peu détecté dans les deux cas), du CO₂ et du radon. Les baisses observées peuvent être au moins en partie associées à l'évolution des dispositions réglementaires entre les deux campagnes, notamment l'interdiction de certaines substances comme le trichloroéthylène et le benzène dans les produits de construction ou encore le tétrachloroéthylène dans les pressings, ainsi que l'étiquetage obligatoire des produits de construction qui a favorisé une réduction des émissions de COV dans l'air des logements. Les actions de réduction des émissions de polluants dans l'air ambiant ont également pu indirectement contribuer à cette baisse des niveaux de concentration à l'intérieur des logements. Par ailleurs, la baisse du nombre de fumeurs dans les logements enquêtés est sans doute une des causes principales de la diminution de la concentration intérieure en particules fines. Les multiples actions de sensibilisation menées depuis 2005 ont vraisemblablement également joué un rôle dans le comportement des occupants vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur. L'impact de l'épisode pandémique de Covid survenu en 2020 reste lui plus difficile à établir.

Les niveaux observés dans la campagne CNL2 sont globalement du même ordre ou un peu plus faibles comparés à des études internationales d'envergure menées en Europe ou en Amérique du Nord.

Les analyses de données se poursuivent notamment sur l'état de la ventilation des logements, la mesure des pesticides dans l'air et les poussières et sur la recherche des déterminants des niveaux de pollution.

MOTS CLES : Enquête nationale, polluant, résidentiel, COV, particules, formaldéhyde, perturbateurs endocriniens, phtalates, air intérieur

ABSTRACT

The French Observatory of indoor air quality (OQAI) now Observatory of indoor environmental quality (OQEI) presents the results of the second national survey on air quality in French dwellings (CNL2). It covers the period from November 2020 to February 2023. The survey combines air quality measurements over a 7-day week with a study of the characteristics of dwellings, households and equipment, frequency of domestic activities and individual perception of their well-being. The survey also collects a self-questionnaire on occupants' allergies and respiratory health, to be processed by Santé publique France.

The parameters measured were chosen according to an updated hierarchical ranking based on their health hazard and occurrence. More than 170 pollutants and parameters were measured in indoor air: volatile organic compounds (VOCs including aldehydes and some emerging pollutants), semi-volatile organic compounds (SVOCs including polycyclic aromatic hydrocarbons, phthalates, brominated flame retardants, polychlorinated biphenyls, alkylphenols, musks), pesticides, particulate matter (PM_{2.5} mass fraction), nitrogen dioxide (NO₂), carbon dioxide (CO₂), radon, temperature, relative humidity, air flowrate or pressure at ventilation outlets.

At the end of the field survey, 571 households were investigated and a total of 1516 individuals responded to the survey questions. These households are located in 321 municipalities and 84 departments. The determination of sampling weights allows for expressing results on a national scale, i.e. 29.7 million main residences in mainland France.

This first report focuses on VOC, SVOC, PM_{2.5}, NO₂ and radon results. First elements related to CO₂, temperature and relative humidity are also described.

Several pollutants are detected and quantified in at least 50% of the dwellings. Median concentrations spread from a few hundred of nanograms per cubic meter (ng/m³) for some SVOCs to nearly twenty micrograms per cubic meter (µg/m³) for terpenes, aldehydes, and PM_{2.5}. Very high values of several hundred micrograms per cubic meter are observed in a few dwellings weighing less than 2.5 % of the whole stock for various VOCs (mostly limonene, alpha-pinene, toluene and xylenes), NO₂, and particulate matter.

Indoor concentration levels of pollutants were compared with reference values aiming at protecting the health of population. Exceedances of reference values are observed for some pollutants. Exceedances occurred for PM_{2.5} in over 70% of dwellings, based on target value of 10 µg/m³ recommended by the High council of public health (HCSP) in 2013. The radon standard value of 300 Bq/m³ is exceeded in nearly 8% of dwellings. Formaldehyde levels exceed the reference value of 30 µg/m³ proposed by HCSP in just over 6% of dwellings. For NO₂, nearly 3% of dwellings show at least one exceedance over the week of the daily guideline value of 25 µg/m³ proposed by the World Health Organization (WHO) in 2021. The weekly concentration of benzene exceeds the management reference value (VRAI) of 6 µg/m³ in quite 1.4% of dwellings. Trichloroethylene levels exceed the VRAI of 10 µg/m³ for 0.05% of dwellings. No exceedance of reference values was observed for acetaldehyde, ethylbenzene, tetrachloroethylene and toluene. Although no exceedance of reference values was observed, measurements of some high concentration values emphasize the need to maintain vigilance in a few pollutants, specifically those associated with carcinogenic effects without threshold, like benzo(a)pyrene and tetrachloroethylene.

Most measured pollutants do not have any reference value that could help to determine if the observed concentration level is satisfactory or not. This reinforces the need to improve knowledge on related health effects to enable the development of indoor guideline values.

Several substances are very rarely detected in households (detection frequency less than 5%), including halogenated VOCs (trichloroethylene, 1,2-dibromoethane, bromodichloromethane), 2-butanone oxime, methyl eugenol, p-hydroquinone, citriodiol, brominated flame retardants, PCB-77, and 4-n-nonylphenol.

A decrease in the concentration levels of VOCs, aldehydes, and particulate matter is observed for CNL2 compared to the first national campaign in dwellings conducted from 2003 to 2005 (CNL1). This decrease is particularly significant (over 80%) for chlorinated VOCs (1,4-dichlorobenzene, trichloroethylene, and tetrachloroethylene), 1-methoxy-2-propanol, and n-decane. Statistically significant decreases of 28% to 47% are also noticed for benzene, particulate matter, and formaldehyde. No change in pollutant concentration levels is observed for hexaldehyde, 1-methoxy-2-propyl acetate (very rarely detected in both cases), CO₂ and radon. These decreases may be partly related to the evolution of regulatory measures that occurred between the two campaigns, i.e. the ban of some chemicals like trichloroethylene and benzene from building products or tetrachloroethylene from dry cleaning facilities, as well as the mandatory labelling of building products that helped to reduce VOC emissions in indoor air. Regulatory actions to reduce ambient air pollutants may also have indirectly contributed to this decrease in indoor concentration levels. Moreover, the decrease in the number of smokers inside the dwellings surveyed is likely one of the main causes responsible to the decrease in the concentration of fine particles indoors. The numerous awareness-raising actions carried out since 2005 have probably also played a role in changing the behaviour of occupants about indoor air quality. The impact of the Covid pandemic episode in 2020 is however more difficult to assess.

A comparison of the results from the CNL2 survey with large-scale international studies conducted in Europe or North America shows similar or slightly lower pollutant concentration levels for CNL2.

Data analysis is ongoing, with a focus on dwelling ventilation, pesticides levels in air and dust and identification of determinants of pollution levels.

KEYWORDS: National survey, pollutant, dwellings, VOCs, particulate matter, formaldehyde, endocrine disruptors, phthalates, indoor air

0. PREAMBULE

Ce rapport présente le déroulé du terrain de la campagne, le redressement et la pondération des résultats nécessaire à leur expression à l'échelle du parc de résidences principales, les statistiques descriptives des différents polluants et paramètres environnementaux mesurés lors des enquêtes aux domiciles des particuliers, une description des caractéristiques des logements enquêtés, une comparaison des résultats observés avec ceux de la première campagne nationale logements (CNL1) et la mise en perspective de ces résultats avec d'autres études internationales. Ce rapport se focalise sur les résultats associés aux composés organiques volatils (COV), aux composés organiques semivolatils (COSV), au dioxyde d'azote (NO₂), aux particules fines (PM_{2,5}) et au radon. Une première description des résultats en dioxyde de carbone (CO₂), température et humidité relative figure également dans ce rapport.

D'autres analyses spécifiques sont en cours et feront l'objet de rapports dédiés à venir :

- Les résultats de mesures des pesticides dans l'air et les poussières des logements, financées par le dispositif de phytovacovigilance de l'Anses ;
- L'état de la ventilation dans les logements intégrant les résultats des mesures de débit aux bouches de ventilation, une exploitation plus approfondie des données en CO₂, une estimation du taux de renouvellement de l'air dans les logements et une analyse de la fréquence d'aération des logements par ouvertures de fenêtres ;
- La présence de moisissures dans les logements avec un premier focus sur les moisissures visibles conjointement aux résultats relatifs aux problèmes d'humidité dans le logement ;
- Les résultats descriptifs associés aux données enregistrées des capteurs QAI déployés dans les logements enquêtés ;
- Une description des équipements présents dans le logement (principalement liés aux systèmes de chauffage et de climatisation ;
- Une description plus complète des données issues des questionnaires administrés (quelques caractéristiques sont présentés dans le présent rapport) ;
- Les données d'occupation du logement et d'activités (budget espace-temps activités) réalisées durant la semaine. Elles intègrent des informations sur l'occupation du logement à l'échelle de l'individu et du ménage ainsi que sur les activités domestiques menées au cours de la semaine d'enquête ;
- Les résultats relatifs aux particules ultrafines enregistrées sur une semaine dans un sous-ensemble de logements ;
- Les exploitations particulières intégrant des croisements de données ou la recherche de déterminants de polluants.

1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a réalisé de septembre 2003 à décembre 2005 une première campagne nationale sur la qualité de l'air dans les logements en France (CNL1 ; Kirchner et al., 2007). Malgré cette campagne nationale et les nombreuses initiatives menées à plus petite échelle, la qualité de l'air intérieur (QAI) reste encore assez méconnue, en particulier dans les logements. L'absence de suivi régulier de la QAI dans le secteur résidentiel ne permet pas de savoir comment évolue la QAI dans le temps. Or, c'est dans les logements que la population passe en moyenne deux tiers de son temps et c'est là qu'elle est souvent le plus exposée aux polluants d'origine intérieure comme ceux d'origine extérieure.

La diversité des matériaux, des activités, des produits et des équipements dans les logements conduit à une forte hétérogénéité de la QAI et à des expositions à des substances très variées.

Les enquêtes de la CNL1 datent de la période 2003 - 2005 et ont donc plus de 15 ans. Or, la réglementation thermique pour la construction des nouveaux bâtiments ou leur rénovation a évolué. Les matériaux et produits domestiques utilisés peuvent avoir changé leur formulation. Des substances considérées émergentes¹ et d'intérêt sanitaire posent question et nécessitent d'acquies plus de données pour caractériser l'exposition des populations nécessaire à une évaluation des risques. Les pratiques des ménages et leur attention portée à l'environnement ont également pu changer et modifier leur impact sur la QAI. Enfin, les moyens analytiques se sont améliorés et permettent de mesurer plus efficacement certaines substances ou certains paramètres d'intérêt. Les évolutions les plus marquantes sont détaillées dans la section suivante.

Ces observations et interrogations ont poussé à s'interroger sur l'état de la QAI dans les logements en France aujourd'hui.

1.2. Evolution du parc et de la réglementation en 15 ans

Depuis la CNL1, dont la phase de terrain s'est terminée en décembre 2005, plus de 15 ans se sont écoulés avant le démarrage des enquêtes de cette nouvelle campagne en novembre 2020. Durant cette période, de nombreux changements ont eu lieu avec un impact sur la qualité de l'air intérieur pas encore suffisamment connu. Ces changements regroupent :

- L'apparition de nouvelles réglementations ou la modification de celles existantes ;
- Une prise en compte croissante des questions de santé environnementale avec notamment l'élaboration de valeurs sanitaires de références propres aux environnements intérieurs ;
- L'évolution du parc résidentiel de bâtiments ;

¹ Le caractère émergent est ici attribué à des substances rarement étudiées et mesurées dans les environnements intérieurs, en particulier dans des campagnes de grande ampleur. Il peut également s'agir de substances connues mais plus difficilement mesurables qui ont fait l'objet d'un développement analytique récent. Toutes ces substances partagent un manque de connaissance à leur rencontre.

- L'évolution de la pollution extérieure ;
- D'autres évolutions ou évènements notables comme les actions de sensibilisation du grand public à la qualité de l'air intérieur, l'évolution du nombre de fumeurs dans la population et la survenue d'un épisode pandémique (covid) en 2020.

1.2.1. Evolution de la réglementation thermique des bâtiments

Au moment de la CNL1, la réglementation thermique (RT) en vigueur était la RT 2000² qui visait une consommation maximale énergétique de 130 kWh/m².an pour les bâtiments neufs résidentiels. Entre 2005 et 2020, deux réglementations thermiques se sont succédées : la RT2005 et la RT2012.

La RT 2005³ était appliquée aux bâtiments neufs et parties nouvelles (hors rénovation). Elle visait une meilleure maîtrise des performances énergétiques des bâtiments en termes d'isolation et de consommations énergétiques, en fixant des exigences en termes d'isolation thermique, de perméabilité à l'air, sur la ventilation et le chauffage notamment.

La RT 2005 a également introduit des labels pour des performances énergétiques plus ambitieuses que les objectifs fixés par la réglementation (HPE et THPE pour haute et très haute performance énergétique avec ou sans utilisation d'énergie renouvelable EnR et BBC pour bâtiment basse consommation). Avec l'arrêté du 3 mai 2007, la réglementation s'est étendue au secteur de la rénovation.

La RT 2012⁴, définie à la suite du Grenelle de l'environnement, a été publiée le 27 octobre 2010 avec une application au secteur résidentiel neuf au 1er janvier 2013. Elle visait à diviser par trois la consommation énergétique des bâtiments neufs, en s'alignant sur le label BBC 2005, soit une consommation maximale de 50 kWh/m².an (ep pour énergie primaire). Ces 50 kWh sont à moduler en fonction de la zone géographique, de l'altitude et de la surface habitable.

La perméabilité à l'air des habitations neuves a été limitée à moins de 0,6 m³/h.m² (maison individuelle) ou moins de 1 m³ (logement collectif) exprimée sous 4 Pa de différentiel. La surface de baie devait être égale au minimum à un sixième de la surface habitable. De plus, une maison individuelle devait pouvoir utiliser de l'énergie renouvelable pour la production de chaleur ou d'eau chaude sanitaire. La réglementation a également émis des exigences en termes de ponts thermiques. Un indicateur de confort d'été a été introduit (TIC : température intérieure conventionnelle : maximale horaire en période d'occupation de la température opérative calculée sur une journée chaude de référence).

Au moment du lancement de la CNL2, une nouvelle réglementation énergétique et environnementale de l'ensemble de la construction neuve était en préparation (la RE 2020).

² RT 2000 : Arrêté du 29 novembre 2000 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000220217/>)

³ RT 2005 : Quatrième réglementation thermique du 2 septembre 2006, décret n° 2006-592 du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000242000/2021-08-18/>)

⁴ RT 2012 : Décret n° 2010-1269 du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000022959342>)

Elle est entrée progressivement en vigueur au 1er janvier 2022 pour les logements. Elle prend en compte non seulement les consommations d'énergie, mais aussi les émissions de carbone, y compris celles liées à la phase de construction du bâtiment (performance environnementale par l'analyse du cycle de vie qui additionne les impacts carbonés de tous les matériaux et équipements utilisés dans un bâtiment durant son existence).

L'enjeu est donc de concevoir et construire les futurs lieux de vie des Français en poursuivant trois objectifs majeurs portés par le gouvernement : un objectif de sobriété énergétique et une décarbonation de l'énergie ; une diminution de l'impact carbone ; une garantie de confort en cas de forte chaleur.

La RE 2020⁵ entraîne la disparition progressive des logements neufs chauffés au gaz naturel, en imposant aux bâtiments neufs des seuils de consommation énergétique et d'émission de gaz à effet de serre. Le critère de perméabilité à l'air de 0,6 m³/h.m² (maison individuelle) et de 1 m³/h.m² (en collectif) est conservé. Une inspection obligatoire du système de ventilation à réception est requise dans les bâtiments résidentiels neufs pour vérifier son bon fonctionnement, et intègre notamment la vérification des débits d'air et/ou pression aux bouches⁶. Pour le confort d'été, la TIC est supprimée et remplacée par une nouvelle exigence, sur les degrés-heures d'inconfort (DH), avec une nouvelle méthode de calcul qui prend en compte les effets du changement climatique sur les bâtiments. Le DH est un compteur qui cumule, sur la période estivale, chaque degré inconfortable de chaque heure de la journée et de la nuit. Les degrés inconfortables sont conventionnellement ceux qui dépassent une température de confort qui varie généralement entre 26 et 28 °C suivant les températures extérieures.

L'évolution de la réglementation thermique entre 2005 et 2020 montre l'effort mis en œuvre pour améliorer la performance énergétique des bâtiments en ciblant notamment la perméabilité à l'air de l'enveloppe. Les conséquences attendues sur la qualité de l'air intérieur portent sur une contribution plus importante des systèmes de ventilation et de l'aération sur le renouvellement de l'air des logements et une évolution des matériaux d'isolation utilisés.

1.2.2. Evolution des mesures en santé environnementale

Plusieurs dispositions en santé environnementale ont été prises depuis 15 ans avec :

- La succession de 4 plans nationaux en santé environnementale : PNSE 1 (2004 – 2008), PNSE 2 (2010 – 2014), PNSE 3 (2015 – 2019) et PNSE 4 (2020 – 2024) ;
- Des réglementations directement liées à la qualité de l'air intérieur ;
- L'élaboration de valeurs de références pour certaines substances applicables aux environnements intérieurs.

⁵ RT 2020 : Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043936431>)

⁶ <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/verification-des-systemes-de-ventilation-a561.html>

1.2.2.1. Plans nationaux en santé environnement

Le premier plan national en santé environnement (PNSE1, 2004-2008⁷) est sorti au moment où la CNL1 était en cours. Trois actions visaient particulièrement la qualité de l'air intérieur :

- Action 14 : Mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur ;
- Action 15 : Mettre en place un étiquetage des caractéristiques sanitaires et environnementales des matériaux de construction ;
- Action 17 : Réduire l'exposition au radon dans les bâtiments à usage d'habitation et mieux évaluer le risque.

D'autres actions mises en place peuvent affecter indirectement la qualité de l'air intérieur comme les actions de réduction des émissions de polluants extérieurs (particules, benzène, NO_x) en agissant directement sur leurs sources, ou encore des actions de sensibilisation générale (amélioration de l'accès à l'information en santé environnementale).

Le deuxième plan national santé environnement (PNSE2⁸) est sorti en 2010 pour une durée de 4 ans (2010-2014). Il met encore plus l'accent sur des actions visant à améliorer la qualité de l'air intérieur, notamment :

- Action 7 : Mieux connaître et limiter les sources de pollution à l'intérieur des bâtiments. Cette action regroupe l'interdiction des substances classées CMR dans les matériaux de construction et les produits de décoration, l'interdiction des panneaux de particules très émissifs en formaldéhyde (classe E2), la restriction de l'utilisation de formaldéhyde selon les usages, et un étiquetage obligatoire des sources intérieures de pollution ;
- Action 8 : Construire sainement par la limitation des sources dans le bâti et la maîtrise des installations d'aération, de ventilation et de climatisation. Cette action comprend l'élaboration d'outils de diagnostic et d'aide à la décision, la formation des professionnels, la vérification des performances des nouvelles options technologiques, des campagnes de sensibilisation du public à la QAI, la recherche des déterminants ;
- Action 9 : Mieux gérer la qualité de l'air intérieur dans les lieux publics au travers de la mise en place de valeurs de gestion en QAI, d'une surveillance de la QAI dans les lieux clos ouverts au public, et le développement de l'aide à la gestion ;
- Action 23 : Développer la profession de conseillers habitat-santé ou en environnement intérieur ;
- Action 40 : Réduire l'exposition au radon dans l'habitat.

Le PNSE 2 poursuit également les actions de réduction de la pollution extérieure en se focalisant sur les sources de particules (chauffage domestique, installations industrielles et

⁷ PNSE 1 (2004- - 2008) : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-national-sante-environnement-pnse#le-1er-plan-national-sante-environnement-2004-2008-3>

⁸ PNSE 2 (2010 - 2014) : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-national-sante-environnement-pnse#le-2e-plan-national-sante-environnement-2010-2014-2>

agricoles, transports) et les sources de six substances toxiques dont le benzène et COV associés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les solvants chlorés (stations-services et procédés de nettoyage à sec).

Le PNSE 3 (2015 – 2019)⁹ met l'accent sur la gestion et la prévention du risque lié au radon au travers des actions 4, 5, 6 et 7 et sur la mise en œuvre d'un plan d'actions sur la qualité de l'air intérieur annoncé par le gouvernement¹⁰. Ce plan d'action comporte plusieurs thématiques, à savoir :

- Informer le grand public et les acteurs relais ;
- Développer l'étiquetage pour les produits susceptibles d'émettre des polluants dans l'air intérieur (focus sur l'ameublement et les produits d'entretien en particulier) ;
- Développer les actions incitatives et préparer les évolutions réglementaires dans la filière du bâtiment (renforcement du volet QAI dans les labels et certifications de la performance énergétique, de la performance de l'aération/ventilation);
- Progresser sur le terrain vis-à-vis de pollutions spécifiques dans les établissements recevant du public ;
- Améliorer les connaissances notamment au regard des logements contigus à des petites installations industrielles.

Le PNSE 3 a également persévéré dans la réduction des polluants atmosphériques au travers des actions 50 (élaborer un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques nocifs pour la santé et ayant un impact sur le climat) et 51 (réduire les émissions liées aux secteurs résidentiel et agricole en particulier concernant les particules). Au regard de la sensibilisation du grand public, l'action 107 du PNSE 3 vise à faciliter l'information de l'ensemble des citoyens sur les thèmes liés à la santé environnementale, notamment via la création d'un méta-portail sur le PNSE et les plans régionaux en santé environnement (PRSE).

Le lancement du 4^{ème} plan national en santé environnement (PNSE 4, 2020 – 2024¹¹) correspond à peu de choses près à celui de la CNL2. Cette dernière est d'ailleurs inscrite comme une des dispositions prioritaires de l'action 14 du PNSE 4 (améliorer la qualité de l'air intérieur au-delà des actions à la source sur les produits ménagers et les biocides). Cette dernière comprend aussi l'accompagnement et la formation des acteurs du bâtiment, la vérification des systèmes de ventilation à réception, l'amélioration de la QAI des établissements recevant du public et accueillant une population sensible notamment aux moments clés du bâtiment. Le PNSE 4 met également l'accent sur des actions de sensibilisation du grand public avec un impact indirect voire direct sur la QAI :

- Action 1 : Connaître l'état de son environnement et des bonnes pratiques à adopter ;

⁹ PNSE 3 (2015 -2019) : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-national-sante-environnement-pnse#le-3e-plan-national-sante-environnement-2015-2019-1>

¹⁰ Plan d'actions sur la qualité de l'air (2013) : https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/Plan_Qualite_de_l_air_interieur_octobre_2013.pdf

¹¹ PNSE 4 (2020 – 2024) : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-national-sante-environnement-pnse#le-4e-plan-national-sante-environnement-un-environnement-une-sante-2021-2025-0>

- Action 2 : Identifier les substances dangereuses pour la santé et l'environnement dans les objets du quotidien ;
- Action 3 : Être mieux informé sur la bonne utilisation des produits ménagers et leur impact sur la santé et l'environnement ;
- Action 4 : Informer les propriétaires d'animaux sur l'utilisation des produits biocides.

Au travers de la succession des PNSE entre 2005 et 2020, de nombreuses actions visant l'amélioration de la qualité de l'air intérieur ont été menées dont certaines ont été traduites en textes réglementaires. Elles se sont accompagnées d'actions visant la réduction des polluants atmosphériques ce qui indirectement peut bénéficier à la qualité de l'air intérieur. De nombreuses actions ont également cherché à améliorer la connaissance des sources et des risques liés à la pollution du grand public d'une part mais également des professionnels par des actions de sensibilisation ou par la promotion de formations dédiées.

Les trois premiers PNSE ont fait l'objet d'une évaluation par le Haut conseil de la santé publique (HCSP) en 2022¹². L'ensemble des actions y sont discutées en termes d'efficacité de mise en œuvre et de déclinaison à l'échelle régionale. En matière d'environnement intérieur, le HCSP souligne que les PNSE ont joué un rôle essentiel dans la communication et la sensibilisation des professionnels et du public.

Au regard de l'ensemble des actions mises en œuvre, une amélioration de la qualité de l'air intérieur pourrait être attendue.

1.2.2.2. Réglementations directement liées à la qualité de l'air intérieur

La réglementation française dans le domaine de la qualité de l'air intérieur repose à la fois sur la prévention de la santé publique associée à certains polluants (amiante, radon, monoxyde de carbone (CO), tabagisme passif) mais aussi sur les engagements issus du Grenelle de l'environnement. Entre 2005 et 2020, plusieurs dispositions réglementaires ont été mises en place visant à améliorer la qualité de l'air intérieur :

- Le repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante obligatoire par les propriétaires (Décret n° 2011-629¹³), le constat de risque d'exposition au plomb (CREP) au moment de la vente ou de la location (Décret n°2006-1114¹⁴), l'information sur la localisation du bâti en zones à potentiel radon dans les risques majeurs définies à l'échelle de la commune (Décret n° 2018-434¹⁵), l'entretien annuel des appareils de

¹² <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1225>

¹³ Décret n°2011-629 du 3 juin 2011 relatif à la protection de la population contre les risques sanitaires liés à une exposition à l'amiante dans les immeubles bâtis et arrêtés associés

¹⁴ Décret n°2006-1114 du 5 septembre 2006 relatif aux diagnostics techniques immobiliers et modifiant le code de la construction et de l'habitation et le code de la santé publique obligatoire par les propriétaires

¹⁵ Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire

chauffage, de production d'eau chaude permettant de prévenir les intoxications au CO (Décret n° 2009-649¹⁶ et Décret n° 2020-912¹⁷) ;

- L'interdiction depuis 2009 des composés cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques de catégorie 1 ou 2 (trichloroéthylène, benzène, phtalate de bis(2éthylhexyle) ou DEHP, phtalate de dibutyle ou DBP) dans les produits de construction ou de décoration mis sur le marché (arrêté du 30 avril 2009¹⁸). Cette interdiction correspond à une limitation des émissions dans l'air par ces produits (traduite par une concentration de ces substances dans une pièce modèle inférieure à 1 µg/m³) ;
- L'étiquetage obligatoire des produits de construction et de décoration au regard de leurs émissions de composés organiques volatils dans l'air (Décret no 2011-321 du 23 mars 2011¹⁹). Cette réglementation impose une étiquette catégorisant le niveau d'émissions de polluants dans l'air de tous les produits de construction et revêtements mis sur le marché, allant du moins émissif (catégorie A+) au plus émissif (C) depuis septembre 2013 ;
- Même si elle ne concerne pas les bâtiments résidentiels, la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011²⁰) est considérée comme une étape importante des mesures réglementaires de la QAI en instaurant des campagnes de mesure pour surveiller notamment le formaldéhyde, le benzène et le confinement de l'air. Le dispositif a été revu en 2015, puis dernièrement en 2022 (Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022²¹). Concernant spécifiquement la gestion du risque radon, la surveillance de certains ERP a également fait l'objet d'une évolution en 2018 (Décret n° 2018-434²²) ;
- Accompagnant cette réglementation sur la surveillance obligatoire de la QAI, le Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011²³ instaure des valeurs-guides réglementaires pour le formaldéhyde et le benzène dans l'air intérieur. Elles sont modifiées par décret en

¹⁶ Décret n° 2009-649 du 9 juin 2009 relatif à l'entretien annuel des chaudières dont la puissance nominale est comprise entre 4 et 400 kilowatts

¹⁷ Décret n° 2020-912 du 28 juillet 2020 relatif à l'inspection et à l'entretien des chaudières, des systèmes de chauffages et des systèmes de climatisation

¹⁸ [Arrêté du 30 avril 2009 relatif aux conditions de mise sur le marché des produits de construction et de décoration contenant des substances cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques de catégorie 1 ou 2 - Légifrance](#)

¹⁹ [Décret n° 2011-321 du 23 mars 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils - Légifrance](#)

²⁰ [Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public - Légifrance](#)

²¹ [Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022 modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur - Légifrance](#)

²² [Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire - Légifrance](#)

²³ [Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène - Légifrance](#)

2022 et inscrites à l'article R221-29 du code de l'environnement conjointement avec le niveau de référence pour le radon ;

- L'utilisation de tétrachloroéthylène est interdite dans les pressings contigus aux zones occupées par des tiers (Arrêté du 5 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 août 2009²⁴ et Circulaire du 16 août 2013²⁵). Cette interdiction est entrée progressivement en vigueur au 1^{er} janvier 2016 pour les machines les plus anciennes et elle concerne toutes les machines depuis le 1^{er} janvier 2022.
- Un étiquetage obligatoire est mis en place pour les produits désodorisants à combustion (bougies, encens) relatif aux précautions d'usage liées aux émissions de polluants volatils (Décret no 2017-946 du 10 mai 2017²⁶)

Ces mesures réglementaires peuvent participer à l'incitation à améliorer la qualité de l'air dans les environnements intérieurs notamment dans les logements.

1.2.3. Elaboration de valeurs de référence pour les environnements intérieurs

Les VGAI proposées par l'Anses constituent le socle initial du procédé institutionnel visant à fixer des valeurs réglementaires de surveillance de la qualité de l'air intérieur. Elles sont fondées uniquement sur des critères sanitaires et sont de nature indicative.

Afin d'appuyer les pouvoirs publics dans l'élaboration de valeurs opérationnelles permettant de mettre en place des actions d'amélioration de la qualité d'air intérieur, le ministère chargé de la santé a demandé au Haut conseil de la santé publique (HCSP) de proposer, à partir des VGAI de l'Anses, des valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur, ainsi qu'un calendrier pour leur déploiement. Le HCSP formule des propositions afin d'éclairer les gestionnaires du risque sur les niveaux de concentration à partir desquels des actions sont à entreprendre. Le HCSP tient compte de considérations pratiques, réglementaires, juridiques, économiques et sociologiques.

Enfin, conformément à la loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale, des VGAI réglementaires sont établies par le ministère chargé de l'écologie, inscrites dans le code de l'environnement et sont associées à des mesures de gestion opposables. À ce jour, des valeurs-guides pour l'air intérieur sont définies réglementairement pour le formaldéhyde, le benzène et le radon.

1.2.3.1. Elaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI)

Au moment du lancement de la CNL1, l'agence française de sécurité sanitaire environnementale (AFSSE) créée en 2002, devenue l'agence française de sécurité sanitaire de

²⁴ [Arrêté du 5 décembre 2012 modifiant l'arrêté du 31 août 2009 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2345 relative à l'utilisation de solvants pour le nettoyage à sec et le traitement des textiles ou des vêtements - Légifrance](#)

²⁵ <https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Bulletinofficiel-0027088&reqId=4fb95429-347b-496c-9992-f998f2066f95&pos=17>

²⁶ [Décret n° 2017-946 du 10 mai 2017 relatif à l'étiquetage des produits désodorisants à combustion sur les informations de sécurité pour l'utilisateur - Légifrance](#)

l'environnement et du travail (AFSSET) en 2005 puis l'agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) en 2010, se penchait déjà sur l'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) fondées exclusivement sur des critères sanitaires pour protéger la santé des populations.

Entre 2005 et 2020, l'Anses a travaillé sur 15 substances ou paramètres pour proposer des VGAI à partir d'une méthodologie qui a fait l'objet de mise à jour dans le temps (2007, 2011 et 2016) en s'appuyant notamment sur les travaux de hiérarchisation de l'OQAI pour identifier les polluants d'intérêt, ainsi que sur les données de la CNL1 (**Tableau 1**). Les premières valeurs ont été publiées en 2007 et certains polluants ont fait l'objet de mise à jour. Depuis 2020, des VGAI pour l'ammoniac²⁷ ont été proposées. Par ailleurs, après avoir élaboré des VGAI pour des substances prises individuellement, des VGAI pour un mélange de substances irritantes ont été proposées²⁸.

Tableau 1. Liste des substances ou paramètres étudiés en vue de proposer une VGAI

Substance ou paramètre	Année de publication	VGAI
Formaldéhyde	2007 (mise à jour 2018)	oui
Monoxyde de carbone	2007	oui
Benzène	2008 (mise à jour 2024)	oui
Naphtalène	2009	oui
Trichloroéthylène	2009 (mise à jour 2019)	oui
Particules	2010	Non (proposition d'utiliser les recommandations de l'OMS)
Tétrachloroéthylène	2010 (mise à jour 2024)	oui
Acide cyanhydrique	2011	oui
Acroléine	2013 (mise à jour 2022)	oui
Dioxyde d'azote (NO ₂)	2013	oui
Dioxyde de carbone (CO ₂)	2013	Non (données insuffisantes)
Acétaldéhyde	2014	oui
Ethylbenzène	2016	oui
Moisissures	2016	Non (mais une valeur d'interprétation est proposée)
Toluène	2018	oui

Sources :

<https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-dair-interieur-vgai>
<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2012sa0093Ra.pdf>
<https://www.anses.fr/system/files/AIR2014SA0016Ra.pdf>

²⁷ <https://www.anses.fr/system/files/AIR2020SA0122Ra.pdf>

²⁸ <https://e-phy.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0101Ra-1.pdf?download=1>

L'Anses a également produit plusieurs expertises sur différents aspects de la pollution des environnements intérieurs qui ont permis d'avancer sur l'état des connaissances de la qualité de l'air intérieur en appui aux actions de gestion menées par les politiques publiques, notamment :

- 2006 : [Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils \(COV\) dans l'air intérieur](#) (en partenariat avec le CSTB) ;
- 2008 : [Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs](#) ;
- 2009 : [Procédure de qualification des émissions de composés organiques volatils \(COV\) par les matériaux de construction et produits de décoration](#) ;
- 2014 : [Etude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur](#) (en partenariat avec l'OQAI) ;
- 2015 : [Appui à l'étiquetage des produits d'ameublement](#) ;
- 2016 : [Moisissures dans le bâti](#) ;
- 2017 : [Evaluation des risques sanitaires pour les consommateurs liés à la présence de dichlorobenzènes dans des mousses en polyuréthane utilisées dans l'ameublement](#) ;
- 2017 : [Identification et analyse des différentes techniques d'épuration d'air intérieur émergentes](#) ;
- 2019 : [Caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'air intérieur](#) ;
- 2020 : [Méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail et l'air intérieur](#) ;
- 2020 : [Evaluation de l'exposition et valeurs de référence pour les poussières sédimentées dans les environnements intérieurs](#) ;
- 2020 : [Sprays et diffuseurs à base d'huiles essentielles à usage domestique](#).

Durant la mise en œuvre de la CNL2, l'Agence a également formulé en 2022 des recommandations sur l'utilisation de micro-capteurs pour le suivi de la qualité de l'air intérieur et extérieur²⁹.

En 15 ans, la proposition de plusieurs VGAI avec la publication de nombreux travaux d'expertise ont permis d'établir un socle de connaissances qui est venu alimenter la réflexion des pouvoirs publics sur les actions à mener pour améliorer la qualité des environnements intérieurs. Certaines des VGAI proposées ont ensuite été traduites en valeurs de gestion par le Haut conseil en santé publique (HCSP) et quelques-unes converties en valeurs de référence réglementaires.

²⁹ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0271Ra.pdf>

1.2.3.2. Elaboration de valeurs d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur

Le Haut conseil de la santé publique (HCSP) a été mis en place en 2007. Dans le cadre de ses missions, il a la charge de recommander des valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur sur la base des VGAI établies par l'Anses sur des critères sanitaires. Ces valeurs de référence sont en général de deux types : des valeurs repères de qualité d'air intérieur (VRAI) et des valeurs d'action rapide (VAR). La démarche méthodologique d'élaboration de valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur est présentée dans un rapport publié en 2009 et mis à jour en 2019³⁰.

Entre 2005 et 2020, des valeurs d'aide à la gestion ont été proposées pour 7 substances ou paramètres dans les environnements intérieurs :

- [Formaldéhyde](#) (2009, mise à jour 2019) ;
- [Benzène](#) (2010, mise à jour 2024) ;
- [Tétrachloroéthylène](#) (2010) ;
- [Naphtalène](#) (2012) ;
- [Trichloroéthylène](#) (2012, mise à jour 2020) ;
- [Particules](#) (2013) ;
- [Acétaldéhyde](#) (2019).

Au moment et après la mise en œuvre de la CNL2, le HCSP a émis de nouvelles recommandations ciblant la qualité de l'air intérieur (sans considérer les avis associés aux recommandations vis-à-vis des risques infectieux et des épisodes épidémiques). Il s'agit notamment de :

- [Messages comportementaux destinés notamment aux populations vulnérables et sensibles en lien avec la qualité de l'air \(air intérieur, air extérieur dont les pollens\)](#) (2021) ;
- [Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur \(VRAI et VAR\) pour le CO₂ dans les ERP](#) (2022) ;
- [Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur \(VRAI et VAR\) pour l'acroléine](#) (2024).

Avec les avis de l'Anses, les recommandations du HCSP représentent un rouage incontournable dans les opérations de gestion de la qualité de l'air intérieur et s'inscrivent dans une réflexion plus globale menée par les pouvoirs publics. Les recommandations du HCSP s'appliquent aux ERP mais également aux espaces clos en général dont les logements.

Entre 2005 et 2020, l'ensemble des dispositions réglementaires, avis de l'Anses et recommandations du HCSP représentent autant d'outils mis en place par les pouvoirs publics pour aider à améliorer la qualité de l'air intérieur.

³⁰ <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/AvisRapportsDomaine?clefr=724>

1.2.4. Evolution du parc résidentiel

Entre les deux campagnes nationales CNL1 et CNL2, le parc de bâtiments résidentiels a évolué. Il est possible de déterminer dans quelle mesure il a pu évoluer en comparant les données sur le logement collectées par l'Insee sur la base du recensement de la population au 1^{er} janvier 2006³¹ et au 1^{er} janvier 2020³².

Les éléments d'intérêt ayant varié entre 2006 et 2020 à l'échelle du parc de résidences principales en France métropolitaine continentale sont répertoriés ci-après :

- Le nombre de résidences principales est passé de 25,9 millions à 29,3 millions, soit +12,9 % d'augmentation ;
- Le nombre de résidences principales **de type maison** a augmenté de 12,2 % ;
- Le nombre de résidences principales **de type appartement** a augmenté de 14,3 % ;
- La part de résidences principales **construites après 2005** est de 14,5 % du parc au 1^{er} janvier 2020 ;
- Le nombre de résidences principales **construites avant 2006** a diminué de 3,5 % ;
- Le nombre de résidences principales **occupées par des propriétaires** a augmenté de 13,7 % ;
- Le nombre de résidences principales **occupées par des locataires** a augmenté de 14,0 % ;
- Le **nombre total de personnes occupant les résidences principales** a augmenté de 6,5 % (de 59,6 à 63,5 millions d'individus) ;
- Le **nombre moyen d'occupants par résidence principale** a diminué de 5,7 % passant de 2,30 à 2,17 occupants par logement ;
- Le nombre de résidences principales **avec chauffage central collectif** a augmenté de 7,0 %, mais leur proportion dans le parc est passé de 18,9 % en 2006 à 17,9 % en 2020 ;
- Le nombre de résidences principales **avec chauffage central individuel** a augmenté de 5,6 %, mais leur proportion dans le parc est passé de 45,0 % en 2006 à 42,1 % en 2020 ;
- Le nombre de résidences principales **avec chauffage individuel électrique** a augmenté de 30,8 %, avec une proportion dans le parc qui a évolué de 25,4 % en 2006 à 29,4 % en 2020.

Ces éléments montrent que le parc de bâtiments résidentiels est en constante évolution avec une variation notable du type de chauffage. D'autres éléments comme le taux d'équipement en systèmes de ventilation des logements ne sont malheureusement pas disponibles dans les données de l'Insee.

³¹ [Logement en 2006 | Insee](#)

³² [Logement en 2020 | Insee](#)

1.2.5. Evolution de la pollution de l'air extérieur

Sur la base des éléments du Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2023³³, il est possible de voir l'évolution de certains indicateurs comme les émissions anthropiques et les concentrations moyennes annuelles en fond urbain de quelques polluants atmosphériques.

En ce qui concerne les émissions anthropiques à l'échelle de la France métropolitaine (incluant la Corse), les variations suivantes ont été observées entre 2005 et 2020 :

- Une diminution des émissions anthropiques en dioxyde de soufre (SO₂) de 80,2 % ;
- Une diminution des émissions anthropiques en oxydes d'azote (NO_x) de 55,3 % ;
- Une diminution des émissions anthropiques en ammoniac (NH₃) de 11,7 % ;
- Une diminution des émissions anthropiques en particules (fraction PM₁₀) de 41,9 % ;
- Une diminution des émissions anthropiques en particules fines (fraction PM_{2,5}) de 48,2 % ;
- Une diminution des émissions anthropiques en composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) de 39,8 %.

Au regard des concentrations moyennes annuelles en fond urbain à l'échelle de la France métropolitaine continentale, les variations suivantes ont été observées entre 2005 et 2020 :

- Une baisse en SO₂ de 77,0 % ;
- Une baisse en NO₂ de 46,8 % ;
- Une **augmentation de l'ozone** (O₃) de 8,9 % ;
- Une baisse en particules grossières (PM₁₀) de 42,9 % ;
- Une baisse en particules fines (PM_{2,5}) de 47,2 % (déterminée à partir de 2009 uniquement, lorsque les données mesurées sont devenues suffisantes pour établir des statistiques).

Sur la base de ces éléments, la qualité de l'air extérieur a eu tendance à s'améliorer entre 2005 et 2020 (sauf pour l'ozone). Cela concerne en particulier certains polluants mesurés lors de la CNL2 comme le NO₂, les particules (fraction PM_{2,5}) et les COV (au travers des COVNM).

1.2.6. Evolutions du nombre de fumeurs dans la population

Entre 2005 et 2020, la population elle-même a pu évoluer en particulier au regard de ses habitudes de vie. L'une d'entre elles notamment, le fait de fumer, représente un risque sanitaire et une source majeure de pollution des environnements intérieurs. Le nombre de fumeurs dans la population est ainsi suivi régulièrement.

La loi de santé publique de 2004 a fixé comme objectif d'abaisser la prévalence du tabagisme (fumeurs quotidiens) de 33% à 25% chez les hommes et de 26% à 20% chez les femmes à un horizon quinquennal, en visant en particulier les jeunes et les catégories sociales à forte

³³ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2023>

prévalence³⁴. La modification de la Loi Evin (décret n° 2006-1386 du 15 novembre 2006, applicable en février 2007-janvier 2008) a étendu l'interdiction de fumer à d'autres lieux à usage collectif (lieux fermés ou couverts accueillant du public, les établissements de santé, les transports en communs, les établissements destinés à l'accueil, la formation ou à l'hébergement des mineurs). Ces mesures visaient en premier lieu une prise de conscience et un changement des habitudes de la population. D'après les résultats du baromètre de Santé publique France³⁵, la proportion de personnes âgées de 18 à 75 ans qui fument quotidiennement est passée de 27,5 % en 2005 à 25,5 % en 2020. Il y a donc bien une baisse du nombre de fumeurs réguliers imputable aux mesures prises incluant une augmentation progressive de la taxation du tabac.

L'impact sur le niveau de pollution de l'air dans les logements de cette baisse de deux points de la proportion de fumeurs réguliers reste difficile à prévoir. Au pire, une stagnation du niveau de pollution attribuable au tabagisme serait attendue toutes choses égales par ailleurs.

1.2.7. Evolutions en matière de sensibilisation de la population à la QAI

Entre les deux campagnes CNL1 et CNL2, d'autres facteurs ont également pu évoluer suite aux actions de sensibilisation menées par l'OQAI ou d'autres organismes.

1.2.7.1. Actions de diffusion des connaissances menées par l'OQAI

Depuis sa création en 2001, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) devenu l'Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI) au 1^{er} janvier 2024, n'a eu de cesse de promouvoir la diffusion des connaissances depuis la campagne CNL1 au travers de :

- 11 bulletins thématiques sur différents aspects de la qualité de l'air intérieur qui viennent conclure des discussions menées par plusieurs experts dans des ateliers dédiés³⁶,
- Un ouvrage de présentation des recherches menées par l'OQAI depuis sa création³⁷;
- Des plaquettes d'information grand public sur les bons gestes notamment³⁸ ;
- Un site web accessible au grand public avec des informations générales sur les sources intérieures de polluants notamment et les différentes actualités relatives à la QAI (<http://www.oqai.fr/>).

De son rôle d'observateur, l'OQAI est devenu également un acteur dans la sensibilisation du grand public aux différentes thématiques de la qualité de l'air intérieur du fait de son rôle dans la diffusion des connaissances. Il n'est bien sûr pas le seul à contribuer à la sensibilisation de la population à la qualité de l'air intérieur.

³⁴ [L'état de santé de la population en France - Rapport 2011](#)

³⁵ [Consommation de tabac parmi les adultes en 2020 : Résultats du baromètre de santé publique France](#)

³⁶ <https://www.oqai.fr/fr/ateliers>

³⁷ [Qualité d'air intérieur, qualité de vie. 10 ans de recherche pour mieux respirer - Archive ouverte HAL](#)

³⁸ <https://www.oqai.fr/fr/media/brochures-et-guides/135-oqai-les-bons-gestes>

1.2.7.2. Autres actions de sensibilisation du grand public

Les actions de sensibilisation à la qualité de l'air intérieur se sont multipliées depuis ces dernières années. Elles proviennent notamment d'acteurs du marché de la ventilation (exemples^{39,40}), des capteurs (exemples^{41,42}) ou de bureaux d'études (exemples^{43,44}), des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air⁴⁵, des agences ou institutions officielles (Ademe⁴⁶, Santé publique France⁴⁷, Anses⁴⁸) jusqu'aux ministères en charge de l'Écologie⁴⁹ et de la Santé⁵⁰. La plupart du temps, il s'agit d'informations générales disponibles en ligne sur un site avec parfois dans le cas des acteurs de marché, une connexion avec la proposition d'outils de mesure ou de gestion de la qualité de l'air intérieur.

L'édition et la diffusion de guides ou plaquettes d'information spécifiques à la qualité de l'air intérieur constituent également des moyens de sensibiliser certaines catégories de population. De nombreux guides ont été édités depuis la CNL1 et sont disponibles au téléchargement, par exemple pour n'en citer que quelques-uns :

- [Guide de la pollution de l'air intérieur par l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé \(INPES\)](#) ;
- [Guide pratique de l'Ademe, Un air sain chez soi](#) ;
- [Guide de gestion de la qualité de l'air intérieur](#) à destination des gestionnaires d'établissements recevant du public par l'Institut national de veille sanitaire (INVS) devenu Santé publique France ;
- [Fiche pratique qualité de l'air intérieur et santé](#) par WECF France (Women Engage for a Common Future, réseau international écoféministe) ;
- [Guide Rénovation, Bien aérer son logement](#) par l'Ademe ;

³⁹ <https://www.aldes.fr/qualite-d-air-interieur/la-qualite-d-air-interieur-dans-les-logements>

⁴⁰ <https://www.atlantic.fr/Nos-Conseils/Confort-et-economie-d-energie/Qualite-d-Air-Interieur>

⁴¹ <https://www.etheralabs.com/la-qualite-de-vie-au-travail-un-impact-positif-pour-lentreprise/>

⁴² <https://airqualitae.fr/category/ameliorer-la-qualite-de-lair/>

⁴³ <https://ispira-qualite-air.fr/notre-offre-erp-bureaux/>

⁴⁴ <https://www.bureauveritas.fr/besoin/surveillance-de-la-qualite-de-lair-interieur-dans-les-erp>

⁴⁵ <https://www.airparif.fr/generalites-sur-lair-interieur>

⁴⁶ <https://recherche.ademe.fr/thematiques/air/qualite-de-lair-interieure-des-batiments>

⁴⁷ <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air-et-environnements-interieurs>

⁴⁸ <https://www.anses.fr/fr/content/qualite-de-lair-interieur-etablissement-de-valeurs-reglementaires-et-surveillance>

⁴⁹ <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/qualite-lair-interieur>

⁵⁰ <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/qualite-de-l-air-interieur>

- [Démarche ECRAINS®](#) développée par l'ADEME, portant sur la qualité de l'air intérieur et destinée à satisfaire une approche préventive de la santé dans le bâtiment. Elle s'adresse aux principaux acteurs du bâtiment ;
- [Plaque technique Qualité de l'air intérieur – Bonnes pratiques dès la programmation](#) destinée aux architectes et maîtres d'ouvrage par l'Agence qualité construction (AQC) ;
- [Guide méthodologique - Qualité de l'air intérieur en phase chantier](#) destinés aux maîtres d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et entreprises de construction par l'AQC.

Des quiz, enquêtes ou formulaires interactifs ont également été mis en place misant sur le caractère ludique pour aider à sensibiliser le grand public aux problématiques de qualité de l'air intérieur. Quelques exemples sont donnés ci-après :

- Le quiz élaboré par le ministère de l'Écologie, [Un bon air chez moi](#)⁵¹ ;
- Le quiz de l'UFC Que Choisir, [Respirez-vous un air sain chez vous ?](#) ;
- Une enquête interactive, [La qualité de l'air chez vous : que l'enquête commence !](#) par Atmo Réunion ;
- Un outil de diagnostic rapide de la qualité de l'air intérieur [Diag'QAI](#) par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

L'ensemble de ces actions de sensibilisation de la population ont pour but de faire adopter les gestes quotidiens nécessaires pour limiter l'impact des sources intérieures et extérieures de pollution dans le bâtiment et les comportements à avoir pour gérer les situations de pollution. La multiplication de ces actions depuis la CNL1 a sans doute permis la prise de conscience et le changement de comportement d'une partie de la population. Il est toutefois difficile d'établir la part de la population qui a durablement modifié son comportement.

1.2.8. Survenue d'un épisode pandémique en 2020 (Covid)

Un épisode particulièrement marquant est survenu en 2020 juste avant le lancement de la CNL2. Il s'agit de la pandémie de Covid-19 qui a entraîné un confinement sanitaire de la population de plusieurs mois en France et dans un grand nombre de pays. La restriction de déplacements qui en découle a entraîné une baisse drastique des activités industrielles, du trafic routier, ferroviaire ou aérien et des activités économiques dans de nombreux secteurs. De fait, les émissions anthropiques de polluants s'en sont retrouvées diminuées durant cette période de restrictions.

Le confinement de la population a également déclenché une modification du rapport à son logement avec une augmentation très forte du télétravail sur cette période. Depuis, le rapport au télétravail a changé du point de vue d'une partie de la population mais également des entreprises qui ont adapté leurs règles en la matière. Les conséquences attendues sont notamment une durée de présence plus importante de la population active dans leurs logements, en particulier les jours ouvrés. Ce qui peut s'accompagner d'une fréquence plus importante des activités domestiques. Cela pourrait entraîner une émission de polluants

⁵¹ Le quizz n'est malheureusement plus accessible.

associés plus fréquente favorisant plutôt une augmentation des niveaux de concentration dans l'air intérieur.

Mais, la pandémie a également donné lieu à une multiplication des recommandations notamment du HCSP⁵²) autour des gestes barrières, l'usage de produits désinfectants et des pratiques d'aération pour limiter la transmission du virus dans les environnements clos. Dans quelle mesure, ces recommandations ont perduré dans les pratiques quotidiennes aujourd'hui, reste encore à définir. Ces recommandations vont dans le sens d'une augmentation du renouvellement d'air du logement par aération notamment et donc d'une diminution des niveaux de concentration dans l'air (à l'exception peut-être des émissions propres aux produits désinfectants).

Cet épisode pandémique est venu directement impacter la vie quotidienne de la population et modifier leur comportement. Il est difficile de dire si cette modification du comportement était temporaire ou au contraire a perduré en partie depuis. Cela est sans doute variable d'un individu à un autre.

En résumé, entre les deux campagnes, la CNL1 qui s'est terminée en 2005 et la CNL2 qui a démarré fin 2020, 15 ans se sont écoulés. Durant cette période, beaucoup de paramètres ont changé ou évolué : le parc de bâtiments résidentiels, la population, la réglementation concernant aussi bien les bâtiments que la qualité de l'air intérieur comme extérieur, l'élaboration de valeurs de références pour l'air intérieur, une modification possible du comportement individuel vis-à-vis de son logement instiguée par une multitude d'actions de sensibilisation ou en partie forcée par des événements extérieurs comme la pandémie de Covid-19. Ces paramètres représentent autant de facteurs qui pourraient potentiellement expliquer les variations observées dans les niveaux de concentrations des polluants entre les deux campagnes.

1.3. Objectifs de la CNL2

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) devenu l'Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI) 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 objectifs :

- De comparer l'état de la qualité de l'air dans les logements actuel (CNL2) avec celui établi entre 2003 et 2005 (CNL1) ;
- d'apporter 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 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 a permis de sélectionner les logements à enquêter au sein de chaque zone, pour un échantillon cible de 600 logements.

⁵² [Le point sur la Covid-19](#)

2. PREPARATION DE LA CNL2

2.1. Sélection des polluants mesurés dans la CNL2

En vue de la CNL2, une hiérarchisation des substances présentes dans l'environnement intérieur a été réalisée en 2018 (Achille et al., 2018, 2019). L'objectif était d'identifier les nouveaux polluants d'intérêt sanitaire possiblement présents dans les logements et d'en sélectionner une liste restreinte à mesurer dans la campagne (**Tableau 2**).

Tableau 2. Enjeux et objectifs de la hiérarchisation

Objectif	Evaluation des expositions et des risques chroniques dans l'environnement intérieur
Cible	Population générale
Compartment	Air intérieur (Phase gazeuse et particulaire) + sol
Voies d'exposition	Inhalation et ingestion (par les poussières)
Type de substances	Polluants chimiques
Actions envisagées	Mesure ou non des substances dans la CNL2

Le point de départ a été le mémoire de (Almeras, 2010), réalisé à l'OQAI, sur la hiérarchisation sanitaire des polluants de l'environnement intérieur et prenant en compte 1026 substances. Ce travail reprend les listes et substances de travaux antérieurs. Puis, les substances potentiellement présentes dans l'air intérieur et dans les poussières déposées ont été recherchées sur la base d'une revue bibliographique. Au final, une liste initiale de molécules à considérer a été établie. Cette liste, qui constitue le point de départ de la hiérarchisation, comprend 2741 substances, soit 1715 nouvelles par rapport à la classification réalisée par l'OQAI en 2010.

Ensuite, un inventaire des méthodes de hiérarchisation existantes a été conduit et un nouveau modèle de hiérarchisation proposé. Ce modèle prend en compte la dangerosité potentielle d'une substance grâce à l'attribution de scores en fonction de catégories de danger. Six classes d'effets chroniques sur la santé humaine ont été retenues, inscrites pour la quasi-totalité dans le règlement CLP concernant les substances chimiques (Règlement (CE) n°1272/2008, 2008). Ce règlement aligne l'ancienne législation de l'Union européenne sur le SGH (système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques), un système mis en place par les Nations unies pour identifier les produits chimiques dangereux et informer les utilisateurs de ces dangers. Il est lié au règlement REACH. Les 6 classes de danger considérées sont : cancérogénicité, mutagénicité sur les cellules germinales, toxicité pour la reproduction, toxicité pour certains organes cibles (exposition répétée), perturbateur endocrinien, sensibilisation respiratoire ou cutanée. A partir de ces 6 classes, 4 critères ont été établis avec un score associé selon le critère et la nature du danger (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Bilan des scores et qualifications attribuées à chaque effet – Description des 4 critères résultants (sur la base des hiérarchisations sanitaires menées par l'Anses en 2015 et 2017)

Effet	Scores de danger appliqués				
	12	8	4	2	0
Cancérogène Critère 1 (C1)	Cancérogène chez l'Homme	Cancérogène probable chez l'Homme	Cancérogène possible chez l'Homme		Données inadéquates ou cancérogène peu probable
Mutagène Critère 1 bis (C1bis)		Mutagène chez l'Homme	Mutagène probable chez l'Homme	Mutagène possible chez l'Homme	Données inexistantes ou insuffisantes
Reprotoxique Critère 2 (C2)	Reprotoxique chez l'Homme	Reprotoxique probable chez l'Homme	Reprotoxique possible chez l'Homme		Données inexistantes ou insuffisantes
Perturbateur Endocrinien Critère 2 bis (C2bis)		PE probable	PE possible	PE suspecté	Données inadéquates ou PE peu probable
Toxicité spécifique pour certains organes cibles Critère 3 (C3)		Effets toxiques notables chez l'Homme	Effets toxiques possibles chez l'Homme		Données inexistantes ou insuffisantes
Sensibilisant respiratoire et/ou cutané Critère 4 (C4)		Sensibilisant fréquent chez l'Homme et/ou puissant chez l'animal	Sensibilisant peu fréquent chez l'Homme et/ou faible à modéré chez l'animal		Données inexistantes ou insuffisantes

Chaque substance a été catégorisée selon ces 4 critères au regard de multiples sources bibliographiques et un score final a été calculé :

$$\text{Score_Final} = \max(\text{C1} ; \text{C1 bis}) + \max(\text{C2} ; \text{C2 bis}) + \text{C3} + \text{C4}$$

Sur les 2741 substances initiales, 2039 avaient un score final de 0 (absence de données) et 702 un score > 0. En première approche, 256 substances ont été retenues pour la suite du processus de hiérarchisation basé sur des arguments de faisabilité métrologique, de volatilité et d'existence de valeurs guides. Ces 256 substances étaient soit associées à un score final ≥ 10 (208), soit avec un score de cancérogénicité de 8 (48).

Enfin, une liste restreinte de 109 substances à mesurer a été établie pour la CNL2, dont 86 très prioritaires. Le choix final est associé au fait que la substance :

- Est déjà mesurée dans la CNL1 ;
- Est considérée comme émergente ;
- Fait l'objet d'un besoin de connaissances spécifiques ;

- A fait l'objet d'un jugement d'expert du Conseil scientifique (session du 27 mars 2018) ;
- Présente des valeurs de référence en France ou à l'étranger ;
- Présente un potentiel de perturbateur endocrinien ;
- Est une substance sans classement mais qui pourrait être intéressante du fait de son usage lié à des changements de pratique par exemple.

Le **Tableau 4** liste les 109 substances hiérarchisées retenues et le fait qu'elles aient été mesurées dans la CNL1 et dans la CNL2. Sur les 109 substances, 84 ont bien été intégrées à la CNL2 dont 62 déjà mesurées dans la CNL1.

Tableau 4. Liste des 109 substances issues de la hiérarchisation sanitaire et prédéfinies pour être mesurées dans la CNL2. En bleu, les substances qui finalement n'ont pas été recherchées dans la CNL2.

Substance prioritaire	N°CAS	Hiérarchisé CNL2	Recherché dans CNL1	Recherché dans CNL2
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	1	1	1
1,2-Dibromoéthane	106-93-4	1	0	1
1,2-Dichloroéthane	107-06-2	1	0	1
1,3-Butadiène	106-99-0	1	0	0
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	1	1	1
1,4-Dioxane	123-91-1	1	0	1
1-Décanol	107-15-3	1	0	1
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	1	1	1
1-Méthoxy-2-propylacétate	108-65-6	1	1	1
2,2 Iminodiéthanol	111-42-2	1	0	0
2-Butanone oxime	96-29-7	1	0	1
2-Butoxyéthanol	111-76-2	1	1	1
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	1	0	1
4-tert-Butylphénol	98-54-4	1	1	1
4-tert-Octylphénol	140-66-9	1	1	1
Acénaphène	83-32-9	1	1	1
Acénaphylène	208-96-8	1	0	1
Acétaldéhyde	75-07-0	1	1	1
Acétate d'éthyle	141-78-6	1	0	1
Acétate de n-butyle	123-86-4	1	0	1
Acide perfluorooctanoïque (PFOA)	335-67-1	1	0	0
Acroléine	107-02-8	1	1	0
Acrylamide	79-06-1	1	0	0
Alpha-pinène	80-56-8	1	1	1
Anthracène	120-12-7	1	1	1
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	1	1	1
BDE 100	189084-64-8	1	1	1
BDE 153	68631-49-2	1	1	1

Substance prioritaire	N°CAS	Hierarchisé CNL2	Recherché dans CNL1	Recherché dans CNL2
BDE 154	207122-15-4	1	1	1
BDE 209	1163-19-5	1	1	0
BDE 47	5436-43-1	1	1	1
BDE 99	60348-60-9	1	1	1
Benzaldéhyde	100-52-7	1	0	1
Benzène	71-43-2	1	1	1
Benzisothiazolinone (BIT)	2634-33-5	1	0	0
Benzo[a]anthracène	56-55-3	1	1	1
Benzo[a]pyrène	50-32-8	1	1	1
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	1	0	1
Benzo[e]pyrène	192-97-2	1	0	0
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	1	1	1
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	1	0	1
Benzophénone	119-61-9	1	0	1
Bisphénol A	80-05-7	1	1	0
Bromodichlorométhane	75-27-4	1	0	1
Chloroforme	67-66-3	1	0	0
Chrysène	218-01-9	1	0	1
Cyclopenta[c,d]pyrène	27208-37-3	1	0	0
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	1	1	1
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	1	1	1
DEP (Diéthyl phtalate)	84-66-2	1	1	1
Dibenzo[a,l]pyrène	191-30-0	1	0	0
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	1	1	1
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	1	1	1
Dicyclohexylphtalate	84-61-7	1	0	0
DiHEPP (Diisoheptyl phtalate)	41451-28-9	1	0	0
Diisodécyl phtalate (DIDP)	26761-40-0	1	0	0
N,N-diméthylformamide	68-12-2	1	0	1
DINP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	1	1	1
Dioxyde d'azote (NO ₂)	10102-44-0	1	0	1
Dioxyde de titane (TiO ₂) nano	13463-67-7	1	0	0
DMP	131-11-3	1	1	1
DnPEP (di-n-pentylphtalate)	131-18-0	1	0	0
DPHP (Di(2-propylheptyl) phtalate)	53306-54-0	1	0	0
Ethylbenzène	100-41-4	1	1	1
Ethylparabène	120-47-8	1	0	0
Fluoranthène	206-44-0	1	1	1
Fluorène	86-73-7	1	1	1
Formaldéhyde	50-00-0	1	1	1

Substance prioritaire	N°CAS	Hierarchisé CNL2	Recherché dans CNL1	Recherché dans CNL2
Galaxolide	1222-05-5	1	1	1
Hexaldéhyde	66-25-1	1	1	1
p-Hydroquinone	123-31-9	1	0	1
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	1	0	1
Limonène	138-86-3	1	1	1
Mercuré	7439-97-6	1	0	0
Méthyl méthacrylate	80-62-6	1	0	1
Méthyleugénol	93-15-2	1	0	1
Méthylisothiazolinone (MIT)	2682-20-4	1	0	0
Méthylparabène	99-76-3	1	0	0
m-Xylène	108-38-3	1	1	1
Naphtalène	91-20-3	1	0	1
n-Décane	124-18-5	1	1	1
n-Undécane	1120-21-4	1	1	1
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	1	0	1
O-Xylène	95-47-6	1	1	1
PCB 101	37680-73-2	1	1	1
PCB 105	32598-14-4	1	1	1
PCB 118	31508-00-6	1	1	1
PCB 138	35065-28-2	1	1	1
PCB 153	35065-27-1	1	1	1
PCB 180	35065-29-3	1	1	1
PCB 28	7012-37-5	1	1	1
PCB 31	16606-02-3	1	1	1
PCB 52	35693-99-3	1	1	1
PCB 77	32598-13-3	1	1	1
Phénanthrène	85-01-8	1	1	1
Phénol	108-95-2	1	0	1
Propylparabène	94-13-3	1	0	0
p-Xylène	106-42-3	1	1	1
Pyrène	129-00-0	1	1	1
Styrène	100-42-5	1	1	1
Tétrabromobisphénol-A	79-94-7	1	0	0
Tétrachloroéthylène	127-18-4	1	1	1
Tétrahydrofurane	109-99-9	1	0	0
Toluène	108-88-3	1	1	1
Tonalide	21145-77-7	1	1	1
Tributylphosphate	126-73-8	1	1	1
Trichloroéthylène	79-01-6	1	1	1
Triclosan	3380-34-5	1	1	1

Substance prioritaire	N°CAS	Hierarchisé CNL2	Recherché dans CNL1	Recherché dans CNL2
TXIB	6846-50-0	1	0	1
Total		109	62	84

A cette liste de substances chimiques, vient s'ajouter d'autres polluants comme les particules fines en suspension dans l'air (fraction PM_{2,5}). Le radon initialement écarté a été intégré en partenariat avec l'IRSN.

Le comité de phytopharmacovigilance de l'Anses a également conduit un exercice de priorisation de mesures sur les pesticides et a financé la mesure de 81 pesticides dans l'air et 92 pesticides dans les poussières.

2.2. RECRUTEMENT DES LOGEMENTS

2.2.1. Base d'échantillonnage

La base de sondage est le sous-échantillon de ménages de l'enquête EHIS 2019 qui a accepté de transmettre ses coordonnées pour la CNL2, après une courte présentation de ses enjeux, et a donné son accord de participation.

L'enquête de santé européenne EHIS 2019 (Leduc et al., 2021) est réalisée en co-maîtrise d'ouvrage par la Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES) et par l'Institut de recherche et documentation en économie de la santé (IRDES) qui est un groupement d'intérêt public. La DREES fait partie du service statistique publique. L'enquête de santé européenne EHIS 2019 a obtenu le label de la statistique publique et a le statut d'une enquête d'intérêt général et de qualité statistique à caractère obligatoire. L'enquête EHIS 2019 a pour cible la population âgée de 15 ans ou plus vivant en ménage ordinaire, en métropole. Elle concerne près de 15 000 individus en France métropolitaine échantillonnés à partir d'une base de sondage établie par tirage initial des unités primaires, puis sur la base des fichiers fiscaux au sein des unités primaires. Le tirage des personnes dans ces unités a été fait selon un sondage aléatoire simple sur les personnes dans le champ de l'enquête (15 ans ou plus, ménage ordinaire, résidence principale). Une stratification selon l'âge, le sexe et le revenu a également été menée.

Les unités primaires sont construites sur une base communale : chacune des zones est une agrégation de communes, respectant le nombre minimal de 2 500 résidences principales. Elles ont été constituées de façon à être les plus compactes possibles et respectent les frontières départementales. Le découpage a été réalisé sur la géographie légale au 1er janvier 2016. Le champ géographique est la France métropolitaine. Au total, on dénombre 35 772 communes, constituant 5 155 unités primaires (UP). L'échantillon initial tiré au sort comporte 249 UP représentant 1231 communes et un total de 5 891 413 résidences principales.

L'enquête EHIS 2019 a totalisé 14 192 individus enquêtés en 2 vagues au printemps et à l'hiver 2019. Le taux de participation global était de 55 % pour 27 595 adresses mises en exploitation.

Sur ce nombre d'enquêtés, 13 474 individus adultes ont été questionnés sur un possible intérêt à participer à la CNL2. Les répondants peuvent être les personnes directement tirées au sort ou un proxy (membre du foyer répondant à la place de la personne).

La question relative à la participation à la CNL2 telle qu'elle est posée est la suivante :

« L'Observatoire français de la qualité de l'air intérieur réalise une campagne nationale de mesure de la qualité de l'air dans les logements. Cette étude a pour objectif de mieux connaître la pollution de l'air à l'intérieur des logements en France et d'estimer l'exposition de la population aux polluants qu'elle respire au quotidien. Si vous participez à cette étude, des mesures de qualité de l'air seront réalisées dans votre logement et vous serez invité à répondre à des questions utiles à l'interprétation de ces mesures. Vous aurez évidemment accès aux résultats des mesures réalisées chez vous.

Acceptez-vous que vos coordonnées soient transmises pour vous proposer de participer à cette étude ? »

L'intégralité des questions relatives à l'enquête EHIS 2019 est disponible en ligne à l'adresse <https://www.irdes.fr/recherche/enquetes/ehis-enquete-sante-europeenne/questionnaires/ehis-2019.pdf>.

A l'issue de chacune des vagues de l'enquête de santé européenne 2019, les identités et l'ensemble des coordonnées (adresses, téléphones, adresses mail) permettant de joindre les personnes qui ont répondu à l'enquête santé européenne 2019 et qui ont accepté de voir leurs coordonnées transférées afin d'être recontactées pour la CNL2, sont transmises au prestataire en charge du recrutement de la CNL2. Les modalités de transmission de ces données ont nécessité un passage devant le comité du secret statistique le 6 mars 2020. Le comité a émis un avis favorable le 13 mars 2020.

La CNL2 a été définie comme une post-enquête de l'enquête EHIS 2019 lors de la présentation de l'étude EHIS au comité du label statistique le 12 décembre 2018. Elle a démarré avec la mise à disposition des coordonnées des ménages participant à l'enquête EHIS 2019 et ayant répondu favorablement à la question spécifique à la transmission des coordonnées.

Le rapprochement de la CNL2 comme post-enquête de l'étude européenne EHIS 2019 permet :

1. De bénéficier de l'échantillonnage réalisé par l'enquête EHIS 2019 pour la sélection des logements de la CNL2 ;
2. D'augmenter théoriquement le taux de participation par rapport à la première campagne CNL1 en se basant exclusivement sur un échantillon de personnes ayant accepté de transmettre leurs coordonnées et d'être contactées pour une participation à la CNL2 ;
3. D'aider au redressement de l'échantillon CNL2 et à la détermination des poids de sondage à l'échelle des résidences principales ;
4. D'optimiser les questions posées dans le cadre de la CNL2 au regard des items renseignés dans l'enquête EHIS 2019 ;
5. D'enrichir chacune des études par le croisement, d'une part, d'informations détaillées relatives à la santé des individus issues de l'enquête EHIS 2019, et d'autre part, de données précises sur le logement et la qualité de l'air fournies par la campagne CNL2 ;
6. D'identifier une possible influence de facteurs environnementaux sur l'état de santé général des individus, sur leurs dépenses en termes de santé et inversement d'étudier la part des facteurs personnels et habitudes de vie sur la qualité de l'air au sein des logements.

Au final, le nombre de participants consentant à être recontactés est de 3 756 individus ramenés à 3 749 individus pour la France métropolitaine continentale (7 répondants en Corse ont été écartés car hors du champ de la CNL2). Cela représente **un taux d'accord de contact moyen de 28 %**, variable selon les départements d'un minimum de 17 % (71 – Saône et Loire) à un maximum de 52 % (09 – Ariège).

La base d'échantillonnage pour la CNL2 a été ramenée à 3 667 adresses après consolidation des coordonnées disponibles (vérification des coordonnées renseignées et prise en compte des déménagements). Cette étape de consolidation a été réalisée par le prestataire du terrain de l'enquête EHIS 2019, Kantar Sofres.

La **Figure 1** présente la répartition des 3667 adresses de la base d'échantillonnage CNL2 selon les 20 zones d'enquête définies pour la mise en œuvre du terrain. Une zone d'enquête représente une région administrative ou une partie de celle-ci. Les zones d'enquête ont été définies avant l'obtention des accords définitifs de participation.

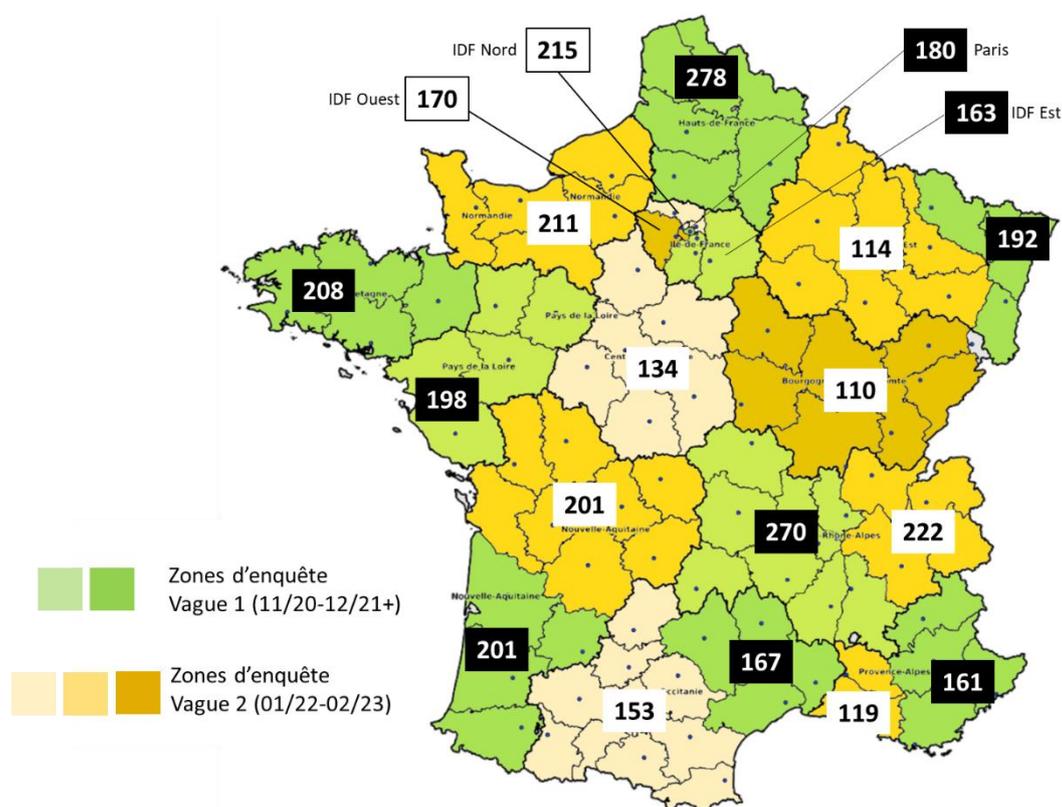


Figure 1. Répartition régionale des 3667 adresses de la base d'échantillonnage CNL2 selon les zones d'enquête (les différents tons de couleurs permettent de différencier les zones entre elles avec en tons verts, les zones d'enquêtes de la vague 1 et en tons jaunes celles de la vague 2).

2.2.2. Estimation de l'effectif d'enquête pour la CNL2 et de sa répartition

L'effectif d'enquêtes par département a été estimé à partir des 3667 d'adresses et en prenant comme hypothèse que le taux départemental d'accord de participation est identique au taux départemental d'accord de contact (variable de 17 % à 52 % avec une moyenne de 28 %). Ce

nombre varie de 1 à 73 logements par département pour un effectif total de 1112 logements qui seraient susceptibles de donner leur accord. Les 600 logements à enquêter pour la CNL2 sont ensuite déterminés au prorata des effectifs estimés par département en multipliant ce nombre par le ratio 600/1112. Ce qui donne un effectif de logements prévisionnel à enquêter variant de 1 à 38 (pour Paris) selon les départements. Cela équivaut à un taux de participation estimé entre 8 % et 29 % selon les départements (moyenne de 16 %).

Les départements sont ensuite regroupés en zones d'enquête. Les zones d'enquête sont d'abord établies à partir des régions administratives qui regroupent plusieurs départements. Puis, les régions avec plus de 40 enquêtes sont subdivisées en 2 (ou 4 pour l'Île-de-France) en conservant l'unité départementale.

L'agencement des zones d'enquête par région administrative permet de définir plus facilement des lots au regard de la nécessité de mettre en place des appels d'offres publics pour la sélection des prestataires de terrain, amenés à réaliser les enquêtes en région.

Les 600 enquêtes sont ainsi réparties dans 20 zones d'enquête. Une zone comprend de 18 (Bourgogne Franche Comté et Centre Val de Loire) à 43 enquêtes potentielles (Auvergne Rhône Alpes partie ouest). Une zone d'enquête est attribuée à un prestataire de terrain (ou équipe d'enquêteurs) qui a la charge de mener l'ensemble des enquêtes de la zone.

De ce fait, deux vagues d'enquêtes ont été définies avec chacune 10 zones en prenant comme contrainte la représentativité de la couverture géographique et climatique. De plus pour les régions divisées en 2 zones, seule une des deux zones est obligatoirement incluse dans une vague d'enquête donnée.

La répartition par région des 600 logements visés par la CNL2 est présentée à la [Figure 2](#).

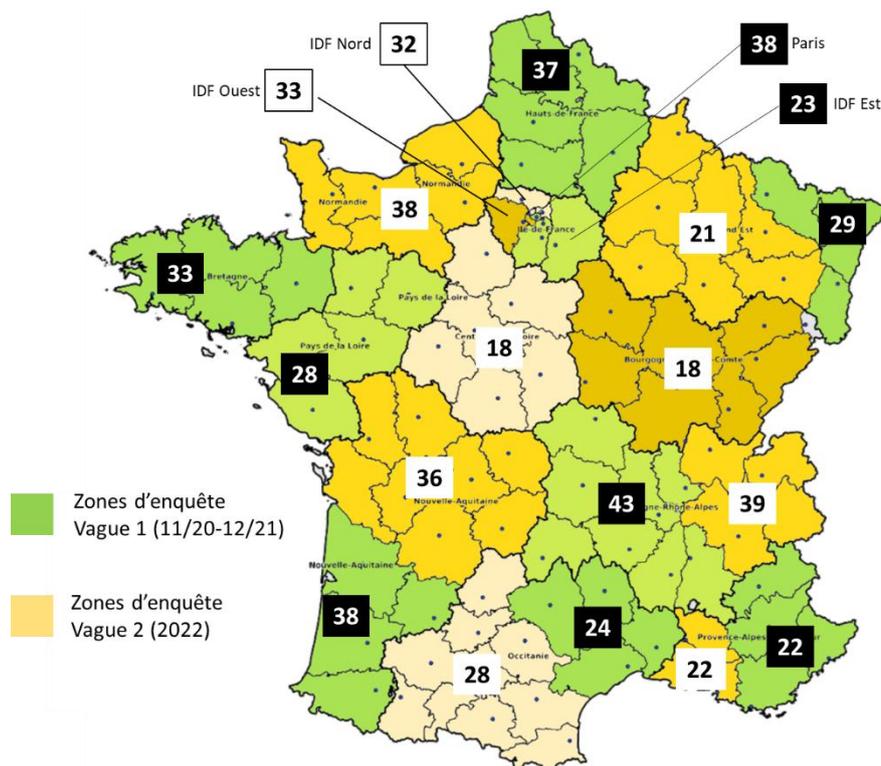


Figure 2. Répartition estimée des 600 enquêtes de la CNL2 selon les adresses disponibles par région. Les régions avec plus de 40 enquêtes sont subdivisées en 2 zones (ou 4 pour l'Île-de-France).

Les 3667 foyers ont été contactés selon deux vagues de recrutement, et une vague de resollicitation pour atteindre les effectifs visés par département (1 à 38 logements).

Une première vague a concerné le recrutement des 2014 individus appartenant à 10 des 20 zones d'enquête définies pour la CNL2. Cette première vague de recrutement s'est déroulée du 21 août 2020 au 31 mai 2021 (90 % des accords étaient obtenus à fin octobre 2020). Le contact s'est fait par courrier postal et mail avec une présentation détaillée des objectifs et de la mise en œuvre de l'enquête au domicile. Des relances téléphoniques, SMS et mails ont été systématiquement réalisées jusqu'à 4 ou 5 fois. Le consentement était considéré effectif à partir du moment où le formulaire de consentement de participation était retourné signé par voie postale, courriel ou MMS.

- Nombre d'accords vague 1 : 380 accords sur 2014 individus contactés
- Taux de consentement vague 1 : 18,9 %

Une deuxième vague a concerné les 1653 individus restants appartenant aux 10 autres zones d'enquête définies de la France métropolitaine continentale. Cette deuxième vague de recrutement s'est déroulée du 7 janvier au 31 mai 2021. Le contact a été réalisé exactement dans les mêmes conditions.

- Nombre d'accords vague 2 : 257 accords sur 1653 individus contactés
- Taux de consentement vague 2 : 15,5 %

Au vu du faible taux de consentement, une phase de resollicitation a été engagée auprès des individus n'ayant fourni aucune réponse positive ou négative (982 individus en vague 1 et 1028

individus en vague 2). Cette phase a été réalisée dans les mêmes conditions que les deux premières phases de contact et s'est déroulée de juillet à octobre 2021. Elle a permis d'obtenir 65 accords supplémentaires des zones d'enquête de la vague 1 et 48 accords supplémentaires des zones d'enquête de la vague 2.

- **Nombre global d'accords : 750 accords sur les 3667 individus contactés**
- **Taux de consentement global : 20,5 %**

La procédure d'échantillonnage des logements pour la CNL2 est résumée par la **Figure 3**. Un objectif minimum de recrutement de 900 accords a été fixé au prestataire sur les 1112 estimés initialement. Les 750 accords obtenus représentent 83,3 % de l'objectif initialement fixé.

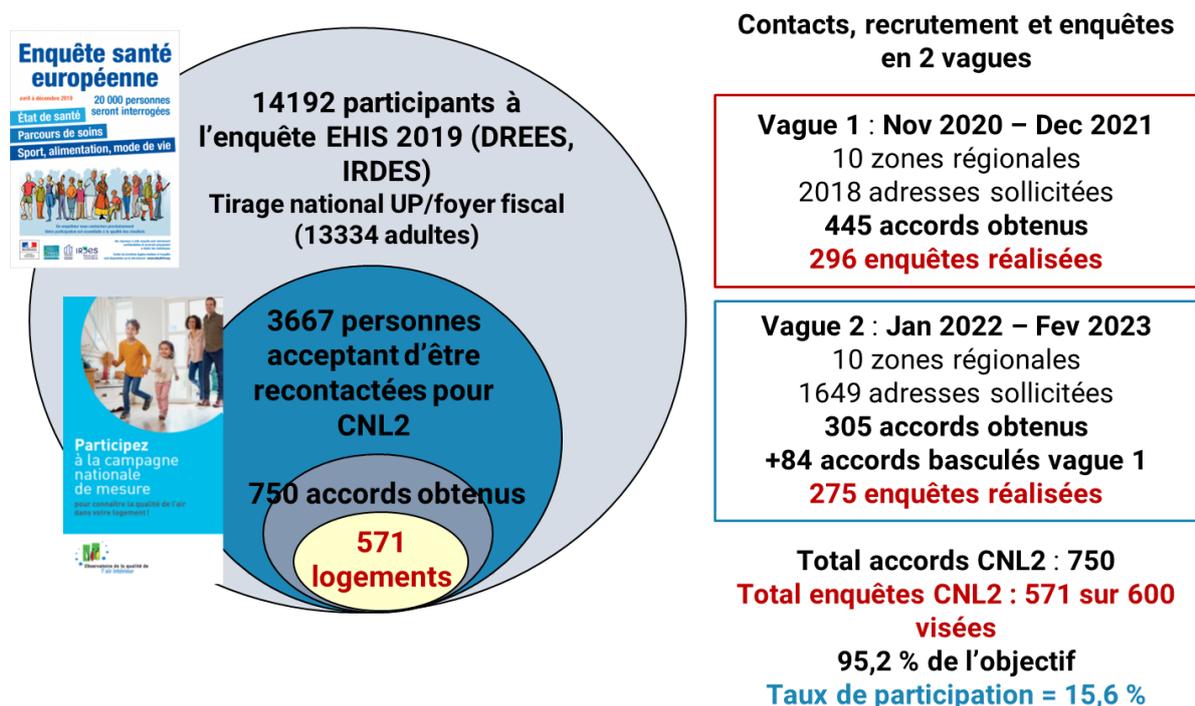


Figure 3. Schéma récapitulatif de l'échantillonnage des résidences principales pour la CNL2

Les enquêtes de terrain se sont déroulées selon deux vagues d'enquête :

- Une **première vague dans 10 régions enquêtées entre novembre 2020 et décembre 2021** : Paris, Île-de-France sud-est (départements 94, 77, 91), Hauts-de-France, Grand Est (départements 57, 67 et 68), Pays de la Loire, Bretagne, Auvergne-Rhône-Alpes ouest (départements 03, 07, 26, 42, 43, 63 et 69), Nouvelle Aquitaine sud (départements 33, 40, 47 et 64), Occitanie est (départements 12, 30, 34 et 48) et Provence Alpes Côte d'Azur est (départements 04, 06, et 83) ;
- une **seconde vague dans 10 autres zones régionales enquêtées entre janvier 2022 et février 2023** : Île-de-France nord (93, 95), Île-de-France ouest (78, 92), Auvergne-Rhône-Alpes est (01, 38, 73, 74), Bourgogne Franche Comté (tous les départements), Centre Val de Loire (tous les départements), Grand Est ouest (10, 51, 52, 88), Normandie (tous les départements), Nouvelle Aquitaine nord (16, 17, 19, 24, 79, 86,

87), Occitanie ouest (09, 11, 31, 32, 46, 65, 66, 82) et Provence Alpes Côte d'Azur ouest (13, 84).

Au total, les enquêtes ont eu lieu dans 20 régions ou zones régionales au sein desquelles une unique équipe régionale d'enquêteurs est missionnée.

2.2.3. Organisation du prestataire en charge du recrutement

Les individus sollicités pour l'enquête EHIS 2019 ont répondu à des questions de santé qui représentent autant de données sensibles. La réglementation est très stricte sur la gestion, le transfert et la sécurisation de ces données. Il est notamment fait mention dans la Délibération n° 2018-155 du 3 mai 2018⁵³ que le responsable de traitement d'une étude manipulant de près ou de loin des données de santé ne peut détenir ou manipuler des données identifiantes. Pour l'enquête EHIS 2019 dont la responsabilité de traitement incombe à l'IRDES et à la DREES, c'est un prestataire, Kantar Sofres qui gère les données identifiantes du terrain de l'enquête et le terrain lui-même.

Pour la CNL2, le responsable de traitement est l'OQAI. Un risque existe, au moment de croiser les données environnementales avec celles de santé, qu'un lien puisse être établi entre des individus identifiés et leurs données de santé. De ce fait, l'OQAI doit également passer par un prestataire pour la gestion des adresses, à la différence, pour la CNL2, que le terrain est réalisé par différentes équipes d'enquêteurs régionaux qui auront accès aux seules données identifiantes de leur région.

Les objectifs et missions du prestataire sont les suivantes :

1. **Gestion des adresses** : Récupérer le fichier contenant les données identifiantes (voir glossaire) des 3700 individus enquêtés lors de l'enquête l'EHIS et ayant donné leur accord pour être recontactés par l'OQAI, puis les stocker de manière sécurisée ;
2. **Recrutement des logements** : Envoyer par courrier postal et courriel la lettre d'information fournie par le CSTB et détaillant la CNL2 (les objectifs de la campagne de mesure, les paramètres mesurés, la finalité de traitement, l'identité morale des enquêteurs impliqués selon la région concernée et les destinataires des données) accompagnée d'un accord de consentement éclairé à retourner complété et signé au prestataire ;
3. **Relance de recrutement** : Procéder à trois relances par courrier postal/email/téléphone des personnes qui n'ont pas encore retourné leur accord de consentement/non-consentement ;
4. **Gestion des consentements** : Récupérer, puis stocker de façon sécurisée, les accords de consentement/non-consentement ;
5. **Interaction avec le CSTB** : Etablir un suivi hebdomadaire avec le CSTB des sollicitations et relances réalisées, des consentements obtenus et des transmissions effectuées ;

⁵³ JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE du 13 juillet 2018 : Commission nationale de l'informatique et des libertés Délibération no 2018-155 du 3 mai 2018 portant homologation de la méthodologie de référence relative aux traitements de données à caractère personnel mis en œuvre dans le cadre des recherches n'impliquant pas la personne humaine, des études et évaluations dans le domaine de la santé (MR-004).

6. **Interaction avec les équipes régionales d'enquêteurs** : Transmettre de façon sécurisée (voir glossaire) et à une fréquence hebdomadaire à chaque équipe régionale d'enquêteurs, l'identifiant anonymisé et les coordonnées (noms, adresse postale, numéros de téléphone, e-mail) des personnes ayant retourné un consentement signé et qui appartiennent à la région de l'enquêteur ;
7. **Retour aux ménages enquêtés** : La motivation première des participants à une telle campagne est d'avoir un retour individuel sur l'état de la qualité de l'air dans leur logement, mis en perspective des résultats nationaux. De ce fait, en fin de campagne, le prestataire sera chargé de transmettre les rapports individualisés de l'enquête (données mesurées et mises en perspective sans donnée identifiante) aux ménages participants. Les rapports seront préparés et transmis au prestataire par le CSTB. La transmission du rapport à chaque participant se fera par voie électronique préférentiellement et à défaut par courrier postal pour ceux pour lesquels les échanges (accord de consentement) n'ont pas eu lieu par courriel. Cela implique que le prestataire doive conserver les données identifiantes des ménages enquêtés le temps que les rapports individuels soient établis au cours du second semestre 2023.

La sélection du prestataire de recrutement a fait l'objet du **marché public n° 20P050** et a permis de sélectionner **Sepia Santé**, Bureau d'études en épidémiologie et biostatistiques.

2.2.4. Finalisation du recrutement des logements

Le recrutement des logements pour la CNL2 s'est déroulé en 4 temps :

1. Elaboration des documents à transmettre aux occupants ;
2. Contact par courrier et par courriel des occupants et transmission des documents d'information sur la CNL2 ;
3. Relances des occupants n'ayant pas retourné de formulaire de consentement (positif ou négatif) et n'ayant fait aucun retour ;
4. Transmission des adresses des ménages ayant consenti aux équipes d'enquêteurs en région.

2.2.4.1. Documents transmis aux occupants

Plusieurs documents ont été transmis aux occupants durant cette phase de recrutement (**Figure 4**) :

- Un courrier d'information rappelant le fait que la personne a participé à l'enquête EHIS et avait accepté d'être contactée pour participer à la CNL2. Le courrier présente également les objectifs de la campagne ;
- Un texte type pour une sollicitation par courriel reprenant de manière synthétique les éléments du courrier ;
- Une plaquette d'information sur la campagne, avec sa finalité, le déroulé d'une enquête, la durée de l'enquête. La plaquette mentionne une adresse électronique et un numéro de contact au besoin ;
- Un formulaire de consentement pour participer ou déclarer ne pas vouloir participer à la CNL2, accompagné d'une enveloppe retour préaffranchie. Au verso du formulaire,

les droits des personnes relatif aux traitements de leurs données personnelles sont rappelés.



Figure 4. Documents transmis aux occupants contactés pour la CNL2

2.2.4.2. Obtention des accords pour la vague 1

Un total de 2018 adresses correspondait aux régions à enquêter pour la première vague de la CNL2. Un courrier avec l'ensemble des documents (courrier, plaquette et formulaire) a été envoyé à ces personnes le 21 août 2020, date de démarrage effectif de cette phase de recrutement.

Les personnes sollicitées avaient la possibilité de répondre par courrier, par courriel ou par téléphone. Pour que le consentement soit recevable, une copie papier ou numérique du formulaire complété et signé doit être fourni. Un accord oral n'est pas suffisant. La copie du formulaire de consentement est nécessaire aux enquêteurs lors de la prise de rendez-vous pour la mise en œuvre de l'enquête.

Trois phases de relances étaient initialement prévues pour les non-répondants, mais finalement 4 relances ont pu être effectuées combinant des relances par courrier, courriel et téléphone. Le nombre d'accords augmente rapidement suite au premier contact jusqu'à la mi-septembre. Il croît ensuite doucement jusqu'à fin novembre grâce aux relances effectuées. L'évolution est similaire entre les régions.

A la date de fin mai 2021, sur les 2018 adresses contactées, 757 retours ont été obtenus (37,6 %), dont 380 consentements signés de participation à la CNL2. Les 380 accords obtenus pour la vague 1 représente un taux d'accord de 18,9 %. Il est inférieur à l'objectif fixé au prestataire de 473 accords.

Compte tenu de ce faible chiffre et du nombre croissant de désistements observés lors de la planification des enquêtes, il a été décidé en cours de campagne de resolliciter les foyers qui n'avaient pas fournis de réponses aux premières tentatives de contact. Cette resollicitation a

été menée entre août et octobre 2021. Le nombre de retours est grimpé à 929 pour un taux de réponse de 46 %. Elle a permis la collecte de 65 nouveaux accords, pour un total de 445 accords obtenus sur les zones d'enquête de la vague 1, soit un taux d'accord final de 22 %.

Le **Tableau 5** présente les accords obtenus selon les régions d'enquête définies pour la vague 1 de la CNL2. Il indique également pour chaque région le nombre total d'adresses disponibles (N Adresses), l'objectif de recrutement fixé (Objectif à recruter), le nombre d'enquêtes prévu (Objectifs d'enquêtes), le nombre d'accords obtenus (N Accords), le taux de réalisation par rapport à l'objectif de recrutement (%objectif Recrut), le taux de réalisation par rapport à l'objectif d'enquêtes (%objectif Enquêtes) et le taux d'accords observé (%Accords).

Le taux d'accords varie selon les régions entre 15,8 % pour les Hauts de France jusqu'à 28,3 % pour les Pays de La Loire. L'objectif fixé de recrutement est atteint dans trois zones (Pays de La Loire, Bretagne et Auvergne Rhône Alpes (ouest)). Malgré cela, le nombre d'accords obtenus couvre le nombre d'enquêtes à réaliser dans chaque région. L'objectif de recrutement plus élevé que le nombre d'enquêtes visait à couvrir d'éventuels désistements (qui ont été observés sur le terrain).

Le taux d'accord observé est plus faible que celui initialement estimé au départ sur la base du taux de personnes acceptant d'être recontacté (sauf en Pays de La Loire). Les écarts observés par région sont présentés à la **Figure 5**.

Tableau 5. Accords obtenus pour les zones d'enquête de la vague 1
(en bleu % objectif > 100 %)

Zone d'enquête	N Adresses	Objectif à recruter	Objectif d'enquêtes	N Accords	%Objectif recrut	%Objectif enquêtes	%Accords
Paris	180	57	38	47	82%	124%	26.1%
Hauts-de-France	278	56	37	44	79%	119%	15.8%
Grand Est (est)	192	44	29	37	84%	128%	19.3%
Pays de La Loire	198	42	28	56	133%	200%	28.3%
Bretagne	208	50	33	51	102%	155%	24.5%
Auvergne-Rhône-Alpes (ouest)	270	64	43	73	114%	170%	27.0%
Nouvelle Aquitaine (sud)	201	56	38	42	75%	111%	20.9%
Occitanie (est)	167	36	24	34	94%	142%	20.4%
PACA (est)	161	33	22	31	94%	141%	19.3%
Île-de-France (est)	163	35	23	30	86%	130%	18.4%
TOTAL	2018	473	315	445	94%	141%	22.1%

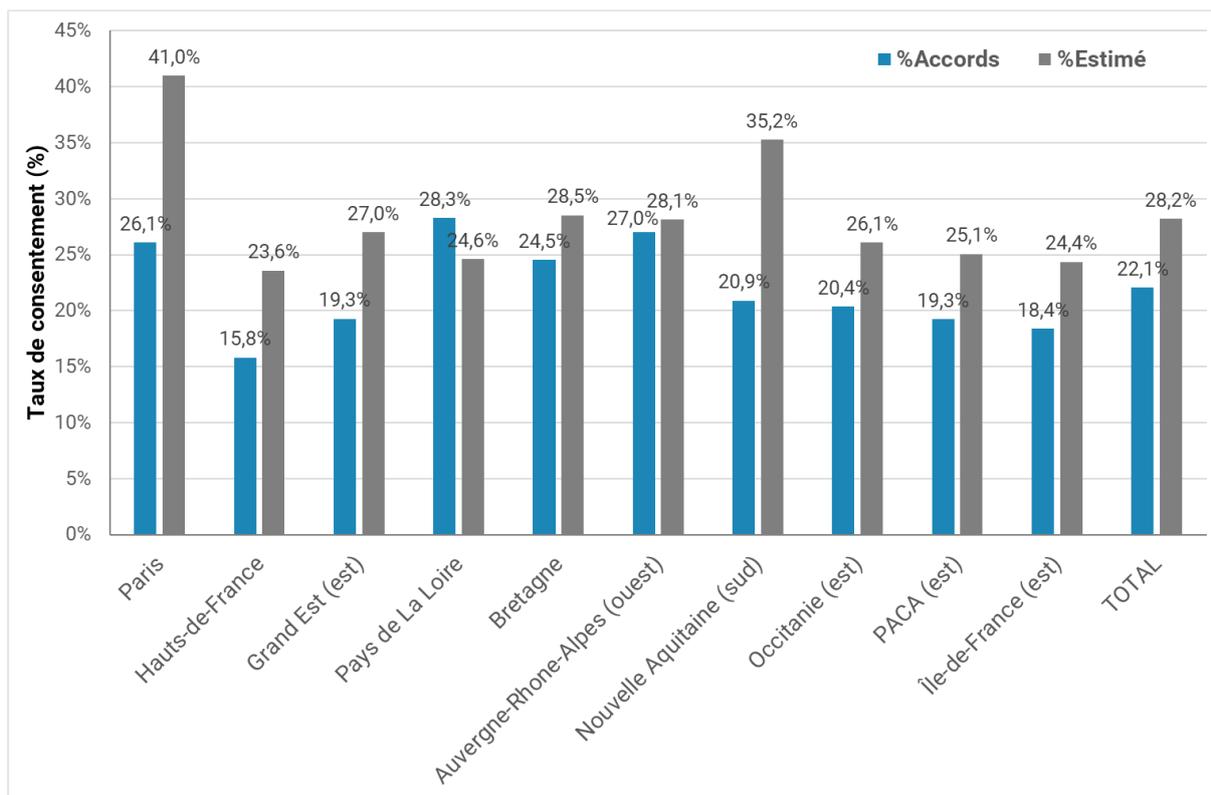


Figure 5. Comparaison du taux de consentement réel (% en bleu) avec le taux estimé selon les régions

2.2.4.3. Obtention des accords pour la vague 2

La question s'est posée de savoir s'il était préférable d'attendre avant de solliciter les ménages de la vague 2 au risque de perdre leur trace du fait de déménagements et d'un risque accru de refus de participation, ou bien s'il valait mieux les contacter le plus rapidement possible, mais avec également un risque de désistement accru du fait d'un plus grand laps de temps entre leur accord et le moment où l'enquête est réalisée, ainsi que la possibilité de déménagement après accord en dehors de la zone d'enquête identifiée. L'enquête EHIS ayant démarré en mars 2019, il a été décidé de privilégier l'obtention d'un accord rapide de participation.

Un total de 1649 adresses correspondait aux régions à enquêter pour la deuxième vague de la CNL2. Un courrier avec l'ensemble des documents (courrier, plaquette et formulaire) a été envoyé à ces personnes dès le 7 janvier 2021, date de démarrage effectif de cette phase de recrutement. La procédure de recrutement était la même que celle mise en œuvre pour la vague 1. Une campagne de resollicitation des sans réponses a également été menée dans les mêmes conditions.

A fin décembre 2021, sur les 1649 adresses contactées, 701 retours ont été obtenus (42,5 %), dont 305 consentements signés de participation à la CNL2. Une majorité des consentements a été obtenu avant la fin mars 2021.

Le **Tableau 6** présente les accords obtenus selon les régions d'enquête définies pour la vague 2 de la CNL2. Les 305 accords obtenus pour la vague 2 représente un taux d'accord de 18,5 %, variant de 13,4 % en zone PACA (ouest) à 27,5 % en Occitanie (ouest). L'objectif fixé de recrutement est juste atteint en Occitanie. Le nombre d'accords obtenus couvre le nombre

d'enquêtes à réaliser dans seulement 5 régions. Le déficit d'accords le plus important est observé en zone PACA ouest avec -6 accords par rapport à l'objectif d'enquêtes.

Le taux d'accord observé est plus faible que celui initialement estimé au départ sur la base du taux de personnes acceptant d'être recontactées. Il est également sensiblement plus faible que celui observé pour la vague 1. Les écarts observés par région sont présentés en **Figure 6**.

Différentes hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la baisse du taux de consentement observé entre les 2 vagues :

- La sollicitation des personnes en vague 2 a été faite pratiquement 5 mois après celle pour la vague 1. Ce surcroît de délai pourrait provoquer d'une part une baisse de l'intérêt pour l'étude, ainsi qu'une augmentation du nombre de personnes injoignables pour déménagement sans laisser d'adresses par exemple. Le taux d'injoignables (NPAI) est légèrement supérieur en vague 2 (5,8 %) par rapport à la vague 1 (5,4 %) ;
- La sollicitation des personnes en vague 1 a été réalisée durant l'été 2020 à une période de déconfinement national. Pour la vague 2, la sollicitation a débuté en janvier 2021 durant une période peu sereine au regard du contexte sanitaire ;
- Les régions sollicitées sont différentes et ces différences pourraient expliquer l'écart moyen observé entre les deux vagues.

Tableau 6. Accords obtenus pour les zones d'enquête de la vague 2 (en rouge, nombre d'accords inférieur à l'objectif, en bleu % objectif > 100 %)

Région	N Adresses	Objectif à recruter	Objectif d'enquêtes	N Accords	%Objectif recrut	%Objectif enquêtes	%Accords
Île-de-France (nord)	215	43	32	30	70%	94%	14.0%
Normandie	211	56	38	35	63%	92%	16.6%
Centre Val-de-Loire	134	27	18	22	81%	122%	16.4%
Grand Est (ouest)	114	32	21	25	78%	119%	21.9%
Bourgogne Franche Comté	110	27	18	20	74%	111%	18.2%
Auvergne-Rhône-Alpes (est)	222	59	39	50	85%	128%	22.5%
Nouvelle Aquitaine (nord)	201	54	36	35	65%	97%	17.4%
Occitanie (ouest)	153	42	28	42	100%	150%	27.5%
PACA (ouest)	119	33	22	16	48%	73%	13.4%
Île-de-France (ouest)	170	54	33	30	56%	91%	17.6%
TOTAL	1649	427	285	305	71%	107%	18.5%

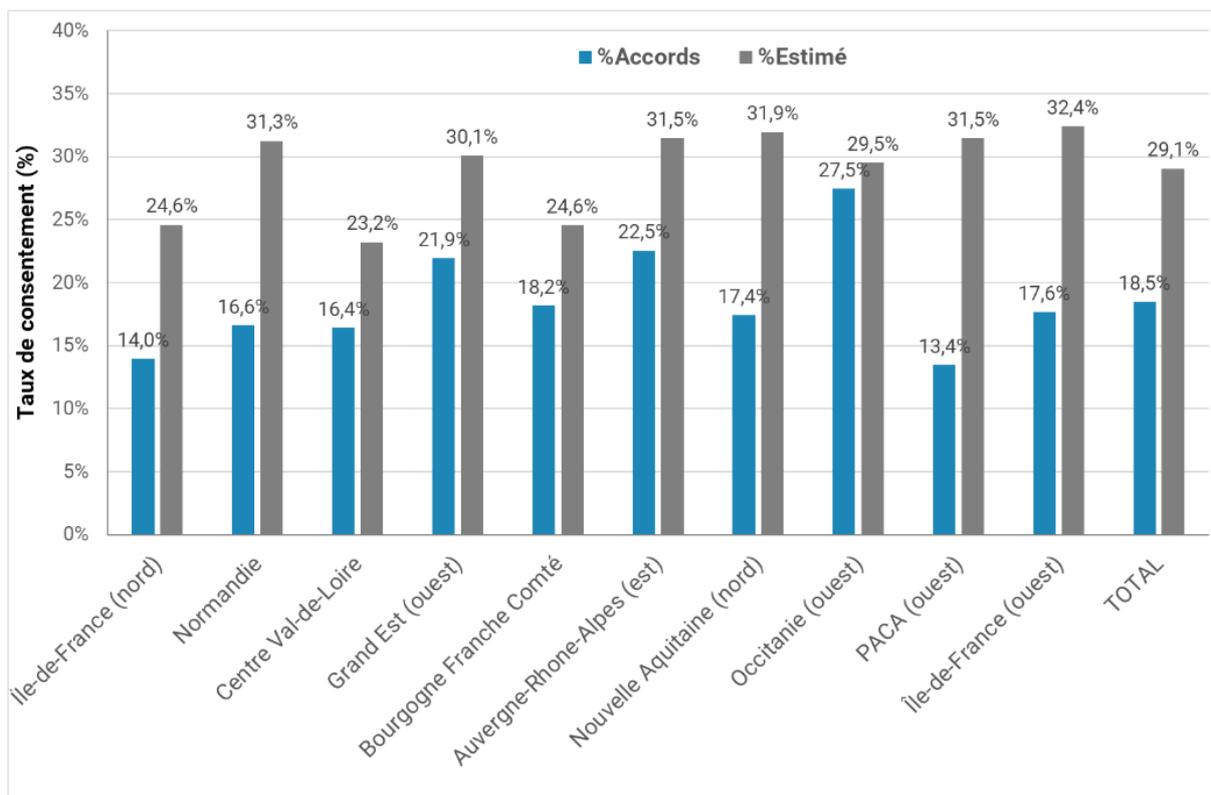


Figure 6. Comparaison du taux de consentement réel (% en bleu) avec le taux initialement estimé selon les régions (vague 2)

2.2.4.4. Bilan global des accords

Au global sur l'ensemble des 3667 foyers contactés, 1631 retours ont été reçus, soit 44,5 % des contacts, et 750 accords ont été obtenus, soit un taux de consentement de 20,5 %.

Au total, 15528 relances ont été réalisées essentiellement par courriel sur les 3 premières relances (79 %) et par SMS pour la dernière (13 % des relances). Les personnes ont été directement contactées par un appel téléphonique dans 6 % des cas et par courrier uniquement dans 2 % des cas lorsque le courriel et le n° de téléphone n'était pas disponible ou plus valide (Figure 7).

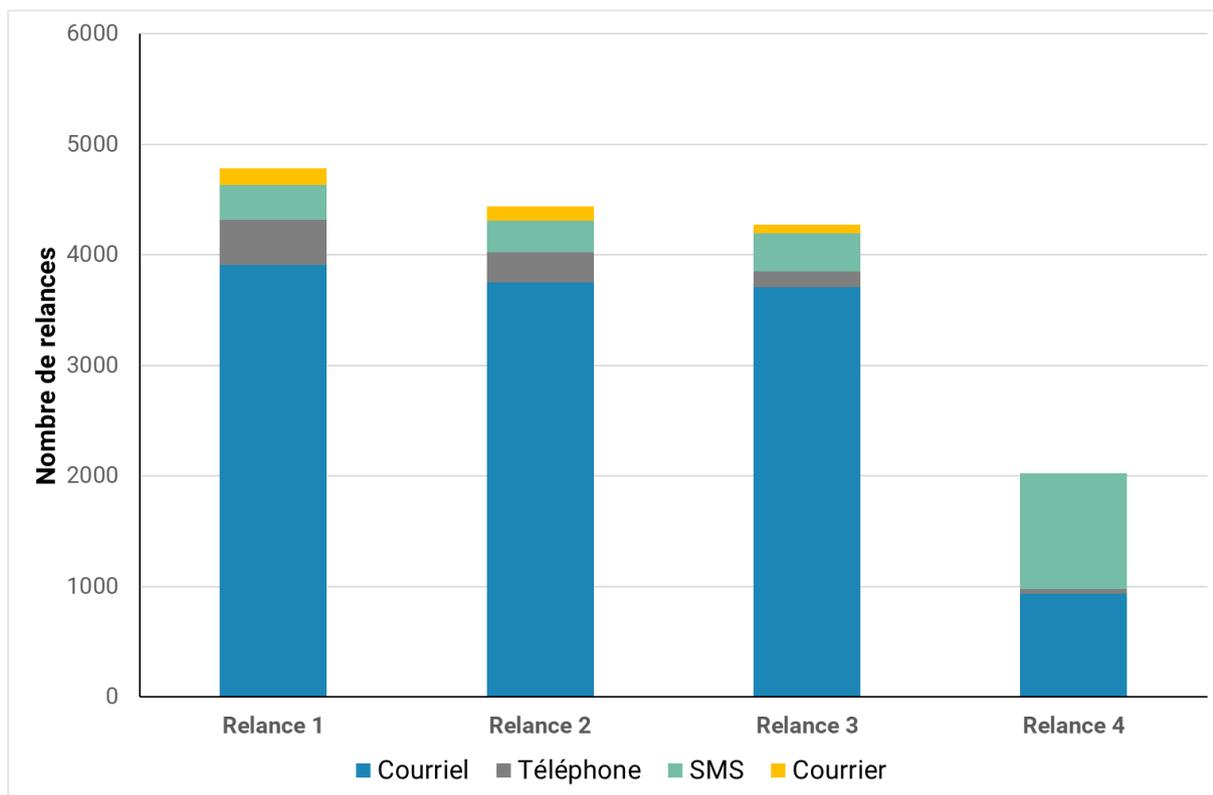


Figure 7. Analyse du nombre et du mode de relance des contacts

Les 750 accords se répartissent autour de 378 communes, soit 1 à 48 accords par commune. La **Figure 8** montre la répartition de ces communes dans toute la France métropolitaine continentale. Le territoire est relativement bien couvert par les foyers ayant accordé leur consentement. Les villes comme Paris (48), Lyon (12), Toulouse (8), Nantes (6), Metz (5), Nice (5), Strasbourg (5), Bordeaux (4), Grenoble (4) ressortent. Des villes comme Toulon (1), Lille (2) ou Marseille (2) sont bien moins représentées. Mais, de nombreux accords sont également obtenus dans des zones de moindre densité urbaine.

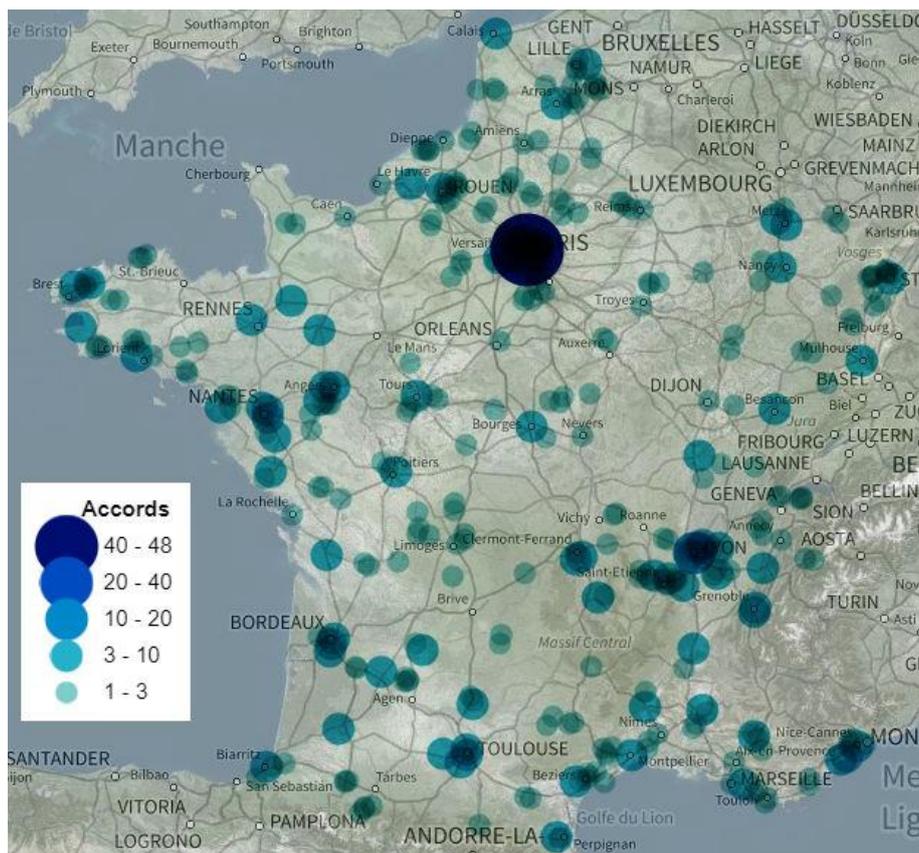


Figure 8. Répartition des 750 accords par commune, obtenus en France métropolitaine continentale

La répartition des accords selon la zone urbaine ou rurale a été réalisée à partir de la grille communale de densité 2020 établie par l'INSEE⁵⁴ et mise en ligne le 1^{er} février 2021 (<https://www.insee.fr/fr/information/2114627>). La grille communale permet ainsi de distinguer quatre catégories de communes : les communes densément peuplées, les communes de densité intermédiaire, les communes peu denses, et les communes très peu denses. Les deux premières catégories définissent l'espace urbain et les deux dernières l'espace rural.

La **Figure 9** montre cette répartition urbain/rural parmi les foyers ayant donné leur accord, les foyers ayant refusé ou n'ayant pas donné de réponses, la totalité des adresses sollicitées et le tout comparer à la population nationale⁵⁵. La répartition urbain/rural est bien respectée dans les foyers ayant accepté de participer. Au global, la proportion d'accords en zone rurale est de 34 %.

⁵⁴ Depuis mai 2022, une nouvelle grille communale de densité à 7 niveaux a été adoptée par l'Insee et remplace la grille à 4 niveaux. Cette grille vient subdiviser la catégorie de communes de densité intermédiaire, ainsi que les communes peu denses ou très peu denses définissant l'espace rural.

⁵⁵ Pour le calcul à l'échelle de la population nationale, la catégorie urbaine ou rurale représentant la majeure partie de la population de la commune a été rattachée à l'ensemble de la population de la commune, même si une partie minoritaire de la population de la commune peut appartenir à l'autre catégorie.

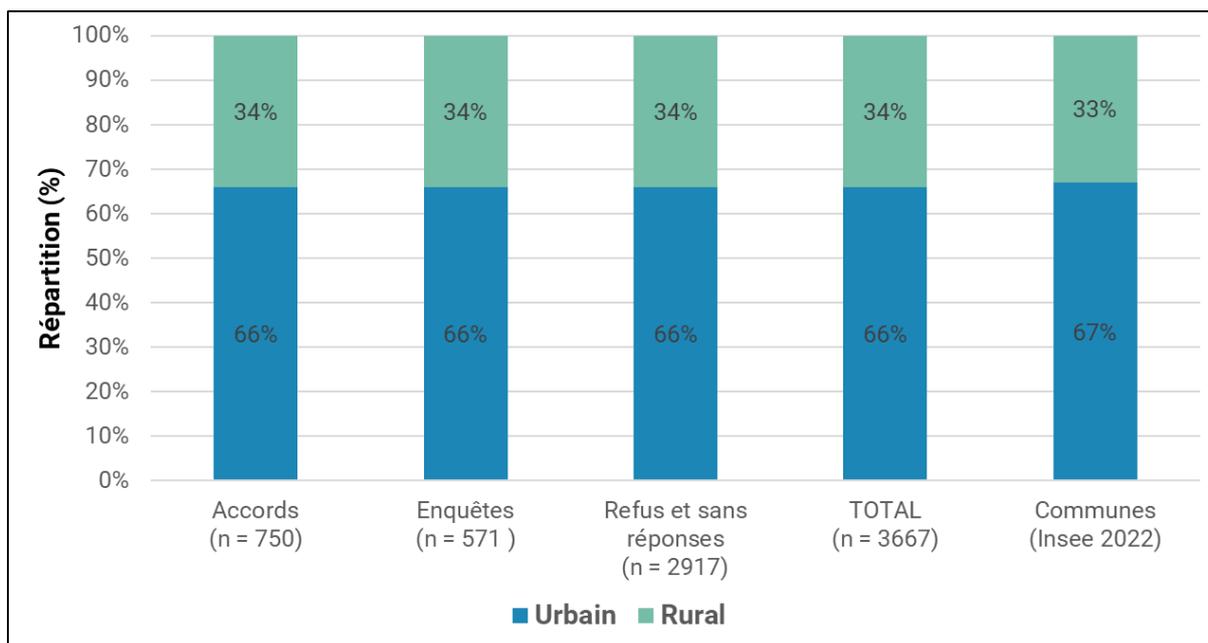


Figure 9. Répartition des accords obtenus en fonction de la zone urbaine ou rurale

Base : grille communale de densité à 7 niveaux (Insee, mai 2022), recatégorisé en 2 catégories selon le classement de la majorité de la population de la commune. Au niveau population, la répartition serait plutôt 64% (urbain) / 36 % (rural).

2.2.4.5. Refus de consentement

La majorité des personnes contactées n'ont fait aucun retour (55,5 %). Parmi celles-ci, 208 n'habitent plus à l'adresse indiquée (NPAI), soit 5,7 % des adresses disponibles. Ces personnes injoignables correspondent à des individus qui n'habitent plus à l'adresse indiquée, ou qui ne peuvent pas être relancés du fait d'un numéro de téléphone ou d'adresse de courriel indisponible ou erroné. Cette catégorie prend également en compte les personnes qui ont déménagé à l'étranger ou sans laisser d'adresse. Parmi les personnes qui ont retourné une réponse négative (n = 883, 24,1 %), seules 139 d'entre elles (15,7 %) ont fourni un motif de refus. Les raisons de refus de participation à l'enquête restent donc majoritairement inconnues.

Parmi les raisons de refus exprimées (**Figure 10**), c'est le manque d'intérêt pour la campagne ou la qualité de l'air en général qui prédomine. Les personnes interrogées expriment ce manque d'intérêt par le fait qu'elles ne pensent pas avoir de problèmes de qualité de l'air, ou que la qualité de l'air dans leur logement est considérée remarquable, ou déclarent n'avoir pas de comptes à rendre ou encore qu'elles ne voient pas l'utilité de l'enquête.

Le deuxième motif de refus est couvert par la situation familiale, professionnelle ou médicale. Cette catégorie regroupe des personnes qui ont des problèmes de santé parmi les membres du foyer et qui à ce titre ne se sentent pas en mesure de participer (sans citer explicitement le contexte sanitaire), ou des personnes du foyer décédées (en dehors de l'individu initialement contacté ayant participé à l'enquête EHIS 2019). La catégorie regroupe également des problèmes familiaux, d'instance de divorce ou le fait que le conjoint ne soit pas d'accord pour participer. Les refus liés à la situation du logement (mal logés, logement jugé trop petit pour

l'enquête) entrent également dans cette catégorie. Enfin, dans de rares cas, les personnes ne souhaitent pas participer du fait de problèmes d'ordre professionnel sans évoquer de contraintes de disponibilités.

Plusieurs situations de déménagements sont également mises en avant. Il s'agit de personnes qui sont parti vivre à l'étranger, qui sont hébergés chez d'autres membres de leur famille, qui sont en pleine préparation de leur déménagement, qui mettent en vente leur logement, qui sont en cours de travaux dans leur logement ou encore des personnes âgées placées en EHPAD. La catégorie regroupe également les refus mentionnant les situations de déménagement sans communication d'une nouvelle adresse (hors NPAI inclus dans les absences de retours).

Le manque de disponibilité est également souvent mis en avant. Mais la contrainte spécifique à l'enquête notamment la durée des visites affichée jusqu'à 3 heures n'est que peu mentionnée. Certaines personnes âgées refusent également l'enquête du fait de leur état de fatigue générale. Certaines des personnes contactées sont décédées depuis leur participation à l'enquête EHIS. Le contexte sanitaire associé à la Covid-19 reste finalement assez peu invoqué (9 cas soit 6,5 %). La sollicitation des personnes a été effectuée essentiellement avant mais également pendant la période de reconfinement de novembre 2020 (deuxième période de confinement) pour la vague 1. La sollicitation en vague 2 englobe toutefois la troisième période de confinement d'avril 2021, qui a pu avoir un impact sur les relances notamment.

Pour rappel, les trois périodes de confinement en France au niveau national ont été les suivantes :

- du 17 mars à 12 h au 11 mai 2020 (non inclus, soit 1 mois et 23 jours) ;
- du 30 octobre au 15 décembre 2020 (non inclus, soit 1 mois et 14 jours) ;
- du 3 avril au 3 mai 2021 (non inclus, soit 28 jours).

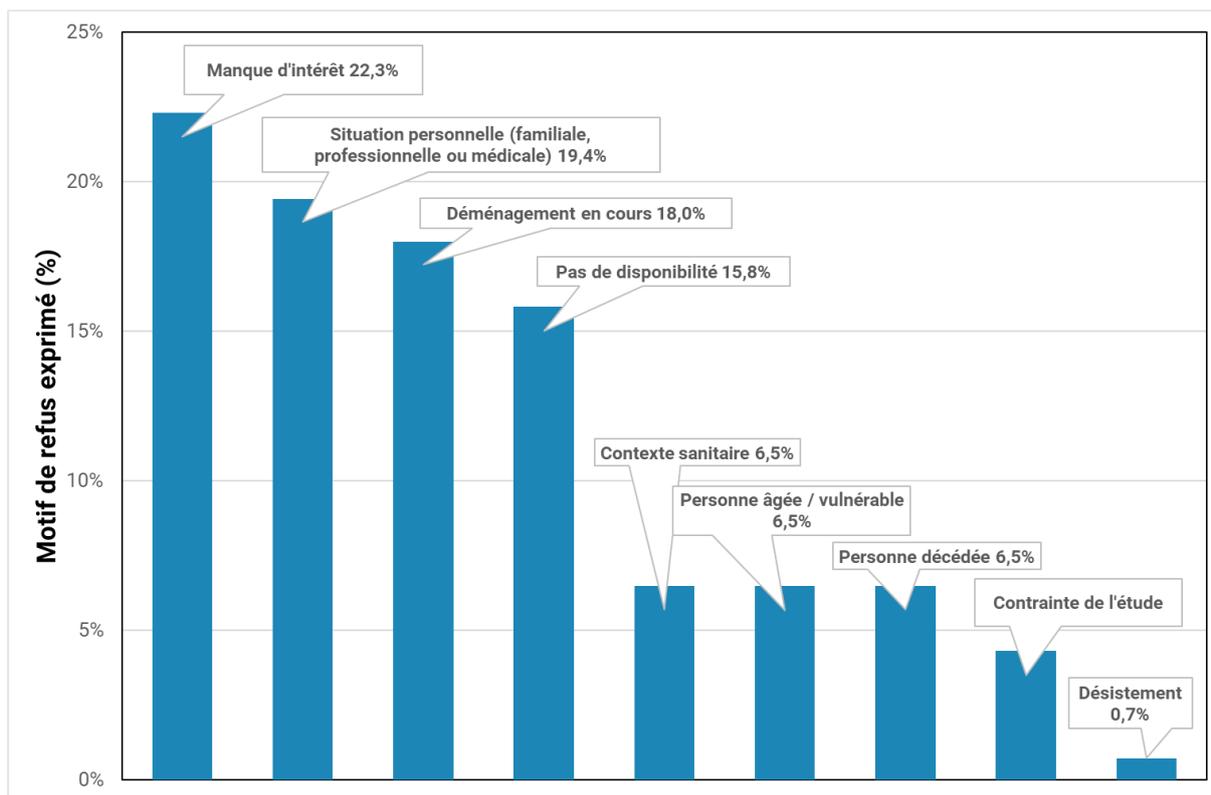


Figure 10. Catégories de refus exprimées par les personnes sollicitées parmi les 139 retours avec motif de refus mentionné

D'autres facteurs interviennent dans le fait que les personnes sollicitées consentent ou non à participer à l'enquête. Le consentement des personnes est ainsi significativement associé (test d'indépendance du χ^2 , $p < 0,0001$) au mode d'enquête des personnes interrogées pour la campagne EHIS 2019. Les personnes initialement enquêtées par téléphone ont consenti 23,5 % du temps ($n = 2144$), alors que celles interrogées en face à face n'ont consenti à participer que 16 % du temps ($n = 1522$). A noter qu'un individu ayant donné son accord, avait ses coordonnées fournies dans la base d'adresse, sans qu'il n'ait participé à l'enquête EHIS 2019.

Les personnes habitant dans un quartier prioritaire de la ville (QPV) ont consenti moins souvent (13,3 %, $n = 399$) que les autres (21,2 %, $n = 3267$), test significatif à $p = 0,0002$.

L'âge des personnes sollicitées est également significativement associé avec le taux de réponse ($p < 0,0001$) et le taux de consentement ($p = 0,004$). La **Figure 11** montre que le taux de réponse est le plus élevé chez les personnes les plus âgées. La **Figure 12** montre que le taux de consentement est plus faible dans la tranche 18 – 35 ans.

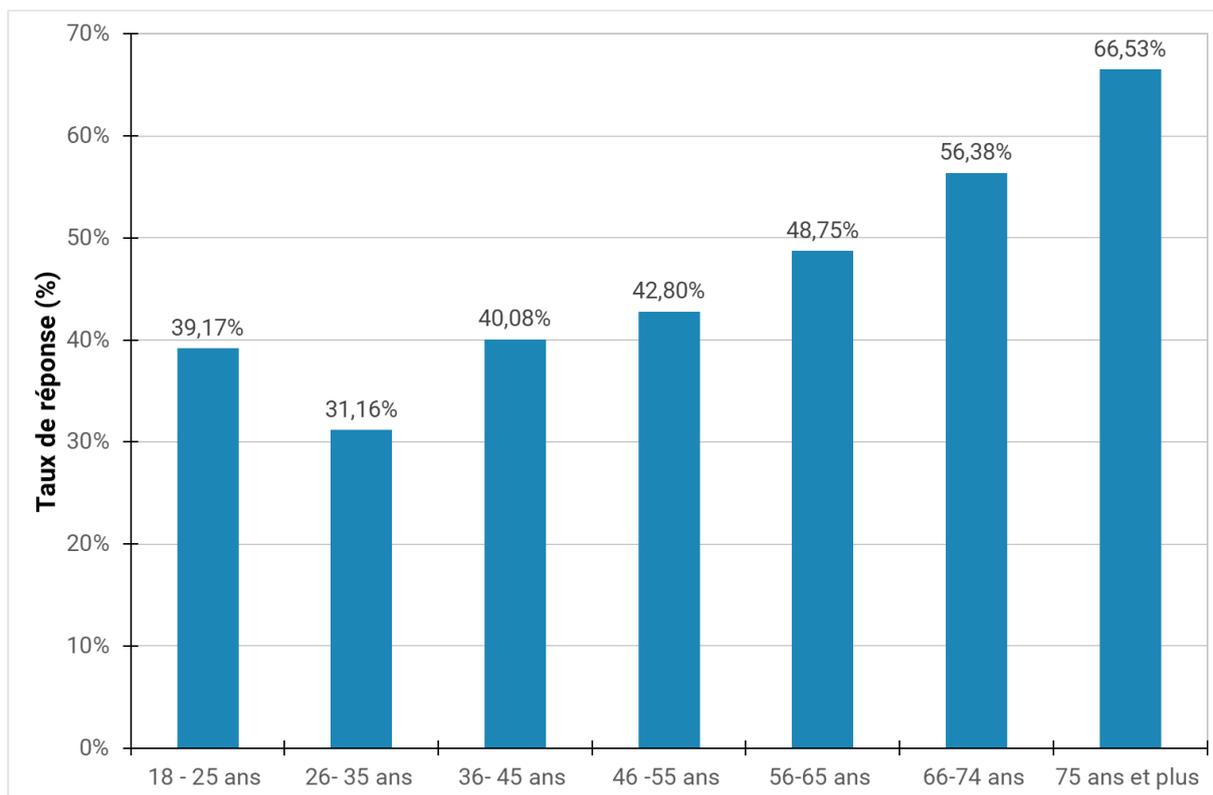


Figure 11. Taux de réponse en fonction de l'âge des personnes sollicitées au moment de l'enquête EHIS

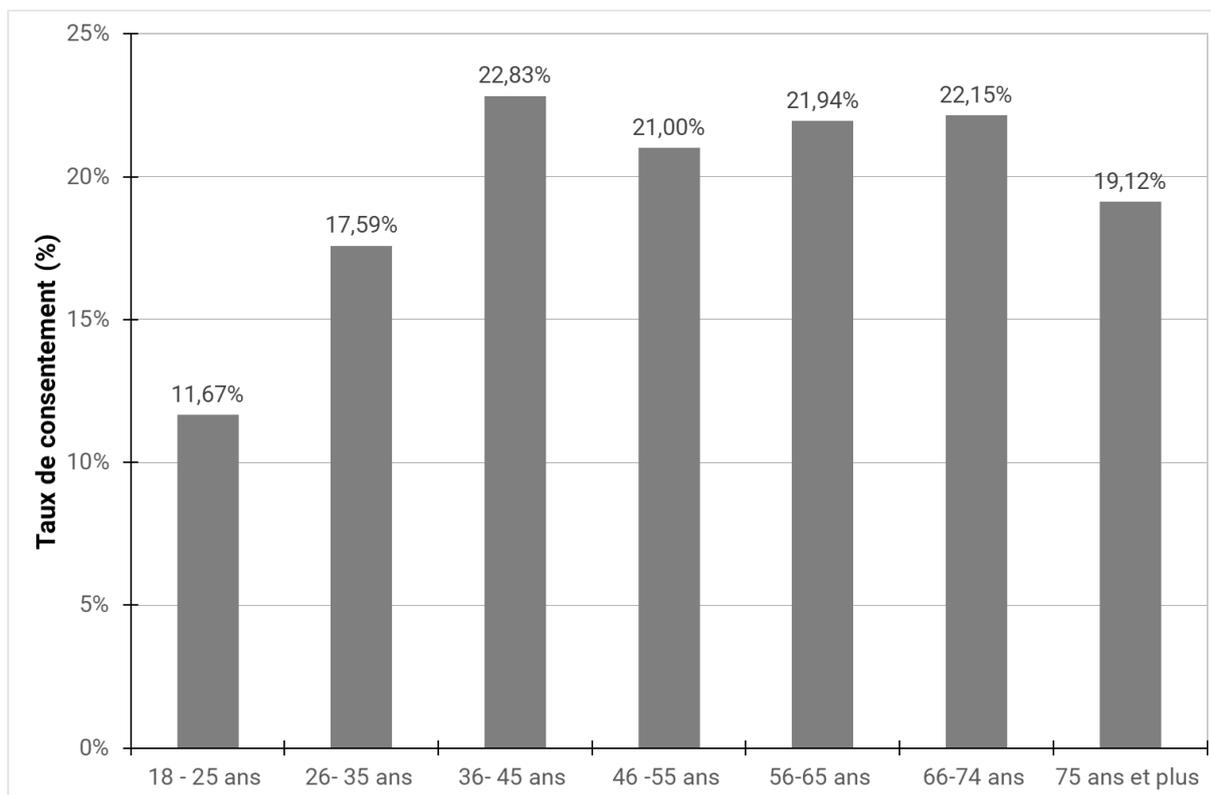


Figure 12. Taux de consentement en fonction de l'âge des personnes sollicitées au moment de l'enquête EHIS

Le taux de consentement varie également en fonction du nombre de relances (**Figure 13**). Plus de 56 % des consentements ont été obtenus sans nécessiter de relances.

Aucune différence sur le taux d'accord n'a été observée entre les personnes ayant répondu à l'enquête EHIS au printemps 2019 (EHIS vague 1) par rapport à ceux enquêtés en hiver 2019 (EHIS vague 2).

L'incidence des autres caractéristiques liées au logement ou au ménage sera étudiée dans un deuxième temps, une fois les données complémentaires de la campagne EHIS transmises au CSTB par la DREES.

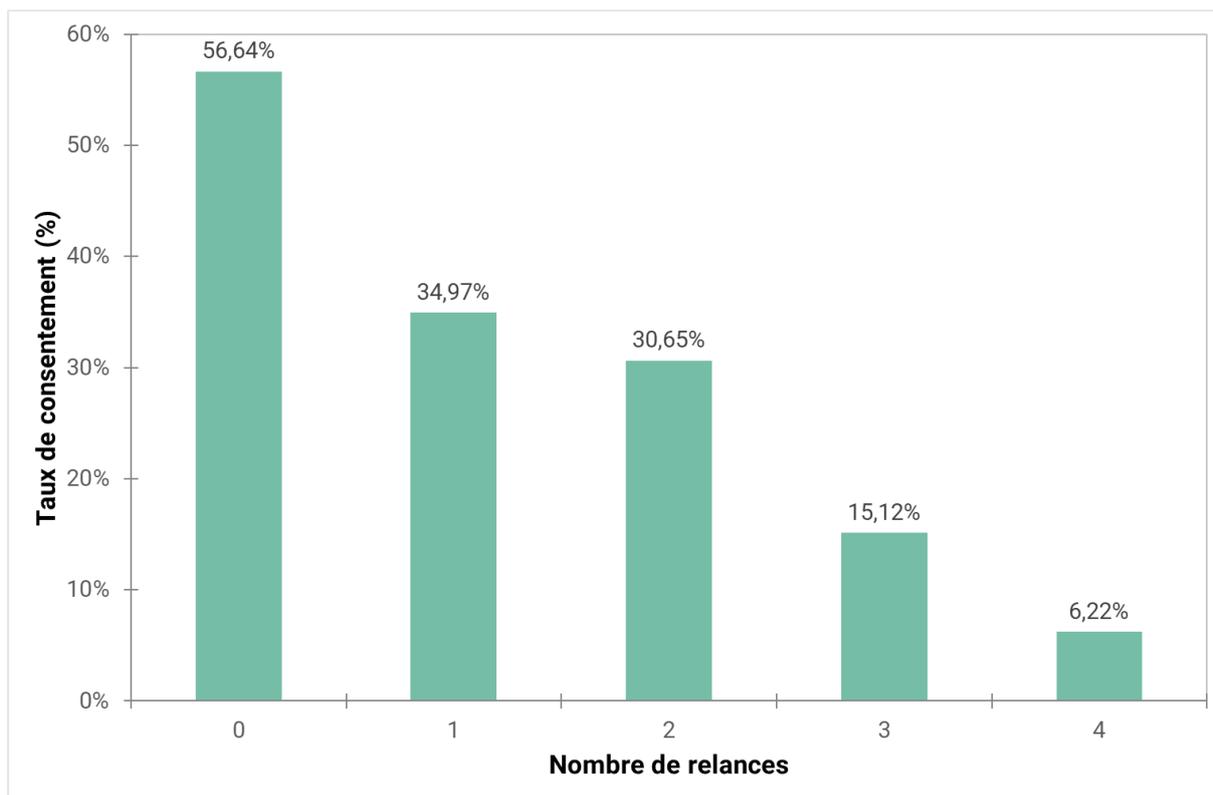


Figure 13. Taux de consentement en fonction du nombre de relances

3. TERRAIN DE LA CAMPAGNE CNL2

3.1. Organisation des enquêtes

Une équipe de techniciens-enquêteurs est attribuée à chaque zone d'enquête. Une équipe comprend deux techniciens, ainsi qu'un suppléant.

Chaque équipe a la charge du fichier d'adresses des foyers ayant transmis leur accord de participation et correspondant uniquement à sa région d'enquête. Les premières coordonnées des foyers ayant donné leur accord ont été transmises par Sépia santé aux équipes début octobre 2020. Les coordonnées des foyers de la Vague 2 ont été transmises aux équipes mi-décembre 2021.

Les équipes planifient leurs interventions auprès des occupants à réception des adresses. Il leur est possible d'organiser au maximum 2 enquêtes par semaine ne disposant que de 2 jeux de matériels. La planification des enquêtes est laissée libre au sein de chaque équipe, mais il leur est demandé de privilégier au maximum les personnes ayant donné leur accord en premier. Les enquêteurs ont toutefois cherché à mutualiser les interventions dans une même zone pour optimiser les coûts de déplacement.

3.1.1. Équipes sélectionnées pour la vague 1

La sélection des équipes d'enquêteurs en région a fait l'objet d'un marché public n°20R014 lancé le 14 février 2020 concernant les régions ciblées pour la vague 1. Le marché a été notifié le 15 juin 2020 pour chacun des 9 lots en sélectionnant l'équipe ayant reçu la meilleure note sur une base technique et financière. Les équipes régionales retenues sont les suivantes :

- **Lot 1 (PARIS)** : réalisation d'enquêtes dans environ 40 logements à Paris (département 75) : **ENEXCO PARIS**.
- **Lot 2 (Hauts-De-France / HDF)** : réalisation d'enquêtes dans 40 logements environ situés en région Hauts-de-France (départements 02, 59, 60, 62 et 80) : **CAENDIAG**.
- **Lot 3 (Grand Est / GRE)** : réalisation d'enquêtes dans 30 logements environ situés en région Grand Est (départements 57, 67 et 68) : **Groupement EVADIES / A2L ENVIRONNEMENT**.
- **Lot 4 (Pays de la Loire / PDL)** : réalisation d'enquêtes dans environ 30 logements situés en région Pays de la Loire (départements 44, 49, 53, 72, 85) : **ITGA Nantes**.
- **Lot 5 (Bretagne / BRE)** : réalisation d'enquêtes dans environ 35 logements situés en région Bretagne (départements 22, 29, 35 et 56) : **ITGA Rennes**.
- **Lot 6 (Auvergne Rhône-Alpes / ARA)** : réalisation d'enquêtes dans environ 45 logements situés en région Auvergne Rhône-Alpes (départements 03, 07, 26, 42, 43, 63 et 69) : **ITGA Saint-Etienne**.
- **Lot 7 (Nouvelle Aquitaine Sud / NAS)** : réalisation d'enquêtes dans environ 40 logements situés en région Nouvelle Aquitaine (départements 33, 40, 47 et 64) : **CEREMA Sud-Ouest**.
- **Lot 8 (Occitanie / OCC)** : réalisation d'enquêtes dans environ 25 logements situés en région Occitanie (départements 12, 30, 34 et 48) : **ENEXCO Montpellier**.
- **Lot 9 (Provence Alpes Côte d'Azur / PACA)** : réalisation d'enquêtes dans environ 20 logements dans la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (départements 04, 06, et 83) : **Groupement Atmo Sud / APPA**.

La région Île-de-France (est), comportant les départements 77, 91 et 94, est attribuée d'office à une équipe technique du CSTB de Champs-sur-Marne (équipe 10).

De la même façon que le prestataire de recrutement, l'identité des équipes d'enquêteurs a été notifiée au Comité du secret statistique et chaque équipe a signé un engagement de confidentialité au regard des données personnelles qui leur sont confiées.

A la demande du CSTB, les équipes régionales d'enquêteurs ont transmis leurs modalités de fonctionnement au regard de la situation sanitaire liée au risque de Covid-19, précisant notamment les gestes barrières adoptés lors des interventions au domicile des personnes enquêtées.

3.1.2. Équipes sélectionnées pour la vague 2

Pour la sélection des équipes d'enquêteurs de la vague 2, le marché public n° 21R009 a été publié le 11 mars 2021 concernant les régions ciblées pour la vague 2. Le marché a été notifié le 15 juin 2021 pour les 9 lots en sélectionnant pour chaque lot l'équipe ayant reçu la meilleure note sur une base technique et financière. Les équipes régionales retenues sont les suivantes :

- **Lot 11** (Île-de-France Nord) : réalisation d'enquêtes dans environ 32 logements situés en région Île-de-France (départements 93 et 95) : **ITGA Meudon**.
- **Lot 12** (Normandie) : réalisation d'enquêtes dans environ 38 logements situés en région Normandie (départements 14, 27, 50, 61 et 76) : **ITGA Caen**.
- **Lot 13** (Centre Val de Loire) : réalisation d'enquêtes dans environ 18 logements situés en région Centre Val de Loire (départements 18, 28, 36, 37, 41 et 45) : **OXYGENAIR**.
- **Lot 14** (Grand Est partie ouest) : réalisation d'enquêtes dans environ 21 logements situés en région Grand Est partie ouest (départements 10, 51, 52, 54 et 88) : **Groupeement EVADIES / A2L Environnement**.
- **Lot 15** (Bourgogne Franche Comté) : réalisation d'enquêtes dans environ 18 logements situés en région Bourgogne Franche Comté (départements 21, 25, 58, 70, 71 et 89) : **Groupeement EVADIES / A2L Environnement**.
- **Lot 16** (Auvergne Rhône Alpes est) : réalisation d'enquêtes dans environ 39 logements situés en région Auvergne Rhône Alpes partie est (départements 01, 38, 73 et 74) : **ITGA Saint-Etienne**.
- **Lot 17** (Nouvelle Aquitaine nord) : réalisation d'enquêtes dans environ 36 logements situés en région Nouvelle Aquitaine partie nord (départements 16, 17, 19, 24, 79, 86 et 87) : **TIPEE (La Rochelle)**.
- **Lot 18** (Occitanie ouest) : réalisation d'enquêtes dans environ 28 logements situés dans la région Occitanie partie ouest (départements 09, 11, 31, 32, 46, 65, 66 et 82) : **CERTIFAIR**.
- **Lot 19** (Provence Alpes Côte d'Azur ouest) : réalisation d'enquêtes dans environ 22 logements situés dans la région Provence Alpes Côte d'Azur partie ouest (départements 13 et 84) : **ITGA Aix-en-Provence**.

La région Île-de-France (ouest), comportant les départements 92 et 78, est attribuée d'office à une équipe technique du CSTB de Champs-sur-Marne.

Deux équipes de la vague 1 ont été reconduites : le groupeement EVADIES / A2L Environnement, ITGA Saint-Etienne. A noter que le groupeement EVADIES / A2L Environnement a la charge de 2 lots, mais pour un volume visé d'enquêtes de 39 logements équivalent en volume au lot 16.

La notification de l'identité des équipes d'enquêteurs de la vague 2 au Comité du secret statistique a été réalisée le 26 août 2021 et validée le 17 septembre 2021 lors d'une consultation électronique. Un mail de notification de l'autorisation du Comité du secret statistique est parvenu le 28 septembre 2021.

Un numéro a été attribuée à chaque équipe d'enquêteurs. Il correspond en général au numéro du lot, c'est-à-dire au numéro de la zone d'enquête. Mais une équipe peut être en charge de plusieurs zones ou parfois une zone peut voir intervenir différentes équipes (cas des reliquats d'adresses de la vague 1 enquêtées en vague 2). Le **Tableau 7** fait la synthèse des attributions des zones d'enquête par équipe.

Il n'y a pas d'équipes n° 14, 15, 16 et 20. Les zones 14 et 15 ont été couvertes par l'équipe 3 (EVADIES / A2L) qui a répondu favorablement au marché public pour ces deux zones en vague 2. Pour la zone 16, c'est l'équipe 6 (ITGA Saint Etienne) qui a remporté le marché et pour la zone 20 l'équipe 10 (équipe technique du CSTB de Champs sur Marne). De plus, pour conserver la correspondance entre numéros d'équipes et numéros de zones d'enquêtes et éviter les confusions, les équipes en charges des zones 17 à 19 ont pris les numéros correspondants. De ce fait, il n'y a aucune équipe n° 14, 15, 16 ou 20.

Au total, 16 équipes d'enquêteurs ont réalisé les enquêtes dans les 20 zones.

Tableau 7. Tableau de synthèse des attributions des zones d'enquête aux équipes

N° Equipe	Prestataire	Région d'enquêtes	N° de zone d'enquêtes	Vague
1	ENEXCO PARIS	Paris	01	1
2	CAEN DIAG	Hauts de France	02	1
3	EVADIES/A2L	Grand Est (est)	03	1
		Grand Est (ouest)	14	2
4	ITGA Nantes	Bourgogne Franche Comté	15	2
		Pays de La Loire	04	1
5	ITGA Rennes	Bretagne	05	1
6	ITGA St Etienne	Auvergne-Rhône-Alpes (ouest)	06	1
		Auvergne-Rhône-Alpes (est)	16	2
7	CEREMA	Nouvelle Aquitaine (sud)	07	1
8	ENEXCO Montpellier	Occitanie (est)	08	1
9	AtmoSud/APPA	PACA (est)	09	1
10	CSTB Champs-sur-Marne	Île-de-France (est) 77/91/94	10	1
		Île-de-France (ouest) 78/92	20	2
11	ITGA Meudon	Île-de France (nord) 93/95	11	2
12	ITGA Caen	Normandie	12	2
13	Oxygenair	Centre Val-de-Loire	13	2
14	<i>Pas d'équipe 14</i>	--	--	--

N° Equipe	Prestataire	Région d'enquêtes	N° de zone d'enquêtes	Vague
15	<i>Pas d'équipe 15</i>	--	--	--
16	<i>Pas d'équipe 16</i>	--	--	--
17	TIPEE	Nouvelle Aquitaine (nord)	17	2
18	CERTIFAIR	Occitanie (ouest)	18	2
19	ITGA Aix	PACA (ouest)	19	2
20	<i>Pas d'équipe 20</i>	--	--	--

3.1.3. Formation des équipes

Pour les enquêteurs de la Vague 1, deux sessions de formation ont été réalisées du 1^{er} au 4 septembre 2020 et du 7 au 9 septembre 2020. Chaque session concernait environ la moitié des équipes de façon à former les 15 à 18 enquêteurs présents et respecter les distanciations physiques nécessaires. Chaque équipe formait deux ou trois enquêteurs dédiés pour la CNL2. Les enquêteurs présents portaient tous un masque, respectaient une distance minimale de 1 m entre eux et disposaient chacun de flacon de gel hydroalcoolique.

Pour les enquêteurs de la Vague 2, deux sessions de formation ont été réalisées entre le 15 et le 30 novembre 2021. Huit à douze enquêteurs étaient formés à chaque session.

Une session consistait en trois jours de formation. Une première journée de formation organisée en distanciel présentant la campagne nationale, son organisation générale, le déroulé général d'une enquête, les questionnaires, la sécurisation des données personnelles et les recommandations relatives aux gestes barrières. Puis, deux autres journées sur site permettent de présenter en détail tous les protocoles de mesures, les appareils utilisés et le déroulé détaillé d'une enquête.

Chaque enquêteur a quitté la formation avec un classeur regroupant l'ensemble des protocoles et des supports de formation. Depuis la première formation, certains protocoles et questionnaires ont été mis à jour. Ils sont mis à disposition de dossiers partagés SharePoint accessibles uniquement par les équipes et le CSTB. Par ailleurs, des dossiers SharePoint privés spécifiques à chaque équipe ont été créés pour favoriser les échanges de fichiers associés aux enquêtes entre une équipe donnée et le CSTB.

3.1.4. Déroulé de l'enquête CNL2

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 (CO₂, température et humidité relative de l'air) ;
- Mesure des substances prioritaires (issues d'une hiérarchisation OQAI/CNL2) ;

- Mesure de pesticides dans l'air et les poussières (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 des matériaux présents dans les différentes pièces du logement).

La mise en œuvre des appareils de mesure dans les différentes pièces du logement est illustrée dans les figures ci-après.

Dans la chambre (**Figure 14**), quatre instruments silencieux sont mis en place dans un portoir : l'enregistreur Class'air pour le suivi en continu du dioxyde de carbone (CO₂), de la température et de l'humidité relative, un préleveur par diffusion radiale Radiello® code 145 pour le prélèvement de 20 composés organiques volatils (COV, **Tableau 8**), un préleveur par diffusion radiale Radiello® code 165 pour le prélèvement de 3 aldéhydes légers dont le formaldéhyde, et un tube par diffusion axiale PASSAM pour le prélèvement du dioxyde d'azote (NO₂).

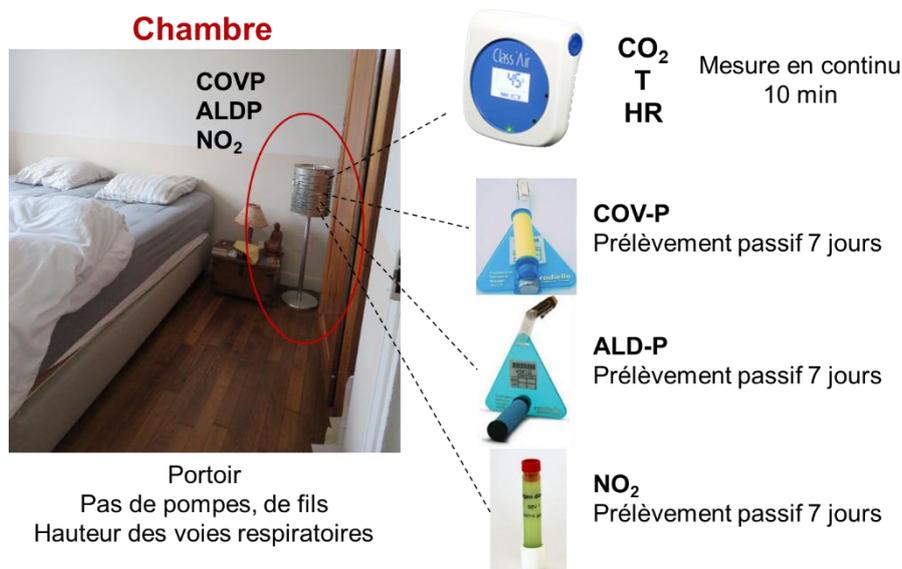


Figure 14. Mise en œuvre des mesures et prélèvements dans la chambre de la personne de référence sans pompe et sans fil

Dans le séjour (**Figure 15** et **Figure 16**), sont réalisés les prélèvements actifs de composés organiques semi-volatils (COSV) sur cartouche URG, de pesticides sur cartouche URG, des particules fines (fraction massique PM_{2.5} par collecte sur filtre pour analyse gravimétrique) et de COV sur tube Tenax TA (COV/TTA ciblant les composés de volatilité moyenne, typiquement de 5 à 16 atomes de carbone). Ce dernier prélèvement est réalisé uniquement durant 2 heures, le 1^{er} jour. Les autres prélèvements durent 7 jours et leur pompe est disposée dans un caisson insonorisé atténuant le bruit.

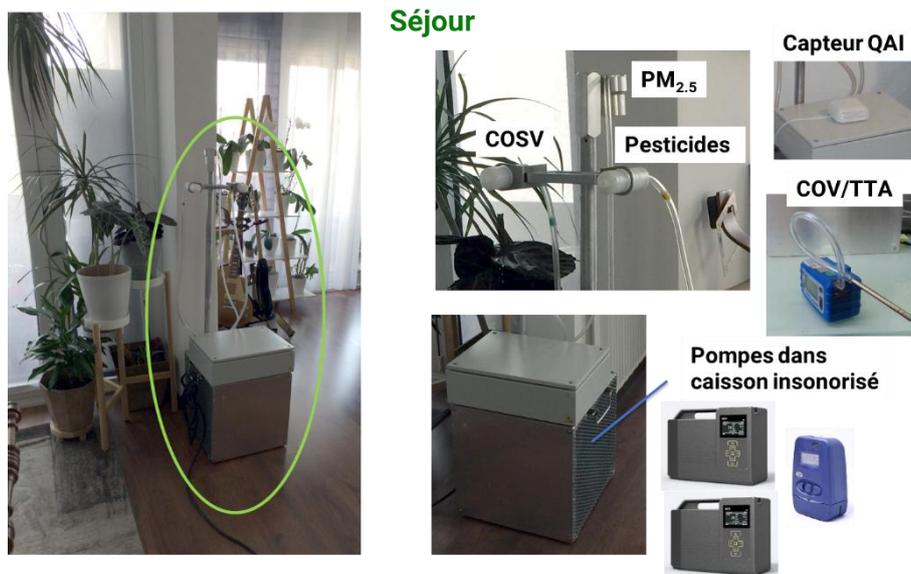


Figure 15. Mise en œuvre des prélèvements dans le séjour

- ❑ Prélèvement par pompage d'air pendant la semaine (7 jours) de **81 pesticides** sur cartouche URG-P (filtre quartz/mousse PUF) à un débit de 4 L/min *dans le séjour* (analyse ASE DCM/GC/MSMS ou LC/MSMS)
- ❑ Prélèvement par pompage d'air pendant la semaine (7 jours) de **44 composés organiques semi-volatils (COSV)** sur cartouche URG (filtre quartz/mousse PUF) à un débit de 4 L/min *dans le séjour* (analyse ASE/GC/MSMS)
- ❑ Prélèvement par pompage d'air pendant 2 heures de **composés organiques volatils émergents (22 COV)** sur tube Tenax TA à un débit de 60 mL/min *dans le séjour* (Tenax TA, analyse TD/GC/MS)
- ❑ Prélèvement de **particules en suspension dans l'air (fraction PM_{2,5})** sur filtre PTFE sur la semaine d'enquête (7 jours) à un débit de 2 L/min *dans le séjour*
- ❑ Mise en place d'un enregistreur de type **capteur QAI (Cozy air)** *dans le séjour principal* : mesure en continu de T, HR, CO₂, PM_{2,5}/PM₁₀, COVT, NO₂ et CO sur 7 jours



Figure 16. Détail des prélèvements et mesures mis en œuvre dans le séjour

A l'extérieur du logement (Figure 17), un petit portoir abrite les prélèvements passifs de COV et de NO₂ identiques à ceux de la chambre, ainsi qu'un enregistreur de température HOBO. Le portoir dispose de filins en acier lui permettant d'être installé dans différentes configurations y compris en l'absence de cour ou de balcon. Ces prélèvements sur 7 jours sont identiques à ceux mis en œuvre dans la chambre de la personne de référence.

Extérieur



Figure 17. Mise en œuvre des prélèvements à l'extérieur du logement

Enfin, la **Figure 18** et la **Figure 19** présentent l'instrumentation utilisée pour les autres mesures et prélèvements réalisés dans le logement. Ces mesures couvrent :

- Les mesures ponctuelles de débit d'air aux bouches de soufflage et d'extraction présentes dans un logement équipé d'un système de ventilation mécanique à l'aide d'un Flowfinder (anémomètre thermique muni d'un cône de mesure). Pour les bouches dont le débit varie avec l'humidité (hygro A ou hygro B), la mesure effectuée est une mesure de pression à l'aide d'un micromanomètre Furness Controls ;
- Le prélèvement des poussières du logement avec l'aval de l'occupant lors de première ou de la seconde visite en récupérant selon l'aspirateur utilisé le sac aspirateur avec la poussière aspirée par l'occupant ou directement la poussière du bac collecteur d'un aspirateur sans sac. Un questionnaire spécifique accompagne cette mesure pour déterminer l'origine de la poussière aspirée ;
- Une mesure du radon dans 3 pièces du logement sur une durée d'exposition de 2 mois en période froide (entre novembre et mars) à l'aide d'un kit radon fourni par l'IRSN. La pose est réalisée directement par les enquêteurs lorsque l'enquête se déroule sur cette période ou par les occupants eux-mêmes après l'enquête, le kit de mesure leur étant laissé à disposition. Dans tous les cas, la dépose et l'envoi au laboratoire se fait par les occupants ;
- Une collecte des spores de moisissures par dépôt sur une lingette électrostatique dans la chambre de la personne de référence sur une durée de 1 mois. De la même façon que pour le radon, cette collecte se déroule sur une période définie entre mi-octobre à mi-avril avec une pose faite par les enquêteurs durant cette période ou par les occupants sinon. La dépose et l'envoi au laboratoire sont réalisées par l'occupant.

- ❑ **Mesures ponctuelles de débit d'air ou pression** aux bouches de ventilation si présence d'une VMC dans toutes les pièces qui en présentent.



- ❑ **Récupération des poussières du logement** via le sac aspirateur des occupants ou à défaut, directement de la poussière du bac collecteur d'aspirateur sans sac, pour analyses ultérieures



Récupération du sac aspirateur de l'occupant
J1 (ou J8 si sac vide)
J1 : Poussières précédant semaine d'enquête
J8 : Poussières de la semaine d'enquête



Récupération de la poussière du réservoir dans sachet par l'enquêteur
J1 (réservoir non vidé) ou J8
J1 : Poussières précédant semaine d'enquête
J8 : Poussières de la semaine d'enquête



Figure 18. Mesures ponctuelles et autres prélèvements à l'échelle du logement

❑ **Mesure de l'activité volumique du radon sur 2 mois**

- ❑ **Logement enquêté entre novembre et février :**

→ pose des 3 dosimètres du kit radon (3 pièces)

- ❑ **Logement enquêté entre mars et octobre :**

→ kit radon (non ouvert) identifié par le code logement laissé à l'occupant pour mise en œuvre dans 3 pièces



❑ **Collecte des spores de moisissures par dépôt sur 1 mois**

- ❑ **Logement enquêté entre le 15 octobre et le 15 avril :**

→ pose du collecteur de moisissures **en chambre**

- ❑ **Logement enquêté entre le 16 avril et le 14 octobre :**

→ collecteur moisissures (non ouvert) identifié par le code logement laissé à l'occupant

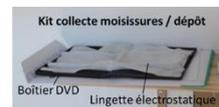


Figure 19. Mesures du radon et des moisissures

3.1.5. Vérification du matériel à mi-campagne

A la fin du mois d'octobre 2021 correspondant à la fin de la première vague d'enquêtes, les enquêteurs ont renvoyé l'ensemble du matériel d'enquête au CSTB pour vérification et ajustement si nécessaire. De novembre à décembre, le matériel a été vérifié, au besoin ajusté voire étalonné. Le matériel défaillant a été remplacé. Durant cette période, aucune enquête n'a pu être réalisée à l'exception de deux interventions début décembre. Le matériel a ainsi été immobilisé entre 1 et 2 mois du fait des délais d'étalonnage par les fabricants et du temps nécessaire à remplacer le matériel défaillant pas toujours immédiatement disponible. Ce temps d'immobilisation comprend également la préparation des jeux de matériels à renvoyer, la réparation des portoirs et la constitution du stock de consommables nécessaires aux premières enquêtes (cartouches COV, aldéhydes, NO₂, filtres pour particules, etc.).

Le matériel a été retourné en priorité aux équipes de la vague 2 en charge d'un grand nombre d'enquêtes (ITGA Saint-Etienne disposant de 69 accords) ou de plusieurs zones d'enquête

(groupement EVADIES / A2L Environnement chargé de la région Grand Est (partie ouest) et de la Bourgogne Franche Comté). Ces deux équipes disposent de 4 jeux de matériels au lieu de 2 pour faciliter la mise en œuvre des enquêtes. Pour ces équipes, le matériel leur a été renvoyé mi-décembre.

Les autres équipes ont pu disposer du matériel à partir de début janvier 2022. Malgré la consigne donnée de commencer à prendre les rendez-vous, les coordonnées des participants leur ayant été envoyées par Sépia Santé début décembre, ces équipes n'ont pas réalisé d'enquêtes en janvier.

La vérification du matériel permet d'identifier le matériel apte à continuer la campagne sans ajustement, le matériel qui s'écarte d'une valeur attendue en comparaison avec un instrument de référence et qui nécessite un ajustement, ainsi que le matériel qui dysfonctionne et doit être écarté. Un exemple de résultat de vérification de 12 appareils Class'air fonctionnels au regard de la température est présenté à la **Figure 20**.

Des tests d'intercomparaison sont également réalisés lorsque les vérifications en enceinte sont complexes à mettre en œuvre (génération de particules nécessaire par exemple). Ces tests sont généralement menés dans un environnement où la grandeur à tester est fluctuante et non stable comme dans une enceinte. Les instruments à comparer sont placés proches les uns des autres dans cet environnement avec comme contrainte la nécessité d'alimenter simultanément en électricité 20 à 30 instruments (exemple de configuration en **Figure 21**). Ces tests permettent de renseigner les variations inter-instruments d'un même modèle d'appareil pour une grandeur donnée (**Figure 22** et **Figure 23**). Ils servent notamment à déterminer l'incertitude liée à l'utilisation d'un instrument plutôt qu'un autre lors d'une enquête. Dans cette configuration, les instruments ne sont pas ajustés, mais un facteur de correction est déterminé pour être appliqué *a posteriori* en fin de campagne.

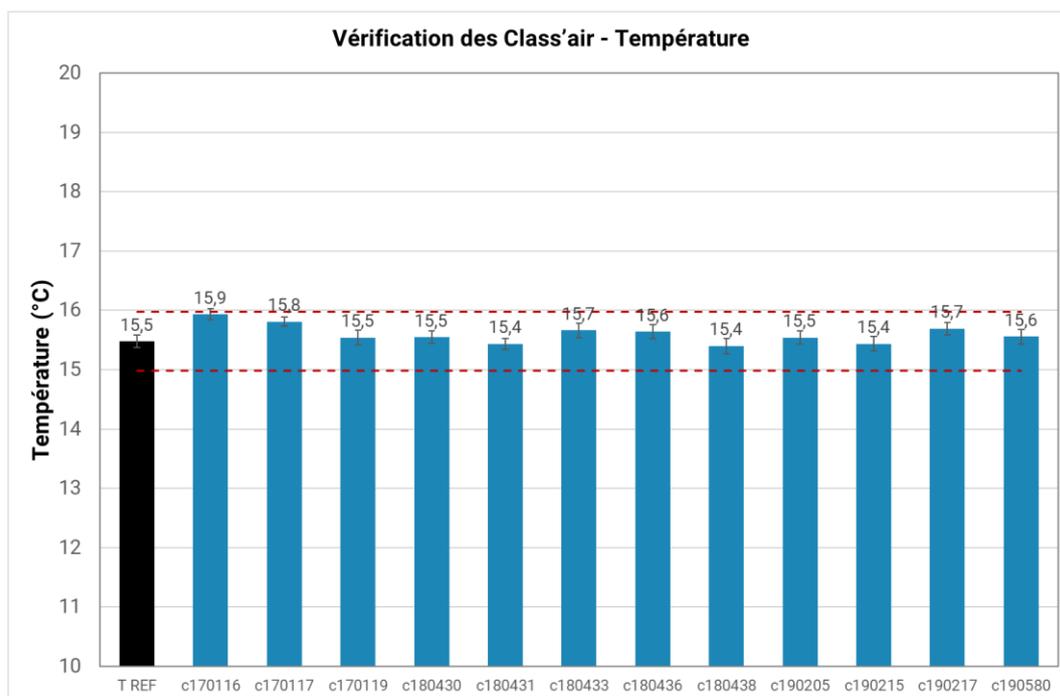


Figure 20. Exemple de vérification des Class'air en enceinte climatique pour une température de référence de 15,5°C et une tolérance de 0,5°C

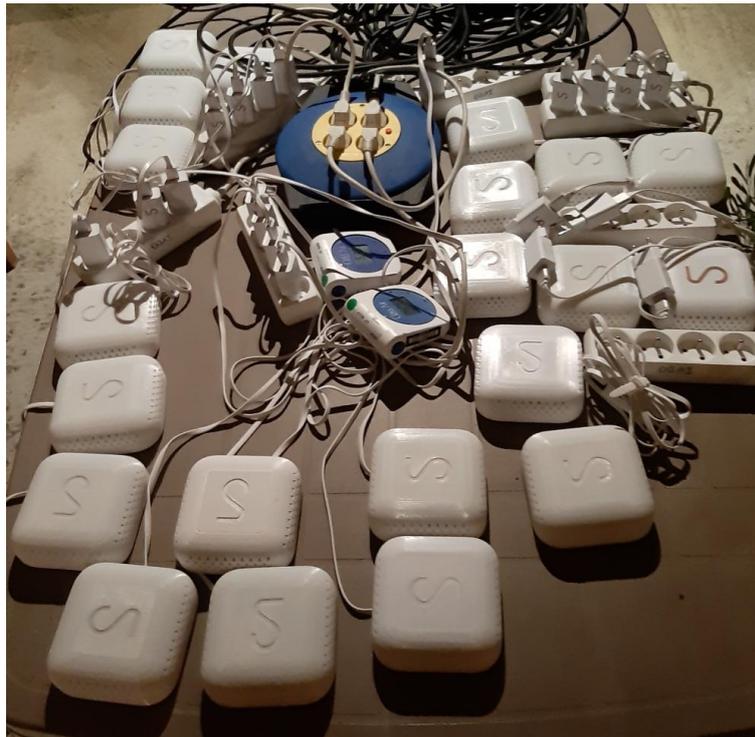


Figure 21. Exemple d'installation pour un test d'intercomparaison de capteurs Cozyair avec des appareils Class'air référents début décembre 2021 par colocation dans un logement test

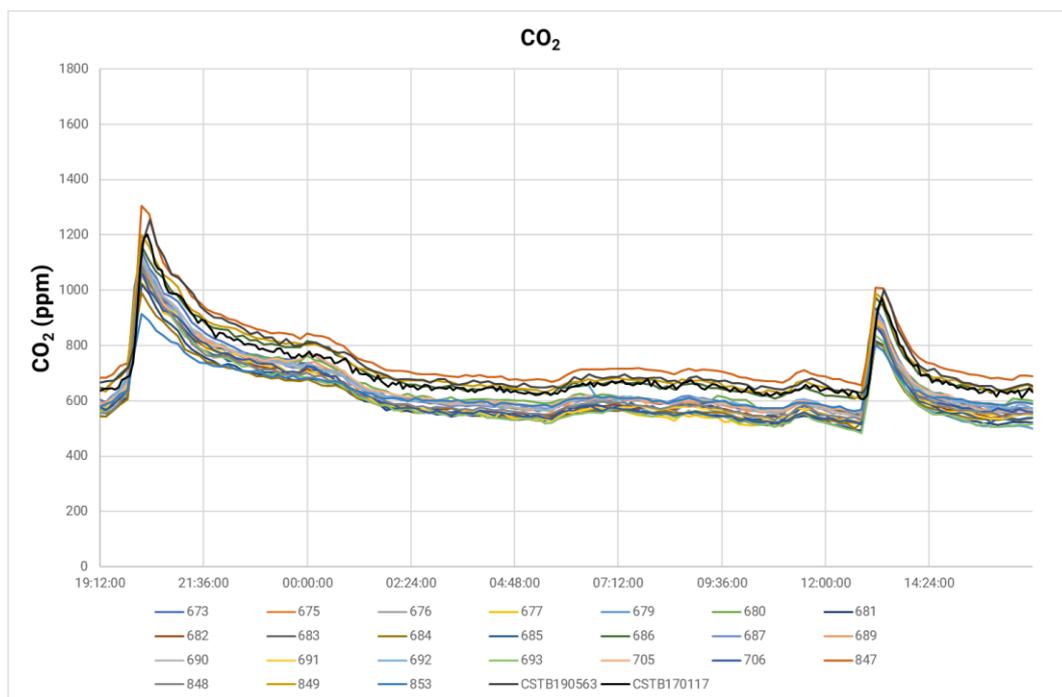


Figure 22. Exemple d'intercomparaison pour le CO₂ avec les capteurs Cozyair (1 courbe par capteur)

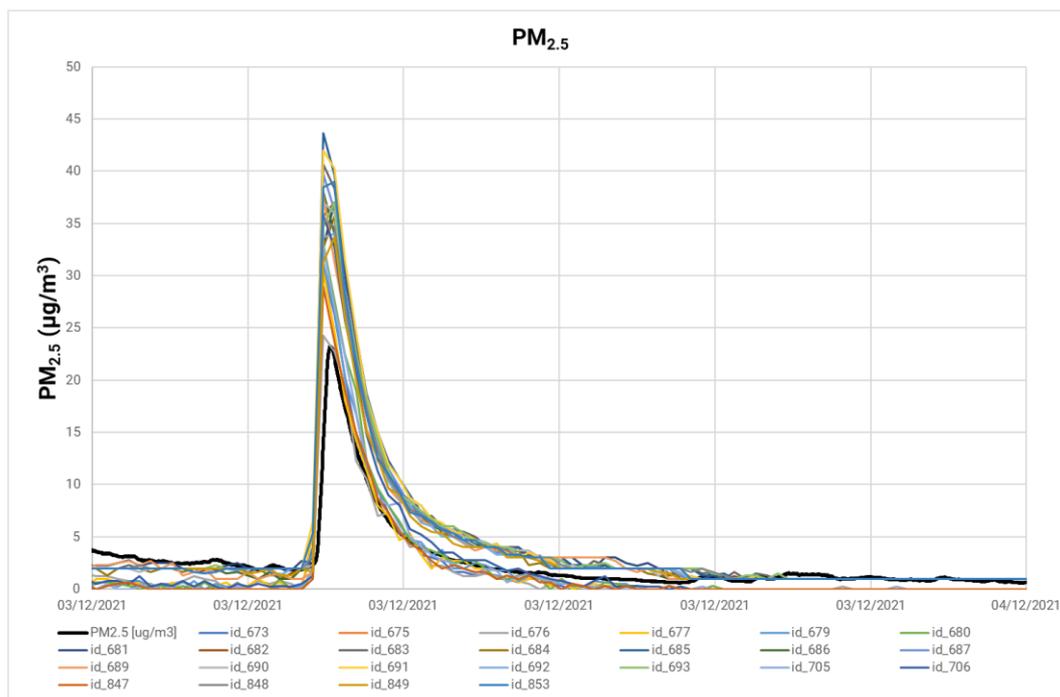


Figure 23. Exemple de résultat d'intercomparaison pour la fraction de particules $PM_{2,5}$ avec les capteurs Cozyair. Un capteur Grimm Dustmonitor 1.108 est utilisé ici comme référence (en noir).

3.1.6. Vérification du matériel en fin de campagne

Le terrain de la campagne s'est terminé fin février 2023. L'ensemble du matériel d'enquêtes a été renvoyé au CSTB dans le courant de la première quinzaine de mars 2023. La vérification du matériel et les intercomparaisons de fin de campagne ont été réalisées. Ces intercomparaisons permettent de déterminer le facteur de correction éventuellement à appliquer en fin de campagne et viennent alimenter le processus d'assurance qualité.

3.2. Mesure des polluants dans les logements

3.2.1. Stratégie de prélèvement

3.2.1.1. Choix des méthodes de prélèvements

La stratégie de prélèvement des polluants dans la campagne répond en premier lieu à l'objectif fixé de pouvoir comparer les résultats avec ceux de la première campagne nationale (CNL1, 2003-2005). Dès lors, pour les polluants communs aux deux campagnes, une stratégie équivalente (en termes de technique, pièce instrumentée, durée et période de prélèvement) voire plus performante à celle de la CNL1 est mise en place.

Ainsi, les composés organiques volatils (COV) communs à la CNL1 et à la CNL2 sont mesurés dans la même pièce (la chambre de la personne de référence) et avec la même technique (prélèvement par diffusion sur préleveur Radiello® 145 avec adsorbant Carbograph 4 et analyse GC-MS). Les aldéhydes légers (famille spécifique de COV) suivent la même logique avec une mesure dans la même chambre que les COV avec un prélèvement par diffusion sur

préleveur Radiello® 165 avec adsorbant de type gel de silice imprégné de 2,4-dinitrophényl hydrazone (DNPH) et analyse HPLC-UV.

Les particules fines (fraction massique $PM_{2,5}$) sont mesurées dans le séjour principal du logement comme dans la CNL1 par prélèvement actif sur une membrane téflon prépesée, suivie d'une analyse gravimétrique. La méthode et la membrane support utilisée sont identiques entre les deux campagnes. Seuls diffèrent la nature de la pompe utilisée, de la tête de prélèvement (les deux présentent un seuil de coupure à $2,5 \mu m$) et le débit de prélèvement de 2 L/min légèrement supérieur à celui utilisé dans la CNL1 (1,8 L/min). Pour la mesure des particules, il y a une différence entre les deux campagnes. Le prélèvement était préprogrammé pour couvrir les périodes de soirée et nuit en jours ouvrés (17h00 le soir à 08h00 le lendemain) et l'intégralité du week-end lors de la CNL1, avec un objectif de se focaliser sur la présence des occupants dans leur logement. Pour la CNL2, le choix a été fait d'intégrer le prélèvement sur l'ensemble de la semaine sans préprogrammation. Avec l'aide des capteurs de QAI déployés qui enregistrent toutes les 10 min la concentration en particules (notamment $PM_{2,5}$), il est possible de calculer une concentration associée aux mêmes périodes spécifiques définies dans la CNL1.

Le radon est mesuré avec les mêmes dosimètres Kodalpha (LR 115) sur une période de 2 mois dans les deux campagnes. Pour la CNL1, les dosimètres étaient mis en place au moment de l'enquête quelle que soit la saison. Pour la CNL2, l'objectif était de mesurer le radon sur deux mois exclusivement en période de chauffe (en ciblant la période comprise entre début novembre et fin avril) permettant de comparer directement les résultats au niveau de référence de 300 Bq/m^3 en valeur moyenne annuelle. Cette différence entre des mesures en toutes saisons pour la CNL1 et exclusivement en période de chauffe pour la CNL2 est prise en compte lors de la comparaison des résultats.

Le dioxyde de carbone (CO_2), ainsi que la température et l'humidité relative sont mesurés en continu à l'aide d'enregistreurs en CNL2 comme pour la CNL1. Les appareils enregistreurs utilisés ne sont pas les mêmes, mais la technologie des capteurs intégrés reste la même.

Pour les autres polluants, le choix des méthodes de mesure est directement dépendant des performances souhaitées. De manière générale pour ces polluants, des niveaux de concentration relativement plus faibles que les indicateurs classiques sont attendus. Ce qui nécessite des méthodes de mesure performantes en général incompatibles avec l'utilisation d'appareils enregistreurs (du fait de l'absence de technologie de capteurs spécifiques) ou avec les prélèvements par diffusion (la connaissance du débit de diffusion est limitée à certaines substances), pourtant plus pratiques à mettre en œuvre sur le terrain. Pour ces polluants, les méthodes de mesure impliquent un prélèvement actif sur un support dédié, suivi d'un protocole d'extraction et de traitement de l'échantillon spécifique et d'une analyse par chromatographie couplée à un détecteur sensible aux substances recherchées.

3.2.1.2. Choix du capteur QAI déployé dans la CNL2

En ce qui concerne le choix du capteur QAI utilisé dans la CNL2, un groupe de travail dédié a été constitué pour spécifier les caractéristiques requises et discuter des différentes stratégies de déploiement (Ramalho et al., 2018). Une présélection de micro-capteurs a ensuite été réalisée avec l'appui des tests comparatifs effectués dans le cadre du challenge micro-

capteurs Airlab en 2018 et 2019⁵⁶ et du premier essai national d'aptitude des micro-capteurs pour la surveillance de la qualité de l'air réalisé par le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA, 2019⁵⁷). Des tests ont alors été menés au laboratoire et en situation réelle par le CSTB sur les capteurs présélectionnés. Devant l'hétérogénéité des paramètres mesurés par les différents capteurs, il a été décidé de se focaliser sur les performances associées au CO₂, aux particules fines (fraction PM_{2,5}) et à la température et l'humidité relative comme critère principal de sélection. Dans un deuxième temps, le nombre d'autres paramètres QAI mesurés par le capteur pouvait entrer en ligne de compte, avec au minimum l'intégration de la mesure des COV totaux. Le premier critère a fait ressortir 3 modèles de capteurs sur la base des performances sur le CO₂ et sur les particules fines : Air Visual Node Pro, Cozyair et Nemo (Ethera). Le capteur Air Visual Node Pro a été écarté car il n'intégrait pas à l'époque la mesure des COV totaux. Le capteur Cozyair a finalement été préféré par rapport au nombre d'autres paramètres proposés à la mesure (COV totaux, NO₂ et monoxyde de carbone).

3.2.1.3. Choix des pièces du logement instrumentées

Dans le logement, deux pièces accueillent des mesures : la chambre de la personne de référence et le séjour principal (qui peut aussi être une cuisine ouverte). Dans le cas de studios, la chambre et le séjour forment une seule pièce et l'ensemble des mesures y sont menées.

Le choix d'instrumenter la pièce de sommeil de la personne de référence en priorité vise à se rapprocher au mieux de l'exposition des occupants adultes, car c'est la pièce dans laquelle les occupants adultes en charge du foyer vont passer le plus de temps (en moyenne 9 heures par jour, données CNL1 (Zeghnoun et al., 2010)). Tous les prélèvements et mesures déployés dans cette pièce sont strictement silencieux. Ce qui implique notamment l'utilisation de préleveurs par diffusion ou l'utilisation d'appareils enregistreurs sans pompage d'air.

L'instrumentation du séjour principal cherche plutôt 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. C'est également la pièce du logement la plus souvent occupée dans la journée (avec la cuisine) en moyenne 2,7 heures par jour (Zeghnoun et al., 2010). Cette pièce abrite l'ensemble des autres prélèvements notamment actifs avec pompage de l'air. Une sélection des pompes de prélèvements les moins bruyantes a été menée en amont pour limiter l'impact du bruit sur le comportement des occupants. Et par mesure supplémentaire de sécurité, les pompes ont été abritées dans un caisson insonorisé pour atténuer encore plus leur bruit intrinsèque.

Dans les pièces de service (cuisine, salle de bains, WC principalement), les seules mesures réalisées concernent les mesures de débit ou de pression aux bouches d'extraction ou de soufflage lorsque le logement est équipé d'un système de ventilation mécanique.

A l'extérieur du logement, les seules mesures réalisées sont le prélèvement par diffusion des COV et du NO₂ (mêmes prélèvements que ceux déployés dans la chambre). Une mesure complémentaire de température est mise en place pour corriger les conditions de prélèvement des COV et NO₂ à l'extérieur (les débits de diffusion varient avec la température notamment).

⁵⁶ <https://www.airparif.fr/actualite/2020/resultats-du-challenge-microcapteurs-2019>

⁵⁷ <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/resultats-du-premier-essai-national-daptitude-des-micro-capteurs-eamc-pour-la-surveillance>

Par rapport à la CNL1, les aldéhydes légers ne sont pas mesurés à l'extérieur, les niveaux de concentration étant systématiquement inférieurs à ceux observés à l'intérieur. En phase d'exploitation des résultats, il est prévu de rapprocher les données extérieures collectées par le réseau national de surveillance de la qualité de l'air ambiant (Atmo France) ou Météo France pour les données climatiques.

3.2.1.4. Conditions de mesures

Il est important de noter qu'une seule enquête est réalisée au sein de chaque logement sur une durée de 1 semaine. Chaque mesure est ainsi associée à une durée d'intégration d'une semaine au maximum sur une période de l'année spécifique. C'est un choix méthodologique porté notamment par une logistique de campagne visant à limiter les interventions dans un même logement avec une enquête prise dans son ensemble déjà conséquente et qui monopolise un peu de temps des occupants. Ce choix entraîne des conséquences en termes de représentativité temporelle des résultats et d'absence de représentativité saisonnière à l'échelle nationale.

Toutefois, toutes les mesures sont réalisées en conditions habituelles d'occupation, intégrant les allées et venues des occupants dans leur logement, les entrées/sorties du logement, les activités quotidiennes exercées et les états d'ouverture ou de fermeture des fenêtres. La mesure se veut représentative d'une semaine de vie des occupants dans leur logement sans qu'il leur soit demandé d'adopter un comportement particulier.

3.2.2. Laboratoires partenaires

Plusieurs prélèvements réalisés lors des enquêtes CNL2 nécessitent une analyse en laboratoire. C'est le cas de 6 paramètres (ou famille de paramètres) mesurés dans l'air : les composés organiques volatils (COV) prélevés par diffusion, les particules en suspension (fraction massique $PM_{2,5}$), le dioxyde d'azote (NO_2), les aldéhydes, les composés organiques semi-volatils (COSV) et les pesticides. Un septième paramètre concerne le recueil des poussières sédimentées dans les logements et au sein de ces poussières, l'analyse des pesticides. La sélection de ces laboratoires, pour l'ensemble de la campagne, vagues 1 et 2 confondues, est passée par la mise en place d'un marché public (marché 20R031 publié le 12 mars 2020). L'analyse des pesticides dans les poussières fait l'objet d'un marché spécifique conclu entre le laboratoire Leres (intégré à l'École des Hautes Etudes en Santé Publique) et l'Anses.

Les mesures par enregistrement ne nécessitent aucune analyse en laboratoire. Elles concernent la mesure du CO_2 , de la température et de l'humidité dans la chambre, des paramètres de qualité de l'air dans le séjour (température, humidité, CO_2 , particules $PM_{2,5}/PM_{10}$, COV totaux, NO_2 et CO).

L'analyse des dosimètres radon est faite par le laboratoire Algade sous la supervision de l'IRSN qui met à disposition les kits de mesure.

Les analyses par prélèvement actif sur 2 heures lors de la première visite pour la recherche de COV émergents sont réalisées par le laboratoire Pollem du CSTB, basé à Grenoble.

Le marché public pour les analyses restantes a pris la forme d'un accord cadre à bons de commande mono-attributaire alloti.

La liste finale des laboratoires intervenant dans la CNL2 est résumée ci-après :

- Lot 1 : Réalisation des analyses de COV prélevés à l'aide de capteurs passifs dans l'air (COVP) : **Laboratoire de la Drôme**
- Lot 2 : Réalisation des analyses gravimétriques de particules PM_{2,5} dans l'air par collecte sur filtre : **Plateforme TIPEE**
- Lot 3 : Réalisation des analyses de NO₂ prélevé à l'aide de capteurs passifs dans l'air : **Service parisien de santé environnement (SPSE)**
- Lot 4 : Réalisation des analyses d'aldéhydes prélevés à l'aide de capteurs passifs dans l'air : **Laboratoire de la Drôme**
- Lot 5 : Réalisation des analyses de COSV dans l'air : **Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'Ecole des hautes études santé publique (EHESP)**
- Lot 6 : Réalisation des analyses pesticides dans l'air : **Laboratoire Ianesco**
- Lot 7 : Réalisation du tamisage, des analyses gravimétriques et du stockage des poussières collectées : **Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'Ecole des hautes études santé publique (EHESP)**
- COV prélèvement actif : **laboratoire Pollem du CSTB**
- Radon : **laboratoire ALGADE et gestion des résultats d'analyses par l'IRSN**
- Moisissures (spores déposées sur lingette électrostatique) : Université de Lille (même équipe que celle rattachée à l'Institut Pasteur pour les 200 premiers logements)

3.2.3. Liste des polluants recherchés dans la CNL2 et analysés en laboratoire

La liste complète des 171 substances mesurées dans l'air et analysées au laboratoire dans le cadre de la CNL2 est présentée dans les tableaux suivants : **Tableau 8** (20 COV par diffusion), **Tableau 9** (3 aldéhydes par diffusion), **Tableau 10** (23 COV par prélèvement actif auxquels s'ajoutent les sommes des COV totaux, des COV très volatils et des COV semi-volatils⁵⁸), **Tableau 11** (44 COSV spécifiques) et **Tableau 12** (81 pesticides). S'ajoutent à cette liste : le NO₂ analysé par le laboratoire SPSE, le radon analysé par le laboratoire Algade en partenariat avec l'IRSN et la fraction massique PM_{2,5} analysée par le laboratoire TIPEE, ainsi que les 92 pesticides analysés dans les poussières (**Tableau 13**).

Tableau 8. Liste des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement (cartouche Radiello® code 145 – Carbograph 4, analyse TD-GC-MS, laboratoire LDL26 de la Drôme)

Substance prioritaire	N°CAS
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2
1-Méthoxy-2-propylacétate	108-65-6

⁵⁸ La somme des COV semi-volatils fournie ici est très indicative étant donné qu'elle ne prend en compte que les substances thermodésorbables et ayant une pression de vapeur inférieure à celle de l'écicosane (alcane linéaire C20).

Substance prioritaire	N°CAS
2-Butoxyéthanol	111-76-2
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7
Acétate de n-Butyle	123-86-4
Alpha-Pinène	80-56-8
Benzène	71-43-2
Ethylbenzène	100-41-4
Limonène	138-86-3
m-Xylène	108-38-3
n-Décane	124-18-5
n-Undécane	1120-21-4
o-Xylène	95-47-6
p-Xylène	106-42-3
Styrène	100-42-5
Tétrachloroéthylène	127-18-4
Toluène	108-88-3
Trichloroéthylène	79-01-6

Tableau 9. Liste des 3 aldéhydes mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence (cartouche Radiello® code 165 – DNPH, analyse HPLC-UV, laboratoire LDL26 de la Drôme)

Substance prioritaire	N°CAS
Acétaldéhyde	75-07-0
Formaldéhyde	50-00-0
Hexaldéhyde	66-25-1

Tableau 10. Liste des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour sur 2 heures (tube PE Tenax TA, thermodésorption, analyse GC-MS, laboratoire Pollem du CSTB)

Substance prioritaire	N°CAS
1,2-Dibromoethane	106-93-4
1,2-Dichloroethane	107-06-2
1,4-Dioxane	123-91-1
1-Décanol	107-15-3
2-Butanone oxime	96-29-7
Benzaldéhyde	100-52-7
Benzophénone	119-61-9

Substance prioritaire	N°CAS
Bromodichlorométhane	75-27-4
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6
Ethyl acétate	141-78-6
Géraniol	106-24-1
Méthyl eugénol	93-15-2
Méthyl méthacrylate	80-62-6
N,N-Diméthylformamide	68-12-2
Naphtalène	91-20-3
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2
Phénol	108-95-2
p-Hydroquinone	123-31-9
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4
Toluène	108-88-3
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0
Somme des COV totaux (C6-C16 / ISO16000-6)*	COVT
Somme des COV légers**	VVOC
Somme des COV semi-volatils***	SVOC

*Somme des COV éluant entre le n-hexane et le n-hexadécane sur une colonne chromatographique 95 % apolaire, en intégrant la somme des pics intégrés et quantifiés en équivalent toluène (COVT_{MEQ}), conformément à la norme NF ISO 16000-6 (2021) ;

**Somme des COV éluant avant le n-hexane et après le n-pentane (C5) en intégrant la somme des pics intégrés et quantifiés en équivalent toluène. Ce paramètre reste indicatif étant donné que l'adsorbant utilisé le Tenax TA n'est pas le plus adapté pour les COV les plus légers ;

*** Somme des COV éluant après le n-hexadécane (C16) jusqu'au n-docosane (C22) en intégrant la somme des pics intégrés et quantifiés en équivalent toluène. Ce paramètre reste indicatif étant donné que l'adsorbant utilisé le Tenax TA n'est pas le plus adapté pour les COV les plus lourds.

Tableau 11. Liste des 44 composés organiques semi-volatils (COSV) mesurés par prélèvement actif dans le séjour sur 7 jours (cartouche URG (filtre quartz/mousse PUF), analyse ASE-GC-MS/MS, laboratoire LERES)

Substance	N°CAS	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Acénaphène	83-32-9
	Acénaphylène	208-96-8
	Anthracène	120-12-7
	Benzo[a]anthracène	56-55-3
	Benzo[a]pyrène	50-32-8
	Benzo[b]fluoranthène	205-99-2
	Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2
	Benzo[k]fluoranthène	207-08-9
	Chrysène	218-01-9
	Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3
	Fluoranthène	206-44-0
	Fluorène	86-73-7
	Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5
	Phénanthrène	85-01-8
	Pyrène	129-00-0
Phtalates	BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7
	DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2
	DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2
	DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7
	DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5
	DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0
	DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3
Polybromodiphenyls éthers (PBDE)	BDE 154	207122-15-4
	BDE 153	68631-49-2
	BDE 100	189084-64-8
	BDE 99	60348-60-9
	BDE 47	5436-43-1
Polychlorobiphényles (PCB)	PCB 180	35065-29-3
	PCB 153	35065-27-1
	PCB 138	35065-28-2
	PCB 118	31508-00-6

Substance	N°CAS	
PCB 105	32598-14-4	
PCB 101	37680-73-2	
PCB 77	32598-13-3	
PCB 52	35693-99-3	
PCB 31	16606-02-3	
PCB 28	7012-37-5	
Alkylphénols	4-tert-butylphénol	98-54-4
	4-tert-octylphénol	140-66-9
	4-n-nonylphénol	104-40-5
Muscs polycycliques	Galaxolide	1222-05-5
	Tonalide	21145-77-7
Autres composés	Tributylphosphate	126-73-8
	Triclosan	3380-34-5

Tableau 12. Liste des 81 pesticides mesurés dans l'air par prélèvement actif dans le séjour sur 7 jours (cartouche URG (filtre quartz/mousse PUF), analyse ASE-GC-MS/MS ou ASE-LC-MS/MS, laboratoire lanesco)

Substance prioritaire	N° CAS	Famille	Analyse
2,4-D (ester de 2-éthylhexyle)	1928-43-4	Herbicide phénoxy	GC-MS/MS
2,4-MCPA (ester de 2-éthylhexyle)	29450-45-1	Herbicide phénoxy	GC-MS/MS
Acétamipride (Isomères Z + E)	160430-64-8	Insecticide néonicotinoïde	LC-MS/MS
Acétochlore	34256-82-1	Herbicide anilide	GC-MS/MS
Bifenthrine	82657-04-3	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Boscalid	188425-85-6	Fongicide amide	LC-MS/MS
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	Herbicide autre	GC-MS/MS
Butraline	33629-47-9	Inhibiteur de croissance/retardateur	GC-MS/MS
Carbaryl	63-25-2	Insecticide carbamate	GC-MS/MS
Carbétamide	16118-49-3	Herbicide carbanilate	LC-MS/MS
Chlordane	57-74-9	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Chlorothalonil	1897-45-6	Fongicide organochloré	GC-MS/MS
Chlorprophame	101-21-3	Herbicide carbanilate	GC-MS/MS
Chlorpyrifos éthyl	2921-88-2	Insecticide organophosphoré	GC-MS/MS
Chlorpyrifos méthyl	5598-13-0	Insecticide organophosphoré	GC-MS/MS
Cyazofamide	120116-88-3	Fongicide amide	LC-MS/MS
Cyfluthrine (Béta)	68359-37-5	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Cymoxanil	57966-95-7	Fongicide aliphatique azoté	LC-MS/MS
Cyperméthrine (alpha+béta+théta+zéta)	52315-07-8	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS

Substance prioritaire	N° CAS	Famille	Analyse
Cyprodinil	121552-61-2	Fongicide pyrimidine	GC-MS/MS
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	Répulsif contre les insectes	LC-MS/MS
Deltaméthrine	52918-63-5	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Diazinon	333-41-5	Insecticide organophosphoré	GC-MS/MS
Dichlorprop (ester de 2-éthylhexyle) (dont le dichlorprop-P)	79270-78-3 (865363-39-9)	Auxine	GC-MS/MS
Dicloran	99-30-9	Autre fongicide	GC-MS/MS
Dicofol	115-32-2	Acaricide	GC-MS/MS
Dieldrine	60-57-1	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Difénoconazole	119446-68-3	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Diflufénicanil	83164-33-4	Herbicide pyridine	GC-MS/MS
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)	87674-68-8 (163515-14-8)	Herbicide amide	LC-MS/MS
Diméthoate	60-51-5	Insecticide organophosphoré	GC-MS/MS
Diméthomorphe	110488-70-5	Fongicide morpholine	LC-MS/MS
Endrine	72-20-8	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Epoxiconazole	133855-98-8	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Etofenprox	80844-07-1	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Fénarimol	60168-88-9	Fongicide pyrimidine	GC-MS/MS
Fenpropidine	67306-00-7	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Fipronil	120068-37-3	Insecticide pyrazole	GC-MS/MS
Fluazinam	79622-59-6	Fongicide pyridine	LC-MS/MS
Flumétraline	62924-70-3	Inhibiteur de croissance/retardateur	GC-MS/MS
Fluopyram	658066-35-4	Autre fongicide	LC-MS/MS
Folpel	133-07-3	Fongicide dicarboximide	GC-MS/MS
Heptachlore	76-44-8	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Icaridine	119515-38-7	Répulsif contre les insectes	LC-MS/MS
Imidaclopride	138261-41-3	Insecticide néonicotinoïde	LC-MS/MS
Krésoxim-méthyl	143390-89-0	Fongicide strobilurine	GC-MS/MS
Lambda cyhalothrine	91465-08-6	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Lindane	58-89-9	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Malathion	121-75-5	Insecticide organophosphoré	GC-MS/MS
Métazachlore	67129-08-2	Herbicide pyrazole	GC-MS/MS
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	51218-45-2 (87392-12-9)	Herbicide anilide	GC-MS/MS
Métribuzine	21087-64-9	Herbicide triazinone	GC-MS/MS
Mirex	2385-85-5	Insecticide organochloré	GC-MS/MS
Myclobutanil	88671-89-0	Fongicide conazole	GC-MS/MS

Substance prioritaire	N° CAS	Famille	Analyse
Oryzalin	19044-88-3	Herbicide dinitroaniline	LC-MS/MS
Oxadiazon	1966630-9	Herbicide autre	GC-MS/MS
Pendiméthaline (Pénoxaline)	40487-42-1	Herbicide dinitroaniline	GC-MS/MS
Pentachlorophénol (forme phénol)	87-86-5	Insecticide organochloré	LC-MS/MS
Perméthrine	52645-53-1	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Pipéronyl butoxide	51-03-6	Pesticide synergique	GC-MS/MS
Prochloraze	67747-09-5	Fongicide amide	LC-MS/MS
Propiconazole	60207-90-1	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Propyzamide	23950-58-5	Herbicide amide	GC-MS/MS
Prosulfocarbe	52888-80-9	Herbicide thiocarbamate	LC-MS/MS
Pyriméthanil	53112-28-0	Fongicide pyrimidine	GC-MS/MS
Pyrimicarbe	23103-98-2	Insecticide carbamate	LC-MS/MS
Pyriproxyfène	95737-68-1	Imitateur d'hormones juvéniles	GC-MS/MS
Quinoxifène	124495-18-7	Autre fongicide	GC-MS/MS
Spiroxamine	118134-30-8	Autre fongicide	LC-MS/MS
Tau-fluvalinate	102851-06-9	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Tébuconazole	107534-96-3	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Tébutiuron	34014-18-1	Herbicide urée	LC-MS/MS
Terbutryne	886-50-0	Herbicide triazine	LC-MS/MS
Thiaclopride	111988-49-9	Insecticide néonicotinoïde	LC-MS/MS
Tolyfluanide	731-27-1	Fongicide amide	GC-MS/MS
Transfluthrine	118712-89-3	Insecticide pyréthrianoïde	GC-MS/MS
Triadiménol	55219-65-3	Fongicide conazole	LC-MS/MS
Triallate	2303-17-5	Herbicide thiocarbamate	GC-MS/MS
Triclopyr (ester de butyl glycol)	64700-56-7	Herbicide pyridine	GC-MS/MS
Trifloxystrobine	141517-21-7	Autre fongicide	GC-MS/MS
Triticonazole	131983-72-7	Autre fongicide	LC-MS/MS

Tableau 13. Liste des 92 pesticides mesurés dans les poussières du logement (extraction au solvant par micro-onde et analyse GC-MS/MS, LC-MS/MS, ou extraction en phase aqueuse et HILIC-MS/MS, laboratoire Leres)

Substance	N° CAS	Analyse
2,4-D (Ester amylique)	94-75-7	LC-MS/MS
2,4-MCPA	94-74-6	LC-MS/MS
Acétamipride	160430-64-8	LC-MS/MS
Acétochlore	34256-82-1	LC-MS/MS
Aldrin	309-00-2	GC-MS/MS
Bifenthrine	82657-04-3	GC-MS/MS

Substance	N° CAS	Analyse
Boscalid	188425-85-6	LC-MS/MS
Brodifacoum	56073-10-0	LC-MS/MS
Bromoxynil octanoate	1689-99-2	GC-MS/MS
Butraline	33629-47-9	GC-MS/MS
Carbaryl	63-25-2	LC-MS/MS
Carbétamide	16118-49-3	LC-MS/MS
cis-Chlordane	5103-71-9	GC-MS/MS
trans-Chlordane	5103-74-2	GC-MS/MS
Chlorothalonil	1897-45-6	GC-MS/MS
Chlorprophame	101-21-3	GC-MS/MS
Chlorpyriphos-éthyl	2921-88-2	GC-MS/MS
Chlorpyriphos-méthyl	5598-13-0	GC-MS/MS
Citriodiol	42822-86-6	LC-MS/MS
Cyfluthrine	68359-37-5	GC-MS/MS
Cyhalothrine (lambda-)	91465-08-6	GC-MS/MS
Cymoxanil	57966-95-7	LC-MS/MS
Cyperméthrine	52315-07-8	GC-MS/MS
Cyprodinil	121552-61-2	LC-MS/MS
DEET (N,N-Diéthyl-3-méthylbenzamide)	134-62-3	LC-MS/MS
Deltaméthrine	52918-63-5	GC-MS/MS
Diazinon	333-41-5	GC-MS/MS
Dichlobénil	1194-65-6	GC-MS/MS
Dichlorprop-P	15165-67-0	GC-MS/MS
Dichlorvos	62-73-7	GC-MS/MS
Dicloran	99-30-9	GC-MS/MS
Dicofol	115-32-2	GC-MS/MS
Dieldrine	60-57-1	GC-MS/MS
Diéthion	563-12-2	GC-MS/MS
Difénacoum	56073-07-5	LC-MS/MS
Difénoconazole	119446-68-3	LC-MS/MS
Diflufenican	83164-33-4	GC-MS/MS
Diméthénamide-P	163515-14-8	LC-MS/MS
Diméthoate	60-51-5	GC-MS/MS
Endrine	72-20-8	GC-MS/MS

Substance	N° CAS	Analyse
Epoxiconazole	133855-98-8	GC-MS/MS
Etofenprox	80844-07-1	GC-MS/MS
Fénarimol	60168-88-9	GC-MS/MS
Fenpropidine	67306-00-7	LC-MS/MS
Fipronil	120068-37-3	GC-MS/MS
Fluazinam	79622-59-6	LC-MS/MS
Flumétraline	62924-70-3	GC-MS/MS
Fluopyram	658066-35-4	LC-MS/MS
Fluroxypyr (Ester 1-méthylheptyl)	81406-37-3	LC-MS/MS
Folpel	133-07-3	GC-MS/MS
Fosétyl-aluminium	39148-24-8	HILIC-MS/MS
Glufosinate ammonium	77182-82-2	HILIC-MS/MS
Glyphosate	1071-83-6	HILIC-MS/MS
Heptachlore	76-44-8	GC-MS/MS
Icaridine	119515-38-7	LC-MS/MS
Imidaclopride	138261-41-3	LC-MS/MS
Imiprothrine	72963-72-5	GC-MS/MS
Lénacile	01/08/2164	GC-MS/MS
Lindane (gamma-HCH)	58-89-9	GC-MS/MS
Malathion	121-75-5	GC-MS/MS
Métaldéhyde	108-62-3	GC-MS/MS
Métazachlore	67129-08-2	LC-MS/MS
Méthoprène	40596-69-8	GC-MS/MS
Métolachlore (S-)	87392-12-9	LC-MS/MS
Métribuzine	21087-64-9	LC-MS/MS
Myclobutanil	88671-89-0	LC-MS/MS
Oxadiazon	19666-30-9	GC-MS/MS
PBO (Piperonyl butoxide)	51-03-6	GC-MS/MS
Pendiméthaline	40487-42-1	GC-MS/MS
Perchlordécone (Mirex)	2385-85-5	GC-MS/MS
Perméthrine	52645-53-1	GC-MS/MS
Phénothrine (D-)	188023-86-1	GC-MS/MS
Prochloraze	67747-09-5	LC-MS/MS
Propiconazole	60207-90-1	GC-MS/MS

Substance	N° CAS	Analyse
Propyzamide	23950-58-5	LC-MS/MS
Prosulfocarbe	52888-80-9	GC-MS/MS
Pyriméthanil	53112-28-0	LC-MS/MS
Pyrimicarbe	23103-98-2	LC-MS/MS
Pyriproxifène	95737-68-1	LC-MS/MS
Spiroxamine	118134-30-8	LC-MS/MS
Tébuconazole	107534-96-3	GC-MS/MS
Tébuthiuron	34014-18-1	LC-MS/MS
Terbutryne	886-50-0	LC-MS/MS
Tétraméthrine	7696-12-0	GC-MS/MS
Thiaclopride	111988-49-9	LC-MS/MS
Tolyfluanide	731-27-1	GC-MS/MS
Transfluthrine	118712-89-3	GC-MS/MS
Triadiménol	55219-65-3	LC-MS/MS
Triallate	2303-17-5	LC-MS/MS
Triclopyr (sel de triméthylamine)	57213-69-1	LC-MS/MS
Trifloxystrobine	141517-21-7	LC-MS/MS
Triticonazole	131983-72-7	LC-MS/MS

3.2.4. Synthèse des méthodes de prélèvement et d'analyse des différentes substances cibles

Les **Tableau 14**, **Tableau 15** et **Tableau 16** résument les différentes méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées pour mesurer les substances cibles (COV, NO₂, aldéhydes, PM_{2.5}, COSV, pesticides, radon) et les paramètres clés (CO₂, température (T), humidité relative (HR), débit de ventilation).

Tableau 14. Synthèse des méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées lors de la CNL2 par famille de substances ciblées (COV, NO₂, aldéhydes)

Substances / Paramètres	COV (diffusion)	NO ₂	Aldéhydes	COV (prélèvement actif)
Nombre de substances / paramètres	20	1	3	26
Localisation	Chambre Extérieur	Chambre Extérieur	Chambre	Séjour
Méthode de prélèvement	passive	passive	passive	active 60 mL/min

Substances / Paramètres	COV (diffusion)	NO ₂	Aldéhydes	COV (prélèvement actif)
Echantillonneur	Radiello 145 (Carbograph 4)	Palmes tube (Passam AG)	Radiello 165 (2,4-DNPH)	Tenax TA
Analyse	TD-GC-MS	spectrophotométrie	SPE-HPLC-UV	TD-GC-MS
Durée	7 jours	7 jours	7 jours	2 heures
LDM	0,1 (trichloréthylène) à 0,6 µg/m ³ (alpha-pinène)	4,4 µg/m ³	0,2 (formaldéhyde) à 0,6 µg/m ³ (hexaldéhyde)	0,1 (naphtalène) à 8,9 µg/m ³ (citriodiol)

LDM : limite de détection de la méthode

TD-GC-MS : thermodésorption – chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse

SPE-HPLC-UV : extraction en phase solide – chromatographie haute performance – détection UV

Tableau 15. Synthèse des méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées lors de la CNL2 par famille de substances ciblées (COSV, pesticides (air), PM_{2,5} et radon)

Substances / Paramètres	COSV	Pesticides (air)	PM _{2,5}	Radon
Nombre de substances / paramètres	44	81	1	1
Localisation	Séjour	Séjour	Séjour	Séjour Chambre + 1 autre pièce
Méthode de prélèvement	active 4 L/min	active 4 L/min	active 2 L/min	passive
Echantillonneur	URG (filtre en fibre de quartz/PUF)	URG (filtre en fibre de quartz /PUF)	PTFE membrane	Dosimètre Kodalpa LR115
Analyse	ASE-GC-MS/MS	ASE-GC-MS/MS ASE-LC-MS/MS	Gravimétrique	Activité volumique moyenne de radon
Durée	7 jours	7 jours	7 jours	2 mois d'hiver
LDM	0,002 (triclosan) à 4,9 ng/m ³ (diéthylphtalate)	0,009 (2,4-D) à 0,19 ng/m ³ (chlordane)	3 µg/m ³	20 Bq/m ³

LDM : limite de détection de la méthode

PUF : mousse polyuréthane

ASE-LC-MS/MS : Extraction liquide pressurisée – chromatographie en phase liquide – spectrométrie de masse en tandem

Tableau 16. Synthèse des méthodes de mesures ponctuelles ou continues utilisées lors de la CNL2 (enregistrement par Class'air, par capteur QAI Cozyair, par HOBO et mesure ponctuelle des débits de ventilation)

Substances / Paramètres	CO ₂ , T, HR, P	CO ₂ , COVT, NO ₂ , PM _{1/2.5/10} , T, HR	Température (T)	Débits de ventilation
Nombre de substances / paramètres	4	8	1	1
Localisation	Chambre	Séjour	Extérieur	Bouche de soufflage ou d'extraction
Méthode de prélèvement	Enregistrement continu (pas de temps 10 min)	Enregistrement continu (pas de temps 10 min)	Enregistrement continu (pas de temps 10 min)	Balomètre
Instrument	Class'air	Cozyair capteur QAI	HOBO Pendant UA-001-08	Flowfinder 2
Analyse	NDIR	NDIR, MOS, MEMS, optique laser, digital	Enregistreur	Débit de ventilation moyen
Durée	7 jours	7 jours	7 jours	1 min
LDM	50 ppm / -40 °C / 10 % / 850 hPa	400 ppm / 5 ppb* / 2 ppb / 0,5 µg/m ³ / -40 °C / 5 %	-20 °C	10 m ³ /h

LDM : limite de détection de la méthode

NDIR : infrarouge non dispersif

MOS : capteur à oxydes métalliques

MEMS : microsystèmes électromagnétiques

*référence toluène.

3.2.5. Suivi des analyses

Le suivi des analyses est assuré par une plateforme collaborative privée Teams/SharePoint spécifique à chaque laboratoire. Les fichiers d'analyse dont le format a été défini spécifiquement avec chaque 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.

Pour les COV passifs et actifs, le laboratoire dépose également sur l'espace collaboratif les chromatogrammes correspondant à chaque échantillon qui peuvent faire l'objet d'exploitations plus fines ultérieurement.

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 dans l'air.

Les laboratoires indiquent en plus dans leurs fichiers respectifs de résultat les métadonnées suivantes pour chaque substance analysée :

- Code prélèvement,

- Code échantillon laboratoire,
- Numéro du tube/cartouche le cas échéant,
- Date de conditionnement/préparation de la cartouche,
- Numéro de lot le cas échéant,
- Date de réception au laboratoire,
- Température à réception (flacon de contrôle accompagnant les colis réfrigérés),
- Analyse réalisée (oui/non),
- Date de traitement/analyse, et le cas échéant date d'extraction/élution,
- Nom de la substance cible,
- N° CAS de la substance cible,
- Limite de détection,
- Limite de quantification,
- Résultat en masse sur support de la substance cible,
- Validation de l'analyse (oui/non),
- Commentaires d'analyse,
- Spécifiquement pour les particules : dates et résultats des pesées initiales des filtres avant prélèvement, écart observé entre deux pesées initiales successives, écart < tolérance initiale de 40 µg (oui/non), date d'envoi aux équipes, état du filtre à réception, dates et résultats des pesées finales des filtres après prélèvement, écart observé entre deux pesées finales successives, écart < tolérance finale de 60 µg (oui/non), masse initiale du filtre, masse finale du filtre, masse finale – masse initiale, commentaires de pesée (voir exemple en **Figure 24**).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
	Date de réception CSTB	LOT filtre	Code TIPEE	Identification filtre CNL2	état <40µg	m _i (g) filtre vierge	Equipe concernée	Date de demande	Date d'envoi aux équipes	Date de réception après enquête	Délai entre envoi et réception après enquête	Etat filtre ap prélèvement	date m _i	date m _f	durée entre 2 pesées	m _i (g)	m _f (g)	m _f -m _i (µg)	état (<60µg)	m _f -m _i ap pri							
2	22/10/2020	43562129	EC_P548_001_PM	08LPOV75-SE1-PM-M-E	OK	0.10843	8	06/11/2020	16/11/2020	03/12/2020	17	OK	07/12/20 13:30	08/12/20 08:30	19	0.10878	0.10879	10	OK	0.10							
3	22/10/2020	43562129	EC_P548_002_PM	02LIEB51-SE1-PM-M-E	OK	0.13063	2	16/11/2020	23/11/2020	08/12/2020	15	OK	09/12/20 17:55	10/12/20 13:30	20	0.13083	0.13080	30	OK	0.13							
4	22/10/2020	43562129	EC_P548_003_PM	02LKEP20-SE1-PM-M-E	OK	0.11854	2	16/11/2020	23/11/2020	21/12/2020	28	OK	23/12/20 08:30	24/12/20 08:30	24	0.11888	0.11889	10	OK	0.11							
5	22/10/2020	43562129	EC_P548_004_PM	08LIEZ48-SE1-PM-M-E	OK	0.11130	9	16/11/2020	23/11/2020	17/12/2020	24	OK	21/12/20 08:30	22/12/20 08:30	24	0.11247	0.11247	0	OK	0.11							
6	22/10/2020	43562129	EC_P548_005_PM	03LFI693-SE1-PM-M-E	OK	0.11099	3	16/11/2020	23/11/2020	21/12/2020	28	OK	23/12/20 08:30	24/12/20 08:30	24	0.11120	0.11122	20	OK	0.11							
7	22/10/2020	43562129	EC_P548_006_PM	03LBMG12-SE1-PM-M-E	OK	0.12984	3	16/11/2020	23/11/2020	21/12/2020	28	OK	23/12/20 08:30	24/12/20 08:30	24	0.13025	0.13027	20	OK	0.13							
8	22/10/2020	43562129	EC_P548_007_PM		OK	0.12970	3	16/11/2020	23/11/2020	01/04/2021	129	OK	01/04/21 00:00	01/04/21 00:00	0	0	0	0	OK	0.00							
9	22/10/2020	43562129	EC_P548_008_PM	04LNU116-SE1-PM-M-E	OK	0.10851	4	07/12/2020	21/12/2020	29/01/2021	39	OK	01/02/21 08:10	02/02/21 08:20	24	0.10873	0.10874	10	OK	0.10							
10	22/10/2020	43562129	EC_P548_009_PM	04LIEE39-SE1-PM-M-E	OK	0.12777	4	07/12/2020	21/12/2020	22/01/2021	32	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.12836	0.12838	20	OK	0.12							
11	22/10/2020	43562129	EC_P548_010_PM	04LJWX13-SE1-PM-M-E	OK	0.10903	4	07/12/2020	21/12/2020	14/01/2021	24	OK	18/01/21 16:30	19/01/21 08:40	16	0.11250	0.11247	30	OK	0.11							
12	22/10/2020	43562129	EC_P548_011_PM	03LCEG61-SE1-PM-M-E	OK	0.10895	3	07/12/2020	21/12/2020	20/01/2021	30	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.10897	0.10899	20	OK	0.10							
13	22/10/2020	43562129	EC_P548_012_PM	03LBRP93-SE1-PM-M-E	OK	0.10718	3	07/12/2020	21/12/2020	04/02/2021	45	OK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.10728	0.10728	0	OK	0.10							
14	22/10/2020	43562129	EC_P548_013_PM	03LDRX32-SE1-PM-M-E	OK	0.11832	3	07/12/2020	21/12/2020	04/02/2021	45	NOK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.11841	0.11843	20	OK	0.11							
15	22/10/2020	43562129	EC_P548_014_PM	03LRRS09-SE1-PM-M-E	OK	0.10837	3	07/12/2020	21/12/2020	20/01/2021	30	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.10867	0.10869	20	OK	0.10							
16	22/10/2020	43562129	EC_P548_015_PM	03LRRM13-SE1-PM-M-E	OK	0.11005	3	07/12/2020	21/12/2020	13/01/2021	23	OK	18/01/21 16:30	19/01/21 08:40	16	0.11028	0.11026	20	OK	0.10							
17	22/10/2020	43562129	EC_P548_016_PM	03TCI35-SE1-PM-M-E	OK	0.12449	3	07/12/2020	21/12/2020	13/01/2021	23	OK	18/01/21 16:30	19/01/21 08:40	16	0.12460	0.12461	10	OK	0.12							
18	22/10/2020	43562129	EC_P548_017_PM	03LCEG61-SE1-PM-M-E	OK	0.10763	3	07/12/2020	21/12/2020	20/01/2021	30	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.10770	0.10772	20	OK	0.10							
19	22/10/2020	43562129	EC_P548_018_PM	06LQUU26-SE1-PM-M-E	OK	0.10890	6	08/12/2020	21/12/2020	20/01/2021	30	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.10818	0.10818	0	OK	0.10							
20	22/10/2020	43562129	EC_P548_019_PM	06LFA00-SE1-PM-M-E	OK	0.12239	6	08/12/2020	21/12/2020	20/01/2021	30	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.12303	0.12303	0	OK	0.12							
21	22/10/2020	43562129	EC_P548_020_PM	06LPOK96-SE1-PM-M-E	OK	0.12172	6	08/12/2020	21/12/2020	02/02/2021	43	OK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.12290	0.12291	10	OK	0.12							
22	22/10/2020	43562129	EC_P548_021_PM	06LPOV47-SE1-PM-M-E	OK	0.12996	6	08/12/2020	21/12/2020	02/02/2021	43	OK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.13052	0.13053	10	OK	0.13							
23	22/10/2020	43562129	EC_P548_022_PM	06LFLU43-SE1-PM-M-E	OK	0.11860	6	08/12/2020	21/12/2020	12/02/2021	53	OK	23/02/21 09:15	24/02/21 08:30	23	0.11558	0.11558	0	OK	0.13							
24	22/10/2020	43562129	EC_P548_023_PM	05LBM567-SE1-PM-M-E	OK	0.11572	5	11/12/2020	21/12/2020	03/02/2021	44	OK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.11925	0.11924	10	OK	0.11							
25	22/10/2020	43562129	EC_P548_024_PM	03CH485-SE1-PM-M-E	OK	0.11899	5	11/12/2020	21/12/2020	21/01/2021	31	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.11900	0.11903	30	OK	0.11							
26	22/10/2020	43562129	EC_P548_025_PM	05LNDM93-SE1-PM-M-E	OK	0.12149	5	11/12/2020	21/12/2020	21/01/2021	31	NOK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.14860	0.14861	10	OK	0.14							
27	22/10/2020	43562129	EC_P548_026_PM	09LCLN97-SE1-PM-M-E	OK	0.10978	9	11/12/2020	21/12/2020	14/01/2021	24	OK	18/01/21 16:30	19/01/21 08:40	16	0.11003	0.11003	0	OK	0.11							
28	22/10/2020	43562129	EC_P548_027_PM	10LCK58-SE1-PM-M-E	OK	0.11978	10	16/12/2020	21/12/2020	19/01/2021	29	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.11998	0.12000	20	OK	0.11							
29	22/10/2020	43562129	EC_P548_028_PM	10SOV78-SE1-PM-M-E	OK	0.11954	10	16/12/2020	21/12/2020	22/01/2021	32	OK	26/01/21 09:00	27/01/21 09:15	24	0.12093	0.12092	10	OK	0.12							
30	22/10/2020	43562129	EC_P548_029_PM	10LTP21-SE1-PM-M-E	OK	0.12995	10	16/12/2020	21/12/2020	27/01/2021	37	OK	01/02/21 08:10	02/02/21 08:30	24	0.12956	0.12957	10	OK	0.12							
31	22/10/2020	43562129	EC_P548_030_PM	10LQV37-SE1-PM-M-E	OK	0.12360	10	18/12/2020	21/12/2020	05/02/2021	46	OK	09/02/21 09:00	10/02/21 08:30	23	0.12373	0.12374	10	OK	0.12							

Figure 24. Exemple de fichier de suivi des analyses sur l'espace collaboratif Teams/SharePoint pour les PM_{2.5}

Les laboratoires interagissent directement avec les enquêteurs pour accuser réception de leur demande de cartouches et de la réception des échantillons. Les enquêteurs quant à eux sollicitent les laboratoires 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).

3.3. Questionnaires

3.3.1. Description des questionnaires CNL2

Lors de l'enquête, différents questionnaires sont administrés en face-à-face et/ou par inspection à vue visant à renseigner l'environnement du bâtiment, les caractéristiques du logement et du ménage, les usages en termes d'aération et d'utilisation de produits domestiques, de façon à documenter les facteurs influençant la qualité de l'air intérieur.

Les questionnaires ciblent différentes échelles : l'individu que ce soit plus particulièrement la personne de référence ou les autres personnes du ménage, le logement et son environnement immédiat ainsi que les différentes pièces du logement (Figure 25). L'ensemble des données des questionnaires sont traitées par l'OQAI, sauf les questionnaires de santé qui sont exclusivement exploités par Santé publique France. Les constats de visite sont quant à eux conservés par chaque enquêteur et ne sont pas partagés.

Une description succincte des questionnaires est fournie au Tableau 17, avec un détail sur les semainiers d'activité (Figure 26) et d'occupation (Figure 27). L'intégralité des questionnaires a été déposée sur la plateforme Teams/SharePoint de la CNL2 pour être disponible aux enquêteurs.

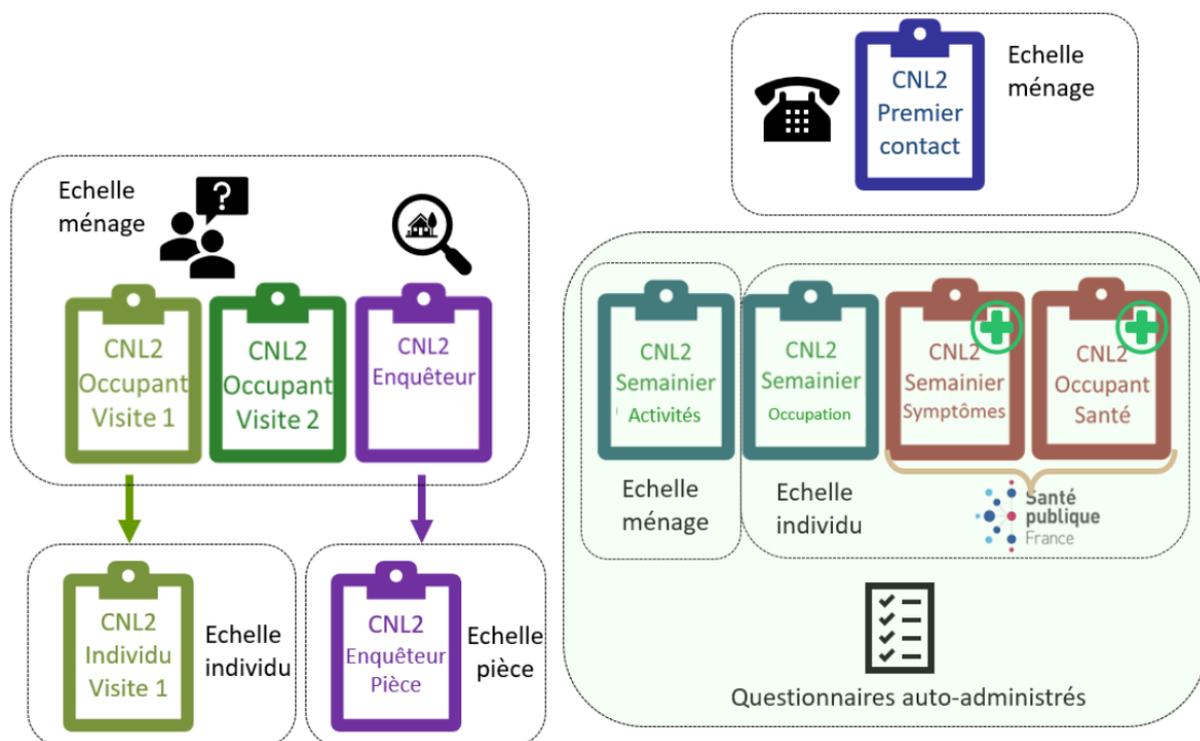


Figure 25. Présentation globale des questionnaires CNL2

Tableau 17. Présentation succincte de chaque questionnaire

	<p>Un questionnaire de premier contact complété par <u>entretien téléphonique</u> lors de la prise de contact/RDV et comprenant quelques questions nécessaires à la préparation de l'enquête (taille du logement, nombre de personnes dans le ménage, étage du logement, présence d'ascenseur, etc.).</p>
	<p>Un questionnaire descriptif administré en face-à-face avec la <u>personne de référence du ménage</u> sur les caractéristiques du bâtiment, du logement, des équipements (chauffage, ventilation, cuisine), du ménage, des habitudes en termes de pratique d'aération, d'utilisation de produits d'entretien, d'activités liées à la combustion (présence de fumeurs, bougies, encens), de présence de nuisibles, de perception de la qualité de l'air du logement (première visite).</p>
	<p>Un questionnaire descriptif individuel administré en face-à-face à toutes les personnes composant le ménage, y compris les enfants (première visite). Il peut être complété par un parent ou une autre personne du ménage si l'individu est mineur ou absent lors de l'enquête, ou encore laissé à remplir par l'individu concerné pour être récupéré en seconde visite. Il inclut un module de description de l'activité professionnelle proposé par Santé publique France pour prendre en considération de possibles expositions professionnelles.</p>
	<p>Un questionnaire descriptif général de l'environnement extérieur, du bâtiment et du logement complété par le technicien-enquêteur par inspection à vue durant la première visite.</p>
	<p>Un questionnaire descriptif spécifique de chaque pièce du logement (max = 20) renseigné par le technicien-enquêteur (première visite). Il renseigne sur la nature des revêtements, la présence de moisissures visibles, les entrées/bouches de ventilation, l'état des ouvrants, le repérage visuel de sources spécifiques de pollution.</p>
	<p>Un questionnaire rétrospectif sur la semaine administré en face-à-face avec la personne de référence lors de la seconde visite. Il porte sur les différentes activités et événements au cours de la semaine d'enquête susceptibles d'avoir influencé les mesures de qualité de l'air. Il inclut un chapitre sur les changements d'habitudes liés au contexte sanitaire.</p>
	<p>Un semainier relatif aux activités du ménage durant la semaine, <u>complété par la personne de référence</u> entre les deux visites, pour l'intégralité des activités du foyer et pas uniquement de la personne de référence. Il s'agit d'une feuille A4 recto/verso.</p>
	<p>Un semainier relatif à l'occupation (temps passé) du logement <u>complété par chaque occupant ou par les parents pour les moins de 15 ans</u>, pour permettre de déterminer le temps passé dans le logement pendant la semaine. Il s'agit d'une page A4.</p>

 <p>CNL2 Occupant Santé</p>	<p>Un questionnaire individuel relatif à la santé allergique et respiratoire et à la perception des risques liés à la qualité de l'air intérieur. Il est <u>complété par chaque occupant ou par les parents</u> pour les moins de 15 ans (2 versions : adulte et enfant). Les questionnaires sont glissés dans une enveloppe fermée et scellée, avec le code identifiant du logement. L'enveloppe est remise à l'enquêteur de terrain qui la renvoie toujours fermée à SpF.</p>
 <p>CNL2 Semainier Symptômes</p>	<p>Un semainier pour renseigner les éventuels symptômes survenus chaque jour de la semaine. Il est <u>complété par chaque occupant ou par les parents</u> pour les moins de 15 ans. Le semainier est glissé avec l'auto-questionnaire relatif à la santé dans l'enveloppe scellée à destination de SpF.</p>
	<p>Constat de première visite cosigné par un technicien-enquêteur et la personne de référence du ménage actant du bon déroulement de la première visite et du matériel laissé dans le logement lors de la semaine d'enquête. Ce document est conservé par l'enquêteur qui le détruit en fin de mission. Il n'est pas transmis à l'OQAI ni à d'autres personnes.</p>
	<p>Constat de seconde visite cosigné par un technicien-enquêteur et la personne de référence du ménage actant du bon déroulement de l'enquête et de la bonne récupération du matériel laissé dans le logement. Ce document est conservé par l'enquêteur qui le détruit en fin de mission. Il n'est pas transmis à l'OQAI ni à d'autres personnes.</p>

1 CAMPAGNE NATIONALE LOGEMENTS 2
SEMAINIER ACTIVITÉS 
 1 tableau à compléter par la personne de référence du foyer pour la semaine entière de mesures

Code logement : _____
 Date de première visite (=JOUR 1) : _____
 JOUR 1 : _____

CONSIGNES

Les activités sont à renseigner au cours de la semaine par la personne référente pour l'ensemble du foyer. Il faut donc le compléter au jour le jour suivant les activités réalisées dans le logement. Seule la dernière question porte sur l'extérieur. La cave, le sous-sol et le garage sont exclus. Le JOUR 1 correspond au jour du début des mesures. À la fin de semaine, si l'activité n'a pas été réalisée, cochez la case « aucun jour ».

ACTIVITÉS DANS LE LOGEMENT PENDANT LA SEMAINE D'ENQUÊTE		JOUR 1	JOUR 2	JOUR 3	JOUR 4	JOUR 5	JOUR 6	JOUR 7	JOUR 8	Aucun jour
 Avez-vous utilisé un chauffage d'appoint à combustion (non électrique) ?	o de type cheminée, poêle à bois ou insert	<input type="checkbox"/>								
	o non raccordé, de type poêle à gaz ou à pétrole	<input type="checkbox"/>								
 Avez-vous nettoyé votre logement ?	o avec un aspirateur	<input type="checkbox"/>								
	o avec un balai	<input type="checkbox"/>								
	o avec un nettoyeur chimique de surface (pour carrelage, céramique, faïence, plastique, vitres, ciré, dépoussiérant) y compris mousse pour tapis/moquette	<input type="checkbox"/>								
 Avez-vous utilisé dans votre logement un désodorisant, des parfums d'ambiance ou d'autres produits parfumants ?	o avec un autre type de nettoyeur chimique (pour four ou plaques de cuisson, anticalcaire, anti-moisissure, débouche évier, détachant, etc.)	<input type="checkbox"/>								
	o produits sous forme d'aérosol ou vaporisateur ou pistolet	<input type="checkbox"/>								
	o bougies	<input type="checkbox"/>								
	o encens	<input type="checkbox"/>								
 Des personnes du ménage ou extérieures au ménage ont-elles fumé / vapoté à l'intérieur de votre logement, hors balcon ?	o autre type : diffuseur mèche, lampe, pot-pourri, désodorisant pour aspirateur, bloc WC, solide, gel, etc.	<input type="checkbox"/>								
	o cigarettes classiques, roulées, cigare, pipe, etc.	<input type="checkbox"/>								
	o cigarettes électroniques	<input type="checkbox"/>								

ACTIVITÉS DANS LE LOGEMENT PENDANT LA SEMAINE D'ENQUÊTE		JOUR 1	JOUR 2	JOUR 3	JOUR 4	JOUR 5	JOUR 6	JOUR 7	JOUR 8	Aucun jour
Avez-vous utilisé dans votre logement des produits de type insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques ?	<input type="checkbox"/> sous forme d'aérosol <i>Si oui, précisez les produits :</i>	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> sous une autre forme (piège, poudre, bloc, gel, collier, etc.) <i>Si oui, précisez les produits :</i>	<input type="checkbox"/>								
Avez-vous cuit des aliments ?	<input type="checkbox"/> au four traditionnel	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> à la poêle ou par friture	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> à l'eau ou à la vapeur	<input type="checkbox"/>								
Avez-vous récupéré des vêtements du pressing (nettoyage à sec) ?		<input type="checkbox"/>								
Avez-vous fait ou fait faire des activités de loisirs créatifs dans votre logement impliquant l'usage de :	<input type="checkbox"/> peintures, vernis, colles, etc.	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> perçage, ponçage, sciage, etc.	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> d'autres produits générant des odeurs et/ou de la poussière, précisez quels produits :	<input type="checkbox"/>								
Avez-vous fait ou fait faire des travaux dans votre logement impliquant l'usage de :	<input type="checkbox"/> peintures, vernis, colles, etc.	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> perçage, ponçage, sciage, etc.	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> d'autres produits générant des émanations odorantes et/ou de la poussière, précisez quels produits :	<input type="checkbox"/>								
Avez-vous introduit dans votre logement des meubles ou éléments de mobilier neufs ?	<input type="checkbox"/> meubles en bois	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> tapis ou moquettes	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> meubles en plastique	<input type="checkbox"/>								
	<input type="checkbox"/> autres types de meubles, précisez :	<input type="checkbox"/>								
Avez-vous utilisé d'autres produits générant des odeurs et/ou de la poussière ?	<input type="checkbox"/> Si oui, précisez les produits :	<input type="checkbox"/>								

ACTIVITÉS DANS L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR PROCHE (BALCON, JARDIN, TOITURE OU TROTTOIR) PENDANT LA SEMAINE D'ENQUÊTE		JOUR 1	JOUR 2	JOUR 3	JOUR 4	JOUR 5	JOUR 6	JOUR 7	JOUR 8	Aucun jour
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 ? <i>Si oui, précisez les produits :</i>		<input type="checkbox"/>								

Figure 26. Semainier des activités dans le logement au cours de la semaine d'enquête

2 CAMPAGNE NATIONALE LOGEMENTS 2

SEMAINIER OCCUPATION

1 tableau à compléter par occupant pour la semaine entière de mesures

Prénom : _____

Code Identifiant Individu : _____

Code logement : _____

Date de première visite (= JOUR 1) : _____

JOUR 1 : _____

CONSIGNES

Cochez, noircissez ou fléchez la case lorsque vous êtes présent à l'intérieur de votre logement (1 case = 1/2h). Le JOUR 1 correspond au jour du début des mesures. Dans le cas où vous êtes absent une journée entière, barrez le jour en question dans la 1^{re} colonne.

EXEMPLE : après une nuit passée dans votre logement, vous le quittez à 8 h 30. Vous revenez déjeuner entre 12 h 30 et 14 h. Vous rentrez le soir à 19 h et restez pour la nuit.

Ce semainier doit être complété individuellement par chaque occupant, excepté pour les moins de 15 ans pour lesquels la personne de référence doit compléter à leur place.

	NUIT>			MATINÉE>								APRÈS-MIDI>				SOIRÉE>										
	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
JOUR X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
JOUR 1																										
JOUR 2																										
JOUR 3																										
JOUR 4																										
JOUR 5																										
JOUR 6																										
JOUR 7																										
JOUR 8																										

Encadré réservé aux techniciens-enquêteurs : retour après semaine d'enquête OUI NON

Figure 27. Semainier individuel d'occupation du logement durant la semaine de mesure

3.3.2. Questionnaire complémentaire sur les habitudes de vie en période de crise sanitaire

Santé publique France et le CSTB ont élaboré un questionnaire complémentaire destiné à évaluer les possibles changements de comportement et d'habitudes de vie dans la situation actuelle des ménages enquêtés (au moment de l'enquête), qui pourraient être liées à la crise sanitaire. Il renseigne les variations en termes d'occupation du logement, d'activités et d'utilisation de produits spécifiques. Il est destiné à évaluer la possibilité que l'enquête se déroule dans une situation atypique différente du mode de vie ordinaire du ménage avant la survenue de la crise sanitaire (avant mi-mars 2020). Ce questionnaire a été approuvé par le conseil scientifique de l'OQAI.

Le questionnaire comporte 5 questions dont une question fille (**Tableau 18**). Les deux dernières questions représentent des groupements de 6 questions chacune. Au total, cela représente 15 à 17 items à renseigner.

Ce questionnaire complémentaire sur les habitudes de vie dans le contexte de crise sanitaire a été élaboré courant 2021 et de ce fait n'a pas été administré dès le début des enquêtes. Il a été administré rétrospectivement par Sépia Santé auprès des 258 premiers enquêtés. L'administration a été faite par téléphone, et à défaut par mail si le numéro de téléphone n'était pas disponible ou plus joignable. Le prestataire nous communique ensuite la table des données collectées. Sur les 258 premières enquêtes menées, 253 foyers (98 %) ont pu être joints et répondre à ce questionnaire.

Il a ensuite été intégré au questionnaire rétrospectif sur la semaine d'enquête qui est administré en face à face par les enquêteurs à la personne de référence le dernier jour de l'enquête. Les données du questionnaire sont ensuite saisies par les enquêteurs au niveau de la plateforme People Vox.

Tableau 18. Questionnaire sur les habitudes de vie dans le contexte de crise sanitaire

4 HABITUDES DE VIE DANS LE CONTEXTE DE CRISE SANITAIRE

Il s'agit ici de recueillir des informations relatives aux changements d'habitudes de vie et d'activités liés au contexte de crise sanitaire.

PREAMBULE (destiné à l'occupant)

Vous participez à la campagne nationale de mesure mise en œuvre par l'Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur et nous vous en remercions.

Comme vous le savez, l'objectif de cette campagne est de mieux connaître la qualité de l'air des logements en France. Or, les mesures réalisées dans votre logement ont lieu dans le contexte de la crise sanitaire liée à la COVID-19. Ce contexte très particulier a pu engendrer des changements dans vos habitudes de vie et avoir un impact sur la qualité de l'air de votre logement. Nous avons donc besoin d'informations complémentaires de votre part afin de **savoir si vos habitudes de vie dans ce contexte de crise sanitaire sont représentatives de vos habitudes ou si elles sont modifiées en raison de la crise sanitaire.**

Les questions posées concernent **l'ensemble des membres du foyer**. Les réponses à ces questions sont très importantes pour l'étude puisqu'elles vont permettre de mieux interpréter les résultats.

Q1. Le contexte de la crise sanitaire modifie-t-il actuellement le nombre de personnes vivant sous votre toit (retour au domicile d'un enfant étudiant par exemple) ?

- Oui, nous sommes plus nombreux qu'avant le début de la crise sanitaire..... 1
- Oui, nous sommes moins nombreux qu'avant le début de la crise sanitaire..... 2
- Non, l'occupation du logement n'a pas changé..... 3
- Ne souhaite pas répondre..... 4

Q2. Le contexte de la crise sanitaire modifie-t-il actuellement la présence des membres du foyer dans votre logement durant les jours de semaine (par exemple si vous travaillez à domicile un ou plusieurs jours par semaine) ?

- Oui, nous passons plus de temps dans notre logement en semaine..... 1 → 2.1
- Oui, nous passons moins de temps dans notre logement en semaine..... 2 → 2.1
- Non, pas de changement de notre présence en semaine..... 3 → Q3
- Ne souhaite pas répondre 4 → Q3

Q2.1. Si oui, y a-t-il généralement une personne présente à votre domicile en journée durant les jours de semaine (repos, activité partielle, télétravail, par exemple) ?

- | <u>Actuellement</u> | | <u>Avant la crise sanitaire</u> | |
|---|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Non jamais..... | 1 | <input type="checkbox"/> Non jamais | 1 |
| <input type="checkbox"/> Oui, 1 à 2 jours par semaine..... | 2 | <input type="checkbox"/> Oui, 1 à 2 jours par semaine | 2 |
| <input type="checkbox"/> Oui, 3 à 4 jours par semaine..... | 3 | <input type="checkbox"/> Oui, 3 à 4 jours par semaine | 3 |
| <input type="checkbox"/> Oui, tous les jours de la semaine..... | 4 | <input type="checkbox"/> Oui, tous les jours de la semaine | 4 |
| <input type="checkbox"/> Ne souhaite pas répondre..... | | | 5 |

Q3. Le contexte de la crise sanitaire modifie-t-il actuellement la présence des membres du foyer dans votre logement durant les jours de week-end ?

- Oui, nous passons plus de temps dans notre logement le week-end 1
- Oui, nous passons moins de temps dans notre logement le week-end..... 2
- Non, pas de changement par rapport à avant la crise..... 3
- Ne souhaite pas répondre..... 4

Q4. Les habitudes de votre foyer concernant les activités suivantes ont-elles changé en raison de la crise sanitaire ?

	Oui, réalisé plus souvent	Oui, réalisé moins souvent	Non, pas de changement d'habitude
Nettoyer le logement (aspirateur, balai, par ex.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aérer le logement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire la cuisine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des activités de loisirs créatifs ou de travaux manuels pouvant générer des odeurs ou de la poussière (utilisation de colles, vernis, perçage, par ex.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faire des activités de bricolage ou des travaux dans le logement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Installer de nouveaux meubles ou éléments de mobiliers neufs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ne souhaite pas répondre.....

Q5. Les habitudes de votre foyer concernant l'utilisation des produits suivants ont-elles changé en raison de la crise sanitaire ?

	Oui, utilisé plus souvent	Oui, utilisé moins souvent	Non, pas de changement d'habitude	Sans objet, je n'utilise pas ce produit
Chauffage d'appoint à combustion (non électrique)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nettoyant chimique de surface (pour sol, mobilier, vitre, four, par ex.) hors désinfectant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Produit désinfectant (javel, gel hydroalcoolique, lingettes, par ex.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Désodorisant, parfum d'ambiance, bougie parfumée, encens ou tout autre produit parfumant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Insecticides, fongicides, antiparasitaires pour végétaux ou animaux domestiques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabagisme à l'intérieur du logement hors balcon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ne souhaite pas répondre.....

3.4. Suivi des enquêtes

3.4.1. Fichier de suivi des enquêtes par les enquêteurs

Les enquêteurs mettent à disposition du CSTB un fichier qui permet de suivre d'une part l'avancement des enquêtes réalisées et d'autre part la planification des futures enquêtes (Figure 28). Le fichier vient également spécifier le placement ou non pour chaque enquête d'une cartouche témoin selon le paramètre visé. Il permet également de renseigner le nombre de questionnaires de santé déposés aux occupants à destination de Santé publique France. C'est également un outil qui permet de suivre l'avancée de la saisie des différents questionnaires sur la plateforme en ligne People Vox.

Ordre de réalisation des enquêtes	NO2	ALD	COV	PMM	COSV	PEST	COVA	Code logement	Date de 1ère visite	Date de 2nde visite	Date de pose (réelle ou prévue) du boîtier collecteur de Moisissures	Date prévue de dépose du boîtier collecteur de Moisissures	Date de pose (réelle ou prévue) du kit RADON	Date prévue de dépose du kit RADON	Nombre de questionnaires ADULTE envoyés à SPF	Nor quest ENFAN
0								99LKIU07	20/01/2022	27/01/2022	27/01/2022	24/02/2022	27/01/2022	27/02/2022	2	
1								12LHV65	09/03/2022	16/03/2022	16/03/2022	13/04/2022	01/11/2022	01/01/2023	1	
2	BT							12LXQ58	10/03/2022	17/03/2022	17/03/2022	14/04/2022	01/11/2022	01/01/2023	4	
3		BT						12LBCN08	23/03/2022	30/03/2022	30/03/2022	27/04/2022	01/11/2022	01/01/2023	2	
4			BT					12LUKF59	25/03/2022	01/04/2022	01/04/2022	29/04/2022	01/11/2022	01/01/2023	2	
5				BT				12LBI681	06/04/2022	13/04/2022	13/04/2022	11/05/2022	01/11/2022	01/01/2023	1	
6					BT			12LQCN68	25/04/2022	02/05/2022	31/10/2022	28/11/2022	01/11/2022	01/01/2023	3	
7							BT	12LTPC97	27/04/2022	04/05/2022	31/10/2022	28/11/2022	01/11/2022	01/01/2023	4	
8								12LYKH65	12/05/2022	19/05/2022	31/10/2022	28/11/2022	01/12/2022	01/02/2023	3	
9								12LEHK70	01/06/2022	08/06/2022	30/11/2022	28/12/2022	01/12/2022	01/02/2023	2	
10	BT							12LHAG89	03/06/2022	10/06/2022	30/11/2022	28/12/2022	01/12/2022	01/02/2023	2	
11			BT					12LIGQ21	14/06/2022	21/06/2022	30/11/2022	28/12/2022	01/12/2022	01/02/2023	3	
12				BT				12LNGV31	15/06/2022	22/06/2022	30/10/2022	28/11/2023	01/02/2023	01/04/2023	3	
13					BT			12LUKW35	28/06/2022	05/07/2022	30/12/2022	27/01/2023	01/12/2022	01/02/2023	2	
14						BT		12LUU007	29/06/2022	06/07/2022	30/12/2022	27/01/2023	01/12/2022	01/02/2023	3	
15							BT	12LUOV10	12/07/2022	19/07/2022	30/12/2022	27/01/2023	01/12/2022	01/02/2023	2	
16							BT	12LUBF44	23/08/2022	30/08/2022						
17								12LXF20	25/08/2022	01/09/2022						
18	BT							12LQX25	06/09/2022	13/09/2022						
19			BT					12LYAG94	19/09/2022	26/09/2022						
20								12LQXA11	04/10/2022	11/10/2022						
21				BT												
22					BT											
23																
24																
25						BT		12LTK264	03/11/2022	10/11/2022						
26							BT	12LBU015	14/11/2022	21/11/2022						
27																
28	BT															
29			BT													
30				BT												
31					BT											
32						BT										
33							BT									
34																
35																
36		BT														
37																
38				BT												
39						BT										
40							BT									
41																

Figure 28. Exemple de fichier de suivi des enquêtes par les enquêteurs (exemple de l'équipe 12 ITGA en Normandie)

Pour la deuxième vague d'enquête, un format prédéfini des suivis des contacts pris par les enquêteurs a été imposé (Figure 29). Auparavant, chaque équipe reportait les contacts réalisés de façon hétérogène. Cette table prédéfinie permet de lister le nombre de contacts, le mode du premier et dernier contact, la planification des dates d'enquête, les raisons pour lesquelles l'enquête n'a pu être réalisée et le cas échéant le motif de désistement des occupants. Il permet ainsi de mieux suivre l'activité de prise de contact par les enquêteurs, notamment les foyers qui restent injoignables ou ceux qui restent à contacter. Le fichier

permet également d'avoir une projection sur les rendez-vous déjà pris et les dates d'enquêtes à venir.

Une adresse fournie aux enquêteurs peut ne pas être enquêtée pour différentes raisons : désistement de l'occupant, personne injoignable, incompatibilité de planning, déménagement hors région ou hors France ou personne non contactée. Ce dernier cas peut subvenir notamment dans les zones d'enquête où le nombre d'accords est très important au regard de la capacité et de l'objectif fixé aux enquêteurs.

Il est également demandé de préciser le motif du désistement selon les catégories suivantes :

- Il n'est plus intéressé par l'enquête ;
- L'enquête est finalement trop contraignante ;
- L'occupant est préoccupé par le contexte sanitaire (ou autre raison liée au contexte sanitaire) ;
- L'occupant connaît des problèmes familiaux ou professionnels ;
- Il n'a plus le temps ;
- Une personne du foyer est malade (sans autre précision demandée) ;
- Aucun motif de désistement n'est fourni ;
- Autre raison.

Un champ commentaire permet de préciser s'il y a lieu le motif de désistement.

Code logement	Contact effectué	Date/heure de premier contact	Mode de contact	Retour contact	Date de dernier contact	Mode de contact	Retour contact	Nombre total de contacts effectués	Enquête planifiée	Date d'enquête prévue
14LBGR08	oui	26/01/2022 17:00	e-mail	pas de réponse						
14LBSM01										
14LBYA06										
14LDIB91	oui	26/01/2022 17:00	e-mail	pas de réponse						
14LPHK85										
14LGE02	oui	18/01/2022 18:00	Téléphone	positif				1	oui	03/02/2022
14LGYD52	oui	18/01/2022 18:00	Téléphone	positif				1	oui	03/02/2022
14LNP12	oui	26/01/2022 17:00	e-mail	pas de réponse						
14LJG078	oui	18/01/2022 18:00	Téléphone	positif				1	oui	23/02/2022
14LJN25										
14LKR82										
14LAV84										
14LNF159	oui	26/01/2022 17:00	e-mail	pas de réponse						
14LNSA18										
14LOPE70										
14LORH20	oui	18/01/2022 18:00	Téléphone	positif				1	oui	23/02/2022
14LQD175										
14LRSH19										
14LRVA57										
14LSLN43	oui	18/01/2022 18:00	Téléphone	pas de réponse				1	non	
14TLB39										
14LWJ32										
14LWZ27	oui	26/01/2022 17:00	e-mail	pas de réponse						
14LUPR71										
14LXE72										
15LAEM84	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	à planifier	
15LAEV20									non	
15LBRV11	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	à planifier	
15LBS572	oui	21/02/2022 16:00	e-mail	pas de réponse	21/02/2022 00:00	Téléphone	positif	2	oui	09/03/2022
15LDBF36										
15LEWW32										
15LJLC82										
15LMP760										
15LQK22	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	oui	25/01/2022
15LOY99	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	oui	11/01/2022
15LPRU64	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	pas de réponse	26/01/2022 17:00	Téléphone	positif	2	oui	08/02/2022
15LPTD16	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif	25/01/2022 18:00	Téléphone	positif	2	oui	07/02/2022
15LQCY90	oui	21/02/2022 16:00	e-mail	positif	21/02/2022 00:00	Téléphone	positif	2	oui	08/03/2022
15LQMH53	oui	21/02/2022 16:00	e-mail	pas de réponse						
15LTF41										
15LWV729	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	oui	11/01/2022
15LWHN19	oui	05/01/2022 16:00	Téléphone	positif				1	oui	10/01/2022

Figure 29. Exemple de fichier de suivi des contacts par les enquêteurs (exemple de l'équipe 3 Evadies/A2L Environnement reconduite en vague 2 pour les régions Grand Est (partie ouest) et Bourgogne Franche Comté)

3.4.2. Suivi des enquêtes en temps réel grâce au déploiement des capteurs connectés

La réalisation des enquêtes est également suivie en temps réel grâce au déploiement des capteurs connectés de QAI Cozyair. Lors d'une enquête, dès la mise en place du capteur, celui-ci transmet les données enregistrées au serveur par connexion GPRS. Ce qui permet de suivre en temps réel l'instrumentation d'une enquête dans un logement. Seul le numéro de l'instrument est visible au niveau du serveur. Mais chaque numéro est attribué à une seule équipe d'enquêteurs et à une zone d'enquête. L'attribution n'est connue que des enquêteurs et de l'OQAI. La géolocalisation n'est pas disponible et le code du logement instrumenté n'est pas visible à ce stade. Ce qui garantit la confidentialité des données auprès du fabricant.

La **Figure 30** montre des captures d'écrans du site Cozyconnect permettant de voir en temps réel la remontée de données depuis les capteurs, et par conséquent l'instrumentation des logements en cours. Le site permet également de suivre l'évolution des paramètres mesurés, comme le CO₂ et la température par exemple.

Ce mode de suivi n'est toutefois pas infaillible, car la couverture réseau peut encore être inexistante dans certaines zones. Dix logements enquêtés (2,2 %) sont dans cette situation. Les remontées des données par les enquêteurs par ailleurs permettent de pallier ce problème.



Figure 30. Suivi de l'instrumentation des logements enquêtés au travers des connexions de capteurs Cozyair sur le site Cozyconnect

3.5. Bilan des enquêtes réalisées à la fin du terrain au 28 février 2023

3.5.1. Bilan global

A la fin du terrain, au 28 février 2023 sur l'ensemble de la campagne, 571 enquêtes ont été réalisées. Cela correspond à un taux de réalisation de 95,2 % par rapport à l'objectif de 600 logements. Sur ces 571 enquêtes, **275 ont été réalisées en vague 2**, c'est-à-dire depuis le début de l'année 2022.

Le taux de réalisation des enquêtes est de 76,1 % au regard des 750 accords de consentements disponibles.

Au regard du nombre d'adresses sollicitées (3667), les 571 enquêtes représentent un taux de participation de 15,6 %.

La réalisation d'une enquête correspond à la mise en place des prélèvements et à l'administration des questionnaires lors des deux visites au domicile des participants. Cela correspond à la phase terrain de l'enquête. Une enquête réalisée n'est finalisée qu'à partir du moment où l'ensemble des résultats de laboratoire sont disponibles et l'intégralité des données de prélèvement et de questionnaires est saisie sur la plateforme informatique. Une enquête finalisée n'est ensuite validée qu'à partir du moment où les données sont vérifiées, éventuellement corrigées et au besoin complétées des valeurs manquantes.

Le **Tableau 19** présente le bilan des enquêtes par région. Les zones d'enquête 01 à 10 ont été prises en charge en 2020-2021 tandis que les zones d'enquête 11 à 20 ont été couvertes en 2022 et début 2023. Quelques reliquats de logements des zones 01 à 10 ont été enquêtés en 2022-2023 par les équipes de la vague 2. Le tableau indique pour chaque région le nombre d'enquêtes réalisées, le nombre d'accords disponibles (en rouge lorsqu'il est inférieur à l'objectif), l'objectif fixé initialement, le nombre d'enquêtes planifiées jusqu'à fin 2022, le taux de réalisation d'enquêtes au regard de l'objectif (%Objectif) et au regard du nombre d'accords disponibles (%Accords).

Les taux de réalisation les plus faibles au regard de l'objectif sont de 50 % (PACA ouest) et de 67 % (Île de France ouest). A l'inverse, il atteint 133 % en Auvergne Rhône-Alpes (ouest). Cela représente 11 (PACA ouest) à 57 (Auvergne Rhône-Alpes ouest) enquêtes par région.

Selon les régions, les accords de consentements ont été convertis en enquêtes dans 61 % (Pays de La Loire) à 95 % des cas (Bourgogne Franche Comté).

La **Figure 31** et la **Figure 32** complètent le tableau en montrant la répartition du nombre d'enquêtes et les taux de réalisation directement sur carte.

Tableau 19. Synthèse des enquêtes réalisées dans chaque zone à la fin de la campagne

N° Zone	Zone	Vague 1	Vague 2	TOTAL enquêtes	Accord totaux	Objectif initial	%Objectif	%Accords
01	Paris	30	2	32	48	38	84%	67%
02	Hauts de France	28	0	28	44	37	76%	64%
03	Grand Est (est)	30	2	32	37	29	110%	86%
04	Pays de La Loire	24	10	34	56	28	121%	61%
05	Bretagne	35	6	41	51	33	124%	80%
06	Auvergne Rhône-Alpes (ouest)	45	12	57	73	43	133%	78%
07	Nouvelle Aquitaine (sud)	32	2	34	42	38	89%	81%
08	Occitanie (est)	23	2	25	34	24	104%	74%
09	PACA (est)	24	1	25	31	22	114%	81%
10	Île-de-France (est)	25	1	26	29	23	113%	90%
11	Île-de-France (nord)		22	22	30	32	69%	73%
12	Normandie		27	27	35	38	71%	77%
13	Centre Val de Loire		18	18	22	18	100%	82%
14	Grand Est (ouest)		21	21	25	21	100%	84%
15	Bourgogne Franche Comté		19	19	20	18	106%	95%
16	Auvergne Rhône-Alpes (est)		33	33	50	39	85%	66%
17	Nouvelle Aquitaine (nord)		30	30	35	36	83%	86%
18	Occitanie (ouest)		34	34	42	28	121%	81%
19	PACA (ouest)		11	11	16	22	50%	69%
20	Île-de-France (ouest)		22	22	30	33	67%	73%
TOTAL		296	275	571	750	600	95.2%	76.1%

Sur l'ensemble de la campagne, le rythme d'enquêtes est en moyenne de 20 enquêtes par mois (**Figure 33**). Le nombre d'enquêtes varie de 2 à 46 (en dehors de la période de transition entre les deux vagues).

Pour rappel, le démarrage du terrain de la campagne CNL2 s'est déroulé en pleine période de crise sanitaire. Les 6 premières enquêtes fin 2020 ont été réalisées lors du deuxième confinement national pendant la période du 30 octobre au 15 décembre 2020. Lors de cette période, les déplacements professionnels hors département restaient autorisés. Les occupants ayant donné leur accord ont accepté d'être enquêtés durant cette période sans soucis particuliers. Il est d'ailleurs possible parmi les personnes actives qu'une plus grande disponibilité des personnes contraintes de travailler depuis leur domicile ait favorisé la mise en œuvre des enquêtes. Ces contraintes de travail à domicile ont perduré au-delà des périodes

de confinement sur la totalité du premier semestre 2021. Depuis, certains enquêteurs ont souligné une plus grande difficulté des participants de se rendre disponibles notamment parmi ceux qui ont repris leurs habitudes de travail d'avant la crise sanitaire. Les données de prises de contact recueillies ne permettent pas de vérifier cette hypothèse.

Quarante enquêtes se sont déroulées lors de la troisième période de confinement national entre le 3 avril et le 2 mai 2021 (semaines 14 à 17). Le rythme d'enquêtes durant cette période est du même ordre que celui observé sur les semaines précédentes.

En termes de saisonnalité, les enquêtes réalisées se distribuent de la façon suivante :

- 233 enquêtes (40,8 %) ont été réalisées entre novembre et mars compris (période hivernale) ;
- 169 enquêtes (29,6 %) ont été réalisées entre juin et septembre compris (période estivale) ;
- 169 enquêtes (29,6 %) ont été réalisées sur les mois d'avril, mai et d'octobre (mois de transition).

La répartition des enquêtes selon la période de chauffe ou hors-chauffe reste à préciser selon les modalités de définition de cette période de chauffe, et tenant compte ou non du fonctionnement du système de chauffage au moment de l'enquête.

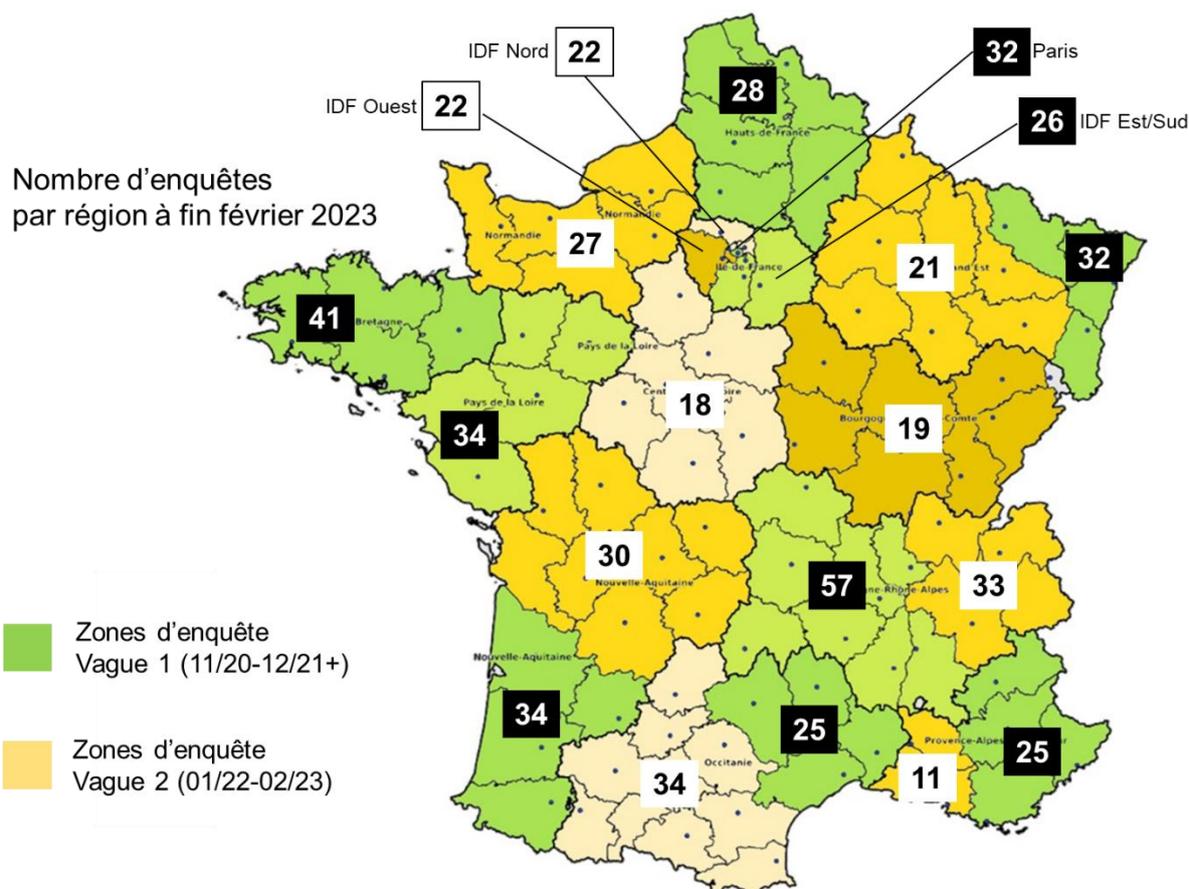


Figure 31. Répartition des enquêtes réalisées par région (fin du terrain)

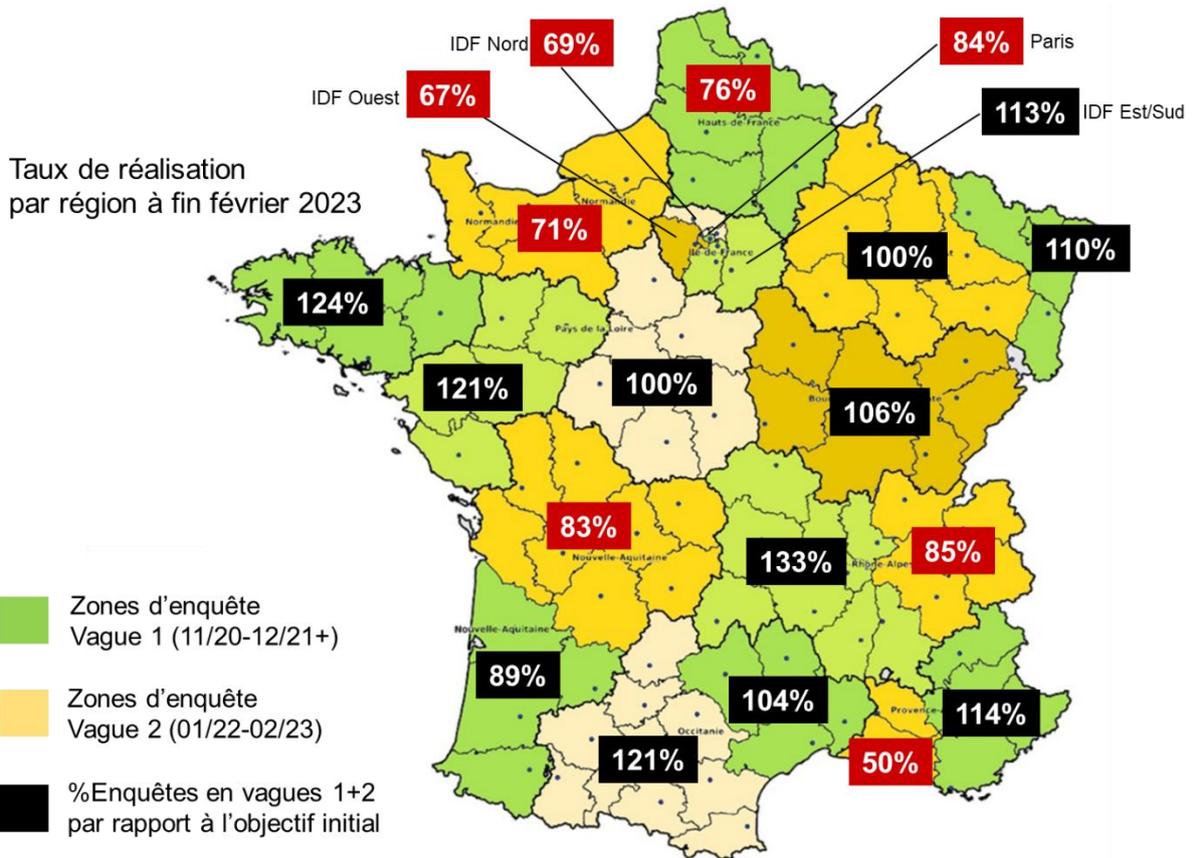


Figure 32. Taux de réalisation des enquêtes de la CNL2 selon l'objectif initialement fixé (fin du terrain)

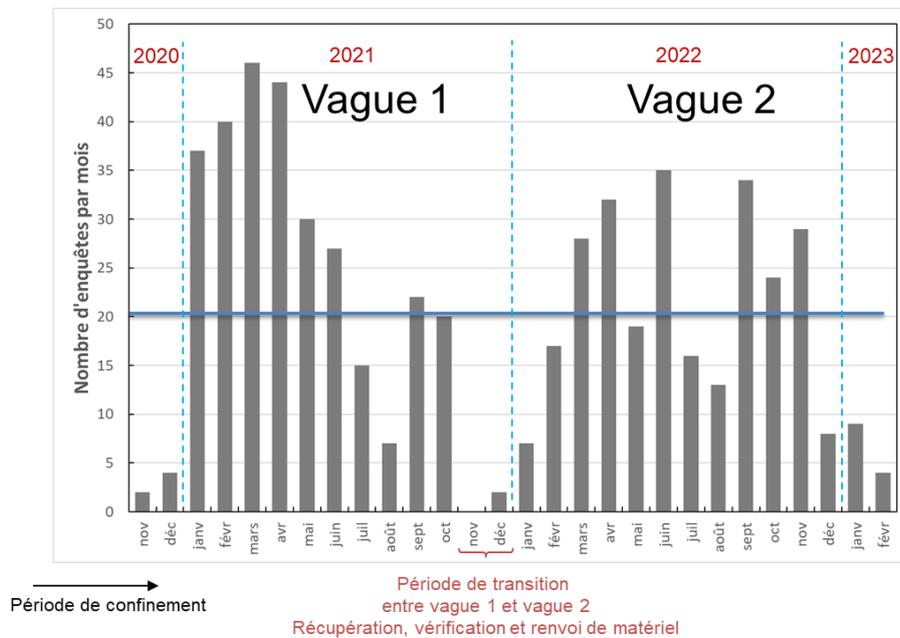


Figure 33. Rythme d'enquêtes de la campagne nationale logements 2 qui s'est déroulée de fin novembre 2020 à fin février 2023.

Les 571 enquêtes réalisées se répartissent dans 321 communes sur les 389 communes des foyers ayant initialement donné leur consentement de participation (Figure 34). La répartition géographique est assez homogène malgré le faible nombre de communes représentées. Une à 32 enquêtes sont réalisées par commune. Toutes les grandes villes de plus de 200 000 habitants ne sont pas représentées de la même façon. Paris est la ville la plus représentée avec 32 enquêtes, viennent ensuite Lyon avec 10 enquêtes et Metz avec 5 enquêtes. Quatre enquêtes ont été réalisées dans chacune des grandes villes suivantes : Toulouse, Nice, Montpellier, Strasbourg, Bordeaux et Nantes. Lille compte deux enquêtes. Rennes n'est pas représentée, mais la commune voisine de Pacé en compte 4.

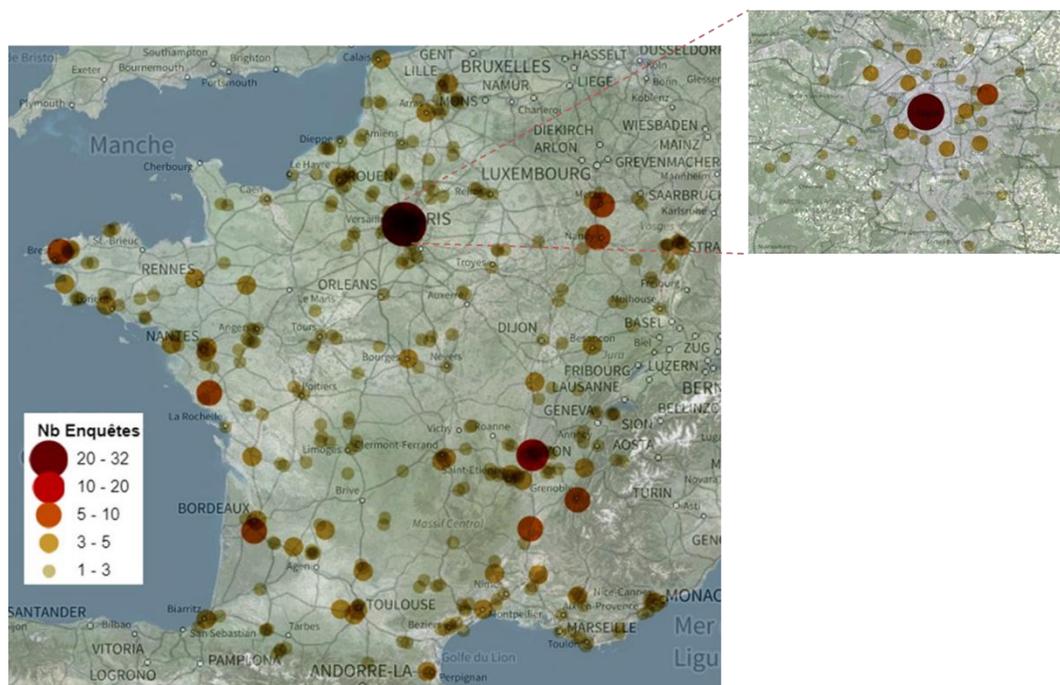


Figure 34. Répartition géographique des communes avec au moins une enquête réalisée.

A noter comme pour les logements ayant donné initialement leur accord, les logements enquêtés sont répartis à 66 % en zone urbaine et à 34 % en zone rurale.

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 sera difficile 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.

3.5.2. Difficultés rencontrées lors de la campagne

Un nombre important d'accords obtenus ne s'est pas traduit par une enquête réalisée : 179 au total. Cela représente 24 % des accords. Différentes raisons expliquent la non-réalisation des enquêtes (Tableau 20) :

- **Désistement des occupants** (refus exprimé par l'occupant) : 103 occupants (13,7 %) se sont désistés après avoir initialement donné leur accord signé de consentement. Le taux de désistement varie selon les zones entre 0 % (Centre Val de Loire) et 27 % (Pays de La Loire). Il n'y a pas de différence significative entre les deux vagues : 12 % de désistement en vague 1 et 10 % en vague 2 au regard du nombre d'adresses sollicitées. Le motif du désistement n'est pratiquement jamais renseigné. La plupart du temps, les personnes contactées expriment juste le souhait de ne plus vouloir participer. Dans quelques cas, le désistement a lieu la veille voire le jour même de l'enquête. Les raisons de désistement évoquées sont les suivantes :
 - Les raisons personnelles liées à une situation familiale particulière ou les problèmes de santé sont également mis en avant, tout comme le contexte sanitaire (deux cas spécifiques mentionnés).
 - Dans certains cas, le consentement est donné par une personne du foyer qui n'a pas l'aval du conjoint, avec au final un foyer qui se désiste.
 - Une situation où l'occupant comprenait très mal le français a également été répertoriée.
 - Certains ont considéré que leur logement était sain (maison à la campagne ou diagnostic déjà réalisée sans autre précision) et qu'il n'est plus nécessaire de participer à l'enquête.
 - Une autre personne ne se rappelle pas avoir donné son consentement signé pour participer à l'enquête.
 - Le manque de disponibilité des occupants est également mis en cause.
 - Une personne souligne les contraintes de l'enquête, jugeant ne pas avoir été avertie du déploiement de matériel dans son logement. Cette information a pourtant été fournie dans les courriers et courriel lors du recueil de consentement et également dans un nouveau courrier de rappel envoyé fin 2021.
 - Enfin, comme autre raison de désistement évoqué, on note des occupants qui traversent une période compliquée pour cause de problèmes professionnels ou familiaux, ou de santé.
 - Une autre personne ayant pourtant renvoyé un accord de consentement signé a déclaré de pas comprendre l'objet de l'enquête malgré les explications fournies par les enquêteurs et n'a plus souhaité participer.
- **Déménagements** : quelques situations de déménagement en dehors de la zone d'enquête ou à l'étranger sont également retrouvées. Les foyers qui ont déménagé en vague 1 sont dans la mesure du possible rebasculés en vague 2. Mais la plupart du temps il s'agit de personnes en processus de déménagement et qui ne voient plus l'intérêt ou tout simplement refusent de participer. Dans trois situations, les occupants ont quitté leur logement pour déménager hors de la zone d'enquête (la nouvelle adresse n'est pas forcément transmise) ou dans un cas être définitivement placé en maison de retraite. Une autre personne a vendu son logement, s'apprête à le quitter et ne souhaite pas poursuivre l'enquête dans son nouveau logement.
- **Occupants injoignables** : ils représentent 8,9 % des accords (67). Ce chiffre correspond à des personnes qui ne sont plus joignables du fait de coordonnées caduques ou qui refusent de répondre aux sollicitations par mail ou téléphone. Les foyers injoignables en vague 1 ont été basculés en vague 2 pour tenter de les récupérer. Le chiffre final correspond aux foyers qu'il n'a pas été possible de contacter sur l'ensemble des deux vagues d'enquêtes.

- **Non contactés** : tous les foyers non contactés en vague 1 du fait que les enquêteurs disposaient déjà de nombreuses adresses et avaient leur planning rempli, ont été basculés sur l'année 2022. Seuls les 2 contacts restant dans les Hauts de France sont toutefois irrémédiablement perdus, car aucun prestataire de la vague 2 n'avait la capacité d'intervenir dans cette région.

Tableau 20. Motifs de non-réalisation des enquêtes par zone (vague 1)

N° de zone	Zone d'enquête	Désistement	Déménagement	Injoignable	Non contacté
1	Paris	12	1	3	-
2	Hauts-de-France	5	-	9	2*
3	Grand Est (est)	2	-	3	-
4	Pays de la Loire	15	-	7	-
5	Bretagne	6	-	4	-
6	Auvergne-Rhône-Alpes Ouest	9	-	7	-
7	Nouvelle-Aquitaine Sud	8	-	-	-
8	Occitanie Est	5	-	4	-
9	PACA Est	4	-	2	-
10	Ile-de-France Sud-Est	1	-	2	-
11	Ile-de-France Nord	4	2	2	-
12	Normandie	6	1	1	-
13	Centre	-	-	4	-
14	Grand Est (ouest)	1	1	2	-
15	Bourgogne-Franche-Comté	1	-	-	-
16	Auvergne-Rhône-Alpes Est	8	1	8	-
17	Nouvelle-Aquitaine Nord	3	-	2	-
18	Occitanie Ouest	4	1	3	-
19	PACA Ouest	3	-	2	-
20	Île-de-France Ouest	6	-	2	-
Total		103	7	67	2

*non reportés et perdus car pas d'équipe à même d'intervenir dans les Hauts de France en 2022

Le taux de désistement varie significativement avec l'âge de la personne contactée (test Khi², p = 0,012). Ce taux est déterminé pour chaque tranche d'âge (**Figure 35**). Les personnes les plus âgées ont plus tendance à se désister (45 %) par rapport aux plus jeunes (5 %). En revanche, le taux d'injoignabilité ne varie pas significativement avec l'âge de la personne contactée.

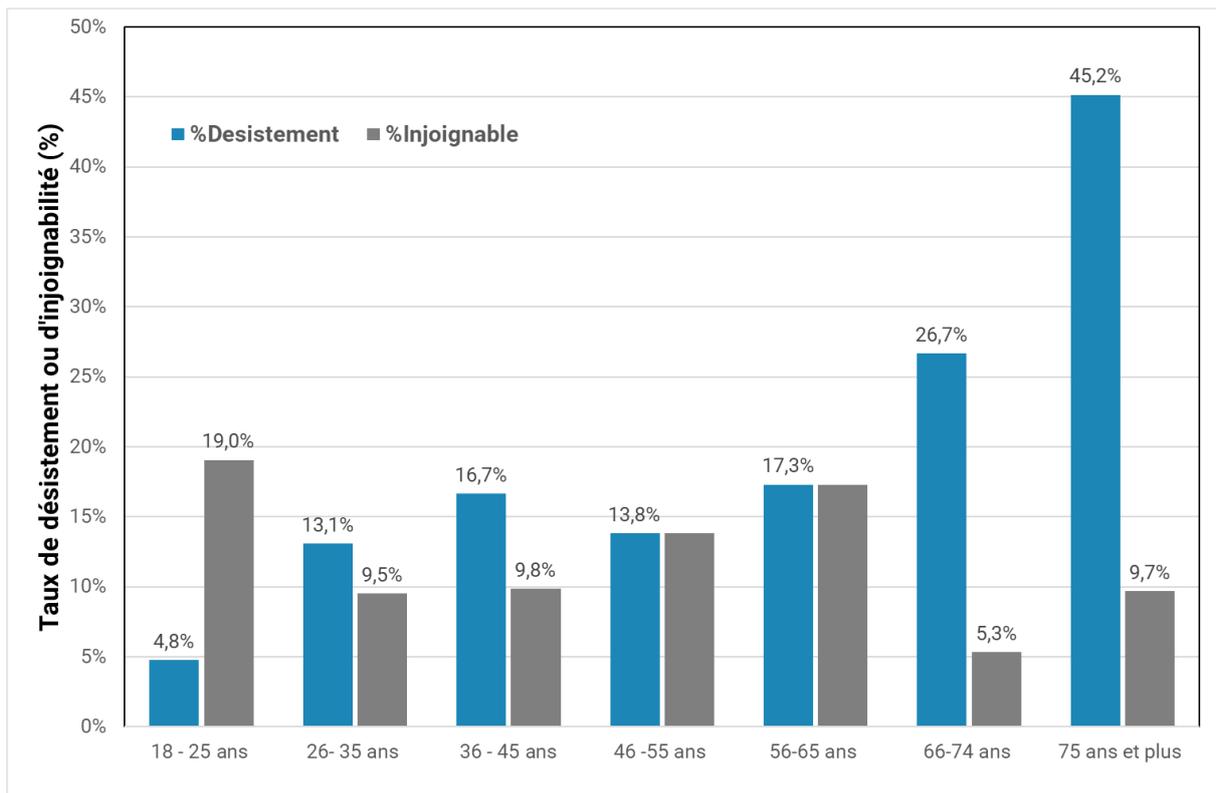


Figure 35. Taux de désistement ou d'injoignabilité en fonction de l'âge de la personne contactée au moment de l'enquête EHIS

Le désistement ou l'injoignabilité des personnes contactées pourrait être plus important si le délai entre l'enquête et le consentement est de plusieurs mois (Figure 36). En absolu, effectivement, le nombre de désistements et de foyers injoignables est plus important lorsque les consentements datent d'août-septembre 2020. Mais, la période correspond également au maximum de consentements obtenus. Le taux de désistement ou d'injoignabilité ne varie finalement pas de manière significative selon la date de consentement.

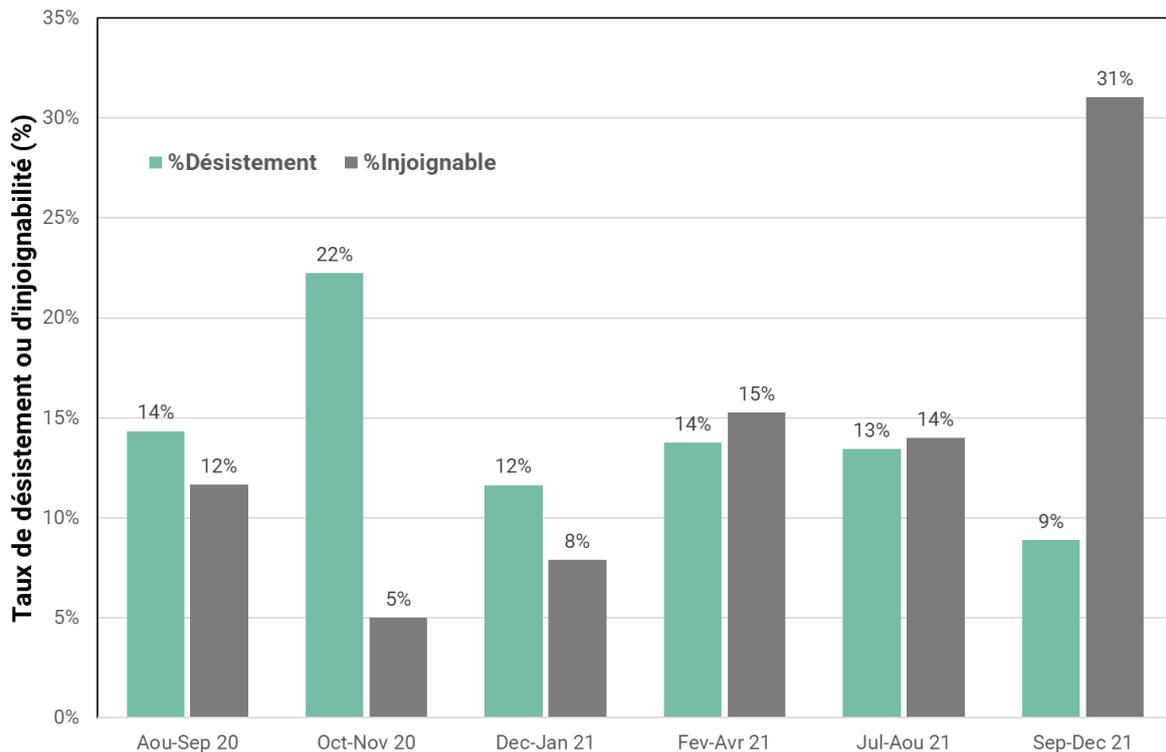


Figure 36. Taux de désistement ou d'injoignabilité en fonction de la date de consentement

Au vu des désistements observés dès le courant de la vague 1 et du fait que le taux de recrutement observé au début de la vague 2 était faible, le risque de ne pas atteindre l'objectif des 600 logements enquêtés à la fin de la campagne a été envisagé.

Plusieurs solutions ont été mises en œuvre pour augmenter le nombre d'enquêtes de la CNL2 :

- Poursuivre les enquêtes au-delà de l'objectif initial fixé aux équipes d'enquêteurs. En effet, le marché public nécessitait de fixer un objectif d'enquêtes pour chacune des zones d'intervention des équipes. Pour la plupart des zones, le nombre de consentements obtenu reste supérieur à l'objectif initial d'enquêtes en tenant également compte des désistements. Il a donc été demandé à toutes les équipes de poursuivre les enquêtes au-delà de leur objectif en fixant toutefois une date limite d'enquête à fin octobre 2021 pour la vague 1 pour récupérer le matériel et le révéfier avant sa mise à disposition aux équipes d'enquêteurs de la vague 2 et à fin février 2023 pour la fin du terrain de la CNL2.
- Resolliciter les foyers contactés des vagues 1 et 2 restés sans réponse. Près de deux tiers des personnes contactées n'ont initialement pas fourni de réponses positives ou négatives. En particulier, la sollicitation pour la deuxième vague a été réalisée début 2021 durant une période où le contexte restait très incertain et le climat social assez morose. Resolliciter ces personnes durant une période estivale plus ensoleillée et propice au rebond de l'activité, pouvait permettre d'obtenir des consentements supplémentaires. Au total, 2342 foyers sont concernés. La resollicitation des foyers a été faite à l'identique du contact initial en leur envoyant un courrier avec plaquette de présentation de la campagne et formulaire de consentement, suivi d'un mail et un

processus de 3 relances par mail, téléphone, SMS et éventuellement courrier. Cette resollicitation a permis de récupérer 108 nouveaux accords.

La conséquence de ne pas atteindre l'objectif des 600 logements enquêtés est l'augmentation de l'incertitude autour des centiles de distribution exprimés à l'échelle du parc de résidences principales. Pour rappel, le chiffre de 600 logements correspondait à une incertitude de 10 % sur les paramètres de distribution à l'échelle nationale de la concentration en COV dans l'air.

La détermination des poids de sondage reste toujours possible sur un effectif plus restreint. Mais, outre l'augmentation de l'incertitude des centiles, il existe également un risque qu'un logement particulier devienne atypique dans ses caractéristiques ainsi que dans celles du ménage associé et porte un poids particulièrement élevé. Ceci peut rendre plus difficile l'exploitation à venir.

3.6. Synthèse terrain

3.6.1. Bilan des prélèvements et analyses par famille de substances

Le **Tableau 21** liste les différents paramètres (ou familles de paramètres) ainsi que les enregistreurs mesurés lors des enquêtes. Le nombre de résultats exploitables traduit non seulement la mise en place des différents appareils par les techniciens enquêteurs, mais également la validation des données collectées. Les écarts avec le nombre d'enquêtes réalisées sont dus à des problèmes rencontrés lors de l'installation du matériel. Il peut s'agir d'une défaillance du matériel, d'un matériel ou consommable indisponible pour l'enquête, d'un arrêt brusque de la mesure (ou du prélèvement) au cours de la semaine d'enquête (du fait d'une défaillance ou d'un arrêt provoqué par les occupants) ou encore d'un refus de l'occupant de mettre en place l'appareil. Ces données sont considérées irrémédiablement perdues. Les données invalidées par les laboratoires sont soustraites également, ainsi que les données qui révèlent après appariement des données de prélèvement avec les résultats d'analyse, des non-conformités majeures.

Tableau 21. Bilan en nombre de résultats exploitables des mesures et analyses réalisées

Paramètres	Logements*	Résultats exploitables	% Exploitables
Aldéhydes (ALDP)	571	571	100 %
COV passif (COVP) – intérieur	571	569	99,6 %
COV passif (COVP) – extérieur	571	559	97,9 %
NO ₂ – intérieur	571	570	99,8 %
NO ₂ – extérieur	571	558	97,7 %
COV actif (COVA)	571	567	99,3 %
COSV dans l'air	571	516	90,4 %
Pesticides dans l'air	571	542	94,9 %
Poussières collectées au sol**	571	528	92,5 %
PM _{2,5} par gravimétrie	571	515	90,2 %

Paramètres	Logements*	Résultats exploitables	% Exploitables
Radon	571	427	74,8 %
Moisissures	571	552	ND***
Capteur QAI Cozyair (CO ₂ , CO, NO ₂ , COV, PM _{2,5} /PM ₁₀ , T, HR)****	571	559	97,9 %
Class'air (CO ₂ , T, HR, P)	571	523	91,6 %
Température extérieure (HOBO)	571	537	94 %
Débit/Pression aux bouches*****	571	329	91,4 % des logements avec ventilation mécanique

*Le nombre d'enquêtes est de 572 pour 571 logements instrumentés. Un logement en PACA a été enquêté deux fois sous deux identifiants différents suite à une erreur de l'équipe de techniciens enquêteurs. Pour ce cas, seules les données de la première enquête sont prises en compte pour l'exploitation.

**Le nombre d'échantillons de poussières collectées correspond au nombre d'échantillons effectivement récupérés et tamisés au laboratoire, disponibles pour analyse des pesticides.

***ND : non disponibles. Les résultats associés à la collecte des spores de moisissures ne sont pas encore fournis par le laboratoire. Une convention entre le CSTB et le laboratoire est en cours de discussion à ce sujet.

****La validation des capteurs QAI Cozyair est prévue en 2024. Le chiffre indiqué correspond au nombre de fichiers d'enregistrements disponibles avant validation.

*****Pour les mesures de débit/pression aux bouches, le nombre de données disponibles (avant validation) correspond au nombre de logements avec au moins une mesure de pression ou de débit aux bouches de ventilation (soufflage ou extraction). Cette mesure n'est mise en œuvre que dans les logements disposant d'un système de ventilation mécanique.

Parmi les paramètres analysés en laboratoire, le radon présente le pourcentage de données exploitables le plus faible (75 %). Ce pourcentage traduit le fait que le renvoi des dosimètres par les occupants eux-mêmes ne se fait pas de manière systématique. La durée d'exposition des dosimètres est longue (2 mois), parfois décalée des dates d'enquête et leur gestion n'apparaît pas évidente pour les occupants eux-mêmes. Par ailleurs, après échange avec l'IRSN et suivant les préconisations des normes NF ISO 16665-4 et 16665-8 (2021), les mesures avec une durée d'exposition inférieures à 59 jours (période minimale de 2 mois entre janvier et février) ont été écartées.

Les autres paramètres prélevés et analysés montrent un taux de données exploitables compris entre 90 % (COSV dans l'air, PM_{2,5}) et 100 % (aldéhydes). Les remontées des enquêteurs sur le terrain montrent des difficultés dans la mise en œuvre des prélèvements par pompage de l'air sur une durée aussi longue que 7 jours.

Pour les poussières récupérées de l'aspirateur du foyer, le taux d'avancement intègre également des pertes liées au refus d'occupants de mettre leurs poussières à disposition des enquêteurs, mais également à une indisponibilité de recueillir ces poussières lorsque l'aspirateur de l'occupant inadapté. Néanmoins, le taux de mise en œuvre de ces prélèvements reste correct avec en général plus de 92 % réussis.

Pour les mesures de débit/pression aux bouches, le taux de données disponibles est de 91 % sur la base des seuls logements avec la présence d'au moins une bouche de ventilation. Il est de 58 % au regard de l'ensemble des logements enquêtés incluant ceux qui ne présentent pas de bouches de ventilation associées à un système mécanique.

La pose d'appareils enregistreurs (Class'air, HOBO, capteur QAI Cozyair) présente un taux de mise en œuvre et de récupération des données supérieur ou égal à 91 %. Les difficultés rencontrées sont plutôt associées à une perte des données enregistrées suite à un problème matériel, ou une mauvaise manipulation (Class'Air), à un problème de couverture réseau pour le capteur Cozy Air (réseau orange) ou à une difficulté de mise en œuvre de la mesure à l'extérieur du logement pour l'enregistreur HOBO.

La conséquence des chutes observées dans les nombreuses mesures réalisées au sein de chaque enquête est que cela fera baisser la précision sur les paramètres de la distribution nationale. La précision sera d'autant moins élevée que les chutes sont nombreuses et le nombre d'enquêtes moindre.

3.6.2. Bilan de l'administration des questionnaires

L'ensemble des questionnaires a été saisi sur la plateforme People Vox par les différentes équipes d'enquêteurs. Chaque foyer a répondu aux questionnaires administrés en face à face.

Au niveau du questionnaire individuel, 1516 personnes du ménage ont répondu (entre 1 à 7 personnes par foyer).

S'agissant des questionnaires autoadministrés aux occupants :

- Semainiers d'activités du foyer (1 par foyer) : 563 semainiers sont exploitables (98,6 % des 571 logements). 7 semainiers n'ont pas été récupérés auprès des occupants et un autre a été rendu complètement vide. L'ensemble des données a été saisi et validé.
- Semainiers d'occupation (1 par individu) : 1516 semainiers ont été administrés correspondant à 571 logements avec 1487 d'entre eux exploitables (98,1 %). Au moins un semainier d'occupation est exploitable pour 568 des 571 logements. L'ensemble des données a été saisi et validé.
- Questionnaire de santé et semainiers de symptômes (1 par individu) : 1512 questionnaires et semainiers ont été administrés (569 logements), dont 1476 d'entre eux ont bien été reçus par Santé publique France. Ils couvrent 560 logements (98,1 %). Ces questionnaires et semainiers ont directement été transmis à Santé publique France sous enveloppe cachetée sans vérification ni exploitation par le CSTB. Santé publique France est en charge de leur validation et exploitation.

4. DONNEES ET METHODOLOGIE STATISTIQUE

4.1. Données

4.1.1. Outils de collecte et de saisie des données

A l'instar des précédentes campagnes de l'OQAI, un système d'informations dédié a été mis en place pour la CNL2. Il est composé de deux volets, dont l'un géré par un prestataire externe au CSTB (People Vox) et l'autre géré *via* l'outil Teams et des canaux sécurisés accessibles à l'équipe de coordination.

4.1.1.1. Plateforme web dédiée aux enquêteurs terrain

Afin d'assurer la saisie des données collectées par les enquêteurs sur le terrain, une plateforme de saisie en ligne a été développée par la société People Vox. Celle-ci était accessible en ligne et basée sur la solution Lime Survey. Exclusivement réservée aux enquêteurs terrain et à l'équipe projet, elle reposait sur une base de données sécurisée.

Couvrant à la fois la saisie des données de prélèvements et de mesures et celle des données questionnaires de la CNL2, elle a été développée en collaboration avec l'équipe projet en s'appuyant sur les questionnaires et fiches de mesures/prélèvement utilisés sur le terrain mais avec des adaptations et ajustements permettant d'améliorer la qualité du recueil des informations (réorganisation des questionnaires, champs voire modules entiers spécifiques à la saisie, enchaînements logiques, codes qualités etc.).

Un protocole de saisie a été élaboré à destination des enquêteurs, décrivant le fonctionnement de la plateforme, les particularités et consignes liées à chaque partie et les recommandations générales de saisie.

La plateforme PeopleVox a permis :

- la saisie des différents questionnaires d'enquête par les opérateurs (Figure 37) ;
- la saisie des informations de mesures et d'analyse (Figure 37) ;
- le téléversement des fichiers d'enregistrement de mesure et des autres documents collectés pendant les enquêtes ;
- le contrôle automatique des données saisies selon les spécifications de l'équipe projet et les faisabilités offertes par le logiciel (obligation de présence, intervalles bloquants...)
- le stockage et la sauvegarde des données dans les conditions de sécurité et de confidentialité exigées par le projet ;
- le suivi des données saisies par les enquêteurs au niveau du CSTB (Figure 38) ;
- la visualisation rapide des réponses aux différents items par le CSTB (Figure 39) ;
- l'accès aux données brutes par exportation pour le CSTB (Figure 40).

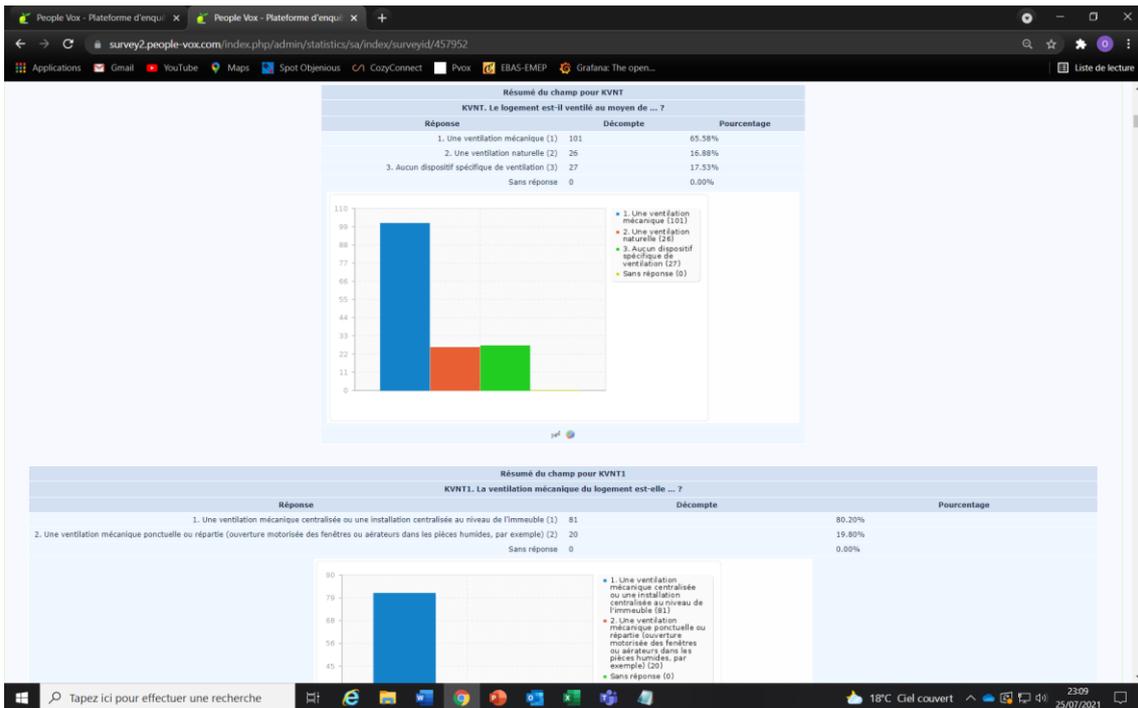


Figure 39. Visualisation brute des données saisies (exemple pour le type de ventilation du questionnaire enquêteur)

Code du prélèvement	N	Avez-vous indiqué la raison pour le prélèvement	Conditionnement de la cartou	Référence CS	DEBIT AVANT	Teur de débit AVA	Référence CS	Date de DEMARRAGE de la POMPE	Heure de ARR	Heure d'ARR
09LEZE48-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	25/11/2020	20-0430	3.96	14-0017	NOVALDEBIT1PEST	08/12/2020	11:22:00	15/12/2020 11:37:00
08LFOV75-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	12/11/2020	20-0386	3.845	12-0133		23/11/2020	10:51:00	26/11/2020 00:16:00
03LFI693-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	25/11/2020	20-0426	3.98	14-0016		09/12/2020	12:03:00	16/12/2020 13:34:00
03LBMG82-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	25/11/2020	20-0425	4.098	14-0016		11/12/2020	14:40:00	18/12/2020 14:23:00
02LEIB51-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	19/11/2020	20-0421	4.08	11-0419		30/11/2020	12:37:00	07/12/2020 10:53:00
10LCLK58-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0434	3.98	12-0135		06/01/2021	08:57:00	13/01/2021 10:04:00
09LKEP20-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	19/11/2020	20-0422	4.137	11-0419		12/12/2020	10:48:00	19/12/2020 08:50:00
10OALWX15-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0416	3.861	11-0420		06/01/2021	10:20:00	13/01/2021 09:18:00
11O6LGUI26-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0396	3.968	12-0129		11/01/2021	10:46:00	18/01/2021 14:12:00
12O9LOR97-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0428	3.92	14-0017		07/01/2021	10:31:00	14/01/2021 09:59:00
13O6LYIAD0-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0394	3.955	12-0129		12/01/2021	10:20:00	19/01/2021 14:21:00
14O6LNUZ93-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	26/12/2020	20-393	3.88	12-0128		11/01/2021	15:30:00	18/01/2021 15:50:00
15O5LWAB5-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	26/12/2020	20-0391	3.99	12-0128		12/01/2021	15:58:00	17/01/2021 04:08:00
16O9LWMS4-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	07/01/2021	20-0430	3.88	14-0017		21/01/2021	10:46:00	23/01/2021 05:38:00
17O4LZEE39-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	00-0000	3.9	04-1120		12/01/2021	15:46:00	19/01/2021 14:16:00
18O6LPD47-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0395	3.887	12-0129		21/01/2021	14:49:00	28/01/2021 15:23:00
19O4LNU16-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0415	3.952	11-0420		21/01/2021	09:30:00	28/01/2021 09:14:00
20O3LRRM19-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0426	4.021	14-0016		04/01/2021	15:38:00	11/01/2021 15:28:00
21O3LCZG61-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	ATC	3.863	14-0016		12/01/2021	09:56:00	19/01/2021 10:38:00
22O3LRSO9-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0425	4.071	14-0016		12/01/2021	14:15:00	19/01/2021 14:37:00
23O6LWSD62-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	07/01/2021	20-0397	3.828	12-0129		23/01/2021	10:44:00	30/01/2021 11:17:00
24O5LME67-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	25/01/2021	20-0391	3.909	12-0128		25/01/2021	14:53:00	01/02/2021 10:03:00
25O5LWEC71-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	18/01/2021	20-0393	4.02	12-0128		26/01/2021	15:22:00	02/02/2021 09:51:00
26O2LWV62-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	12/01/2021	20-0421	3.852	11-0419		15/01/2021	11:27:00	22/01/2021 10:57:00
27O6LFEU43-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	21/01/2021	20-0395	3.921	12-0129		01/02/2021	11:22:00	08/02/2021 13:47:00
28O2LWV59-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	18/01/2021	20-0422	3.98	11-0419		22/01/2021	13:50:00	29/01/2021 13:50:00
29O6LURIG4-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	21/01/2021	20-0397	3.839	12-0129		03/02/2021	09:52:00	10/02/2021 10:34:00
30O9LXRN88-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	21/01/2021	20-0430	3.9	14-0017		04/02/2021	11:17:00	11/02/2021 09:38:00
31O3LBRP95-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	12/01/2021	20-0425	4.092	14-0016		25/01/2021	10:10:00	01/02/2021 10:39:00
32O6LBC98-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	21/01/2021	20-0396	3.951	12-0129		11/02/2021	14:45:00	18/02/2021 15:26:00
33O3LTKC35-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	22/12/2020	20-0425	3.92	14-0016		04/01/2021	09:42:00	11/01/2021 10:55:00
34O3LDRX32-SEJ1-PEST-E	1	(question_not_shown)	12/01/2021	PrAHATC	4.022	14-0016		25/01/2021	14:44:00	01/02/2021 13:42:00

Figure 40. Exemple de table de données exportées au format CSV (prélèvement des pesticides)

4.1.1.2. Espaces collaboratifs de partage Teams/Sharepoint

Les enquêteurs ont également accès à un espace collaboratif de partage Teams/SharePoint organisé selon :

- un espace collaboratif général (**Figure 41**) sur lequel tous les enquêteurs ont accès à l'ensemble des documents nécessaires à la bonne conduite des enquêtes (documents de formation, protocoles de prélèvements) ;
- un espace collaboratif privé spécifique à chaque équipe dans lequel les enquêteurs de la zone d'enquête concernée mettent à disposition les éléments supplémentaires suivants :
 - leur fichier de suivi des enquêtes (sans aucune mention de données personnelles) ;
 - les fichiers de mesure des particules ultrafines. Ces mesures ne concernaient que trois équipes et les fichiers étaient de trop grande taille pour être chargés sur la plateforme People Vox ;
 - les photos prises par les enquêteurs, lors des visites complémentaires à celles chargées sur la plateforme.

L'espace collaboratif permet non seulement l'échange de fichiers, mais c'est également un espace de discussion dans lequel les enquêteurs sont amenés à poser des questions directement à l'équipe de coordination de la CNL2.

L'interaction avec les différents laboratoires se fait également au travers d'un espace collaboratif de partage Teams/SharePoint spécifique privé. Chaque laboratoire y dépose ses fichiers de résultats d'analyse au format convenu, ses éléments complémentaires (analyse des blancs de lot, vérification des blancs de désorption, fichiers chromatogrammes, etc.) et ses rendus trimestriels rappelant le paramétrage des techniques utilisées et fournissant des éléments d'assurance qualité supplémentaires.

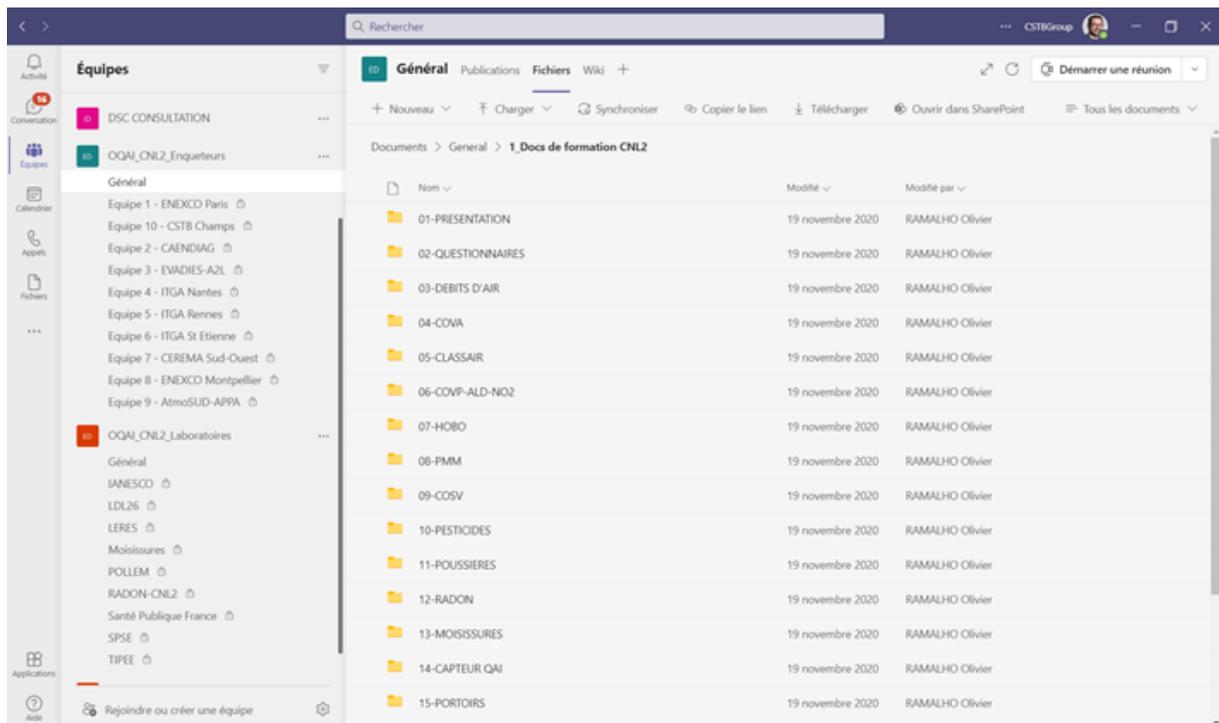


Figure 41. Organisation des espaces Teams/SharePoint pour les équipes d'enquêteurs et les laboratoires

Des alertes sont mises en place au niveau de chaque dossier de l'espace collaboratif pour suivre tout nouveau dépôt de fichier, modification ou suppression de fichier. L'ensemble des versions de chaque fichier est sauvegardé et récupérable.

Le contenu de l'espace collaboratif est également sauvegardé régulièrement pour éviter toute perte de données. Les fichiers d'analyse sont ensuite compilés par ailleurs sur les serveurs de travail du CSTB pour validation et exploitation.

4.1.1.3. Plateforme web dédiée à la saisie des données des semainiers d'activités et d'occupation

Afin d'assurer dans un second temps la saisie des questionnaires semainiers renseignés à la main par les occupants des logements (respectivement les semainiers d'activités et les semainiers d'occupation), une plateforme internet dédiée a été développée par le service informatique du CSTB.

Les questionnaires concernés ont été scannés pour être chargés sur la plateforme People Vox puis des travaux de validation/correction/complétion ont été effectués : étude des noms de fichiers, des attributions aux bons logements et bons occupants, des commentaires enquêteurs, recherche de questionnaires manquants etc.

Une bibliothèque numérique rassemblant l'ensemble des semainiers a ainsi été créée et mise à disposition du prestataire de saisie via un outil de partage sécurisé.

Des fonctionnalités ont été développées sur la plateforme afin de coller visuellement aux questionnaires papiers et permettre un certain nombre de contrôles informatiques lors de la saisie.

Un protocole de saisie a été élaboré contenant les vérifications à effectuer par le prestataire et les consignes de saisie à respecter.

4.1.1.4. Schéma global de relations entre les tables de données

Les différents fichiers de données récupérés sont retravaillés après validation pour constituer des tables de données à l'échelle logement (1 ligne = 1 logement), à l'échelle des individus (1 ligne = 1 individu d'un foyer), à l'échelle de la pièce (1 ligne = 1 pièce d'un foyer) ou encore à l'échelle du pas de temps pour les fichiers d'enregistrements (1 ligne = 1 pas de temps pour chaque logement).

La table de suivi d'enquêtes permet de valider les dates des visites de l'enquête et le fait que le logement a effectivement participé à la CNL2 ou non. Il comprend les 750 logements pour lesquels un consentement a été obtenu.

Les questionnaires administrés à l'occupant (Qocc) ou renseignés par l'enquêteur (Qenq), tout comme le semainier d'activités, regroupent des questions à l'échelle du logement ou du ménage.

Le semainier d'occupation et le questionnaire individus (Qind) permettent la constitution de deux tables individus distinctes. Le semainier d'occupation a par ailleurs la particularité de renseigner l'occupation par pas de temps sur la semaine, ce qui en fait une table spécifique.

Pour chaque famille de polluants prélevés, une table de prélèvements est constituée regroupant les informations relatives aux dates de début et de fin de prélèvement, les débits de prélèvements vérifiés avant et après, les durées et volumes de prélèvements, les dates d'envoi au laboratoire ainsi que les commentaires associés. Ces informations peuvent être complétées d'informations propres au fichier d'enregistrement des pompes utilisées pour vérification.

Chaque laboratoire génère également des résultats d'analyse propres à chaque logement enquêté qui sont rassemblés en une table d'analyse brute pour chaque famille de polluants. Cette table regroupe des informations sur les substances mesurées, la quantité retrouvée sur le support de prélèvement et les commentaires d'analyse. Associée à la table de prélèvements, elle permet de créer la table finale des concentrations de polluants analysés en laboratoire (Table C labo) avec une valeur de concentration par polluant et par logement.

Les fichiers d'enregistrements génèrent pour chaque logement (L) une série temporelle où une ligne correspond à un horodatage (t) précis (à la minute ou seconde près) d'une mesure de plusieurs paramètres (P). Pour un instrument donné, les séries temporelles sont concaténées en une seule table unique de dimension P x L x t. A partir de ces tables, des indicateurs agrégés à la semaine (ΣP) peuvent être calculés pour générer une table à l'échelle du logement (1 ligne = 1 logement).

La **Figure 42** résume schématiquement les relations entre les différentes tables de données.

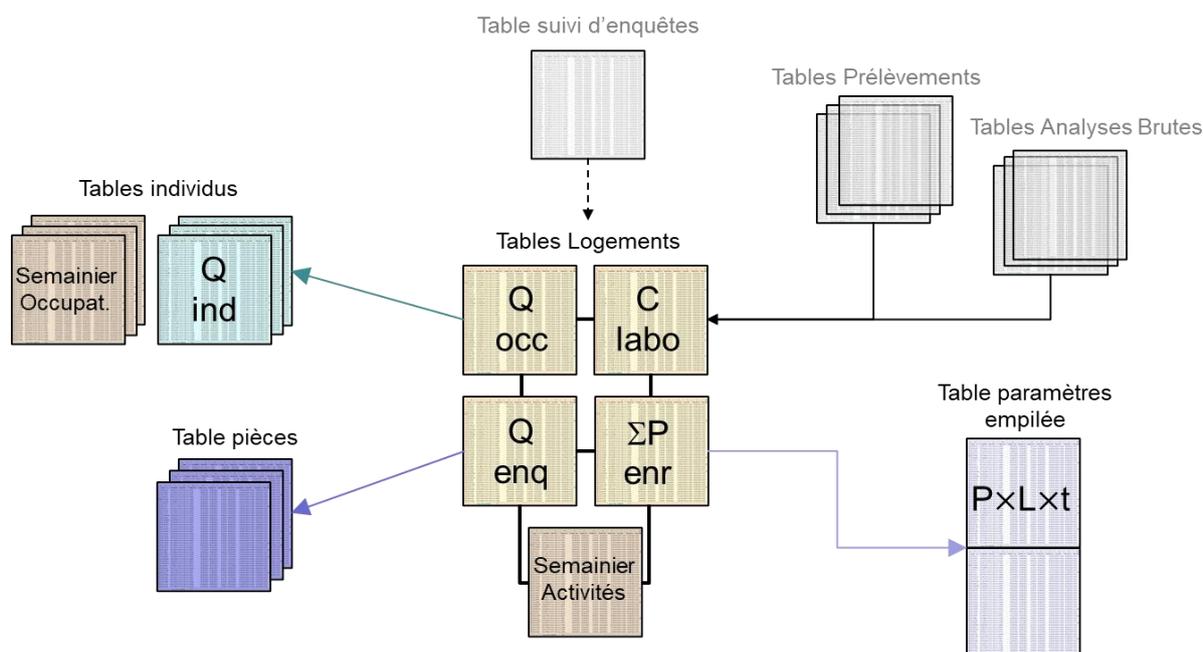


Figure 42. Structure schématique des différentes tables de données de la CNL2

4.1.2. Suivi de saisie et premiers travaux sur les données

4.1.2.1. Organisation et suivi Data de la Campagne

Après la réalisation de la plateforme de recueil des données des enquêtes terrain, **la mise en œuvre Data a consisté tout au long de la Campagne** à effectuer les actions suivantes :

- le support/appui aux enquêteurs terrain ;
- la gestion des listes de codes logements ;
- la gestion des problèmes liés à la plateforme de recueil et des modifications/ajouts à effectuer sur les données à recueillir ;
- le suivi du flux des enquêtes à partir des fichiers de suivi des enquêteurs ;
- le contrôle du respect des consignes du protocole de saisie ;
- la vérification de la complétude de saisie et de la cohérence de données clés (codes logement, dates d'enquêtes) ;
- la correction, la récupération et la saisie de données.

La saisie des semainiers d'activités et d'occupation s'est accompagnée également d'une vérification complète de saisie sur 10 % des semainiers choisis aléatoirement, de contrôles spécifiques en lien avec les consignes de saisie et avec les informations remontées par les enquêteurs, ainsi que du traitement des commentaires de saisie du prestataire. Cela a amené à effectuer des corrections/complétions de saisie, à refaire saisir une partie des questionnaires et à en récupérer certains auprès des enquêteurs ou sur l'espace collaboratif.

4.1.2.2. Restructuration des données et premiers travaux de validation

Les données recueillies sur la plateforme People Vox étant récupérées sous forme de tables csv ou Excel indépendantes et pouvant présenter des anomalies de disposition ou de codage, une base de données au format SAS a été élaborée en réglant les problèmes de structure et en liant les tables par les codes logement afin de faciliter le suivi de saisie et effectuer les premières validations au fil de l'eau.

Des tables sont ensuite créées pour chaque questionnaire/paramètre :

- en mettant de côté les variables liées au suivi d'avancement et au fonctionnement du recueil ;
- en appliquant les corrections identifiées et répertoriées tout au long de la Campagne ;
- en les restructurant le cas échéant par niveau d'observation statistique (pièce, occupant) afin de diminuer le nombre de variables liées aux répliques. Cette restructuration nécessite de valider au préalable, pour chaque niveau statistique, le nombre d'observations et la bonne correspondance des identifiants. Pour les occupants, il s'agit de valider le nombre d'individus ayant renseigné un questionnaire individu et la correspondance de leurs identifiants avec les semainiers d'occupation. Pour les pièces du logement, il s'agit de valider le module spécifique mis en place pour la description des pièces par les enquêteurs.

Pour les paramètres disposant de fichiers de mesure ou d'enregistrement de suivi de fonctionnement des pompes de prélèvement, des bibliothèques numériques de fichiers ont été créées en procédant à des validations/corrections/récupérations identifiables par l'étude des noms de fichiers, des attributions en base de données et des commentaires des enquêteurs.

A partir de ces bibliothèques ont ensuite été générées des tables compilant toutes les informations, sous forme de séries temporelles.

Cette étape de création/restructuration des tables permet ensuite d'effectuer les travaux de validation et de préparation nécessaires à l'exploitation ultérieure des données.

4.1.3. Validation et préparation des données pour l'exploitation

4.1.3.1. Données 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, voir 3.3.2). 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.

4.1.3.2. Données de mesures, prélèvements et analyses

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.

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.

Pour valider les données de prélèvement, un certain nombre de nouvelles variables sont créées à partir de celles déjà recueillies :

- Le débit moyen calculé à partir des débits mesurés avant et après prélèvement. Cette donnée importante associée à la durée effective de prélèvement permet de déterminer le volume effectif de prélèvement ;
- L'écart de débit calculé (après - avant) en L/min. Il permet de vérifier que le débit est bien resté constant et dans la tolérance fixée dans le protocole, en général 5 % ;

- La durée effective de prélèvement : elle correspond en priorité à la durée 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 pour une semaine de 5,25 à 8,75 jours) ;
- Le volume corrigé calculé à partir de la durée effective du prélèvement et du débit moyen mesuré par les enquêteurs. Il correspond au volume effectif de prélèvement utilisé pour le calcul de la concentration. La tolérance sur le volume corrigé de prélèvement est de $\pm 25\%$;
- Le délai d'utilisation du support de prélèvement entre le début du prélèvement et la date de conditionnement permet de vérifier la conformité de la mise en œuvre du prélèvement ;
- Le délai de réception de l'échantillon et sa température à réception permettent de vérifier que le transport de l'échantillon s'est déroulé dans de bonnes conditions sans dégradation des substances collectées.
- Les incohérences dans les identifiants logements entre données prélèvements et analyses sont recherchées et les erreurs corrigées. La correction des identifiants est primordiale pour permettre la jointure des données de prélèvements aux données d'analyses et aux autres données d'enquête.

Un premier niveau de validation est ensuite défini à l'échelle du prélèvement et à l'échelle de la substance mesurée :

- **OK** : prélèvement et analyse conformes à tous les niveaux (débit, durée, volume, absence d'incidents, délai d'utilisation). Résultat exploitable ;
- **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. Analyse invalide ou absente. Résultat inexploitable ;
- **SUSPECT** : prélèvement ou analyse qui présente une non-conformité ou une incohérence / doute qui subsiste. Selon le degré de non-conformité, le résultat peut être exploitable ou inexploitable.

Pour une substance donnée, l'analyse prise séparément peut être valide (OK) malgré un prélèvement invalide (INV) et inversement. Au moins un paramètre invalide suffit à invalider l'ensemble. De même, au moins un paramètre suspect suffit à rendre suspect l'ensemble de la mesure.

A partir de ce premier niveau de validation, un caractère exploitable /inexploitable à des fins statistiques est déterminé.

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 **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, n'est plus représentatif de l'échelle de temps visée (prélèvement trop court) ou bien lui confère une incertitude très élevée. Le résultat est

écarté de toute exploitation statistique des données. Il peut néanmoins être présenté dans un rendu individuel des résultats aux enquêtés (sauf si invalide).

4.1.3.3. Limites de détection et de quantification de la méthode

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 / blancs de conditionnement : vérification de l'absence de contamination des différents lots de supports de prélèvement neufs ou conditionnés utilisés au cours de la campagne. Une vérification est effectuée à chaque nouveau lot utilisé préalablement à leur utilisation. Pour les blancs de conditionnement, une dizaine de vérification est prévue au cours de la campagne ;
- Contrôle des blancs de terrain : vérification de l'absence de contamination des supports témoins, qui suivent l'échantillon durant la durée du prélèvement, le stockage et le transport. Aucun prélèvement n'est réalisé sur ces supports. Pour des raisons budgétaires, il n'est pas possible de déployer un support témoin pour chaque échantillon. Le déploiement de supports témoins n'est réalisé que pour 10 % des échantillons (environ 60 supports 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 supports 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 résultats particulièrement élevés pour une ou plusieurs substances sont écartés selon un test préliminaire des valeurs extrêmes (test de Grubbs au risque 1 %).

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

- La quantité moyenne observée sur les supports 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. Sauf pour la mesure du formaldéhyde et du NO₂, où la quantité résiduelle par lot est soustraite de la quantité retrouvée dans l'échantillon. Pour ces polluants, la quantité moyenne résiduelle n'affecte pas 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 limite de détection (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 limite de détection de la méthode (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.

Une synthèse des LD, LQ, LDM et LQM est présentée en Annexe 1.

4.2. Analyse statistique

4.2.1. Méthodologie statistique

Une correction de Bonferroni (Dunn, 1961) a été appliquée à l'ensemble des tests réalisés, notamment lors du calcul des poids de sondage et des comparaisons entre CNL1 et CNL2.

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.

4.2.1.1. 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 (chambre de la personne de référence et 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.

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 couvrir l'ensemble des périodes de l'année. 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.

4.2.1.2. Expression des résultats et traitement des données censurées

Les résultats de concentration sont exprimés selon des estimateurs de tendance centrale (médiane, moyenne géométrique ou moyenne arithmétique) et plusieurs paramètres de dispersion (intervalle de confiance, centiles de distribution, écart-type).

Lorsque les valeurs de concentrations étaient inférieures à la limite de détection, elles ont été remplacées par la limite de détection divisée par deux. Les valeurs traces ont été utilisées dans le calcul des estimateurs statistiques.

Les fréquences de détection et de quantification sont calculées à partir des limites de détection et de quantification de la méthode globale (LDM et LQM).

L'ensemble de ces paramètres statistiques sont calculés en tenant compte des poids de sondage déterminés au 4.2.3.

Pour la description des données comme la température et l'humidité relative, une variable saisonnière associée au mois d'enquête (date de première visite) a été créée :

- Une saison hiver qui regroupe toutes les enquêtes réalisées entre novembre et fin mars ;
- Une saison été qui regroupe les enquêtes comprises entre juin et fin septembre ;
- Une période de transition qui regroupe les mois d'avril, mai et octobre.

La classification urbaine / rurale des logements a été établi sur la base de la grille communale de densité à 7 niveaux de l'Insee (<https://www.insee.fr/fr/information/6439600>). Cette grille communale de densité permet de classer les communes en fonction du nombre d'habitants et de la répartition de ces habitants sur leur territoire. Plus la population est concentrée et nombreuse, plus la commune est considérée comme dense. La grille prend en compte la présence au sein de la commune de zones concentrant un grand nombre d'habitants sur une faible surface. La population communale est ensuite répartie selon les différents types de

zones ou clusters présents sur la commune (jusqu'à 7 zones de différents niveaux de densité). La classification finale de la commune est établie selon le niveau de densité majoritaire de sa population⁵⁹. Les communes sont ainsi classées de communes densément peuplée jusqu'à la commune rurale à habitat très dispersé. Un logement situé dans une commune urbaine (grand centre urbain, centre urbain intermédiaire, ceinture urbaine et petite ville) est catégorisé comme logement urbain. Un logement situé dans une commune rurale (bourg rural, rural à habitat dispersé ou très dispersé) est catégorisé comme logement rural.

4.2.1.3. Traitement des mesures en continu

Les mesures en continu ont nécessité une validation de l'horodatage en cohérence avec les dates d'enquête, une prise en compte des changements d'heure d'été ou d'hiver, la validation du pas de temps d'enregistrement de 10 min et la gestion des données aberrantes.

Par ailleurs, dans certains cas les données de CO₂ ont atteint le seuil haut de la plage de mesure, qui n'est pas exactement 5000 ppm et peut être une valeur comprise entre 4500 et 5000 ppm, variable selon les instruments. Dans ces conditions, un effet plateau est observé avec une même valeur qui se répète plusieurs fois. La valeur pic n'est pas observable (> 4500 – 5000 ppm). La valeur reste telle quelle pour les calculs. Ce phénomène peut entraîner une légère sous-estimation de la valeur moyenne, et une sous-estimation notable de la valeur maximale observée.

Lorsque des données en continu étaient disponibles, des indicateurs statistiques autres que la moyenne hebdomadaire sont également calculés. Pour le CO₂, des moyennes glissantes horaires ont été déterminées et le maximum horaire affecté à chaque logement.

La première et la dernière heure de chaque enregistrement ont été systématiquement écartées, du fait que les données correspondantes pouvaient être affectées par la présence des enquêteurs.

4.2.1.4. Approche saisonnière de la température et de l'humidité relative

Pour la description des résultats en température et en humidité relative, une approche saisonnière a été retenue, plus pertinente qu'une approche globale mélangeant les différentes saisons entre elles. La méthodologie d'enquête utilisée dans la CNL2 fait intervenir une seule semaine de mesure dans les logements sur l'année. Chaque logement est enquêté une seule fois à une saison donnée. L'objectif étant que la campagne CNL2 fournisse un état de la qualité de l'air moyen dans les logements à l'échelle du parc sur la période allant de novembre 2020 à fin février 2023. De ce fait, la comparaison des résultats sur différentes saisons ne peut se faire que sur la base de logements différents. Et donc chaque période saisonnière est associée à un sous-groupe de logements enquêtés représentant une partie du parc de résidences

⁵⁹ Par exemple, une ville comme Paris présente 100 % de sa population dans un seul type de cluster (grand centre urbain, niveau 1). Dans une commune comme Villaz (Haute-Savoie), 70 % de sa population vit dans des zones de type ceinture urbaine (niveau 4), 28 % dans des zones rurales à habitat dispersé (niveau 6) et le reste en zone rurale à habitat très dispersé (niveau 7). La commune de Villaz est catégorisée comme une ceinture urbaine (niveau 4) et plus globalement comme une commune en zone urbaine.

principales. Ce qui peut représenter un biais. Les résultats déclinés par saison restent indicatifs.

Ce biais pourrait être minimisé mais pas complètement écarté en calculant un jeu de pondérations pour chaque saison définie, de façon à ce que chaque sous-groupe de logements lié à une saison donnée représente l'intégralité du parc. L'incertitude en serait également affectée du fait que chaque sous-groupe de logements soit plus petit que l'échantillon initial.

L'approche saisonnière retenue se décline en trois catégories : les mois d'été (juin, juillet, août et septembre), les mois d'hiver (novembre, décembre, janvier, février et mars) et les mois de transition (avril, mai et octobre). Durant les mois d'été, 170 logements ont été enquêtés représentant 29,2 % du parc. Pour les mois d'hiver, les 233 logements enquêtés représentent 37,6 % du parc. Les mois de transition couvrent 168 logements enquêtés soit 33,3 % du parc.

D'autres approches saisonnières sont possibles en considérant par exemple la période de fonctionnement du chauffage dans le logement (logement avec ou sans chauffage en fonctionnement au cours de l'enquête) ou la période de chauffe / hors-chauffe définie selon le calendrier et la région, voire les conditions extérieures (degrés-jours).

4.2.1.5. Comparaison avec les valeurs de références

Les concentrations de certaines substances ont été mises au regard de valeurs dites de référence, définies en France (voir 1.2.2.2 et 1.2.3) et au niveau international (OMS), permettant de positionner les concentrations retrouvées dans l'air des logements et de calculer le pourcentage de logements qui dépasse ces valeurs. Le choix des valeurs de référence retenues pour cette comparaison va dépendre non seulement de leur ordre de priorité (voir ci-après) mais également de l'adéquation de la durée d'exposition qui leur est associée avec la durée de la mesure.

Toutes les substances étudiées ne disposent pas de valeurs de référence et pour celles qui en ont, différents types de valeurs de référence existent. Les valeurs de référence suivantes ont été retenues par ordre de priorité :

- Les **valeurs guides réglementaires** qui sont des valeurs définies par l'article R221-29 du code de l'environnement relatif aux valeurs guides pour la qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde, le benzène et le radon ;
 - Pour le formaldéhyde et le benzène, elles correspondent à un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ;
 - Pour le radon, il s'agit d'un niveau d'activité volumique dans l'air intérieur, pour un espace clos donné, au-dessus duquel l'exposition des personnes est jugée inappropriée (article R221-29 du code de l'environnement). Le dépassement de ce niveau entraîne des actions simples d'abaissement des niveaux par l'application de bonnes pratiques d'aération et d'aménagement des locaux. Des travaux plus conséquents sont à mener sur le bâtiment au-delà de 1000 Bq/m³ ;
- Les **valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air**, proposées par le Haut conseil de la santé publique (HCSP) pour l'acétaldéhyde, le benzène, le dioxyde de carbone (CO₂), le formaldéhyde, les particules (fraction PM_{2,5}), le naphthalène, le

tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène. Elles sont construites à partir des valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) et visent à éclairer les gestionnaires sur les concentrations dans l'air intérieur au-delà desquelles des actions sont à entreprendre. Elles prennent en compte des considérations pratiques, réglementaires, juridiques, économiques et sociales. Deux types de valeurs sont en général proposées : les valeurs repères pour l'air intérieur (VRAI) et les valeurs d'actions rapides (VAR) ;

- Les **valeurs guides de qualité de l'air intérieur sanitaires** (VGAI) pour le dioxyde d'azote, l'acétaldéhyde, le toluène, et l'éthylbenzène, en plus des polluants disposant de valeurs repères. Ces valeurs sont indicatives et proposées par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses, 2013, 2014, 2016, 2018). Ce sont des concentrations d'une substance chimique dans l'air au-dessous desquelles aucun effet sanitaire ni nuisance ayant un retentissement sur la santé pour la population générale en l'état des connaissances actuelles ne sont attendus. Elles sont spécifiques d'une voie d'exposition et d'une durée d'exposition pertinentes en lien avec la survenue d'effets sanitaires. A noter que les VGAI long terme sont établies en considérant une exposition continue 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 dans les environnements intérieurs. Elles ne tiennent pas compte du budget espace-temps-activité, mais prennent en compte l'ensemble des environnements intérieurs fréquentés au quotidien. Les VGAI ciblent tous les environnements intérieurs (logement, ERP, tertiaire) fréquentés par la population générale.
- A défaut d'application possible des valeurs précédentes, des **valeurs guides proposées par l'Organisation mondiale de la santé** (OMS) ont été retenues. Des valeurs guides pour quelques polluants de l'air intérieur ont été proposées en 2010, notamment pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en prenant le benzo(a)pyrène comme marqueur du mélange (OMS, 2010). En 2021, l'OMS a mis à jour les valeurs guides pour des polluants de l'air ambiant (notamment particules et NO₂). Mais, l'OMS spécifie que ces valeurs guides s'appliquent également aux environnements intérieurs.

Des valeurs toxicologiques de références (VTR) sont également disponibles pour certaines substances au regard d'effets sanitaires spécifiques utiles pour l'évaluation des risques. Elles ne sont pas systématiquement traduites en VGAI sanitaires. Ce processus implique notamment une analyse critique par expertise collective de l'ensemble des valeurs guides et des VTR disponibles dans la littérature pour un effet critique et un mécanisme d'action donnés. De ce fait, les VTR seules ne sont pas retenues à ce stade comme valeurs de références pour l'interprétation des niveaux de concentrations observés dans l'air.

La comparaison des concentrations mesurées aux valeurs de référence présuppose que la période représentative de la mesure (ou durée de prélèvement) est identique ou supérieure à la durée d'exposition préconisée qui accompagne la valeur de référence. Cette durée d'exposition est elle-même dépendante de l'effet (le plus souvent sanitaire) auquel la valeur se réfère. Un effet chronique serait susceptible de survenir dans les cas d'exposition sur le long terme (en général au moins un an) à une concentration supérieure à la valeur correspondante. Un effet aigu associé à une durée d'exposition court terme ne pourrait être écarté si la valeur de référence est dépassée. Les durées d'application peuvent être différentes en fonction des polluants (de 15 minutes à 14 jours pour les VGAI court terme de l'Anses).

Pour se comparer à une valeur de référence long terme, applicable pour des durées de plus d'un an, il serait nécessaire de disposer de moyennes annuelles de concentration. Une seule

mesure hebdomadaire n'est pas représentative de la moyenne annuelle qui peut être inférieure ou supérieure à cette valeur. Plusieurs mesures hebdomadaires réalisées tout au long d'une année seraient nécessaires pour approcher la moyenne annuelle. Comparer une concentration hebdomadaire unique à une valeur de référence long terme ne permet pas d'émettre la moindre conclusion.

Le dépassement d'une valeur de référence court terme est avéré si la concentration mesurée est associée à une durée de prélèvement supérieure ou égale à la durée d'exposition court terme indiquée. Par exemple, une concentration hebdomadaire supérieure à une valeur de référence journalière indique que cette dernière a forcément été dépassée au moins une fois sur la semaine. Il est toutefois impossible de quantifier le nombre de dépassements journaliers sur la semaine. Mais, si la concentration mesurée sur une semaine est plus faible que la valeur de référence court terme (définie par exemple sur une durée de 24 heures), il n'est alors pas possible d'écarter la possibilité qu'un dépassement ait pu tout de même avoir lieu sur la semaine, sans pour autant pouvoir l'affirmer.

Par ailleurs, l'absence ou la proportion de dépassement observé est lié à la taille de l'échantillon de logements. En effet, l'absence de dépassement d'une valeur de référence 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, alors qu'aucun dépassement n'avait été observé sur l'échantillon précédent.

De même, une incertitude accompagne toute proportion de dépassement observé. La proportion de dépassement 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 polluants ne sont pas forcément représentées dans l'échantillon de logements enquêtés, même s'il est représentatif des caractéristiques du parc. Ce dernier peut intégrer des logements atypiques et inversement des logements atypiques peuvent ne pas avoir été pris en compte. La proportion de logements en situation de dépassement d'une valeur de référence reste donc une estimation de la part du parc affecté, qui s'accompagne d'une incertitude.

Pour chaque polluant mesuré, une valeur de référence a été retenue en considérant d'une part l'ordre de priorité d'application des valeurs défini précédemment et d'autre part, la cohérence entre la période représentative de la mesure et la durée d'exposition préconisée accompagnant la valeur de référence. De même, les valeurs de référence applicables exclusivement aux établissements recevant du public ont été écartées compte tenu du schéma d'occupation très différent de celui des logements (VRAI de 800 ppm et VAR de 1500 ppm en CO₂ pour les ERP, valeurs limites associées à la surveillance obligatoire de la qualité de l'air dans les ERP). Les valeurs de référence retenues pour chaque polluant sont présentées dans le [Tableau 22](#).

Pour l'acétaldéhyde, des VGAI sanitaires court terme sur une heure et long terme sur plus d'un an ont été proposées (Anses, 2014). Ces deux valeurs ont été traduites en VRAI par le HCSP (2019). Le HCSP précise que la VRAI long terme de 160 µg/m³ protégeant des effets d'irritation respiratoire prolongée, de dégénérescence de l'épithélium olfactif et également de risque de cancer, est immédiatement applicable à partir de mesures réalisées entre 4 et 7 jours. Cette VRAI est donc la valeur de référence retenue à fins de comparaison.

Pour le benzène, la VGAI réglementaire actuellement en vigueur est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme (article R221-29 du code de l'environnement) que l'Anses a recommandé de maintenir⁶⁰ compte tenu notamment des effets cancérogènes dont le mécanisme est considéré comme sans seuil de dose, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de limite en deçà de laquelle l'exposition ne présente aucun risque. Mais, la durée d'exposition associée à cette VGAI réglementaire n'est pas compatible avec la durée des mesures. Elle ne peut pas être retenue pour la comparaison. Les VGAI sanitaires ont été mises à jour en 2024 (Anses, 2024). Trois VGAI de 30, 20 et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, restent inchangées. Elles sont associées à des effets hématologiques non cancérogènes pour des durées d'exposition respectives de 1 à 14 jours, de 14 jours à un an et de plus d'un an. Deux nouvelles VGAI de 6 et $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont associées à des effets cancérogènes (leucémie) sans seuil selon un niveau de risque de 1/100 000 ou de 1/1 000 000 sur la vie entière. Le HCSP a actualisé en octobre 2024 la VRAI du benzène pour donner suite à la mise à jour des VGAI par l'Anses en 2024, en proposant la valeur de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ associée à une durée d'exposition supérieure à 1 an, tout en spécifiant qu'un prélèvement sur 7 jours peut-être mis en œuvre pour la comparaison à cette valeur (HCSP, 2024). Les deux valeurs de référence qui sont retenues à des fins de comparaisons pour le benzène sont la VGAI court terme de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 à 14 jours) et la VRAI de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7 jours).

Pour l'éthylbenzène, deux VGAI sanitaires ont été proposées par l'Anses en 2016 : une VGAI court terme sur 24 heures de $22\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une VGAI long terme de $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour prévenir d'une atteinte du système auditif. LA VGAI court terme de 24 heures est retenue à des fins de comparaison.

Pour le formaldéhyde, la VGAI réglementaire est de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition court terme (article R221-29 du code de l'environnement, 2022). Elle reprend la VGAI sanitaire de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ associée à des effets d'irritation oculaire avec une durée d'application comprise entre 1 et 4 heures (Anses, 2018). Le HCSP a repris cette valeur comme une VRAI, pour des mesures réalisées sur une à quatre heures successives, tout au long de la journée, en période d'occupation. Il propose également une valeur provisoire de gestion de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour des mesures réalisées sur une période de 4,5 à une semaine (HCSP, 2019). Seule cette dernière valeur peut être retenue à des fins de comparaison.

Pour le dioxyde d'azote (NO_2), l'Anses a proposé en 2013 deux VGAI sanitaires de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1 heure et de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition supérieure à l'année avec comme effet critique retenu la survenue de symptômes respiratoires. Dans ces recommandations de 2021, l'OMS a proposé une valeur guide de qualité d'air de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'année et de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures⁶¹. Cette dernière valeur est la seule retenue comme applicable à des fins de comparaison avec les résultats de la CNL2.

Pour les particules fines (fraction $\text{PM}_{2,5}$), l'Anses à ce jour (Anses, 2010) ne recommande pas de VGAI, mais propose d'adopter les valeurs guides proposées par l'OMS en 2006 pour l'air ambiant, exprimées en moyenne annuelle et journalière, comme valeurs de gestion afin de maintenir les niveaux aussi bas que possible. Les effets sur la santé des particules concernent particulièrement les systèmes respiratoire et cardio-vasculaire pour des expositions aussi bien à court qu'à plus long terme. Le HCSP a repris la valeur proposée par l'OMS en moyenne annuelle comme VRAI avec un objectif cible de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2025. Une VAR de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a

⁶⁰ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2024SA0118.pdf>

⁶¹ Plus exactement, il s'agit d'une valeur qu'il ne faudrait pas dépasser sur la journée plus de 3 ou 4 fois par an (99^{ème} centile des valeurs journalières sur l'année).

également été proposée. Il est spécifié qu'un prélèvement sur une semaine dans les conditions normales d'occupation peut être mis en œuvre pour la comparaison à ces valeurs cible et repère (HCSP, 2013). En 2021, l'OMS a mis à jour ses valeurs guides pour l'air ambiant qu'il considère aussi s'appliquer pour l'air intérieur. Pour les particules fines (fraction $PM_{2,5}$), deux valeurs sont proposées : l'une de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'année et l'autre de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures⁶². Les valeurs de référence retenues pour le positionnement des résultats observés dans la CNL2 sont donc la VRAI de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la VAR de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et la valeur guide OMS journalière de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour le radon, la valeur réglementaire correspond au niveau de référence de $300 \text{Bq}/\text{m}^3$ (article R221-29 du Code de l'environnement, 2022). Pour la réduction de l'exposition au radon, le code de la santé publique précise que le niveau de référence est l'activité volumique moyenne annuelle (article R1333-28 du code de la santé publique). La mesure est à réaliser à partir de dispositifs passifs de mesure intégrée du radon dans les conditions garantissant la représentativité du mesurage (Article R1333-30 du code de la santé publique). Les normes AFNOR NF ISO 11665-4 et 11665-8, (2021) recommandent une mesure avec ces dispositifs sur une durée minimale de 2 mois en période hivernale. Cette valeur de référence est retenue pour l'analyse des résultats.

Pour le tétrachloroéthylène, les VGAI ont été mises à jour par l'Anses en 2023. Une VGAI court terme (1 à 14 jours) de $1380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au regard de la baisse des performances dans les tests de coordination et de vigilance reste inchangée. Une nouvelle VGAI moyen terme (14 jours à 1 an) et long terme (plus d'un an) de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est relative à un trouble de la vision des couleurs. Et deux nouvelles VGAI long terme de 40 et $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont associées à des effets cancérigènes sans seuil (adénomes et carcinomes hépatocellulaires) selon le niveau de risque respectif de 1/100 000 et de 1/1 000 000 relatif à une exposition vie entière. Le HCSP s'est basé en 2010 sur les précédentes VGAI de l'Anses pour proposer une VRAI de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une VAR de $1250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toutes deux associées à une exposition long terme. Il est précisé que seuls des effets non cancérigènes sont pris en compte provisoirement en l'attente d'une valeur établie pour des effets cancérigènes. Il est également spécifié que la durée du prélèvement doit aussi être représentative d'une exposition chronique avec une stratégie reposant sur deux prélèvements par capteur à diffusion passive, du lundi au vendredi (voire au samedi), à quelques semaines d'intervalle, quelle que soit la saison (HCSP, 2010). Cette stratégie de mesure n'est donc pas compatible avec une comparaison des données de la CNL2. Il est retenu comme valeur de référence applicable à des fins de comparaison, la VGAI court terme de $1380 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour le toluène, la seule valeur de référence disponible est une VGAI de $20\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ associée à des effets neurologiques sur la vision aigus (24 heures) et chroniques (1 an). Cette valeur de référence est applicable pour le positionnement des résultats de la CNL2.

Pour le trichloroéthylène, les VGAI de l'Anses ont été mises à jour en 2019. Une VGAI intermédiaire de $3200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ associée à une exposition de 14 jours à 1 an sur la base d'un effet rénal reste inchangée. Deux nouvelles VGAI long terme sont également recommandées pour des effets cancérigènes sans seuil liés à l'apparition de carcinomes rénaux respectivement de 10 ou de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ selon le niveau de risque de 1/100 000 ou de 1/1 000 000. Sur cette base, le HCSP a proposé en 2020 une VRAI de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une VAR de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estimables à partir de mesures réalisées de 4,5 à 7 jours. Ces deux valeurs de référence sont retenues à des fins d'interprétation des données de la CNL2.

⁶² *Ibid.*

Le benzo(a)pyrène est considéré comme un traceur du mélange d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par l'OMS, qui propose des valeurs guides pour l'air intérieur associées à des effets sans seuils sur le risque de développer un cancer du poumon de 0,12 et de 0,012 ng/m³ selon un niveau de risque associé de 1/100 000 ou de 1/1 000 000 en vie entière (OMS, 2010). Une autre valeur de référence disponible est la valeur cible dans l'air ambiant de 1 ng/m³ associée à la fraction particulaire PM₁₀ et correspondant à une moyenne annuelle. Ces valeurs couvrent des expositions long terme et ne peuvent pas servir de référence pour des concentrations mesurées à l'échelle de la semaine.

De même le naphtalène, autre HAP, dispose d'une VGAI de 10 µg/m³ associée à des effets chroniques non cancérogènes (irritation nasale) pour une exposition supérieure à un an (Anses, 2009). Le HCSP en 2012 reprend cette valeur comme VRAI pour une exposition long terme et lui adjoint une VAR de 50 µg/m³ sur la même durée d'exposition. Aucune de ces valeurs ne peut être retenue à des fins de comparaison avec les concentrations mesurées dans la CNL2 sur une durée de 2 heures.

Dans le cas du dioxyde de carbone (CO₂), les deux valeurs proposées par le HCSP en 2022 concernent exclusivement les établissements recevant du public (ERP) dans le contexte de surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur. Elles ont pour objectif d'assurer un renouvellement de l'air satisfaisant par apport d'air neuf dans des locaux occupés. Par contre, ces valeurs ne sont pas transposables aux bâtiments résidentiels très différents en termes de schémas d'occupation et de la présence possible de sources de combustion. Ces valeurs n'ont finalement pas été retenues.

Tableau 22. Listes des valeurs de référence retenues à des fins de comparaison

Substance	Valeur de référence		Durée préconisée	Source
Acétaldéhyde	160 µg/m ³	VRAI	4 à 7 jours	(HCSP, 2019)
Benzène	6 µg/m ³	VRAI	7 jours	(HCSP, 2024)
	30 µg/m ³	VGAI	1 à 14 jours	(Anses, 2024)
Ethylbenzène	22 000 µg/m ³	VGAI	24 heures	(Anses, 2016)
Formaldéhyde	30 µg/m ³	VRAI	1 semaine	(HCSP, 2019)
NO ₂	25 µg/m ³	VG OMS	24 heures	(OMS, 2021)
PM _{2,5}	10 µg/m ³	VRAI	7 jours	(HCSP, 2013)
	50 µg/m ³	VAR	7 jours	(HCSP, 2013)
	15 µg/m ³	VG OMS	24 heures	(OMS, 2021)
Radon	300 Bq/m ³	VGAI-R	2 mois*	(Article R221-29 - Code de l'environnement, 2022)
Tétrachloroéthylène	1380 µg/m ³	VGAI	1 à 14 jours	(Anses, 2023)
Toluène	20 000 µg/m ³	VGAI	24 heures	(Anses, 2018)
Trichloroéthylène	10 µg/m ³	VRAI	4,5 à 7 jours	(HCSP, 2020)
	50 µg/m ³	VAR	4,5 à 7 jours	(HCSP, 2020)

*Durée minimum recommandée pour approcher la valeur moyenne annuelle de l'activité volumique du radon (Normes AFNOR NF ISO 11665-4 et 11665-8, 2021)

VAR : Valeur d'action rapide proposée par le HCSP ;

VG OMS : Valeur guide recommandée par l'OMS ;

VGAI-R : Valeur guide de qualité de l'air intérieur réglementaire ;
VGAI : Valeur guide de qualité de l'air intérieur sanitaire proposée par l'Anses
VRAI : Valeur repère pour l'air intérieur proposée par le HCSP ;

Pour les polluants qui sont associés à des effets cancérigènes sans effets de seuil (benzène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, benzo(a)pyrène), il n'existe pas de limite en deçà de laquelle l'exposition ne présente aucun risque. La concentration de ces substances doit être maintenue aussi faible que possible. Par conséquent, l'interprétation des données mesurées a systématiquement fait l'objet d'un point de vigilance.

Pour les polluants ne disposant pas de valeurs de références, il peut être intéressant d'utiliser un centile de distribution élevé, par exemple un P75 ou un P90 (mettant en évidence respectivement les 25 % ou les 10 % des logements avec les valeurs les plus élevées), comme une valeur intrinsèque de positionnement des concentrations.

4.2.2. Comparaison CNL1 – CNL2

4.2.2.1. Méthodologie de comparaison

La comparaison entre la CNL1 et la CNL2 a été réalisée sur :

- Les distributions statistiques des concentrations des substances mesurées à l'intérieur des logements ;
- Les fréquences de détection et de quantification observées à l'intérieur du logement ;
- Les fréquences de dépassement des valeurs de référence observées à l'intérieur du logement (cf. section 4.2.1.5).

La comparaison porte sur les substances mesurées communément dans les deux campagnes nationales CNL1 et CNL2 et dans les mêmes pièces, c'est-à-dire :

- Les aldéhydes : acétaldéhyde, formaldéhyde et hexaldéhyde ;
- Les COV par prélèvement passif : 1,2,4-triméthylbenzène, 1,4-dichlorobenzène, 1-méthoxy-2-propanol, 1-méthoxy-2-propyl acétate, 2-butoxyéthanol, benzène, n-décane, éthylbenzène, n-undécane, styrène, tétrachloroéthylène, toluène, trichloroéthylène et xylènes (méta+para, ortho) ;
- Les particules fines de fraction PM_{2,5} (mesurées et validées uniquement dans 290 logements en CNL1, en soirée de 17h00 à 08h00 le lendemain et les week-ends, pour une durée cumulée de 123 heures sur 7 jours). La comparaison ne peut se faire qu'à l'échelle de l'échantillon ;
- Le radon : valeur maximale de l'activité volumique observée dans les pièces de vie sur une période de 2 mois ;
- Le dioxyde de carbone (CO₂) enregistré toutes les 10 min dans la chambre avec un appareil Q-Track en CNL1 et un Class'Air en CNL2.

Pour les aldéhydes, COV et particules fines, des limites de détection et de quantification communes aux deux campagnes ont été retenues : il s'agit de la valeur maximale entre la limite de détection CNL1 et la limite de détection CNL2, et de même pour la limite de quantification. Les limites de détection et de quantification ne sont pas toujours plus faibles pour la CNL2. Elles sont quelquefois plus importantes du fait d'un niveau résiduel plus important dans les témoins.

Les fréquences de détection et de quantification ont été calculées pour les deux campagnes à partir des limites retenues. De plus, pour le calcul des moyennes géométriques et centiles de distribution, lorsque les valeurs de concentrations étaient inférieures à la limite de détection maximale, elles ont été remplacées par la limite de détection maximale divisée par deux. Aucune imputation n'a été réalisée sur les valeurs comprises entre la limite de détection maximale et la limite de quantification maximale pour chacune des campagnes. En raison de ces traitements réalisés spécifiquement pour la comparaison des deux campagnes, les moyennes géométriques et les centiles des concentrations de la CNL2 peuvent légèrement différer des résultats présentés dans la partie 5. Par souci de facilité de lecture, les résultats de la CNL2 ne sont pas présentés dans les tableaux comparatifs des résultats de la CNL1 et de la CNL2.

Le choix de limites communes permet d'obtenir des résultats comparables entre la CNL1 et la CNL2 en termes de fréquences de détection et de quantification. La comparaison des deux campagnes a donc été réalisée sous l'hypothèse d'égalité des limites de détection et de quantification, en choisissant systématiquement la moins performante (la plus élevée). Les autres différences, comme celles liées aux performances analytiques des laboratoires, notamment une différence dans les incertitudes de mesures, ne sont pas prises en compte. Cet ajustement vise à tenter de mettre plus en avant les autres facteurs non métrologiques pouvant expliquer les éventuelles différences observées.

Les indicateurs statistiques ont été calculés à l'échelle du parc des logements pour toutes les substances, sauf pour les particules fines (fraction massique $PM_{2,5}$). Pour ces dernières, les calculs ont été réalisés uniquement sur l'échantillon de logements enquêtés en raison d'un taux élevé de données manquantes ou invalides dans la CNL1 (49 %). Pour les autres substances, la méthode de redressement réalisé sur la CNL1 a été appliquée à la CNL2 pour limiter l'effet des différences de traitements entre les deux campagnes. Pour la comparaison, la méthode de redressement consiste à calculer les poids logements de la CNL2 comme indiqué dans la partie 4.2.3.2 puis de caler l'échantillon avec les variables de calage utilisées dans la CNL1, c'est à dire le statut d'occupation du ménage, la date de construction de l'immeuble ou de la maison, le type de logement, la région OQAI, la tranche de taille d'unité urbaine, la zone climatique d'hiver et la zone confort d'été (Kirchner et al., 2007). Ce redressement a été réalisé spécifiquement pour la comparaison des deux campagnes, les moyennes géométriques et les centiles des concentrations de la CNL2 peuvent différer des résultats présentés dans la partie 5.

Même si nous avons reproduit la méthode de redressement utilisée dans CNL1, il subsiste une différence méthodologique dans le calcul du poids de sondage des logements. Elle provient du fait que les poids logements avant calage sont estimés de façon différente. Dans le cas de la CNL1, il s'agit du poids d'inclusion du logement dans l'échantillon (poids de tirage sur 3 degrés : la commune, la section cadastrale et la résidence principale ; et dans 32 strates par région et tranche d'unité urbaine pour le tirage des communes). Dans le cas de la CNL2, le calage est appliqué à un poids logements EHIS estimé à partir d'un poids individus déjà redressé et calé. La comparaison entre les deux campagnes fait l'hypothèse que l'impact de cette différence méthodologique est faible devant les variations imputables aux autres facteurs.

Les distributions statistiques des concentrations des substances ont été comparées à l'aide du test de Mann-Whitney Wilcoxon (Wilcoxon, 1945; Yates, 1964). Les fréquences de détection, de quantification et de dépassement des valeurs de référence ont été comparées

via le test de χ^2 de Rao-Scott (Rao, J. N. K. & Scott, A. J., 1984). Les écarts absolus et relatifs entre les médianes et les 95^e centiles de la CNL1 et CNL2 ont également été calculés.

4.2.2.1. Limites de la méthodologie de comparaison

Les aldéhydes et COV ont été mesurés avec la même stratégie de prélèvement dans les deux campagnes nationales et un protocole de mesure similaire. Les échantillonneurs utilisés étaient du même type. Les paramètres d'analyse ont pu varier étant donné que les laboratoires ne sont pas les mêmes. De même, le niveau de fond observé dans les blancs et les témoins a pu varier entre les deux campagnes. Tout cela entraîne des limites de détection et de quantification qui sont différentes entre la CNL1 et la CNL2.

Il en est de même pour la mesure des particules fines $PM_{2,5}$ avec les particularités supplémentaires d'avoir été prélevé avec un débit un peu plus faible (1,8 contre 2 L/min) et de n'avoir pris en compte que les périodes de soirée de 17h00 à 08h00 en semaine et les week-ends sur l'ensemble de la semaine (soit une durée de 123 au lieu de 168 heures) lors de la CNL1. Les différentes périodes prises en compte entre CNL1 et CNL2 peut représenter un biais dans la comparaison des résultats.

La mesure de l'activité volumique du radon a été réalisée avec les mêmes dosimètres et sur une même durée d'exposition de 2 mois. La seule différence vient du fait que pour la CNL1, l'exposition des dosimètres ne se faisait pas exclusivement sur des mois d'hiver contrairement à la CNL2. Une comparaison en intégrant les seuls logements de la CNL1 avec des mesures hivernales a été réalisée. Les écarts avec l'approche intégrant tous les logements de la CNL1 restent mineurs avec un peu plus de valeurs élevées pour la CNL1 en période hivernale qu'en toutes saisons. L'incertitude associée au choix de la période est jugée plutôt faible.

L'enregistrement de la concentration en CO_2 a été faite dans les mêmes conditions dans la chambre de la personne de référence sur 7 jours avec un pas de temps de 10 min. La seule différence vient de l'appareil utilisé, Q-Track pour la CNL1 et Class'air pour la CNL2. La technologie de mesure est la même. Aussi, les résultats entre les deux campagnes sont directement comparables.

La méthodologie d'enquête est différente entre la CNL1 et la CNL2 au regard de l'échantillonnage des logements. Pour les besoins de la comparaison, le redressement des données CNL2 a été réalisé sur les mêmes variables que celles utilisées pour la CNL1. Mais, le redressement s'est fait sur la base des poids individuels de l'enquête EHIS, transformés en poids logement selon la taille des ménages. Alors que le redressement de la CNL1 a pris pour base les poids de tirage (ou poids d'inclusion) des logements à trois degrés (communes, section cadastrale, résidence principale). L'expression des résultats à l'échelle du parc est donc un peu différente entre les deux campagnes, ce qui crée de l'incertitude dans la comparaison.

Les logements enquêtés sont également différents entre les deux campagnes, ce qui augmente l'incertitude, même si la comparaison se faisant à l'échelle du parc minimise cette influence.

Enfin, dans une moindre mesure, le découpage des régions et des communes a évolué depuis 15 ans. Cela peut affecter la manière d'échantillonner les logements et donc la méthodologie d'enquête. L'influence de ce facteur est jugée marginale.

L'ensemble des sources d'incertitudes jouant sur la comparaison n'ont pas pu être maîtrisées, mais leur impact a été jugé faible voire marginal (voir la section 9.10 Evolution des concentrations entre CNL1 et CNL2, pour plus de détails). Les différences observées sont donc principalement associées aux facteurs de variations, qu'ils soient environnementaux ou comportementaux. Quantifier la contribution de ces différents facteurs est un travail plus délicat à mener, d'autant que ces facteurs ne sont pas forcément indépendants les uns des autres.

4.2.3. 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.

4.2.3.1. Sélection des participants à la CNL2

La base de sondage de la CNL2 est constituée par les individus qui ont participé à l'enquête EHIS 2019 (Leduc et al., 2021), totalisant 14 192 individus. Les individus éligibles à la CNL2 sont des adultes vivant en France métropolitaine continentale. Parmi les 14 192 répondants de l'enquête EHIS, 60 individus, soit des mineurs (âgés de 15 à 18 ans) ou des résidents en Corse, ont été exclus de la base. A la fin de l'enquête EHIS, les participants étaient interrogés sur leur propension à participer à la CNL2. Parmi ces adultes éligibles, 3 667 ont consenti à fournir leurs coordonnées pour être contacté afin de participer à la CNL2. Ils ont tous été contactés et 571 logements ont accepté en définitive de participer à l'étude, constituant ainsi l'échantillon final. Ces effectifs sont présentés dans le **Tableau 23**.

Tableau 23. Sélection des participants à la CNL2

Description de la sélection pour la CNL2	Nombre
Répondants à l'enquête EHIS	14 192 individus
Exclus (mineurs ou vivant en Corse)	60 individus
Eligibles à la CNL2	14 132 individus
Consentis à fournir leurs coordonnées pour la CNL2	3 667 logements
Logements enquêtés pour la CNL2	571 logements

4.2.3.2. Calcul des poids logements à partir des poids individus EHIS

Les poids de sondage « individus » de l'enquête EHIS 2019 ont été calculés et fournis par la DREES. Ces poids intègrent la probabilité d'inclusion parmi la population de métropole pour participer à l'enquête EHIS. Le redressement s'est fait en estimant un modèle explicatif du comportement de non-réponse totale puis en réalisant un calage sur marges (Leduc et al., 2021). Le détail du calcul n'est pas disponible.

La première étape du redressement de la non-réponse consiste à transformer le poids de sondage « individus » de l'enquête EHIS en poids de sondage « logement ». Pour cela le poids EHIS de chaque individu est divisé par le nombre de liens, c'est-à-dire par le nombre de personnes de 18 ans ou plus appartenant au même logement que la personne interrogée. Ces liens représentent le nombre de personnes qui auraient pu être tirées au sort dans le logement EHIS.

$$w_{1,i} = \frac{w_{EHIS,j}}{\text{Nombre d'individus de 18 ans ou plus dans le foyer}} \quad (1)$$

$w_{EHIS,j}$: poids de l'individu j EHIS

$w_{1,i}$: poids du logement i EHIS auquel appartient l'individu j .

La distribution des poids est présentée dans le [Tableau 25](#).

4.2.3.3. Pondération liée à la probabilité de fournir ses coordonnées à la suite de l'enquête EHIS

A la fin de l'enquête EHIS, les individus étaient interrogés sur leur propension à participer à la CNL2. La probabilité d'accepter de donner ses coordonnées pour être contacté afin de participer à la CNL2 doit être prise en compte dans le calcul du poids de sondage, et constitue la deuxième étape du redressement dans le calcul des poids. Cette probabilité est modélisée par une régression logistique à partir de variables liées à l'enquête EHIS et fournies par la DREES et des variables de recrutement de la CNL2.

Pour constituer le modèle, l'influence de chacune des variables (cf. [ANNEXE 2](#)) sur la probabilité de transmettre ses coordonnées est évaluée grâce aux tests de Wilcoxon-Mann-Whitney (Wilcoxon, 1945) et du test du Khi2 (Yates, 1964) suivi du test V de Cramer (Cramer, Harald, 1946). Une première sélection de variables est effectuée, seules celles présentant une influence significative au risque de première espèce de 20 % sont retenues. La corrélation entre ces variables est ensuite étudiée en calculant et testant le coefficient de corrélation de Pearson (Pearson, 1900) et en utilisant le test de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952) pour introduire uniquement dans le modèle des variables indépendantes. La liste des variables retenue, présentée en [ANNEXE 2](#), est ensuite introduite dans le modèle de régression logistique suivant :

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2)$$

β_0 : Intercept du modèle.

$\beta_1 X_1 \dots \beta_n X_n$: coefficients et variables explicatives. Des interactions entre les variables pourront également être prises en compte.

ε : bruit du modèle.

Les variables ayant un effet significatif au risque de première espèce de 5% après une sélection avec la méthode « backward » sont :

- des variables socio-démographiques :
 - la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence ;
 - l'âge de la personne de référence au jour de la collecte EHIS ;
 - la situation vis-à-vis du mariage civil de la personne de référence ;
 - le statut de la personne interviewée en tant que personne de référence ;
 - le nombre d'habitants du logement ;
 - le type de logement ;
 - le niveau de vie
- des variables relatives au logement ou au ménage :
 - la gêne liée à la chaleur estivale perçue par le ménage ;
 - la gêne associée aux bruits extérieurs ;
 - la présence de dégâts liés à l'humidité dans le logement
- une variable géographique : la région administrative du logement de l'enquête EHIS ;
- une variable relative à la passation du questionnaire : la durée du questionnaire EHIS.

Le modèle final permet de prédire la probabilité de transmettre ses coordonnées pour chaque logement. A partir de ces probabilités, des groupes de réponse homogène (GRH) sont constitués car ils peuvent être approximativement sans biais (Deroyon, 2017). La méthode des quantiles est utilisée pour élaborer ces groupes. Cette méthode a permis d'explorer différents nombres de groupes homogènes afin d'optimiser la somme des poids. Seize GRH ont été retenus. Puis, une probabilité est estimée pour chaque groupe de réponse homogène et intégrée au poids précédent du logement telle que :

$$w_{2,i} = w_{1,i} \times \left(\frac{1}{p_{1,GRH i}} \right) \quad (3)$$

$w_{2,i}$: poids du logement i ayant accepté de donner ses coordonnées afin de participer à la CNL2.

$w_{1,i}$: poids du logement i EHIS.

$p_{1,GRH i}$: probabilité de réponse commune au groupe de réponse homogène auquel appartient le logement i .

4.2.3.4. Pondération liée à la probabilité de participer à la CNL2

Les logements contactés ont accepté *in fine* de participer ou non à la CNL2. La troisième étape du calcul des poids consiste à intégrer cette probabilité de participation finale dans le redressement. La sélection des variables permettant l'élaboration du modèle de régression logistique suit la même méthode décrite dans le paragraphe précédent (cf. ANNEXE 2). Les variables retenues dans le modèle final sont :

- des variables socio-démographiques :
 - la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence ;
 - le statut d'occupation du logement ;
 - le type de ménage ;

- une variable relative au logement : la surface totale du logement ;
- une variable relative à la passation du questionnaire : le mode de collecte des données.

Des groupes de réponse homogène sont élaborés à l'aide de la méthode des quantiles, cinq GRH ont été retenus. La probabilité de participer a été estimée pour chaque GRH. Le poids d'un logement corrigé de la non-réponse est calculé, tel que :

$$w_{3,i} = w_{2,i} \times \left(\frac{1}{p_{2,GRH i}} \right) \quad (4)$$

$w_{3,i}$: poids du logement i ayant accepté *in fine* de participer à la CNL2.

$w_{2,i}$: poids du logement i ayant accepté de transmettre ses coordonnées afin de participer à la CNL2.

$p_{2,GRH i}$: probabilité de réponse commune au groupe de réponse homogène auquel appartient le logement i .

Après avoir étudié la dispersion des poids, il a été décidé de tronquer les poids finaux $w_{3,i}$ au 99^{ème} centile. Cette étape permet d'atténuer l'influence des valeurs extrêmes sur l'analyse globale et de stabiliser les calculs en réduisant les distorsions potentielles causées par ces valeurs extrêmes, garantissant ainsi une meilleure fiabilité des résultats sans pour autant éliminer ces observations.

4.2.3.5. Calage sur marges

La dernière étape du calcul des poids de sondage consiste à réaliser un calage sur marges. Ce calage est appliqué aux poids corrigés de la non-réponse totale (Sautory, 2018). L'utilisation des poids calés permet de construire des estimateurs cohérents avec les informations déjà disponibles sur le parc de logements en France et donc d'améliorer la précision des estimateurs et de diminuer les biais résiduels. 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).

L'enquête CNL2 s'étendant principalement sur les années 2021 et 2022, les marges utilisées sont moyennées sur ces deux années. Les variables et marges utilisées pour le calage sont présentées dans le **Tableau 24**.

Tableau 24. Marges moyennées 2021/2022 fournies par l'INSEE

Variables	Modalités	Nombre total de logements
Pyramide des âges par sexe	Femme < 29 ans	1 254 238
	Femme [29 ; 49 ans]	3 612 473
	Femme [49 ; 64 ans]	3 781 522
	Femme [64 ; 74 ans]	2 061 553
	Femme ≥ 75 ans	2 534 602

Variables	Modalités	Nombre total de logements
	Homme < 29 ans	1 485 818
	Homme [29 ; 49 ans]	5 907 707
	Homme [49 ;64 ans]	4 548 184
	Homme [64 ; 74 ans]	2 367 335
	Homme ≥ 75 ans	2 158 165
Région (même découpage CNL1)	Bassin parisien (Bourgogne, Centre Val de Loire, Champagne-Ardenne, Normandie, Picardie)	4 769 992
	Centre-Est (Auvergne Rhône-Alpes)	3 725 851
	Est (Alsace, Franche-Comté et Lorraine)	2 472 896
	Île-de-France	5 418 282
	Méditerranée (PACA et Occitanie orientale)	3 593 679
	Nord-Pas-de-Calais	1 876 397
	Ouest (Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes)	4 048 773
	Sud-Ouest (Aquitaine, Limousin et Occitanie occidentale)	3 805 727
Tranche de taille d'unité urbaine (UU)	Commune hors unité urbaine (UU)	6 153 740
	UU de 2 000 à 4 999 habitants	2 005 961
	UU de 5 000 à 4 999 habitants	1 727 870
	UU de 10 000 à 4 999 habitants	1 522 255
	UU de 20 000 à 4 999 habitants	1 847 020
	UU de 50 000 à 4 999 habitants	2 328 209
	UU de 100 000 à 4 999 habitants	1 414 693
	UU de 200 000 à 4 999 habitants	7 726 627
	UU de Paris	4 985 222
Zone climatique hiver	H1	17 449 487
	H2	8 925 167
	H3	3 336 942
Date de construction de l'immeuble/ de la maison	Avant 1919	3 590 348
	De 1919 à 1945	2 566 338
	De 1946 à 1970	6 175 470
	De 1971 à 1990	8 262 595
	De 1991 à 2005	44 097 35
	2006 ou après	4 707 11
Type de logement	Résidence principale individuelle	16 613 527
	Résidence principale collective	13 098 069

Variables	Modalités	Nombre total de logements
Nombre de personnes du ménage	1	11 069 126
	2	9 527 144
	3	3 846 103
	4	3 509 365
	5+	1 759 858
Statut d'occupation	Propriétaire	17 742 851
	Locataire	11 564 391
	Usufruitier, y compris viager, et non réponse	404 354

La méthode « logit » a été choisie pour procéder au calage. Cette méthode garantit des pondérations toujours positives, contribuant à réduire l'écart entre les différentes pondérations. Elle présente l'avantage de définir des bornes inférieures (L) et supérieures (U) assurant une amplitude minimale des facteurs de calage. Les bornes ont été définies grâce à la méthode du « raking ratio » et sont de [0,32 - 2,44]. La distribution finale des poids est présentée dans le [Tableau 25](#).

Tableau 25. Description de la pondération

Estimateurs	Poids logement EHIS	Poids logement corrigé de la non-réponse	Rapport de poids (calé / initial)	Poids redressés et calés
Moyenne	1 959	47 408	1,05	52 034
Variance	1 210 421	3 429 780 911	0,44	6 331 053 680
Ecart type	1 100	58 564	0,66	79 568
Minimum	249	4 322	0,35	2 269
Maximum	9 261	384 568	2,68	727 708
5 ^{ème} centile	819	10 163	0,37	5 063
25 ^{ème} centile	1 289	17 080	0,51	12 112
Médiane	1 631	26 503	0,78	25 505
75 ^{ème} centile	2 299	51 727	1,52	56 127
90 ^{ème} centile	3 367	102 908	2,11	126 520
95 ^{ème} centile	4 096	148 508	2,39	172 868
97,5 ^{ème} centile	4 542	201 661	2,58	266 253
99 ^{ème} centile	5 863	380 659	2,65	404 815
Somme des poids	1 118 655	27 070 145	/	29 711 596

5. ETAT DE LA QAI DANS LES LOGEMENTS EN FRANCE

5.1. Composés organiques volatils (COV)

Description : les composés organiques volatils (COV) sont un ensemble de substances constituées d'atomes de carbone (en général entre 1 et 18) et d'un ou plusieurs éléments suivants : hydrogène, halogène, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques. Ils se caractérisent par une grande volatilité et se répandent aisément dans l'atmosphère. Ils présentent une pression de vapeur de 10 Pa ou plus à 20°C (Directive européenne du 11 mars 1999, relative à la réduction des émissions de COV). Ils forment différentes familles chimiques (hydrocarbures aliphatiques, hydrocarbures aromatiques, alcools, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques, hydrocarbures halogénés, ...).

Principales sources : ils interviennent comme solvant dans la fabrication de nombreux produits du quotidien. Ils sont largement utilisés dans la fabrication de nombreux produits de construction, de matériaux d'aménagement et de décoration (peinture, vernis, colles, nettoyants, bois agglomérés, moquette, tissus neufs, etc.). Certains COV spécifiques sont également utilisés comme agents parfumants ou pour d'autres fonctions dans les produits d'entretien ou même d'hygiène corporelle. Ils sont présents dans les carburants et en sortie de pot d'échappement et sont de ce fait associés au trafic et à la pollution urbaine. Ils sont également retrouvés dans les fumées lors de tous les processus de combustion (de cheminée, tabac, encens, bougies), y compris lors de la cuisson des aliments. Enfin, certains sont également émis par le métabolisme des êtres vivants. Les COV peuvent donc être d'origine biogénique (naturelle) ou anthropique (humaine). Les COV peuvent se retrouver dans l'air intérieur à partir de nombreuses sources intérieures (combustions, tabac, mobilier, matériaux, produits ménagers, occupants) et de sources extérieures au bâtiment avec la proximité au trafic routier et des sources industrielles (par exemple, raffineries, stations essence, etc.) (Santé Canada, 2023).

5.1.1. COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre

Technologie de prélèvement : prélèvement diffusif radial (cartouche Radiello® code 145 – Carbograph 4).

Durée de prélèvement : 7 jours

Lieu de mesure : dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement.

Nombre de substances analysées : 20 COV mesurés pour 19 paramètres (les résultats de m-xylène et p-xylène sont rendus ensemble par le laboratoire comme (m+p)-xylènes du fait de la difficulté de les séparer sur une colonne chromatographique).

Mesurande : concentration en phase gazeuse en moyenne hebdomadaire exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Laboratoire : La Drôme Laboratoire (Valence, 26), accrédité Cofrac (LAB REF 30) pour benzène et tétrachloroéthylène, et accrédité Cofrac (HP ENV) pour toluène, éthylbenzène, xylènes, trichloroéthylène.

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-d8 gazeux). Le mode opératoire du laboratoire répond aux spécifications de la norme NF EN ISO 16017-2 (2003).

Les résultats tiennent compte de la correction en température intérieure ou extérieure du débit de diffusion des COV.

Eléments de contrôle qualité :

- **Rendements d'extraction thermique :**
 - entre 83 ± 28 % pour le 1-méthoxy-2-propyl acétate jusqu'à 119 ± 33 % pour le benzène pour un niveau de dopage proche de la LQ analytique (50 ng) (n = 100).
 - entre 90 ± 22 % pour le 1-méthoxy-2-propanol jusqu'à 104 ± 29 % pour l'alpha-pinène pour un niveau de contrôle de 900 ng sur tube (n = 103).
- **Incertitudes sur points de contrôles :**
 - au niveau 50 ng, l'incertitude relative élargie (k = 2) varie de 12 % (éthylbenzène) à 39 % (alpha-pinène) (n = 100). Cinq COV présentent une incertitude relative élargie supérieure à 30 % au niveau LQ : 1-méthoxy-2-propanol, 1-méthoxy-2-propyl acétate, 2-butoxyéthanol, benzène et alpha-pinène.
 - au niveau 900 ng, l'incertitude relative élargie (k = 2) varie de 12 % (o-xylène) à 30 % (alpha-pinène) (n = 103).
- **Incertitudes globales déterminées par le laboratoire à 25 ng :**
 - Benzène : 29 %
 - Toluène : 25 %
 - Ethylbenzène : 19 %
 - o-Xylène : 20 %
 - (m+p)-Xylènes : 18 % et 36 %
 - Tétrachloroéthylène : 25 %
 - Trichloroéthylène : 37 %
- **Fidélités sur le terrain par l'analyse de 4 réplicats :** le coefficient de variation (CV) maximum observé variait de 5 % (éthylbenzène et trichloroéthylène) à 19 % (limonène et 2-butoxyéthanol), excepté pour le n-undécane qui affiche un CV de 45 % pour des concentrations inférieures à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- **Blancs de terrain :** 60 blancs de terrain ont été analysés pour suivre l'éventuelle contamination résiduelle. Les fréquences de détection au regard de la LD analytique variaient de 15 % à plus de 70 % (benzène et toluène). Ces deux derniers COV ont également dépassé la LQ analytique dans 8 à 10 % des cas. Les teneurs résiduelles variaient entre 12 ± 9 ng/tube (1-méthoxy-2-propanol) à 17 ± 9 ng/tube pour (m+p)-xylènes, sauf pour le benzène et toluène respectivement à 31 ± 24 ng/tube et 27 ± 24 ng/tube. Ces données ont permis d'ajuster la limite de détection de la méthode pour tous les COV. La limite de quantification de la méthode a également été modifiée pour le benzène et le toluène.

5.1.1.1. COV à l'intérieur du logement

Le **Tableau 26** présente les limites de détection et de quantification de la méthode globale de mesures ainsi que leur pourcentage de dépassement pour les 20 COV mesurés. Les résultats sont exprimés au niveau du parc national des résidences principales. Treize COV sont détectés et quantifiés dans plus de 90 % des logements : les hydrocarbures aromatiques monocycliques (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes (les 3 isomères), le 1,2,4-triméthylbenzène, styrène), les terpènes (alpha-pinène et limonène), les alcanes (n-décane et n-undécane) et l'acétate de butyle. A l'inverse les COV halogénés sont très peu détectés (maximum de 23 % pour le 1,4-dichlorobenzène). Les COV oxygénés montrent une fréquence de détection intermédiaire entre 31 % pour le 1-méthoxy-2-propyl acétate jusqu'à 87 % pour le 2-éthyl-1-hexanol.

Tableau 26. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre du logement (champ : parc de résidences principales)

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	0,18	0,23	99,7	97,7
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	0,18	0,23	23,3	19,1
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	0,13	0,17	50,4	50,4
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	0,2	0,25	30,6	29,6
2-Butoxyéthanol	111-76-2	0,3	0,37	51,9	51,9
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	0,27	0,35	86,9	85,8
Acétate de n-butyle	23-86-4	0,16	0,2	97,5	97
alpha-Pinène	80-56-8	0,64	0,78	99,9	99,9
Benzène	71-43-2	0,37	0,37	96	96
Ethylbenzène	100-41-4	0,17	0,21	97,2	96,1
Limonène	138-86-3	0,31	0,39	99,8	99,8
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	0,21	0,23	100	100
o-Xylène	95-47-6	0,18	0,22	97,3	96,8
n-Décane	124-18-5	0,18	0,22	99,4	97,2
n-Undécane	1120-21-4	0,42	0,42	99,3	99,3
Styrène	100-42-5	0,18	0,18	99,8	99,8
Tétrachloroéthylène	127-18-4	0,15	0,2	22,2	18,4
Toluène	108-88-3	0,35	0,35	99,1	99,1
Trichloroéthylène	79-01-6	0,15	0,18	3,65	3,56

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.

La distribution des concentrations hebdomadaires en COV est présentée au **Tableau 27**. Les terpènes (alpha-pinène) et limonène présentent les valeurs médianes les plus élevées, supérieures à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La médiane des autres COV est comprise entre la limite de détection de la méthode et $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Néanmoins, des valeurs très élevées sont observées dans un nombre limité de logements, avec des maximales dépassant $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 12 COV, voire $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le limonène.

Le **Tableau 28** montre la proportion de logements qui dépasse les valeurs de référence retenues relatives au benzène, à l'éthylbenzène, au toluène, au tétrachloroéthylène et au trichloroéthylène. La valeur repère de qualité d'air intérieur (VRAI) du trichloroéthylène de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée dans un seul logement représentant 0,05 % du parc. La valeur d'action rapide (VAR) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en trichloroéthylène n'est par contre jamais dépassée. Un dépassement de la VRAI du benzène de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est observée pour 17 logements (soit 1,35 % du parc). La VGAI associée aux effets non cancérigènes de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène n'est jamais atteinte. Les concentrations en toluène, éthylbenzène et en tétrachloroéthylène ne dépassent jamais leur valeur de référence respective. Mais pour le tétrachloroéthylène, deux logements (0,43 % du parc) affichent une concentration dans l'air supérieure à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, voire supérieure à $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un des logements (0,03 % du parc). Ces deux valeurs correspondent respectivement à une VGAI associée à des effets cancérigènes sans seuil sur une exposition vie entière pour un excès de risque de 1/100000 et à une VGAI moyen terme pour une période d'exposition comprise entre 14 jours et 1 an. Bien que la concentration en tétrachloroéthylène dépasse la valeur $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la semaine, il est impossible d'extrapoler sur une exposition vie entière ou moyen terme pour se comparer à la VGAI.

Pour l'éthylbenzène, même si la valeur de référence retenue n'est jamais dépassée, la concentration est supérieure à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour deux logements (0,15 % du parc). Pour le toluène, la proportion de logements avec une concentration dans l'air supérieure à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est de 1,3 % (8 logements).

Le benzène dépasse la valeur repère de qualité d'air intérieur de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 1,35 % des logements mais la valeur guide de qualité d'air intérieur de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est jamais atteinte.

Le trichloroéthylène dépasse la valeur repère de qualité d'air intérieur de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 0,05 % des logements mais la valeur d'action rapide de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est jamais dépassée.

Tableau 27. Distribution des concentrations hebdomadaires des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre du logement

COV (µg/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	569	<LD	51,4	29658656	0,46	0,75	1,07	[0,88 ; 1,29]	2,05	6,23
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	569	<LD	85,3	29658656	<LD	<LD	<LD	-	<LD	0,55
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	569	<LD	108	29658656	<LD	0,26	0,37	[0,27 ; 0,52]	1,45	7,1
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	569	<LD	68,2	29658656	<LD	<LD	<LD	-	0,36	0,94
2-Butoxyéthanol	111-76-2	569	<LD	138	29658656	<LD	0,52	0,64	[0,49 ; 0,82]	1,99	5,57
2-Ethyl-1-Hexanol	104-76-7	569	<LD	67,9	29658656	0,72	1,31	1,29	[1,07 ; 1,56]	2,88	5,66
Acétate de n-butyl	23-86-4	569	<LD	148	29658656	0,70	1,36	1,68	[1,39 ; 2,02]	3,43	9,48
alpha-Pinène	80-56-8	569	<LD	494	29658656	5,74	11,2	12	[10,5 ; 13,7]	24,7	43,5
Benzène	71-43-2	569	<LD	15,4	29658656	0,78	1,18	1,19	[1,04 ; 1,37]	1,77	3,1
Ethylbenzène	100-41-4	569	<LD	131	29658656	0,39	0,63	0,90	[0,73 ; 1,1]	1,75	3,95
Limonène	138-86-3	569	<LD	1145	29658656	7,38	18,2	15,3	[13,2 ; 17,8]	32,9	57
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	569	0,26	604	29658656	1,12	1,88	2,77	[2,24 ; 3,43]	6,04	17,5
o-Xylène	95-47-6	569	<LD	147	29658656	0,48	0,75	1,06	[0,86 ; 1,30]	2,1	5,5
n-Décane	124-18-5	569	<LD	103	29658656	0,5	0,95	1,19	[0,98 ; 1,45]	2,63	5,81
n-Undécane	1120-21-4	569	<LD	149	29658656	1,34	2,43	2,71	[2,31 ; 3,17]	5,11	10,4
Styrène	100-42-5	569	<LD	8,77	29658656	0,39	0,54	0,59	[0,53 ; 0,65]	0,84	1,42
Tétrachloroéthylène	127-18-4	569	<LD	427	29658656	<LD	<LD	<LD	-	<LD	0,28
Toluène	108-88-3	569	<LD	718	29658656	1,64	2,87	4,15	[3,31 ; 5,21]	9,04	40,5
Trichloroéthylène	79-01-6	569	<LD	18,5	29658656	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; <LD : concentration inférieure à la LDM.

Tableau 28. Comparaison des niveaux des COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence du logement avec leur valeur de référence (champ : parc de résidences principales)

COV	N CAS	Valeur de référence ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	Proportion de logements dans lesquels la concentration > valeur de référence (%)
Benzène	71-43-2	6 ^(a)	400 330	1,35 %
Benzène	71-43-2	30 ^(b)	0	0 %
Ethylbenzène	100-41-4	22 000 ^(b)	0	0 %
Tétrachloroéthylène	127-18-4	1380 ^(b)	0	0 %
Toluène	108-88-3	20 000 ^(b)	0	0 %
Trichloroéthylène	79-01-6	10 ^(a)	13 831	0,05 %
Trichloroéthylène	79-01-6	50 ^(c)	0	0 %

(a) Valeur repère de gestion de qualité de l'air intérieur (HCSP) ; (b) Valeur guide de qualité de l'air intérieur (Anses) ; (c) Valeur d'action rapide recommandée par le HCSP.

La distribution cumulée de la concentration hebdomadaire en benzène est représentée à la **Figure 43** à la fois pour l'intérieur et l'extérieur du logement. Les niveaux intérieurs sont systématiquement légèrement plus élevés qu'en extérieur, mais les écarts restent en général inférieurs à $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

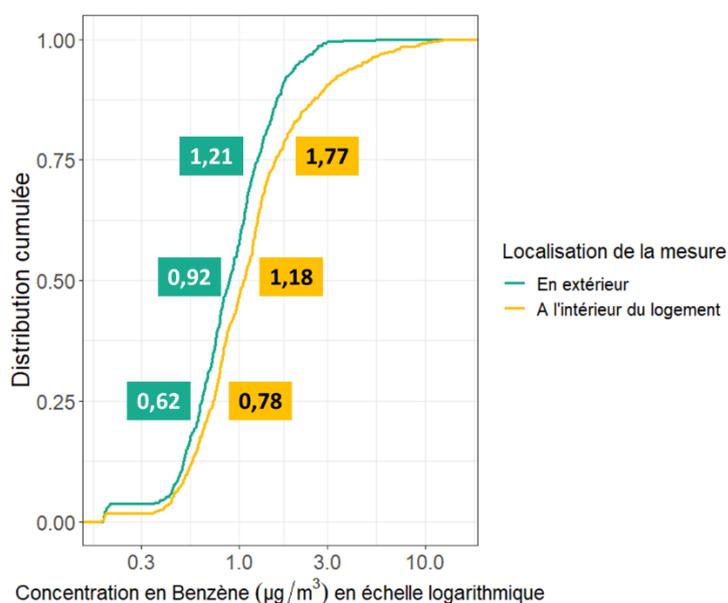


Figure 43 : Distribution cumulée des concentrations hebdomadaires de benzène mesurées dans la chambre et à l'extérieur du logement avec mention des valeurs de P25, P50 et P75.

Les distributions cumulées de concentration hebdomadaire en terpènes et en toluène sont illustrées par la **Figure 44**. Il s'agit des 3 COV cibles avec la médiane de concentration la plus élevée, en particulier pour le limonène.

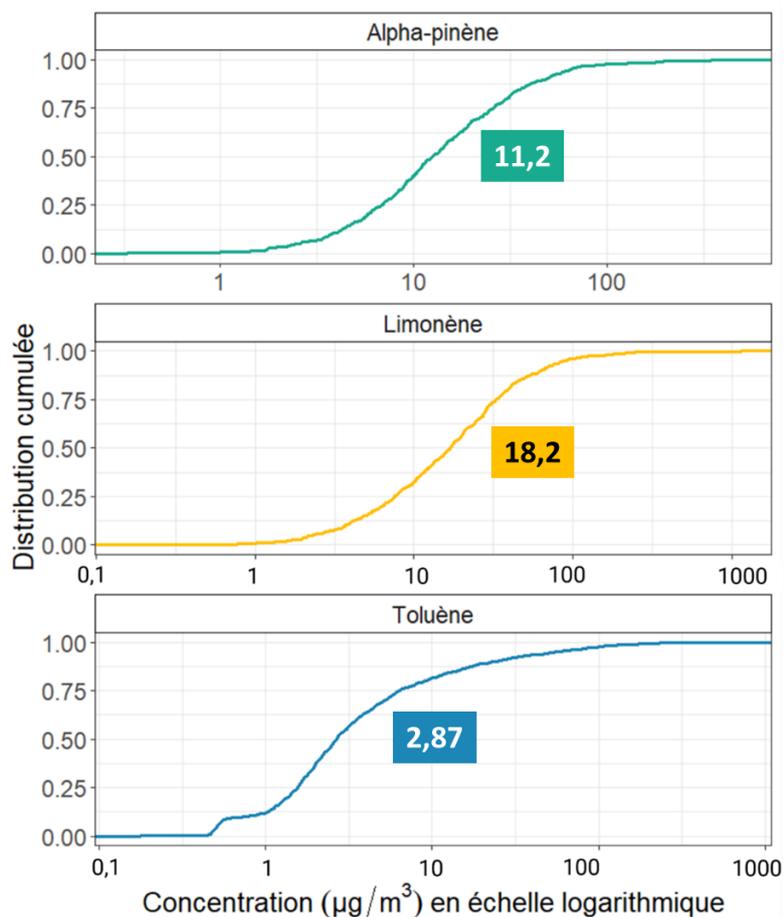


Figure 44 : Distribution cumulée des niveaux de concentrations hebdomadaires de l'alpha-pinène, du limonène et du toluène avec mention de la médiane (P50).

5.1.1.2. COV à l'extérieur du logement

Le **Tableau 29** présente les limites et fréquences de détection et de quantification des COV mesurés à l'extérieur du logement. Pour le benzène, les (m+p)-xylènes et le toluène, les fréquences de détection et de quantification à l'extérieur sont du même ordre qu'à l'intérieur du logement. Les différences les plus notables sont observées pour le 2-éthyl-1-hexanol qui n'est détecté que 11 % du temps à l'extérieur, comme pour le limonène et les terpènes avec respectivement 36 % et 31 % de fréquence de détection dans l'air ambiant. De manière générale pour les autres COV, la fréquence de détection est plus faible à l'extérieur qu'à l'intérieur des logements.

Tableau 29. Limites et fréquences de détection et de quantification des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	0,19	0,24	62	45,4
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	0,18	0,24	1,62	1,29
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	0,13	0,17	8,57	8,18
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	0,21	0,25	5,43	3,63
2-Butoxyéthanol	111-76-2	0,31	0,39	2,5	1,32
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	0,28	0,36	11	4,88
Acétate de n-butyl	23-86-4	0,17	0,21	56	46,2
alpha-Pinène	80-56-8	0,66	0,81	31,2	25,2
Benzène	71-43-2	0,39	0,39	97,2	97,2
Ethylbenzène	100-41-4	0,18	0,22	74,5	60,7
Limonène	138-86-3	0,32	0,4	35,9	28
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	0,22	0,24	96,9	95,4
o-Xylène	95-47-6	0,19	0,23	74,4	65,1
n-Décane	124-18-5	0,19	0,23	58,6	45,5
n-Undécane	1120-21-4	0,43	0,43	66,6	66,6
Styrène	100-42-5	0,18	0,19	51,9	47,5
Tétrachloroéthylène	127-18-4	0,16	0,2	5,64	3,22
Toluène	108-88-3	0,37	0,37	96,8	96,8
Trichloroéthylène	79-01-6	0,15	0,19	0,14	0,13

LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne).

Le **Tableau 30** montre les niveaux de concentrations hebdomadaires des 20 COV mesurés à l'extérieur du logement. Pour six polluants – le 1,4-dichlorobenzène, le 1-méthoxy-2-propanol, 1-méthoxy-2-propylacétate, le 2-butoxyéthanol, le tétrachloroéthylène et le trichloroéthylène – il n'a pas été possible de calculer d'estimateur sauf le maximum car ces polluants n'étaient pas suffisamment détectés et quantifiés dans l'air extérieur. Les concentrations hebdomadaires extérieures sont globalement faibles avec une médiane inférieure à la limite de détection ou de quantification pour 12 COV ou ne dépassant pas $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs les plus élevées ne dépassent pas $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec les maximales les plus hautes pour le limonène, le toluène et le n-undécane.

Aucun COV ne dépasse une valeur de référence en ce qui concerne les concentrations mesurées à l'extérieur du logement (**Tableau 31**).

Tableau 30. Distribution des concentrations hebdomadaires des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement (champ : parc de résidences principales)

COV (µg/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	559	<LD	3,14	28031777	<LD	<LQ	<LQ	-	0,36	0,55
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	559	<LD	0,64	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	559	<LD	15,9	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	559	<LD	2,68	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
2-Butoxyéthanol	111-76-2	559	<LD	2,28	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	559	<LD	2,24	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	0,26
Acétate de n-butyle	23-86-4	559	<LD	15	28031777	<LD	<LQ	<LQ	-	0,35	0,59
alpha-Pinène	80-56-8	559	<LD	18,1	28031777	<LD	<LD	<LD	-	0,83	2,12
Benzène	71-43-2	559	<LD	5,4	28031777	0,62	0,92	0,87	[0,80 ; 0,95]	1,21	1,68
Ethylbenzène	100-41-4	559	<LD	2,93	28031777	<LD	0,26	0,23	[0,21 ; 0,26]	0,36	0,5
Limonène	138-86-3	559	<LD	68,8	28031777	<LD	<LD	<LD	-	0,47	0,95
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	559	<LD	12,8	28031777	0,39	0,68	0,67	[0,59 ; 0,75]	1,09	1,55
o-Xylène	95-47-6	559	<LD	3,5	28031777	<LD	0,31	0,27	[0,24 ; 0,31]	0,45	0,63
n-Décane	124-18-5	559	<LD	5,62	28031777	<LD	<LQ	<LQ	-	0,34	0,61
n-Undécane	1120-21-4	559	<LD	22,3	28031777	<LD	0,58	0,69	[0,59 ; 0,81]	1,42	3,25
Styrène	100-42-5	559	<LD	8,3	28031777	<LD	0,19	<LD	-	0,24	0,30
Tétrachloroéthylène	127-18-4	559	<LD	1,06	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Toluène	108-88-3	559	<LD	24,4	28031777	0,71	1,17	1,14	[1,01 ; 1,27]	1,77	2,76
Trichloroéthylène	79-01-6	559	<LD	0,22	28031777	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD

P : centile ; MG : moyenne géométrique ; IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; <LD : concentration inférieure à la LDM ; <LQ : concentration inférieure à la LQM.

Tableau 31. Comparaison des niveaux des COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement avec leur valeur de référence (champ : parc de résidences principales)

COV	N CAS	Valeur de référence ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	Proportion de prélèvements extérieurs dans lesquels la concentration > valeur de référence (%)
Benzène	71-43-2	6 ^(a)	0	0 %
Benzène	71-43-2	30 ^(b)	0	0 %
Ethylbenzène	100-41-4	22 000 ^(b)	0	0 %
Tétrachloroéthylène	127-18-4	1380 ^(b)	0	0 %
Toluène	108-88-3	20 000 ^(b)	0	0 %
Trichloroéthylène	79-01-6	10 ^(a)	0	0 %
Trichloroéthylène	79-01-6	50 ^(c)	0	0 %

(a) Valeur repère de gestion de qualité de l'air intérieur (HCSP) ; (b) Valeur guide de qualité de l'air intérieur (Anses) ; (c) Valeur d'action rapide recommandée par le HCSP.

5.1.2. COV émergents mesurés par prélèvement actif dans le séjour

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.

Nombre de substances analysées : 23 + 3 paramètres agrégés (somme des COV légers totaux COVL, somme des COV semi-volatils totaux COSV et somme des COV totaux COVT)

Mesurande : concentration en phase gazeuse en moyenne sur 2 heures exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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-d8 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).

La mesure de la somme des COV légers reste indicative, étant donné que ces substances ne sont que modérément retenues sur l'adsorbant Tenax TA. La mesure des COV semi-volatils est également indicative, du fait que les substances sont bien retenues par l'adsorbant Tenax TA, mais leur extraction n'est pas forcément efficace et quantitative.

Éléments de contrôle qualité :

- **Blancs de terrain** : 59 blancs de terrain ont été analysés pour suivre l'éventuelle contamination résiduelle. Les fréquences de détection au regard de la LD analytique variaient de 0 % à 93 % (benzaldéhyde). Les teneurs résiduelles moyennes variaient entre $1,1 \pm 1,6$ ng/tube (1,4-dioxane) à 6 ± 6 ng/tube pour (benzaldéhyde). Ces données ont été utilisées pour ajuster la limite de détection et parfois la limite de quantification de la méthode globale pour tous les COV.

En ce qui concerne les paramètres agrégés COVL, COSV et COVT, les teneurs résiduelles moyennes sont de l'ordre de 169 ± 458 ng/tube (COVL), de 122 ± 99 ng/tube (COSV) et de 80 ± 111 ng/tube (COVT). Pour 7,2 L de prélèvement, cela équivaut à des concentrations résiduelles de 23 ± 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (COVL), de 17 ± 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (COSV) et de 11 ± 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (COVT).

Résultats :

Le **Tableau 32** présente les limites et fréquences de détection et de quantification des 23 COV mesurés dans le séjour par prélèvement actif sur deux heures. Seulement cinq COV sont détectés et quantifiés dans plus de 70 % des logements, il s'agit des siloxanes D4, D5 et D6, de l'éthyle acétate et du toluène. Les COV totaux (COVT) sont également détectés à plus de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans près de 75 % des logements. La somme des COV semi-volatils et celle des COV légers ne dépassent que rarement leurs limites de détection respectives du fait des niveaux de fond fluctuants observés dans les témoins. L'interprétation de ces deux derniers paramètres doit se faire avec précaution, tant les COV légers ne sont que modérément retenus sur l'adsorbant Tenax TA et à l'inverse les COV semi-volatils pas forcément extraits de manière efficace. Ces deux aspects justifient en partie la forte fluctuation observée dans les tubes témoins. Six COV ne sont que très rarement détectés (dans moins de 5 % des logements) : le 1,2 dibromoéthane, la 2-butanone oxime, le bromodichlorométhane, le méthyl eugénol, la p-hydroquinone et le citriodiol. Le naphthalène, HAP gazeux réglementé, est détecté dans 57 % des logements.

Tableau 32. Limites et fréquences de détection et de quantification pour les 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
1,2-Dibromoéthane	106-93-4	0,14	0,41	0,68	0,47
1,2-Dichloroéthane	107-06-2	0,28	0,96	19,5	2,52
1,4-Dioxane	123-91-1	0,57	0,57	8,38	8,38
1-Décanol	107-15-3	0,83	2,75	12,0	2,81
2-Butanone oxime	96-29-7	0,83	2,75	2,87	0,7
Benzaldéhyde	100-52-7	3,28	3,28	35,8	35,8
Benzophénone	119-61-9	0,19	0,41	41,2	9,03
Bromodichlorométhane	75-27-4	0,41	1,38	0,58	0,14
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	0,27	0,41	94,2	88,4
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6	0,36	0,41	75,0	71,5
Ethyl acétate	141-78-6	1,57	1,57	76,4	76,4
Géranol	106-24-1	0,14	0,41	7,55	4,31

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Méthyl eugénol	93-15-2	0,68	1,38	0,33	0
Méthyl méthacrylate	80-62-6	0,28	0,96	9,79	5,4
N,N-Diméthylformamide	68-12-2	1,51	4,95	5,07	0,29
Naphtalène	91-20-3	0,11	0,11	56,7	56,7
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	0,71	0,71	72,1	72,1
Phénol	108-95-2	0,93	0,93	34,7	34,7
p-Hydroquinone	123-31-9	3,03	9,76	0,31	0
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	2,89	9,63	0,22	0,22
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4	0,25	0,41	61,5	60,3
Toluène	108-88-3	1,03	1,03	85,3	85,3
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0	0,28	0,96	53,7	23,5
Somme des COV totaux (C6-C16 / ISO16000-6)	COVT	56,6	56,6	74,7	74,7
Somme des COV légers	COVL	212	212	2,49	2,49
Somme des COV semi-volatils	COSV	57,6	57,6	21,0	21,0

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 33** indique les paramètres descriptifs des niveaux de concentrations des COV prélevés activement. Beaucoup de substances ne sont pas ou peu détectées et quantifiées ce qui ne permet pas de calculer d'estimateurs de distribution. Les siloxanes (D4, D5 et D6), le toluène et les COVT sont bien représentés avec des concentrations allant d'un facteur 5 à 10 entre le 25^{ème} et 75^{ème} centile. Les COVT présentent une concentration médiane de l'ordre de $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui reste plutôt faible et en deçà des valeurs de 300 et $1\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposées en Allemagne respectivement par l'Office fédéral de l'environnement (Umweltbundesamt, 2007) et par l'association d'entreprises indépendantes dans la mesure des polluants des environnements intérieurs en Allemagne (AGÖF, 2013). Pris individuellement, les COV mesurés présentent une valeur médiane qui reste inférieure à $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la médiane de concentration la plus élevée étant observée pour l'éthyl acétate avec $3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des concentrations très élevées, supérieures à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sont néanmoins observées dans un nombre limité de logements pour le benzaldéhyde, les siloxanes D4 et D5, l'éthyl acétate, le toluène et le texanol. La concentration des COV totaux peut dépasser $3\ 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, celle des COV semi-volatils $1\ 600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et celle des COV plus légers $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentration médiane du naphtalène sur deux heures est de $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs les plus élevées dépassent $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans deux logements (0,36 % du parc). Il n'est par contre pas possible de comparer ces mesures réalisées sur deux heures à la valeur de référence associée à une exposition long terme.

Tableau 33. Distribution des concentrations des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

COV (µg/m³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
1,2-Dibromoethane	106-93-4	567	<LD	29,8	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
1,2-Dichloroethane	107-06-2	567	<LD	9,46	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LQ
1,4-Dioxane	123-91-1	567	<LD	4,59	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
1-Décanol	107-15-3	567	<LD	5,47	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LQ
2-Butanone oxime	96-29-7	567	<LD	4,72	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Benzaldéhyde	100-52-7	567	<LD	171	29600966	<LD	<LD	<LD	-	4,42	9,37
Benzophénone	119-61-9	567	<LD	9,9	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LQ	<LQ
Bromodichlorométhane	75-27-4	567	<LD	13,7	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	567	<LD	527	29600966	0,87	2,02	2,67	[2,08 ; 3,43]	8,51	28,8
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6	567	<LD	79,1	29600966	0,31	0,8	0,8	[0,67 ; 0,96]	1,69	3,87
Ethyl acétate	141-78-6	567	<LD	695	29600966	1,7	3,28	3,62	[3,09 ; 4,25]	7,85	18,4
Géraniol	106-24-1	567	<LD	7,35	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Méthyl eugénol	93-15-2	567	<LD	1,2	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Méthyl méthacrylate	80-62-6	567	<LD	18,4	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
N,N-Diméthylformamide	68-12-2	567	<LD	5,83	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Naphtalène	91-20-3	567	<LD	25,3	29600966	<LD	0,12	0,14	[0,12 ; 0,16]	0,25	0,49
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	567	<LD	131	29600966	<LD	1,28	1,28	[1,07 ; 1,53]	2,41	5,56
Phénol	108-95-2	567	<LD	11,7	29600966	<LD	<LD	<LD	-	1,15	1,66
p-Hydroquinone	123-31-9	567	<LD	7,82	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD

COV (µg/m³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	567	<LD	17,1	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4	567	<LD	944	29600966	<LD	0,58	0,61	[0,48 ; 0,77]	1,66	4,35
Toluène	108-88-3	567	<LD	378	29600966	1,51	2,84	3,52	[2,88 ; 4,31]	7,17	27,1
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0	567	<LD	78,7	29600966	<LD	<LQ	<LQ	-	<LQ	2,33
Somme des COV totaux (C6-C16 / ISO16000-6)	COVT	567	<LD	3409	29600966	<LD	108	108	[94,4 ; 123]	218	328
Somme des COV légers	COVL	567	<LD	769	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Somme des COV semi-volatils	COSV	567	<LD	1666	29600966	<LD	<LD	<LD	-	<LD	77,9

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : concentration inférieure à la LDM ; <LQ : concentration inférieure à la LQM.

5.2. Aldéhydes

Description : les aldéhydes représentent une famille de composés organiques volatils (COV) portant un groupement carbonyle. La famille des aldéhydes est souvent identifiée grâce au pouvoir odorant de ses constituants (Atmo Bourgogne-Franche-Comté, 2019). Les aldéhydes les plus légers se distinguent des autres COV par la nécessité d'utiliser une autre technique de prélèvement et d'analyse.

Principales sources : les aldéhydes ont de multiples sources dans les environnements intérieurs car ils rentrent dans la fabrication de certains matériaux de construction et d'isolation et dans de nombreux produits d'usage courant : panneaux de bois à base de résine urée formol et de mélamine formol, matériaux de construction, de décoration, produits de bricolage, produits d'entretien et de désinfection, désodorisants et parfums d'intérieur, cosmétiques, produits d'hygiène corporelle, etc.

Ils sont souvent émis lors des processus de combustions, tels que la cuisson de matières grasses (fritures, etc.), le tabagisme, les bougies et l'encens, ou la cheminée (combustion de biomasse) dans les environnements intérieurs (Atmo Bourgogne-Franche-Comté, 2019).

Les aldéhydes sont présents également dans l'air ambiant extérieur, émis par certains processus industriels, les pratiques sylvicoles et agricoles, les pots d'échappements. Ils sont également émis à de très faibles concentrations par la majorité des êtres vivants. Le formaldéhyde est aussi associé à l'oxydation photochimique des composés organiques volatils (COV) d'origine naturelle (méthane, isoprène, etc.) dans la troposphère. Les concentrations extérieures sont généralement faibles liées en partie au fait que les aldéhydes sont sujets à la photolyse.

Technologie de prélèvement : prélèvement diffusif (cartouche Radiello® code 165 – Florisil® enrobé de 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH)).

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans la chambre de la personne de référence du logement.

Nombre de substances analysées : 3 aldéhydes légers (formaldéhyde, acétaldéhyde et hexaldéhyde).

Mesurande : concentration en phase gazeuse en moyenne hebdomadaire exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Laboratoire : La Drôme Laboratoire (Valence, 26), accrédité Cofrac (LAB REF 30) pour le formaldéhyde, et accrédité Cofrac (HP ENV) pour l'acétaldéhyde en air intérieur.

Méthode analytique : les aldéhydes réagissent avec la 2,4-DNPH pour former des hydrazones qui sont extraits à l'acétonitrile puis analysés en chromatographie liquide haute performance avec une détection dans l'ultraviolet à 360 nm. Le mode opératoire du laboratoire répond aux spécifications de la norme NF EN ISO 16000-4 (2011).

Les résultats tiennent compte de la correction en température du débit de diffusion des aldéhydes.

Éléments de contrôle qualité :

- **Niveaux résiduels dans les cartouches neuves avant utilisation :**

Pour les 9 lots différents utilisés au cours de la campagne, les quantités résiduelles variaient en moyenne entre < LD analytique et 0,1 μg pour le formaldéhyde, entre 0,01 et 0,14 μg pour

l'acétaldéhyde et systématiquement < LD pour l'hexaldéhyde. Pour chaque lot, la quantité moyenne était soustraite du résultat obtenu pour chaque échantillon. Les fluctuations au sein d'un même lot pouvaient être importantes avec des écart-types pouvant atteindre 0,06 µg pour le formaldéhyde et 0,04 µg pour l'acétaldéhyde. Les limites de détection de la méthode ont été ajustées en conséquence.

- **Rendements d'extraction :**
 - entre 102 ± 11 % pour l'hexaldéhyde et 104 ± 5 % pour l'acétaldéhyde à un niveau de dopage proche de la LQ analytique (solution à 0,1 mg/L) (n = 163).
 - entre 102 ± 6 % pour le formaldéhyde jusqu'à 104 ± 6 % pour l'hexaldéhyde à un niveau de contrôle de 1 mg/L (n = 162).
 - entre 103 ± 6 % pour le formaldéhyde jusqu'à 105 ± 7 % pour l'hexaldéhyde à un niveau de contrôle de 5 mg/L (n = 163).
- **Incertitudes sur points de contrôles :**
 - au niveau 0,1 mg/L, l'incertitude relative élargie (k = 2) varie de 6 % (formaldéhyde) à 11 % (hexaldéhyde) (n = 163).
 - au niveau 1 mg/L, l'incertitude relative élargie (k = 2) varie de 6 % (formaldéhyde) à 7 % (acétaldéhyde et hexaldéhyde) (n = 162).
 - au niveau 5 mg/L, l'incertitude relative élargie (k = 2) varie de 7 % (formaldéhyde et acétaldéhyde) à 9 % (hexaldéhyde) (n = 164).
- **Incertitude déterminée par le laboratoire dans le cadre du LAB REF 30 :**
 - 13 % pour le formaldéhyde.
- **Fidélités sur le terrain par l'analyse de 4 réplicats :** le coefficient de variation (CV) maximum observé était inférieur à 7 % pour les trois aldéhydes, sauf pour une situation où le CV était de 28 % pour un niveau de 8 µg/m³ de formaldéhyde.
- **Blancs de terrain :** 66 blancs de terrain ont été analysés pour suivre l'éventuelle contamination résiduelle. Les niveaux résiduels moyens étaient de l'ordre de 0,11 ± 0,03 µg/m³ pour le formaldéhyde et de 0,13 ± 0,04 µg/m³ pour l'acétaldéhyde sur 7 jours. L'hexaldéhyde n'a jamais été détecté dans les blancs de terrain. Ces niveaux restent inférieurs aux limites de détection de la méthode (LDM) respectives de 0,2 et 0,25 µg/m³ pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

Résultats :

La distribution des concentrations du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde et de l'hexaldéhyde à l'échelle du parc des logements sont présentées dans le **Tableau 34** et illustrées par la **Figure 45**. Les fréquences de détection et de quantification supérieures à 99 % indiquent une ubiquité de ces aldéhydes dans les logements. La valeur médiane du formaldéhyde est de **14 µg/m³**, celle de l'acétaldéhyde dans les logements s'élève à **8,3 µg/m³**, tandis que celle de l'hexaldéhyde se situe à **12,3 µg/m³**. Les valeurs les plus élevées observées sont de l'ordre de 80 µg/m³ pour l'hexaldéhyde, de 53 µg/m³ pour le formaldéhyde et de 46 µg/m³ pour l'acétaldéhyde.

Les valeurs obtenues ont été comparées aux valeurs de référence existantes, à l'exception de l'hexaldéhyde qui n'en possède pas. **Pour le formaldéhyde, la valeur de gestion provisoire de 30 µg/m³ en formaldéhyde proposée par le HCSP sur une durée de 4,5 à 7 jours (HCSP, 2019) est dépassée dans 6,1 % des logements.**

Pour l'acétaldéhyde, la valeur repère de qualité de l'air intérieur (VRAI) de 160 µg/m³ proposée par le HCSP et mesurable par des prélèvements de 4 à 7 jours, n'est jamais dépassée dans l'échantillon de logements.

Tableau 34. Fréquences de détection et de quantification, et distribution des concentrations des 3 aldéhydes mesurés dans la chambre du logement et comparaison avec leur valeur de référence

Aldéhydes (µg/m ³)	Acétaldéhyde	Formaldéhyde	Hexaldéhyde
N CAS	75-07-0	50-00-0	66-25-1
LDM	0,24	0,20	0,40
LQM	0,24	0,20	1,09
%>LDM	100	99,7	100
%>LQM	100	99,7	99,7
N échantillon	571	571	571
Min échantillon	0,63	<LD	<LQ
Max échantillon	45,7	52,8	80,1
N parc national de logements	29 711 595	29 711 595	29 711 595
P25	5,39	9,67	8
Médiane	8,27	14,0	12,3
MG	8,38	13,6	12,3
IC 95%	[7,58 ; 9,27]	[12,6 ; 14,7]	[11,2 ; 13,5]
P75	12,3	20,0	19,1
P90	19,4	25,8	28,7
Valeur de référence	160 ^(a)	30 ^(b)	ND
Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	0	1 825 490	-
Proportion de logements pour lesquels la concentration > valeur de référence (%)	0 %	6,14 %	-

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQ : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; (a) Valeur repère de qualité de l'air intérieur (HCSP) ; (b) Valeur de gestion provisoire du HCSP. ND : non disponible.

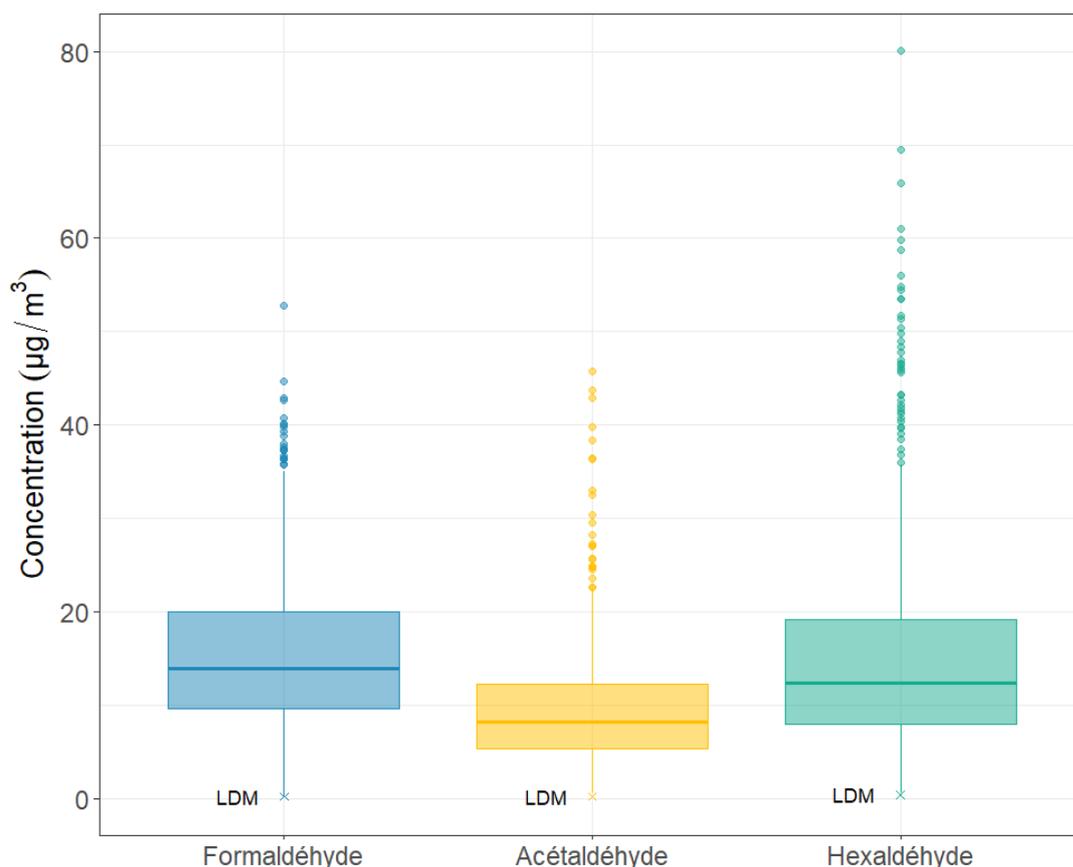


Figure 45: Distribution des niveaux de concentration des aldéhydes (LDM : limite de détection de la méthode)

5.3. Dioxyde d'azote (NO₂)

Description : le dioxyde d'azote (NO₂) est un composé chimique gazeux qui fait partie de la famille des oxydes d'azote (NO_x). Il est plus lourd que l'air et possède une odeur piquante caractéristique (Choi et al., 2010).

Principales sources : dans les environnements intérieurs les sources principales de NO₂ sont les cuisinières à gaz et les appareils de chauffage ou de production d'eau chaude, en cas de raccordement à l'extérieur défaillant. Le tabagisme et toute forme de combustion incomplète peut également former du NO₂. Il est également formé par la réaction très rapide entre le monoxyde d'azote et l'ozone. La principale contribution de NO₂ dans les environnements intérieurs reste généralement les apports de l'air extérieur : trafic routier, sources industrielles et photochimie (Anses, 2013).

Technologie de prélèvement : échantillonneur passif de type Passam Ag ® contenant un réactif, la triéthanolamine.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement

Mesurande : concentration en phase gazeuse en moyenne hebdomadaire exprimée en µg/m³.

Laboratoire : Service parisien de santé environnementale – laboratoire des polluants chimiques (SPSE-LPC), Paris 13^{ème}

Méthode analytique : le NO₂ réagit avec la triéthanolamine pour former des nitrites qui sont extraits en phase aqueuse et analyse par spectrophotométrie à 542 nm (méthode de Griess-Saltzman). Le mode opératoire répond aux spécifications de la norme NF EN 16339 (AFNOR, 2013).

Eléments de contrôle qualité :

- **Niveau résiduel sur les cartouches neuves avant utilisation :** pour les 4 lots différents utilisés au cours de la campagne, les quantités résiduelles moyennes étaient systématiquement inférieures à la LD analytique. Aucune fluctuation n'a été observée au sein de 4 lots, mise à part une valeur extrême à 0,06 µg dans un des lots, mais qui n'a pas été confirmée par de nouvelles mesures.
- **Blancs de terrain :** 65 blancs de terrain ont été analysés pour suivre l'éventuelle contamination résiduelle. Les niveaux résiduels moyens étaient de l'ordre de 8 ± 11 ng par tube ce qui a conduit à augmenter la LDM de 20 à 42 ng (soit 4,4 µg/m³). La limite de quantification de la méthode (LQM) a été remontée en conséquence à 4,4 µg/m³.
- **Fidélités sur le terrain par l'analyse de 3 réplicats :** le coefficient de variation (CV) observé variait entre 3 % et 11 % pour des concentrations comprises entre 4,7 et 17,8 µg/m³.
- **Comparaison terrain avec un analyseur par chimiluminescence :** entre décembre 2020 et décembre 2022, le laboratoire a réalisé des mesures hebdomadaires conjointes du NO₂ dans l'air ambiant à l'aide d'échantillonneurs passifs sur les mêmes sites que les stations de surveillance de la qualité de l'air (mesure du NO₂ par analyseur à chimiluminescence, Airparif). Sur les 114 semaines au cours desquelles les mesures conjointes ont été réalisées, l'écart moyen avec la mesure de référence était de -0,3 ± 5,7 µg/m³ (-22 à +16 µg/m³) soit un écart relatif moyen de -7 ± 17 % (-71 % à +59 %) pour des concentrations comprises entre 11 et 65 µg/m³. L'adéquation des mesures par diffusion avec les mesures de l'analyseur était correcte : pente de 0,9727, fonction linéaire et R² = 0,969).

Résultats :

La distribution des concentrations de NO₂ mesurées dans la chambre de la personne de référence ainsi qu'à l'extérieur du logement est présentée au **Tableau 35**, accompagnée des fréquences de détection et de quantification. Les distributions cumulées de concentration intérieure et extérieure sont représentées à la **Figure 46**. Parmi les 571 échantillons, un seul n'a pas pu être analysé. Le NO₂ est détecté dans les logements à des concentrations supérieures à 4,4 µg/m³ dans plus de 71 % des logements et plus de 63 % des prélèvements extérieurs. A l'échelle du parc national de résidences principales, la médiane de NO₂ est de **8 µg/m³**. La valeur la plus élevée dépasse 100 µg/m³ et est observée dans un seul logement.

Les concentrations mesurées dans les logements ont été comparées à la valeur guide fixée par l'OMS pour l'air ambiant et l'air intérieur à 25 µg/m³ sur 24 heures. **Cette valeur de référence en NO₂ est dépassée dans 2,95 % des logements. Ce qui implique pour ces**

logements qu'un dépassement journalier a été observé au moins une fois sur la semaine. Les dépassements de cette valeur sont plus fréquents en extérieur (7,42 % des prélèvements).

Tableau 35. Fréquences de détection et de quantification, et distribution des concentrations de NO₂ dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales)

NO ₂ (µg/m ³)	Chambre	Extérieur
N CAS	10102-44-0	
LDM	4,38	4,73
LQM	4,38	4,73
%>LDM	71,4	63,7
%>LQM	71,4	63,7
N échantillon	570	558
Min échantillon	<LDM	<LDM
Max échantillon	104	48,5
N parc national de logements	29 701 054	28 219 045
P25	<LDM	<LDM
Médiane	8,01	7,47
MG	6,75	6,83
IC 95%	[6,03 ; 7,56]	[5,83 ; 8,01]
P75	13,0	15,8
P90	18,3	23,2
Valeur de référence	25 ^(a)	25 ^(a)
Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	874 962	2 093 565
Proportion de logements pour lesquels la concentration > valeur de référence (%)	2,95 %	7,42 %

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; (a) valeur guide journalière recommandée par l'OMS (2021).

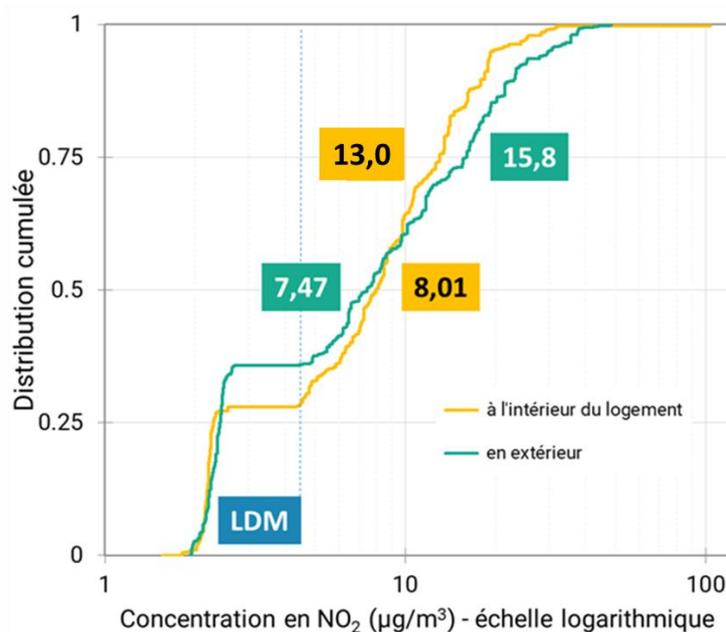


Figure 46 : Distribution cumulée des niveaux de concentration en NO₂ à l'intérieur et à l'extérieur du logement (médiane et 75^{ème} centile, LDM : limite de détection)

5.4. Particules (PM_{2.5})

Description : La fraction gravimétrique PM_{2,5} en particules (OMS, 2021) représente les particules solides ou liquides en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm (pour une efficacité de collecte de 50 %). C'est la fraction de particules qui reste en suspension dans l'air le plus longtemps, au contraire des plus grosses particules qui sédimentent plus rapidement.

Principales sources : les particules fines peuvent être émises directement dans l'air par des activités anthropiques (industrie, résidentiel, agriculture, transports, etc.) et par des sources naturelles (feux de forêt, éruptions volcaniques, etc.). Leur formation est le plus souvent liée à des processus de combustion, mais certains processus mécaniques peuvent en générer ou les remettre en suspension (frictions, vibrations, chocs, ...). Elles peuvent également se former directement dans l'atmosphère par réactions physico-chimiques entre des polluants gazeux. Le secteur résidentiel, le chauffage au bois en particulier, et le trafic sont les principaux émetteurs de PM_{2,5} dans l'air ambiant en France (Ministère de la transition écologique et solidaire et Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, s. d.). Dans les environnements intérieurs, la fumée de tabac et les activités de cuisson sont les principales sources d'émission de particules fines. La combustion du bois (cheminées, poêles à bois) peut également y contribuer dans certaines situations.

Technologie de prélèvement : le prélèvement est réalisé par pompage actif de l'air à un débit de 2 L/min au moyen d'une tête de prélèvement (PEMS, Ecomesure) adaptée à la collecte de la fraction PM_{2,5} sur un filtre (membrane) en téflon PTFE pré-pesé de 37 mm de diamètre (2 µm de porosité, type Teflo avec anneau en polypropylène).

Durée de prélèvement : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour principal du logement

Laboratoire : Plateforme TIPEE (Lagord, 17)

Mesurande : concentration dans l'air en moyenne hebdomadaire exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Méthode analytique : méthode gravimétrique selon la norme NF EN 12341 (AFNOR, 2023). La pesée des filtres s'est effectuée dans une salle de pesée régulée en température ($20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) et humidité ($50 \pm 5 \%$) à l'aide d'une balance de précision dont la résolution est de $10 \mu\text{g}$. Les filtres étaient pesés une première fois après 48 heures de conditionnement dans la salle de pesée (pesée 1), puis une seconde fois 24 heures après (pesée 2). La masse du filtre correspond à la masse moyenne des deux pesées.

Éléments de contrôle qualité :

- **Suivi de performance de pesée sur filtre vierge :** la masse de 5 filtres vierges a été suivie chaque semaine entre fin novembre 2020 et fin février 2023 (107 doubles pesées). Le coefficient de variation était au maximum de 0,01 % (pour un écart-type de $11 \mu\text{g}$) avec une amplitude maximale de variation de 40 à $70 \mu\text{g}$.
- **Fidélité des pesées successives :** Avant prélèvement, 705 filtres ont été pesés successivement deux fois. La différence moyenne était de $10 \pm 9 \mu\text{g}$ (0 à $40 \mu\text{g}$) pour une tolérance fixée à $40 \mu\text{g}$. Après prélèvement, la double pesée successive de 608 filtres a conduit à une différence moyenne de $14 \pm 12 \mu\text{g}$ (0 à $100 \mu\text{g}$) pour une tolérance fixée à $60 \mu\text{g}$. Cette tolérance n'a été dépassée qu'une seule fois.
- **Blancs de terrain :** La différence de masse observée (après – avant prélèvement) pour les 63 filtres témoins était en moyenne de $6 \pm 18 \mu\text{g}$ (-35 à $+65 \mu\text{g}$). Les fluctuations observées ont conduit à augmenter la limite de détection de la méthode (LDM) à $60 \mu\text{g}$ (soit $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un prélèvement de 20 m^3).

Résultats :

La distribution des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ mesurées dans le séjour du logement de la personne de référence, est présentée au **Tableau 36** avec les fréquences de détection et de quantification. La distribution cumulée de la concentration est représentée à la **Figure 47**. Parmi les 571 échantillons, 56 (9,8 %) ne sont pas exploitables. Les particules fines sont retrouvées quasi-systématiquement dans tous les logements (99,5 %). A l'échelle du parc national de résidences principales, la médiane de $\text{PM}_{2,5}$ est de **$13,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les concentrations maximales en particules fines peuvent dépasser $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour 15 logements) et même $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 logement).

La comparaison des concentrations observées en $\text{PM}_{2,5}$ avec la valeur cible de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposée par le HCSP montre que cette valeur de référence est dépassée pour 70 % des logements. Pour près de 11 % des logements, la concentration moyenne hebdomadaire dépasse la valeur d'action rapide proposée par le HCSP de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur maximale journalière recommandée par l'OMS de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été dépassée au moins une fois sur la semaine dans 43,3 % des logements. Plus de 96 % des logements affichent une concentration moyenne hebdomadaire supérieure à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'extrapolation sur l'année pour se comparer à la valeur guide annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandée par l'OMS n'est toutefois pas possible.

Tableau 36. Distribution des concentrations de PM_{2,5} dans le séjour du logement et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales)

PM _{2,5} (µg/m ³)	
LDM	3,0
LQM	3,0
%>LDM	99,5
%>LQM	99,5
N échantillon	515
Min échantillon	<LD
Max échantillon	621
N parc national de logements	27 291 803
P25	9,46
Médiane	13,2
MG	15,9
IC 95%	[14 ; 18]
P75	22,4
P90	52,8
Valeur de référence	10 ^(a)
Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	19 184 393
Proportion de logements pour lesquels la concentration > valeur de référence (%)	70,3 %
Valeur de référence	15 ^(b)
Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	11 821 074
Proportion de logements pour lesquels la concentration > valeur de référence (%)	43,3 %
Valeur de référence	50 ^(c)
Effectif de logements avec dépassement de la valeur de référence	2 963 544.
Proportion de logements pour lesquels la concentration > valeur de référence (%)	10,9 %

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne); LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; (a) Valeur cible proposée par le HCSP à l'horizon 2025 (HCSP, 2013) ; (b) Valeur guide en moyenne

PM_{2,5} (µg/m³)

journalière en air ambiant OMS 2021 ; (c) Valeur d'action rapide proposée par le HCSP en 2013.

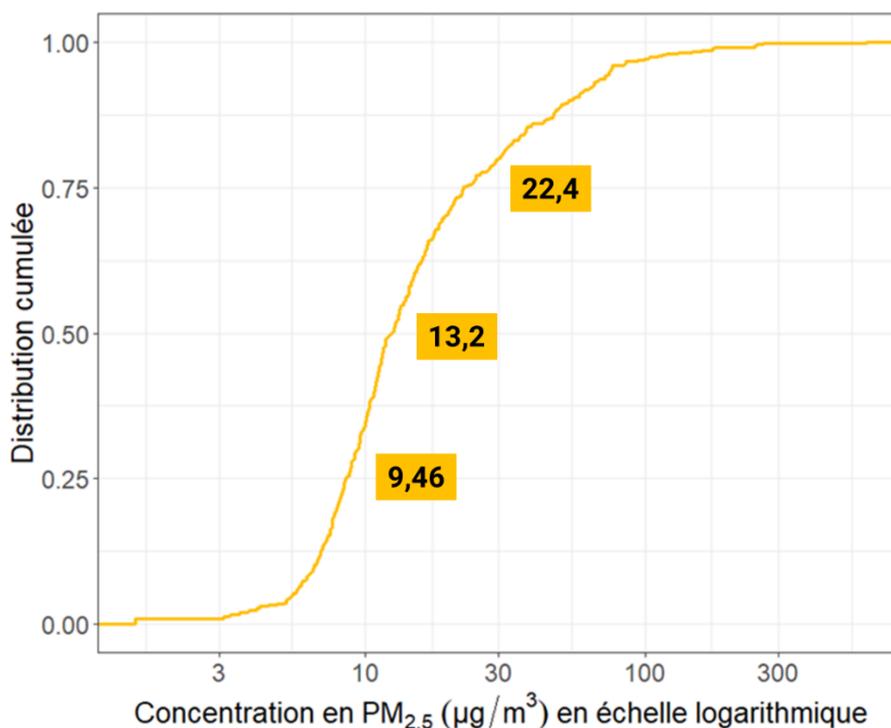


Figure 47 : Distribution cumulée des niveaux de concentration en PM_{2,5} avec indication du 25^{ème} centile, de la médiane et du 75^{ème} centile.

5.5. Dioxyde de carbone (CO₂)

Description : le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz incolore et inodore à température ambiante et à pression atmosphérique. Il est omniprésent dans l'air ambiant, d'une part du fait de sources naturelles (respiration des êtres vivants, animaux comme végétaux, activité volcanique, incendies de forêts) et de sources anthropiques (transports, industries, agriculture, résidentiel-tertiaire et secteur de l'énergie et du chauffage).

Principales sources : dans les environnements intérieurs, en particulier en milieu résidentiel, le CO₂ provient essentiellement de l'air exhalé par la respiration des occupants et dans une moindre mesure, de l'utilisation d'appareils de combustion (INSPQ, 2021). Sa concentration peut varier en fonction du métabolisme de chaque individu (variant avec l'activité pratiquée), de la densité d'occupation, de la durée d'occupation, du volume de la pièce, et du renouvellement de l'air de la pièce.

Technologie : Absorption dans l'infrarouge non dispersif (NDIR). Enregistreur Class'air (Pyrescom).

Durée de mesure : en continu sur 7 jours

Pas de temps : 10 minutes

Lieu de mesure : dans la chambre de la personne de référence du logement.

Mesurandes :

- Concentration (ou rapport de mélange) dans l'air en moyenne hebdomadaire exprimée en ppm (valeur compensée en pression) ;
- Concentration (ou rapport de mélange) maximale horaire glissante sur la semaine exprimée en ppm (valeur compensée en pression) ;
- Moyenne des 60 valeurs les plus élevées sur les périodes nocturnes comprises entre 01h00 et 05h10 ;

Toutes les périodes d'occupation ou d'inoccupation du logement sont prises en compte dans les calculs. La première et la dernière heure d'enregistrement sont écartées pour les différents calculs. La valeur de concentration prise en compte est compensée de la pression atmosphérique.

Éléments d'incertitude :

- **Incertitude de l'appareil** : \pm (50 ppm + 3 % de la valeur lue)
- **Intercomparaison à mi-parcours** : A l'issue de la première vague d'enquêtes, 31 capteurs Class'air utilisés dans le cadre de la campagne ont fait l'objet d'un test de comparaison à une atmosphère chargée à différents niveaux de référence en CO₂ :
 - Au niveau bas de 401 ppm, le niveau moyen observé était de 423 ± 29 ppm (367 à 475 ppm) pour les 31 Class'air, soit un écart moyen de +29 ppm (tolérance de 70 ppm). L'incertitude élargie ($k = 2$) qui en découle est de ± 74 ppm (18,4 %).
 - Au niveau haut de 2421 ppm, le niveau moyen observé était de 2557 ± 70 ppm (2427 à 2618 ppm) pour 20 Class'air, soit un écart moyen de +127 ppm (tolérance de 171 ppm). L'incertitude élargie ($k = 2$) qui en découle est de ± 278 ppm (11,5 %).
 - Au niveau haut de 2487 ppm, le niveau moyen observé était de 2548 ± 56 ppm (2515 à 2681 ppm) pour 10 Class'air, soit un écart moyen de +85 ppm (tolérance de 174 ppm). On peut en déduire une incertitude élargie de ± 206 ppm à ce niveau (soit 8,3 %).
 - A la suite de l'intercomparaison, les appareils ont été réajustés. Deux capteurs présentaient des écarts hors tolérances très importants et n'ont pas été considérés pour le calcul d'incertitude. Un facteur de correction moyen a été calculé et répercuté rétrospectivement sur les mesures effectuées sur le terrain par ces deux capteurs.
- **Intercomparaison en fin de campagne** : A l'issue du terrain de la campagne, 16 capteurs Class'air utilisés en vague 2 de la campagne ont fait l'objet d'un test de comparaison à une atmosphère chargée à différents niveaux de référence en CO₂ :
 - Au niveau bas de 401 ppm, le niveau moyen observé était de 396 ± 33 ppm (336 à 465 ppm) pour les 16 Class'air, soit un écart moyen de -5 ppm (tolérance de 70 ppm). L'incertitude élargie ($k = 2$) qui en découle est de ± 69 ppm (17,2 %).
 - Au niveau haut de 2421 ppm, le niveau moyen observé était de 2470 ± 46 ppm (2386 à 2549 ppm) pour 16 Class'air, soit un écart moyen de +49 ppm (tolérance de 171 ppm). L'incertitude élargie ($k = 2$) qui en découle est de ± 137 ppm (5,6 %).
 - Aucun capteur n'a fait l'objet de correction à appliquer rétrospectivement sur les mesures réalisées en vague 2.

Résultats :

Le **Tableau 37** présente la distribution des concentrations moyennes hebdomadaires de CO₂ dans la chambre de la personne de référence du logement ainsi que la limite de mesure basse en intégrant les périodes d'occupation et d'inoccupation. La concentration moyenne hebdomadaire de CO₂ varie de 413 à 2 834 ppm. Rapportée à l'échelle du parc de résidences principales, la concentration médiane est de 783 ppm.

Tableau 37. Distribution des concentrations moyennes hebdomadaires de CO₂ dans la chambre principale du logement (champ : parc de résidences principales)

CO ₂ - moyenne hebdomadaire (ppm)	
N CAS	124-38-9
Limite de mesure basse	50
N échantillon	523
Min échantillon	413
Max échantillon	2 834
N parc national de logements	27 226 947
P25	633
Médiane	783
MG	821
IC 95%	[768 ; 878]
P75	1 069
P90	1 317

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

Deux autres indicateurs utilisés lors de la CNL1 ont été calculés : la valeur maximale des moyennes glissantes sur 1 heure (**Tableau 38**) et la moyenne des 60 plus fortes valeurs comprises entre 1h00 et 5h10 (**Tableau 39**).

La concentration maximale horaire en CO₂ est de 1 604 ppm pour la moitié du parc de résidences principales et dépasse 2 360 ppm dans 25 % des logements. Elle dépasse 5 000 ppm pour 4 logements représentant 3 % du parc.

Le calcul de la moyenne des 60 plus fortes valeurs comprises entre 01h00 et 05h10 permet de lisser les concentrations de CO₂ sur les différentes périodes nocturnes de la semaine, afin de pas être dépendant d'un évènement unique survenu au cours de la semaine. La distribution de cette moyenne représentant une dizaine d'heures en période nocturne varie de 435 à 4 738 ppm, avec une valeur médiane à l'échelle du parc de 1 271 ppm.

Tableau 38. Distribution des concentrations maximales horaires de CO₂ dans la chambre de la personne de référence du logement (champ : parc de résidences principales)

CO ₂ – maximale horaire (ppm)	
N CAS	124-38-9
Limite de mesure basse	50
N échantillon	523
Min échantillon	506
Max échantillon	5 153
N parc national de logements	27 226 947
P25	1 070
Médiane	1 604
MG	1 635
IC 95%	[1 493 ; 1 791]
P75	2 360
P90	3 437

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

Tableau 39. Distribution de la moyenne des 60 plus grandes valeurs de CO₂ comprises entre 1h00 et 05h10 du matin dans la chambre de la personne de référence du logement (champ : parc de résidences principales)

CO ₂ – moyenne 01h00-05h10 (ppm)	
N CAS	124-38-9
Limite de mesure basse	50
N échantillon	523
Min échantillon	435
Max échantillon	4 728
N parc national de logements	27 226 947
P25	831
Médiane	1 271
MG	1 301
IC 95%	[1 184 ; 1 429]
P75	1 831
P90	2 875

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

5.6. Composés organiques semi volatils (COSV)

5.6.1. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Description : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont composés d'atomes de carbone et d'hydrogène constitués de deux ou plusieurs cycles aromatiques fusionnés. A température ambiante, les HAP sont des composés semi-volatils présents à la fois en phase gazeuse et en phase particulaire dans l'air. Les caractéristiques physico-chimiques, notamment la pression de vapeur des composés, varient avec l'augmentation du nombre de cycles aromatiques et le poids moléculaire. Les composés ayant deux ou trois cycles aromatiques (acénaphène, fluorène, phénanthrène) sont les plus volatils et retrouvés le plus souvent en phase gazeuse. Les composés avec quatre cycles ou plus sont moins volatils et donc plus associés à la phase particulaire. Le benzo(a)pyrène (BaP) est le composé le plus étudié et le plus connu quant à sa toxicité sur la santé humaine. Il est classé cancérigène certain par le CIRC pour le cancer du poumon depuis 2002 (Choi et al., 2010; Dybing et al., 2015).

Principales sources : les HAP sont naturellement présents dans le charbon et le pétrole. Ils sont également émis par toute combustion incomplète de matières organiques. Dans les environnements intérieurs, ils peuvent provenir à la fois de sources intérieures comme extérieures au bâtiment. Les sources intérieures de HAP sont la cuisine, le chauffage domestique avec combustion de biomasse (poêles à bois, cheminées à foyer ouvert), le tabagisme, ainsi que l'utilisation d'encens ou de bougies (Choi et al., 2010). A l'extérieur des bâtiments, les HAP proviennent de sources naturelles comme les feux de forêt mais aussi et surtout de sources anthropiques comme le trafic routier, le chauffage résidentiel, les sources industrielles (raffineries, production de bitume et d'asphalte, centrales à charbon), et les usines d'incinération d'ordures ménagères (Choi et al., 2010; Dybing et al., 2015).

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique $PM_{2,5}$). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 15. Le naphthalène essentiellement gazeux n'est pas mesuré avec cette technique analytique. Il a été mesuré avec les COV par prélèvement actif sur une durée de 2 heures (voir section 5.1.2).

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé (LERES) de l'École des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse des composés organiques par cette technique d'analyse qui comprend notamment acénaphène, anthracène, benzo(a)pyrène, fluoranthène, fluorène, phénanthrène et pyrène. La portée d'accréditation a été étendue aux autres HAP au cours de la campagne CNL2.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque HAP cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (pyrène d¹⁰). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Eléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement) sans qu'aucun HAP n'ait été détecté.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Douze HAP ont été détectés au moins une fois, le plus souvent fluorène et phénanthrène (10 % des blancs). L'anthracène a été retrouvé une fois à un niveau supérieur à la LQ analytique. Ces observations ont conduit à augmenter la limite de détection de la méthode (LDM) pour l'anthracène, le benzo(a)pyrène, le fluorène et le phénanthrène.
- **Rendements d'extraction :** entre 83 % en moyenne pour le fluorène et 120 % pour le benzo(a)pyrène. Pour les HAP non accrédités en début de campagne, le rendement était estimé > 70 % au regard de la littérature et des performances des HAP similaires.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire :**
 - Au niveau LQ (entre 1 à 5 ng par support, soit 0,03 à 0,13 ng/m³) : entre 25 % (phénanthrène) et 47 % (benzo(a)pyrène) ;
 - Au niveau intermédiaire (20 ng, soit 0,5 ng/m³) : entre 12 % (phénanthrène) et 27 % (benzo(a)pyrène et fluorène) ;
 - Au niveau haut (125 ng, soit 3,1 ng/m³) : entre 17 % (anthracène, fluorène, pyrène) et 24 % (benzo(a)pyrène) ;
 - Pour les substances non couvertes par l'accréditation en début de campagne (acénaphthylène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(g,h,i) pérylène, benzo(k)fluoranthène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, et indéno(1,2,3cd)pyrène), les incertitudes étaient estimées entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Le **Tableau 40** présente les limites et fréquences de détection et de quantification relatives aux HAP mesurés dans le séjour du logement. Six HAP sont détectés dans plus de 80 % des logements : acénaphthène, anthracène, fluoranthène, fluorène, phénanthrène et pyrène. A l'inverse, le dibenzo[a,h]anthracène est très peu détecté et dans une moindre mesure le benzo(k)fluoranthène. Le benzo(a)pyrène est lui détecté dans plus de 56 % des logements. Ces résultats sont également illustrés par la **Figure 48**.

Tableau 40. Limites et fréquences de détection et de quantification des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

HAP (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
Acénaphthène	83-32-9	0,024	0,061	99,1	98,1
Acénaphthylène	208-96-8	0,049	0,12	69,6	47,9
Anthracène	120-12-7	0,09	0,12	89,2	81,3
Benzo[a]anthracène	56-55-3	0,024	0,061	55,7	33,1
Benzo[a]pyrène	50-32-8	0,026	0,061	56,1	34,1
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	0,049	0,12	70,2	39
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	0,049	0,12	64,5	30,1
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	0,049	0,12	32,3	9,68
Chrysène	218-01-9	0,024	0,061	75,3	43,9
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	0,049	0,12	8,63	0,43
Fluoranthène	206-44-0	0,024	0,061	99,6	99,5
Fluorène	86-73-7	0,037	0,061	99,7	99,7
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	0,049	0,12	57,1	29,2
Phénanthrène	85-01-8	0,082	0,12	99,8	99,8
Pyrène	129-00-0	0,024	0,061	99,5	99,5

LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne).

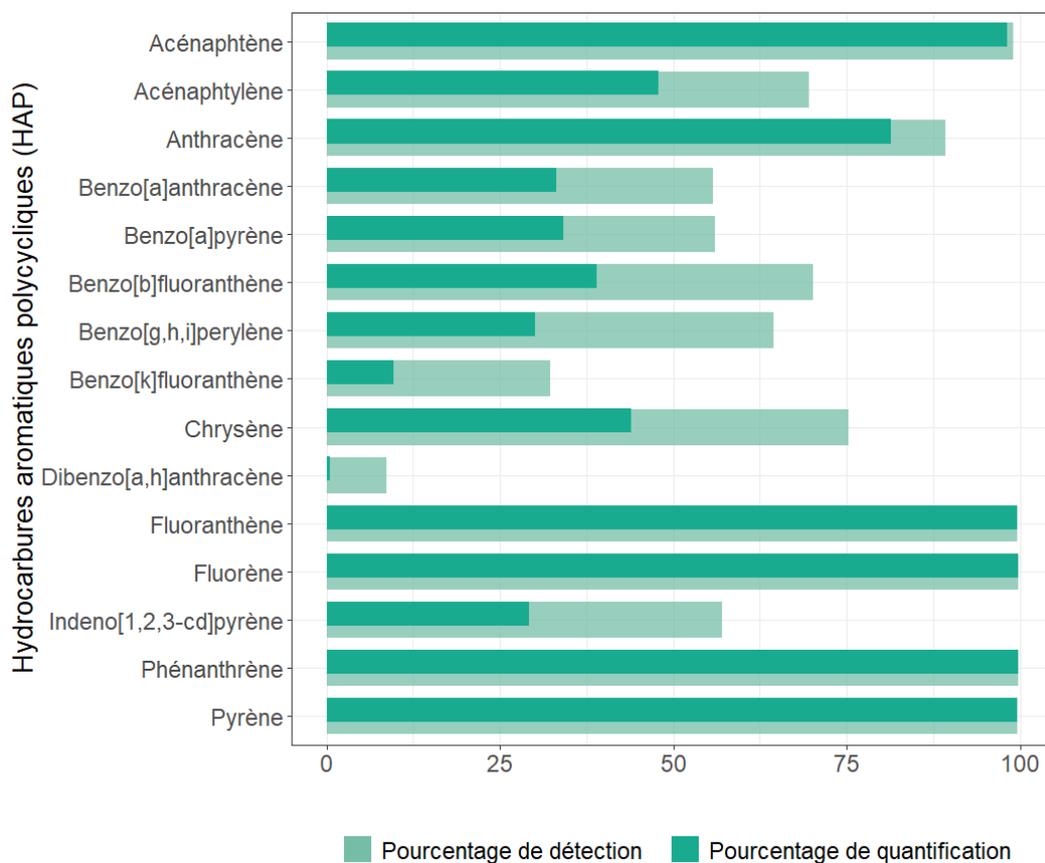


Figure 48 : Détection et quantification des niveaux de concentration en HAP dans l'air des logements

La distribution des niveaux de concentrations des HAP mesurés dans le séjour est présentée dans le **Tableau 41** et illustrée par la **Figure 49**. Le phénanthrène présente la concentration médiane la plus élevée avec $9,6 \text{ ng/m}^3$, suivi du fluorène avec $1,3 \text{ ng/m}^3$. Les autres HAP restent avec des concentrations médianes inférieures à 1 ng/m^3 , voire sous la limite de détection ou de quantification. Les valeurs les plus élevées sont observées pour le phénanthrène avec des valeurs maximales observées dépassant les 200 ng/m^3 . Le fluoranthène et le fluorène présentent également des valeurs maximales élevées, supérieures à 10 ng/m^3 .

La concentration moyenne hebdomadaire du benzo[a]pyrène dépasse la valeur de $0,12 \text{ ng/m}^3$ dans 24 % des logements et la valeur de 1 ng/m^3 dans 0,6 % des logements. Pour autant, il n'est pas possible de se prononcer sur le dépassement de la valeur recommandée par l'OMS de $0,12 \text{ ng/m}^3$ pour une exposition vie entière, ni sur le dépassement de la valeur limite annuelle de 1 ng/m^3 de la directive européenne pour l'air ambiant (2004/107/CE).

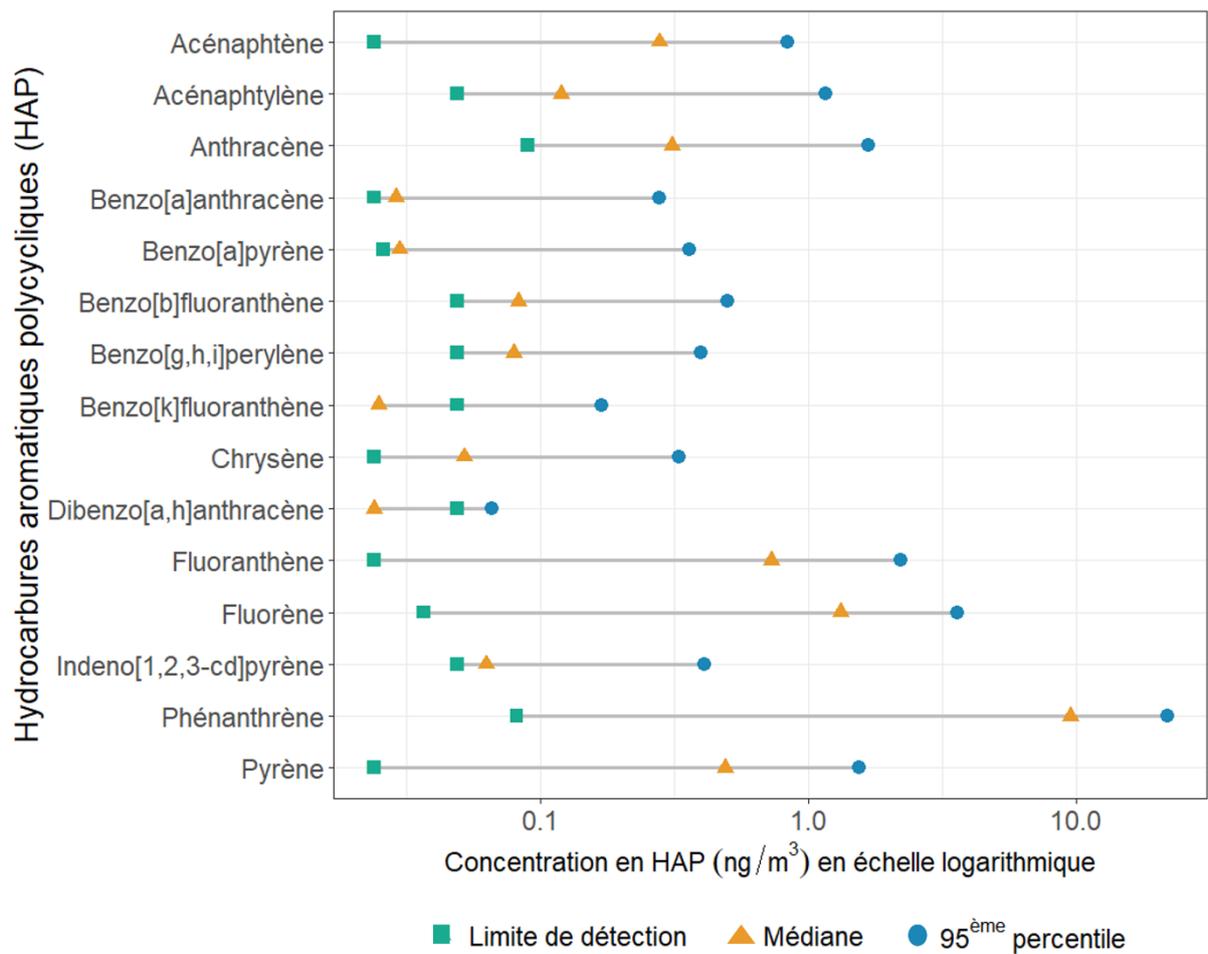


Figure 49 : Distribution des niveaux de concentrations en HAP dans l'air des logements

Tableau 41. Distribution des concentrations hebdomadaires des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

HAP (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Acénaphène	83-32-9	512	<LD	6,67	25794043	0,19	0,28	0,29	[0,26 ; 0,33]	0,44	0,75
Acénaphthylène	208-96-8	513	<LD	4,16	25804344	<LD	<LQ	<LQ	-	0,26	0,55
Anthracène	120-12-7	514	<LD	6,58	25796809	0,15	0,31	0,29	[0,24 ; 0,34]	0,51	1,01
Benzo[a]anthracène	56-55-3	514	<LD	2,44	25796809	<LD	<LQ	<LQ	-	0,086	0,18
Benzo[a]pyrène	50-32-8	514	<LD	5,33	25796809	<LD	<LQ	<LQ	-	0,11	0,21
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	514	<LD	3,78	25777814	<LD	<LQ	<LQ	-	0,21	0,38
Benzo[g,h,i]pérylène	191-24-2	514	<LD	2,67	25777814	<LD	<LQ	<LQ	-	0,15	0,27
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	514	<LD	1,24	25777814	<LD	<LD	<LD	-	0,065	0,12
Chrysène	218-01-9	514	<LD	2,44	25796809	<LQ	<LQ	<LQ	-	0,11	0,22
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	512	<LD	0,27	25675377	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
Fluoranthène	206-44-0	514	<LD	21,3	25796809	0,49	0,73	0,75	[0,69 ; 0,82]	1,2	1,82
Fluorène	86-73-7	514	<LD	14,6	25796809	0,94	1,32	1,34	[1,20 ; 1,50]	1,91	2,91
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	499	<LD	3,33	24651529	<LD	<LQ	<LQ	-	0,14	0,25
Phénanthrène	85-01-8	507	<LD	210	25465647	6,91	9,59	9,52	[8,71 ; 10,4]	13,5	19,3
Pyrène	129-00-0	514	<LD	5,14	25796809	0,35	0,49	0,49	[0,45 ; 0,54]	0,7	1,01

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM ; <LQ : valeur inférieure à la LQM.

5.6.2. Phtalates

Description : les phtalates constituent un ensemble de molécules qui sont des diesters de l'acide orthophtalique. Ils sont constitués d'un cycle benzénique substitué par deux groupements carboxylate. Ces groupements conditionnent leur appellation, leurs propriétés physico-chimiques et toxicologiques. A température ambiante, les phtalates sont des composés semi-volatils et sont présents à la fois dans la phase gazeuse et la phase particulaire de l'air. Le caractère volatil des phtalates diminue avec l'augmentation du nombre de carbone : les phtalates ayant une chaîne courte et un faible poids moléculaire (DBP, DIBP, DEP et BBP) sont essentiellement en phase gazeuse, ceux à chaîne longue, moins volatils, comme le DEHP et le DiNP se retrouvent plutôt en phase particulaire et contribuent majoritairement à la contamination des poussières sédimentées. Le DEHP, le DINP, le DIBP, le BBP, et le DBP sont classés toxiques pour la reproduction (1B) dans le cadre de la réglementation sur la classification, l'étiquetage et l'emballage dit « CLP » (Règlement (CE) n°1272/2008) des substances et des mélanges. Depuis 2021, l'utilisation du DEHP, DIBP, DBP et BBP dans les matériaux en contact avec les aliments, les emballages de médicaments ou les mélanges à des concentrations supérieures à 0,1 % doit être soumise à autorisation (annexe XIV du règlement REACH).

Principales sources : les sources d'émission des phtalates dans l'environnement sont exclusivement d'origine anthropique. Les phtalates sont très utilisés depuis une cinquantaine d'années dans les matériaux plastiques notamment le PVC comme plastifiant pour les assouplir et augmenter leur flexibilité. Ils rentrent aussi dans la composition de nombreux produits de consommation courante comme les emballages alimentaires, les jouets, les sols plastiques, les produits d'entretien, les peintures, les adhésifs, les encres, les produits cosmétiques (Lucattini et al., 2018). Les phtalates ne sont pas fortement liés aux polymères constituant le matériau, ce qui peut conduire à leur libération dans l'air par volatilisation (Dargnat, s. d.). Le nettoyage humide des surfaces peut également transférer les phtalates du matériau vers l'eau ou le liquide de nettoyage utilisé. Cette libération peut se produire à différents stades, de leur fabrication jusqu'à la dégradation ou au recyclage des produits finis. Une fois libérés dans l'air, les phtalates se répartissent rapidement entre les différents compartiments : phase gazeuse, phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique $PM_{2,5}$). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 7

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'Ecole des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP

ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse des phtalates par cette technique d'analyse. La portée d'accréditation a été étendue au diméthyl phtalate dans le courant de la campagne CNL2.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque phtalate cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (BBP-d4, DIBP-d4.). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Eléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Seul le DEHP a été détecté une fois sans atteindre la limite de quantification.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Aucun phtalate n'a été retrouvé au-delà de la limite de quantification. Le DIBP a été détecté dans 27 % des témoins, le DINP 6 % du temps, et le DMP comme le DEHP 5 % du temps. Les limites de détection de la méthode (LDM) ont été augmentées en conséquence pour le DIBP et le DINP.
- **Rendements d'extraction :** entre 91 % en moyenne pour le DEP et 112 % pour le DEHP. Pour le DMP non accrédité, le rendement est estimé > 70 % au regard de la littérature et des performances des autres phtalates.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire :**
 - Au niveau LQ (200 ng par support, soit 5 ng/m³) : entre 22 % (BBP) et 33 % (DEHP) ;
 - Au niveau intermédiaire (800 ng, soit 20 ng/m³) : entre 20 % (BBP) et 28 % (DINP) ;
 - Au niveau haut (5000 ng, soit 125 ng/m³) : entre 10 % (DIBP) et 21 % (DBP) ;
 - Pour le DMP non couvert par l'accréditation au démarrage de la campagne CNL2, les incertitudes étaient estimées entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Le **Tableau 42** présente les limites et fréquences de détection et de quantification relatives aux phtalates mesurés dans l'air du séjour du logement. Mis à part le BBP (butyl benzyl phtalate), l'ensemble des phtalates est retrouvé dans plus de 90 % des logements. Ces résultats sont également illustrés à la **Figure 50**.

Tableau 42. Limites et fréquences de détection et de quantification des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Phtalate (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	0,98	4,9	68,4	17,2
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	0,98	4,9	99,8	99,7

Phtalate (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	4,9	12,2	99,7	99,7
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	0,98	4,9	99,7	99,2
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	2,57	4,9	99,8	99,8
DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	1,79	4,9	93,7	69,4
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	0,24	0,61	99,8	99,7

LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne).

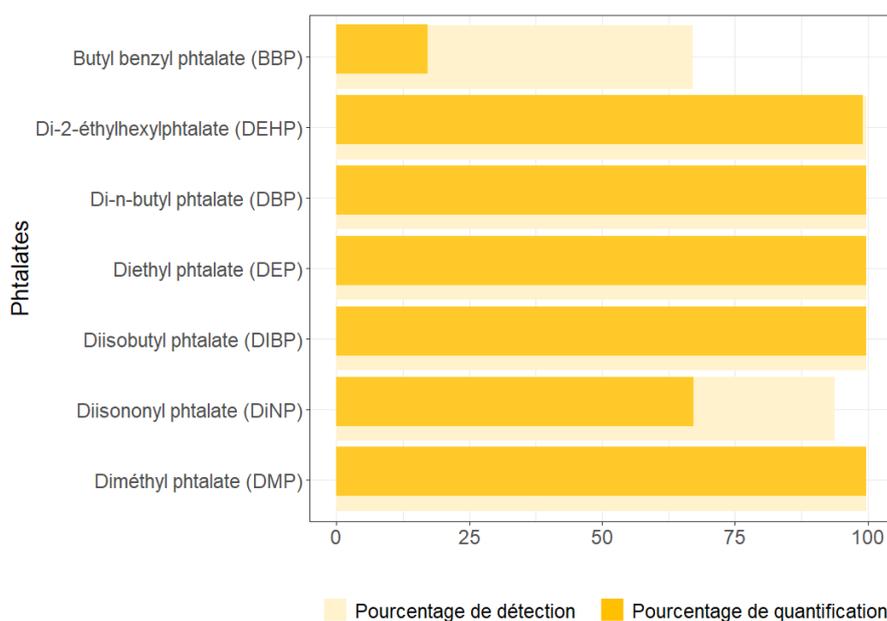


Figure 50 : Détection et quantification des niveaux de concentration en phtalates

La distribution des concentrations de phtalates dans l'air des logements est représentée à l'échelle du parc au **Tableau 43** et **Figure 51**. Trois phtalates présentent des concentrations élevées dans l'air : le DIBP, le DEP et le DBP, avec des médianes respectives de 279, 144 et 124 ng/m³. Le DEHP souvent retrouvé en fortes concentrations dans les poussières, n'est pas le phtalate majoritaire dans l'air. Il est toutefois présent à hauteur de 19 ng/m³ dans 50 % des logements. Le phtalate le plus léger (DMP) et le phtalate le plus lourd (DiNP) partagent une distribution de concentration dans l'air assez proches, avec une concentration médiane de l'ordre de 7,5 ng/m³. De très fortes concentrations pouvant dépasser 1 000 ng/m³ sont également observées dans un nombre limité de logements pour le DEP, le DBP et le DIBP. Pour ce dernier, une concentration dans l'air de plus de 18 000 ng/m³ a été observée.

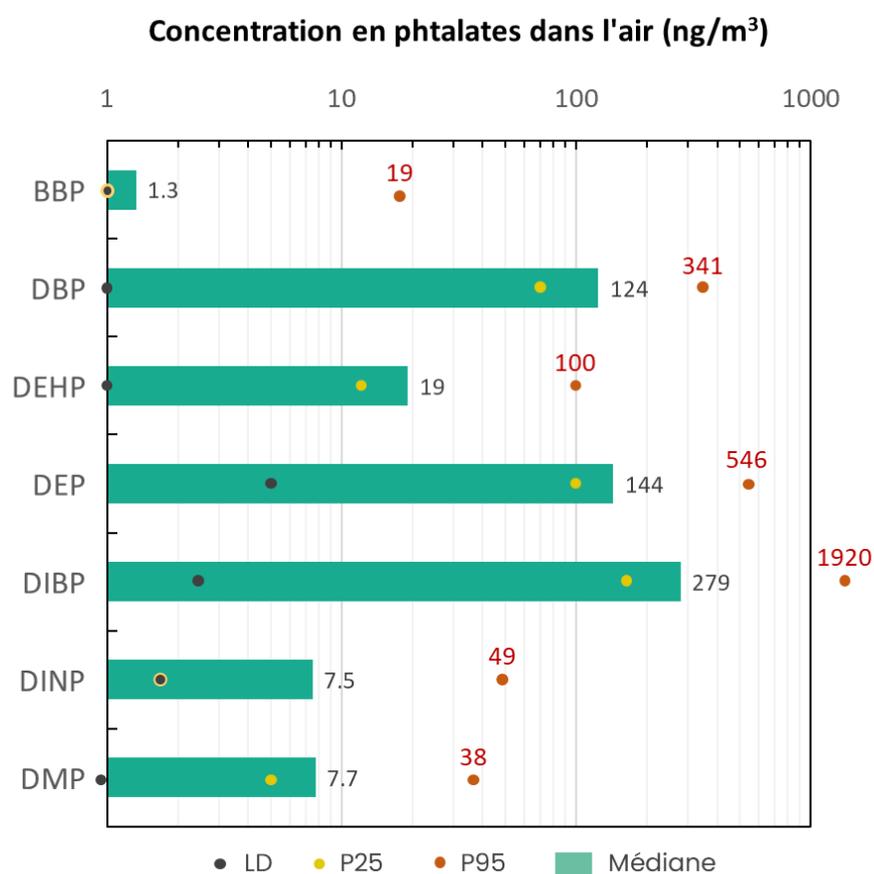


Figure 51. Distribution des niveaux de concentrations en phtalates

Tableau 43. Distribution des concentrations hebdomadaires des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales)

Phtalate (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	514	<LD	439	25820354	<LD	<LQ	<LQ	-	<LQ	10,2
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	506	<LD	1 165	25265778	75,2	124	117	[104 ; 132]	198	284
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	500	<LD	2 682	24904385	97,5	144	151	[136 ; 168]	230	386
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	504	<LD	380	25018837	12,5	19,1	20,7	[18,4 ; 23,1]	32,3	53,3
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	504	<LD	18 189	25227484	179	279	326	[272 ; 390]	497	1 000
DINP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	514	<LD	261	25820354	<LQ	7,52	8,14	[6,83 ; 9,71]	17,6	31
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	508	<LD	152	25451434	4,94	7,73	8,46	[7,52 ; 9,51]	13,3	27,3

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM ; <LQ : valeur inférieure à la LQM.

5.6.3. Polybromodiphényles éthers (PBDE)

Description : les polybromodiphényl éthers (PBDE) font partie de la famille des retardateurs de flamme bromés. Ce sont des composés aromatiques bromés qui regroupent 209 congénères. Le nombre et la position des atomes de brome sur le noyau biphenyle (2 cycles benzéniques) relié par une liaison éther différencient les congénères. Leurs caractéristiques physico-chimiques, notamment leur caractère volatil, changent en fonction du nombre d'atomes de brome et de leur position, les composés de plus faible poids moléculaire étant les plus volatils. De ce fait, ce sont des composés semi-volatils présents à la fois dans la phase gazeuse et dans la phase particulaire de l'air intérieur. Ces composés utilisés en mélange de plusieurs congénères et portant le nom des congénères majoritaires (penta-BDE, octa-BDE et deca-BDE) sont interdits de commercialisation en Europe depuis 2006 (Kemmlin et al., 2009).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle de PBDE, leur source est uniquement d'origine anthropique. En tant que retardateurs de flamme, ces substances sont ajoutées aux matériaux textiles, plastiques, résines synthétiques pour réduire l'inflammabilité de nombreux produits de consommation comme des tissus, des rembourrages de meubles, des équipements électriques, électroniques et informatiques (ordinateurs, téléviseurs, circuits imprimés, fils électriques etc.), des jouets, des pièces automobiles etc. Ils ne sont pas liés de manière covalente aux polymères formant le matériau et sont facilement libérés dans l'environnement intérieur (Berryman et al., 2009; Yu et al., 2023). Une fois libérés dans l'air, les PBDE se répartissent rapidement entre phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique PM_{2,5}). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement PM_{2,5} et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 5

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique PM_{2,5}), et exprimée en ng/m³.

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'École des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse de 3 PBDE par cette technique d'analyse : BDE-47, BDE-99 et BDE-100. Les BDE-153 et BDE-154 ne sont pas couverts par l'accréditation Cofrac.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque PBDE cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (mélange de 3 PBDE marqués au carbone 13 : BDE-47 (¹³C), BDE-99 (¹³C) et BDE-153 (¹³C)). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection

(TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Eléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires** : 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Le BDE-99 et le BDE-100 ont chacun été détecté une fois sans atteindre la limite de quantification.
- **Blancs de terrain** : 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Les BDE-47, BDE-99 et BDE-100 ont été détecté dans moins de 5 % des témoins et quantifiés une seule fois. Les limites de détection de la méthode (LDM) ont été augmentées en conséquence pour ces 3 congénères.
- **Rendements d'extraction** : entre 112 % en moyenne pour le BDE-47 et 135 % pour le BDE-100. Pour les BDE-153 et BDE-154 non accrédités, le rendement est estimé > 70 % au regard de la littérature et des performances des autres congénères.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire** :
 - Au niveau LQ (2,5 ng par support, soit 0,06 ng/m³) : entre 40 % (BDE-47 et BDE-100) et 44 % (BDE-99) ;
 - Au niveau intermédiaire (20 ng, soit 0,5 ng/m³) : entre 23 % (BDE-47 et BDE-100) et 26 % (BDE-99) ;
 - Au niveau haut (125 ng, soit 3,1 ng/m³) : entre 15 % (BDE-99) et 24 % (BDE-100) ;
 - Pour les BDE-153 et BDE-154 non couverts par l'accréditation, les incertitudes sont estimées entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Les PBDE recherchés ne sont que très rarement détectés dans l'air des logements (Tableau 44). La fréquence de détection est au maximum de 1,6 % pour le BDE-100. Les valeurs maximales observées atteignent au plus 0,95 ng/m³ pour le BDE-47.

Tableau 44. Distribution des concentrations hebdomadaires des 5 polybromodiphenyls éthers (PBDE) mesurés dans l'air du séjour des logements

PBDE (ng/m ³)	BDE 47	BDE 99	BDE 100	BDE 153	BDE 154
N CAS	5436-43-1	60348-60-9	189084-64-8	68631-49-2	207122-15-4
LDM	0,05	0,05	0,043	0,0061	0,0061
LQM	0,061	0,061	0,061	0,015	0,015
%>LDM	1,15	1	1,63	0,76	0,19
%>LQM	1,09	0,59	1,06	0,16	0,16
N échantillon	515	515	515	516	516
Min échantillon	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Max échantillon	0,95	0,08	0,085	0,029	0,047
N parc national de logements	25870456	25870456	25870456	25916324	25916324
P25	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Médiane	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

PBDE (ng/m ³)	BDE 47	BDE 99	BDE 100	BDE 153	BDE 154
MG	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
IC 95%	-	-	-	-	-
P75	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
P90	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQ : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

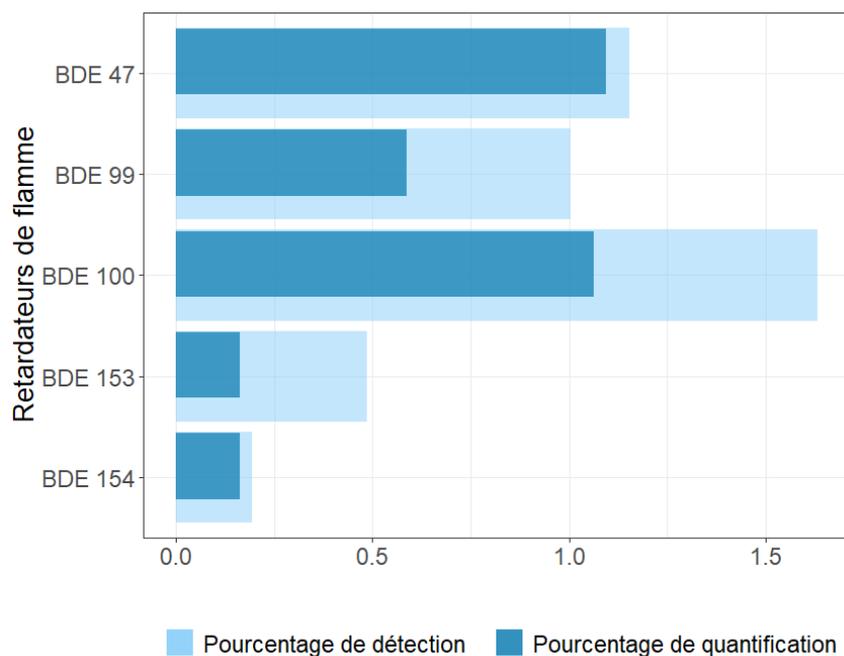


Figure 52 : Détection et quantification des niveaux de concentration en PBDE dans l'air des logements.

5.6.4. Polychlorobiphényles (PCB)

Description : les polychlorobiphényles (PCB), également connus sous le nom de pyralènes, sont une classe de composés chimiques aromatiques chlorés (OMS, 2016). La famille des PCB regroupe 209 composés : le nombre et la position des atomes de chlore sur le noyau biphényle (2 cycles benzéniques reliés par une liaison carbone/carbone) différencient les congénères. Ces composés très stables chimiquement et ininflammables sont des composés semi-volatils présents à la fois dans la phase gazeuse et dans la phase particulaire de l'air intérieur. Leurs caractéristiques physico-chimiques, notamment leur caractère volatil, varient en fonction du nombre d'atomes de chlore et de leur position, les composés de plus faible poids moléculaire étant les plus volatils (Andersen et al., 2020).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle de PCB, leur source est uniquement d'origine anthropique. Ces composés sont classés comme polluants organiques persistants, c'est-à-dire qu'ils présentent un temps de séjour dans l'environnement très important, se dégradent très lentement et s'accumulent dans les tissus biologiques des animaux et des êtres humains. Ces composés sont libérés dans l'environnement intérieur, principalement à

partir des produits et matériaux qui en contiennent. Très utilisés dans les années 70, leur production et leur utilisation sont interdites en France depuis 1987. Leurs propriétés diélectriques ont conduit à les utiliser comme fluide caloporteurs ou isolants dans les transformateurs, les condensateurs, les régulateurs de tension, les interrupteurs, les disjoncteurs et dans les matériaux d'isolation des câbles. Ils ont également été utilisés dans les adhésifs et les rubans, les peintures, les matériaux d'isolation thermique (fibre de verre, feutre, mousse, liège, joints de fenêtre, etc.), les plastiques, les revêtements pour carreaux de plafond et les finitions de plancher (Robson et al., 2010; Thomas et al., 2012). Une fois libérés dans l'air, les PCB se répartissent rapidement entre phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique $PM_{2,5}$). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 10. A noter que les résultats de concentrations en PCB-138 sont rendus sans distinction possible avec ceux du PCB-163.

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'Ecole des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse de 10 PCB par cette technique d'analyse. La portée d'accréditation a été étendue au PCB-77 en cours de campagne.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque PCB cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (pentachlorobenzène). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Éléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Aucun PCB n'a été détecté dans les blancs.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Le PCB-28 a été détecté deux fois et les PCB-105 et PCB-118 une seule fois. Ces rares détections dans les témoins n'ont pas eu d'impact sur les limites de détection et de quantification de la méthode.

- **Rendements d'extraction** : entre 94 % en moyenne pour le PCB-118 et 105 % pour le PCB-101. Pour le PCB-77 non accrédité au début de la campagne, le rendement est estimé > 70 % au regard de la performance des autres congénères.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire** :
 - Au niveau LQ (1 ng par support, soit 0,03 ng/m³) : entre 30 % (PCB-31) et 47 % (PCB-105) ;
 - Au niveau intermédiaire (8 ng, soit 0,2 ng/m³) : entre 17 % (PCB-31) et 25 % (PCB-52) ;
 - Au niveau haut (50 ng, soit 1,3 ng/m³) : entre 11 % (PCB-180, PCB-138, PCB-118) et 18 % (PCB-28 et PCB-153) ;
 - Pour le PCB-77 non couvert par l'accréditation au début de la campagne, les incertitudes sont estimées entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Le **Tableau 45** présente les limites et fréquences de détection et de quantification relatives aux PCB mesurés dans l'air du séjour du logement. Quatre congénères sont détectés dans plus de 90 % des logements (PCB-28, PCB-31, PCB-52 et PCB-101). Le PCB-77 n'est lui détecté que très rarement (2,44 % des logements). Les deux autres PCB de type dioxine (PCB 105 et PCB 118) sont plus souvent retrouvés dans les logements (respectivement près de 29 % et 58 % de fréquence de détection). Ces résultats sont également illustrés à la **Figure 53**.

Tableau 45. Limites et fréquences de détection et de quantification des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour du logement

PCB (ng/m ³)	N CAS	LDM	LQM	%>LDM	%>LQM
PCB 28	7012-37-5	0,0098	0,024	98	89,2
PCB 31	16606-02-3	0,0098	0,024	98,3	90,9
PCB 52	35693-99-3	0,0098	0,024	99	96
PCB 77*	32598-13-3	0,0098	0,024	2,44	1,23
PCB 101	37680-73-2	0,0098	0,024	96,3	77,7
PCB 105*	32598-14-4	0,0098	0,024	28,7	10,4
PCB 118*	31508-00-6	0,0098	0,024	57,7	33,2
PCB 138 + PCB 163	35065-28-2 / 74472-44-9	0,0098	0,024	57,3	27,8
PCB 153	35065-27-1	0,0098	0,024	55,7	35,8
PCB 180	35065-29-3	0,0098	0,024	18,5	5,48

LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQ : limite de quantification de la méthode (moyenne).
*PCB de type dioxine.

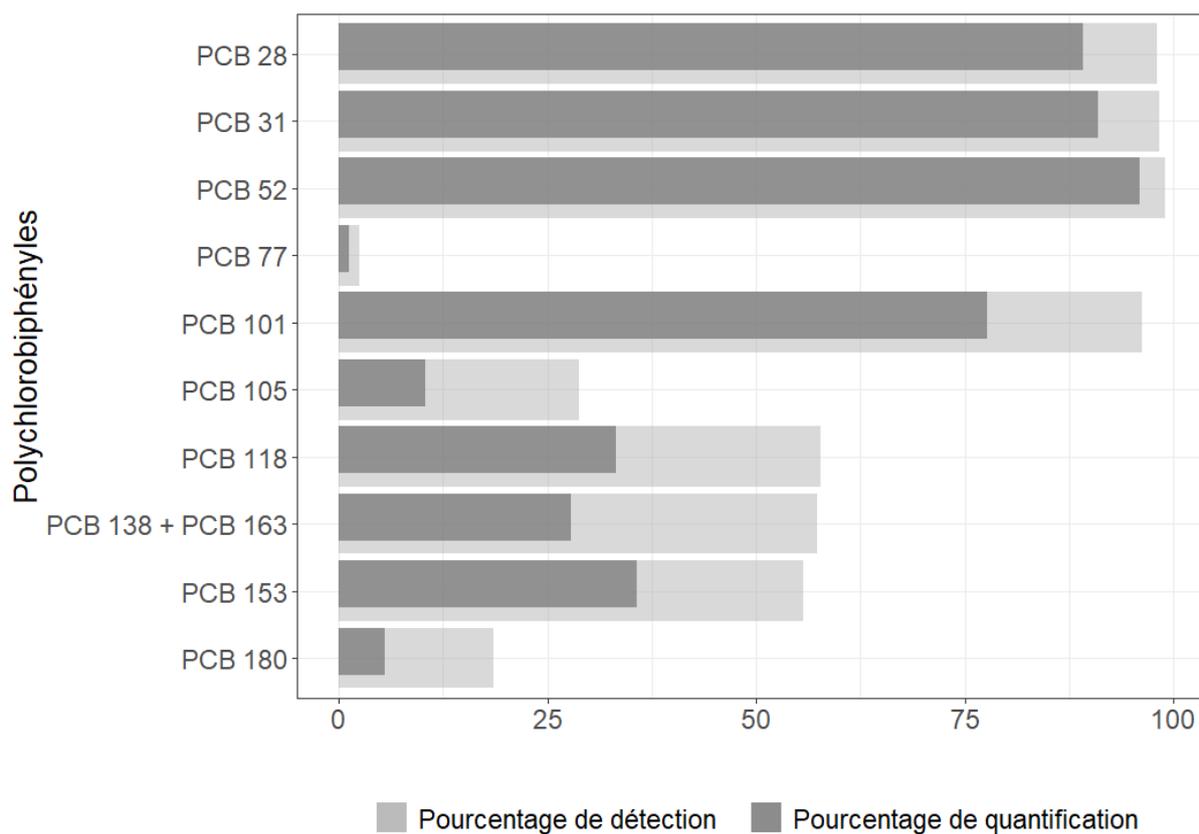


Figure 53 : Détection et quantification des niveaux de concentration en PCB dans l'air

Le **Tableau 46** présente la distribution des concentrations des PCB mesurés dans l'air du séjour du logement. Le PCB 52 montre globalement les niveaux les plus élevés dans l'air avec notamment une valeur médiane à $0,11 \text{ ng/m}^3$. Suivent ensuite les PCB 28, PCB 31 et PCB 101 avec des concentrations médianes comprises entre $0,05$ et $0,07 \text{ ng/m}^3$. Des valeurs supérieures à 100 ng/m^3 pour le PCB 28 ont pu être observées dans un nombre limité de logements. Dans tous les cas, la somme des PCB n'atteint pas la limite indicative de $2\,000 \text{ ng/m}^3$ proposées par l'Ineris pour les locaux d'habitation (INERIS, 2011) et reprise par l'office fédéral de la santé publique suisse (OFSB, 2002).

Tableau 46. Distribution des concentrations hebdomadaires des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour des logements

PCB (ng/m ³)	N CAS	Echantillon			Parc national de logements						
		N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
PCB 28	7012-37-5	514	<LD	170	25796809	0,035	0,054	0,065	[0,057 ; 0,074]	0,12	0,23
PCB 31	16606-02-3	514	<LD	4,57	25796809	0,038	0,058	0,069	[0,061 ; 0,079]	0,13	0,25
PCB 52	35693-99-3	514	<LD	7,18	25796809	0,062	0,110	0,140	[0,116 ; 0,159]	0,29	0,57
PCB 77*	32598-13-3	513	<LD	0,30	25789234	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LD
PCB 101	37680-73-2	514	<LD	6,61	25796809	0,028	0,064	0,070	[0,059 ; 0,084]	0,16	0,32
PCB 105*	32598-14-4	513	<LD	1,26	25814232	<LD	<LD	<LD	-	<LQ	0,027
PCB 118*	31508-00-6	512	<LD	6,43	25721589	<LD	<LQ	<LQ	-	0,036	0,10
PCB 138 + PCB 163	35065-28-2 / 74472-44-9	512	<LD	2,40	25721589	<LD	<LQ	<LQ	-	0,032	0,073
PCB 153	35065-27-1	512	<LD	3,04	25721589	<LD	<LQ	<LQ	-	0,045	0,096
PCB 180	35065-29-3	512	<LD	0,72	25721589	<LD	<LD	<LD	-	<LD	<LQ

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM ; <LQ : valeur inférieure à la LQM. *PCB de type dioxine.

5.6.5. Alkylphénols

Description : les Alkylphénols sont des composés organiques synthétiques ayant un groupement phénolique et une chaîne alkyle, linéaire ou ramifiée, comprenant un nombre variable de carbone (éthyl, butyl, méthyl, ...). Ces composés, notamment l'éthoxylate de nonylphénol et l'éthoxylate d'octylphénol sont des produits chimiques ayant de nombreuses applications industrielles (textiles, résines, détergents, automobiles, colles et adhésifs, etc.). Dans l'environnement, les éthoxylates d'alkylphénols perdent leur groupe éthoxy pour former des alkylphénols qui sont des substances lipophiles, très stables et persistantes, s'accumulant préférentiellement au niveau des sédiments, du sol et de l'eau à partir desquels ils se volatilisent dans l'air (Becue & Nguyen, 2004; Newsted et al., 2023; Thiele et al., 1997).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle d'alkylphénols, leur source est uniquement d'origine anthropique. Ces composés sont libérés dans l'environnement, principalement à partir des produits de consommation qui en contiennent. Ils sont utilisés dans la fabrication d'adhésifs, de peintures, d'émulsions de cires de parquets, de produits ménagers, dans l'industrie du cuir, dans les composés de polissage, les joints de feutre dans l'automobile, dans les matériaux de construction, dans les pâtes et papiers, dans l'industrie des textiles, dans les plâtres chirurgicaux, dans l'industrie du bois ainsi que comme agents conservateurs dans l'amidon de blanchisserie. Ce sont également des principes actifs entrant dans la formulation de désinfectants industriels ou ménagers (sprays, lingettes,...) et pour le secteur médical (Anses, 2011; Newsted et al., 2023). Une fois libérés dans l'air, les alkylphénols se répartissent rapidement entre les différents compartiments : phase gazeuse, phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique $PM_{2,5}$). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 3

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'École des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac pour l'analyse des dérivés phénoliques dans l'eau, dont les alkylphénols, mais pas pour la matrice l'air.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, un agent de dérivation le N-méthyl-N (triméthylsilyl)trifluoroacétamide (MSTFA) est rajouté avant injection et analyse en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque alkylphénol cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne

(4-n-amylyphénol). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Le protocole d'analyse interne utilisé est adapté d'une méthode interne d'analyse des dérivés phénoliques dans l'eau et des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009).

Eléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires** : 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Le 4-tert-butylphénol et 4-tert-octylphénol ont été détectés respectivement 31 % et 23 % du temps. Le 4-tert-nonylphénol n'a jamais été détecté.
- **Blancs de terrain** : 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Une fréquence de détection supérieure à 20 % est observée pour le 4-tert-butylphénol et 4-tert-octylphénol sans que la limite de quantification ne soit atteinte. Le 4-tert-nonylphénol n'est jamais détecté. Ces résultats ont conduit à augmenter les limites de détection de la méthode (LDM) pour les deux substances fréquemment détectées dans les blancs.
- **Rendements d'extraction** : ces substances n'étant pas sous accréditation, le rendement est estimé > 70 % au regard de la bibliographie.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire** : Ces substances ne sont pas couvertes par l'accréditation, les incertitudes sont estimées entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Le **Tableau 47** présente la distribution des concentrations de 3 alkylphénols mesurés dans le séjour des logements : 4-n-nonylphénol, 4-tert-butylphénol et 4-tert-octylphénol. Le 4-n-nonylphénol n'est pratiquement jamais détecté (1,05 % de détection). A l'inverse, les 4-tert-butylphénol et 4-tert-octylphénol sont omniprésents dans l'air des logements (plus de 99 % des logements). Le 4-tert-butylphénol présente en général des concentrations dans l'air supérieures au 4-tert-octylphénol (médianes respectives de 4,3 et 0,8 ng/m³). Dans quelques logements, la concentration de ces deux substances peut dépasser 30 ng/m³.

Tableau 47. Distribution des concentrations hebdomadaires des 3 alkylphénols mesurés dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Alkylphénol (ng/m ³)	4-n-nonylphénol	4-tert-butylphénol	4-tert-octylphénol
N CAS	104-40-5	98-54-4	140-66-9
LDM	0,0024	0,12	0,099
LQM	0,0061	0,15	0,15
%>LDM	1,05	99,3	99,6
%>LQM	1,05	99,3	99,5
N échantillon	505	505	455
Min échantillon	<LD	<LD	<LD
Max échantillon	0,021	38	84,2
N parc national de logements	24 939 261	24 939 261	23 112 571
P25	<LD	2,21	0,50

Alkylphénol (ng/m ³)	4-n-nonylphénol	4-tert-butylphénol	4-tert-octylphénol
Médiane	<LD	4,32	0,77
MG	<LD	3,87	0,78
IC 95%	-	[3,31 ; 4,53]	[0,69 ; 0,88]
P75	<LD	7,57	1,22
P90	<LD	11,6	2,08

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM.

5.6.6. Muscs polycycliques

Description : les muscs sont des composés organiques odorants émis par certains animaux ou plantes et utilisés en tant qu'agent parfumant dans les cosmétiques, les produits d'hygiène, les produits d'entretien etc. La pénurie de muscs naturels a entraîné la production de muscs synthétiques. Parmi ces muscs synthétiques, les muscs polycycliques, synthétisés pour la première fois dans les années 50, dominent actuellement le marché commercial avec le retrait des muscs nitrés dans les années 2000 en raison de leur toxicité sur la santé humaine et l'environnement. Le galaxolide aussi appelé HHCB (1,3,4,6,7-hexahydro-4,6,6,7,8-hexaméthylcyclopenta-γ-2-benzopyrane) et le tonalide ou AHTN (2-Acetyl-3,5,5,6,8,8-hexaméthyl-5,6,7,8-tétrahydronaphthalène) sont actuellement largement utilisés dans les produits de consommation courante. Ce sont des composés semi-volatils hétérocycliques qui se répartissent majoritairement dans la phase gazeuse par rapport à la phase particulaire de l'air intérieur. Ils sont retrouvés dans l'environnement, notamment dans les eaux de surfaces et les eaux usées et sont en cours d'évaluation quant à leurs effets sur la santé humaine par l'Union européenne (Garcia-Jares et al., 2009; Lucattini et al., 2018; Wang et al., 2023).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle de galaxolide et de tonalide. Ces composés sont émis dans l'air intérieur, principalement à partir des produits de consommation qui en contiennent. Il sont utilisés dans de nombreux produits de soins personnels (parfums, savons, lotions corporelles, cosmétiques, déodorants, shampoings, etc.) et ménagers (assouplissants, détergents, désodorisants, produits de nettoyage, etc.) (Lucattini et al., 2018). Une fois libérés dans l'air, les muscs se répartissent rapidement entre les différents compartiments : phase gazeuse, phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique PM_{2,5}). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement PM_{2,5} et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Nombre de substances mesurées : 2

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'Ecole des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse du galaxolide et du tonalide.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Chaque musc cible est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (méthoprotryne). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Eléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Aucun musc n'a été détecté dans les blancs.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Le tonalide n'a jamais été détecté, mais le galaxolide l'a été dans 16 % des témoins. Aucun dépassement de la limite de quantification n'a été observée. La limite de détection de la méthode (LDM) a été augmentée pour le galaxolide.
- **Rendements d'extraction :** il est en moyenne de 91 % pour le galaxolide et de 98 % pour le tonalide.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire :**
 - Au niveau LQ (12,5 ng par support, soit $0,3 ng/m^3$) : 33 % pour le tonalide et 37 % pour le galaxolide ;
 - Au niveau intermédiaire (100 ng, soit $2,5 ng/m^3$) : 20 % pour le tonalide et 25 % pour le galaxolide ;
 - Au niveau haut (625 ng, soit $16 ng/m^3$) : 14 % pour le tonalide et 20 % pour le galaxolide.

Résultats :

Le **Tableau 48** présente la distribution des concentrations de galaxolide et de tonalide mesurées dans l'air du séjour des logements. Ces deux substances sont retrouvées systématiquement dans pratiquement tous les logements (fréquence de détection de 99,8 %) avec des concentrations médianes de l'ordre de $65 ng/m^3$ pour le galaxolide et de $11 ng/m^3$ pour le tonalide.

Tableau 48. Distribution des concentrations hebdomadaires des 2 muscs polycycliques mesurées dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales)

Musc polycyclique (ng/m ³)	Galaxolide / HHCB	Tonalide / AHTN
N CAS	1222-05-5	21145-77-7
LDM	0,23	0,12
LQM	0,31	0,31
%>LDM	99,8	99,8
%>LQM	99,8	99,8
N échantillon	514	514
Min échantillon	<LD	<LD
Max échantillon	2262	403
N parc national de logements	25 820 354	25 820 354
P25	27,3	5,86
Médiane	64,5	11,1
MG	69,6	12,9
IC 95%	[56,2 ; 86,1]	[11 ; 15,1]
P75	168	30,3
P90	429	51,3

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM.

5.6.7. Autres composés

5.6.7.1. Tributylphosphate

Description : le tributylphosphate est un ester de l'acide phosphorique. Il fait partie de la famille des composés organophosphorés et est largement utilisé depuis les années 2000 en tant qu'additif comme retardateur de flamme, plastifiant et solvant (Niang et al., 2019).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle de tributylphosphate, il est forcément d'origine anthropique. En tant qu'adjuvant, il n'est pas lié aux polymères constitutifs du matériau qui en contiennent, il est dès lors facilement libéré dans les environnements intérieurs par volatilisation dans l'air ou abrasion (sous forme particulaire). Il est utilisé comme plastifiant et retardateur de flamme pour des résines vinyliques et cellulosiques. Il est également utilisé comme solvant dans des gommages, des adhésifs et des revêtements, des encres et des peintures, comme agent anti-mousse dans des détergents, et comme plastifiant dans des résines, des plastiques et des laques. Son utilisation dans les cosmétiques est interdite (Chupeau et al., 2020; INERIS, 2016; Règlement (CE) No 1223/2009, 2009). Une fois introduit dans l'environnement intérieur, le tributylphosphate se répartit rapidement entre les différents compartiments : phase gazeuse, phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique $PM_{2,5}$). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement $PM_{2,5}$ et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique $PM_{2,5}$), et exprimée en ng/m^3 .

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'École des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac (HP ENV en portée flexible Flex 3) pour l'analyse du tributylphosphate.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, les extraits sont analysés en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Le tributylphosphate est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (fenchlorphos). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Éléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Le tributylphosphate est systématiquement $< LD$.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Le tributylphosphate n'est jamais détecté.
- **Rendement d'extraction :** 98 % en moyenne.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire :**
 - Au niveau LQ (37,5 ng par support, soit $0,9 ng/m^3$) : 56 % ;
 - Au niveau intermédiaire (100 ng, soit $2,5 ng/m^3$) : 14 % ;
 - Au niveau haut (625 ng, soit $16 ng/m^3$) : 14 %.

Résultats :

Le **Tableau 49** présente la distribution des concentrations de tributylphosphate mesurées par prélèvement actif dans l'air du séjour des logements. Le tributylphosphate est présent dans plus de 99 % des logements. La concentration médiane dans l'air est de $2 ng/m^3$ et pour un petit nombre de logements, la concentration dans l'air peut dépasser $300 ng/m^3$.

Tableau 49. Distribution des concentrations hebdomadaires de tributylphosphate mesurées dans l'air du séjour des logements (champ : parc de résidences principales)

Tributylphosphate (ng/m ³)	
N CAS	126-73-8
LDM	0,32
LQM	0,93
%>LDM	99,4
%>LQM	85,9
N échantillon	497
Min échantillon	<LD
Max échantillon	305
N parc national de logements	25 035 149
P25	1,25
Médiane	2,06
MG	2,18
IC 95%	[1,93 ; 2,46]
P75	3,63
P90	5,4

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LDM : limite de détection de la méthode (moyenne) ; LQM : limite de quantification de la méthode (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; <LD : valeur inférieure à la LDM.

5.6.7.2. Triclosan

Description : le triclosan est un composé phénolique utilisé comme conservateur, agent déodorant et biocide qui se présente sous la forme d'une poudre cristalline blanche. Il entre dans la composition de cosmétiques et produits de soins, de médicaments, d'articles en textile et en plastiques (INERIS, 2014).

Principales sources : il n'existe aucune source naturelle de triclosan. Ce composé est libéré dans l'environnement, principalement à partir des produits de consommation qui en contiennent. Une fois introduit dans l'environnement intérieur, le triclosan se répartit rapidement entre les différents compartiments : phase gazeuse, phase particulaire, poussières, et surfaces, selon leur pression de vapeur.

Technologie de prélèvement : prélèvement actif de l'air avec une pompe à un débit de 4 L/min sur un support permettant de collecter à la fois la phase gazeuse et la phase particulaire (avec sélection de la fraction massique PM_{2,5}). Le support de prélèvement est une cartouche URG (URG Corporation, Chapel Hill, NC 27516 États-Unis), associée à une tête de prélèvement PM_{2,5} et composée d'un filtre de quartz et d'une mousse en polyuréthane (PUF). Le filtre et la mousse sont préconditionnés au laboratoire avant utilisation.

Durée de mesure : 7 jours

Lieu de mesure : dans le séjour du logement.

Mesurande : concentration dans l'air cumulant la phase gazeuse et la phase particulaire (fraction massique PM_{2,5}), et exprimée en ng/m³.

Laboratoire : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'École des hautes études santé publique (EHESP). Le laboratoire est accrédité Cofrac pour l'analyse des dérivés phénoliques dans l'eau, dont le triclosan, mais pas pour la matrice l'air.

Méthode analytique : extraction simultanée des mousses PUF et des filtres en quartz dans du dichlorométhane avec une technique haute pression et haute température. Après concentration, un agent de dérivation le N-méthyl-N (triméthylsilyl)trifluoroacétamide (MSTFA) est rajouté avant injection et analyse en chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) en mode MRM (multiple mass monitoring) pour la détection et la quantification. Le triclosan est identifié selon la présence de deux ions de transitions au temps de rétention attendu et quantifié par étalonnage interne (triclosan (¹³C)). Les résultats sont également corrigés selon le rendement observé pour un traceur d'injection (TCNB : 1,2,3-trichloro-4-nitrobenzène). Un protocole d'analyse interne adapté des normes NF XP X43-058 (2007) et NF ISO 16000-14 (AFNOR, 2009) est utilisé.

Éléments de contrôle qualité :

- **Blancs laboratoires :** 13 cartouches URG ont été analysées après conditionnement (blancs laboratoires de conditionnement). Le triclosan est systématiquement < LD.
- **Blancs de terrain :** 63 cartouches URG témoins ont été analysées. Le triclosan n'est détecté que dans 5 % des témoins sans jamais dépasser la limite de quantification.
- **Rendement d'extraction :** estimé à plus de 70 %.
- **Incertitudes affichées par le laboratoire :** le triclosan n'est pas couvert par l'accréditation, l'incertitude est estimée entre 30 % (niveau haut) et 50 % (niveau LQ).

Résultats :

Le **Tableau 50** présente la distribution des concentrations de triclosan mesuré par prélèvement actif dans l'air du séjour des logements. Le triclosan est détecté dans pratiquement 99 % des logements. La **Figure 54** compare la fréquence de détection du triclosan, avec celle du tributylphosphate, des muscs (section 5.6.6) et des alkylphénols (section 5.6.5). Les concentrations dans l'air sont de l'ordre du dixième de ng/m³, avec une médiane proche de 0,03 ng/m³. La concentration la plus élevée observée est juste au-dessus de 1,5 ng/m³.

Tableau 50. Distribution des concentrations hebdomadaires de triclosan mesurées dans l'air du séjour du logement (champ : parc de résidences principales)

Triclosan (ng/m ³)	
N CAS	3380-34-5
LD	0,0024
LQ	0,0061
%>LD	98,9
%>LQ	94,8
N échantillon	503

Triclosan (ng/m ³)	
Min échantillon	<LD
Max échantillon	1,52
N parc national de logements	25158728
P25	0,015
Médiane	0,028
MG	0,034
IC 95%	[0,028 ; 0,042]
P75	0,064
P90	0,17

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LD : limite de détection ; LQ : limite de quantification ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

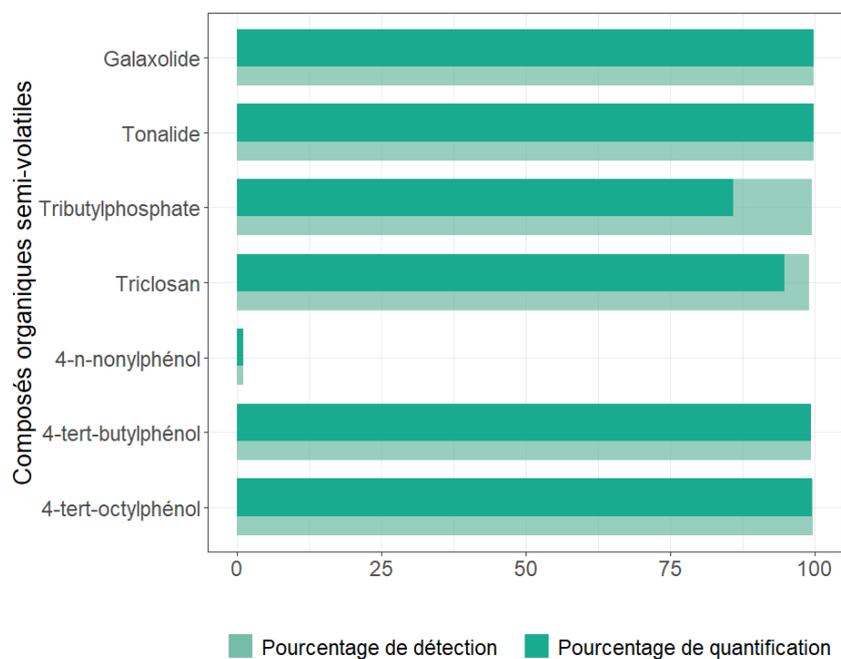


Figure 54 : Détection et quantification des niveaux de concentration du tributylphosphate et du triclosan, comparativement aux muscs et aux alkylphénols.

5.7. Radon

Description : le radon est un gaz radioactif naturel inodore, incolore et inerte, présent partout dans les sols mais plus fortement dans les sous-sols granitiques et volcaniques. Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Le radon gazeux contenu dans les pores des roches peut migrer vers l'atmosphère. Son activité radioactive est mesurée par le Becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde. Dans l'air extérieur, l'activité volumique reste généralement faible, de l'ordre de quelques dizaines de Bq/m³. En revanche, le radon peut s'accumuler dans les espaces clos mal ventilés ou mal aérés. Il a été reconnu cancérigène pulmonaire certain pour l'homme depuis 1987 par le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) de l'Organisation mondiale pour la santé (OMS) (IRSN, 2021). Le niveau de référence réglementaire national est de 300 Bq/m³ en valeur moyenne annuelle, avec la mise en œuvre d'actions de réduction de l'exposition si l'activité volumique dépasse ce niveau (Directive n° 2013/59/Euratom du 05/12/13 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, 2013; Article R1333-28, 2018; OMS, 2009 ; Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire⁶³ ; plan national d'action de gestion du risque radon lié au PNSE 4⁶⁴).

Principales sources : le radon pénètre dans les bâtiments par tous les défauts d'étanchéité (fissures, porosité, joints, canalisation etc.) sous l'effet du tirage thermique lié aux différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment provoquant une différence de pression et donc un flux d'air du sol sous-jacent (source principale du radon) (plus frais) vers le bâtiment (plus chaud). Moins l'air intérieur est renouvelé, plus il se charge en radon et peut exposer les occupants des bâtiments à des concentrations élevées (IRSN, 2021).

Echantillonnage des logements : Le territoire national est divisé en trois zones à potentiel radon définies en fonction des flux d'exhalation du radon des sols : zones à potentiel radon faible, zones à potentiel radon faible avec facteurs géologiques facilitant le transfert du radon vers les bâtiments, et zones à potentiel radon significatif (Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire). L'échantillonnage des logements enquêtés dans le cadre de la CNL2 ne tient pas compte de ces zones. Les résultats sont exprimés à l'échelle du parc de résidences principales en France métropolitaine continentale toutes zones à potentiel radon confondues. Les résultats de la CNL2 pris isolément ne sont pas représentatifs d'une zone à potentiel radon particulière ni d'aucun découpage géographique infranational.

Technologie de prélèvement : la mesure de l'activité volumique du radon est réalisée à l'aide de kits radon mis à disposition par l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) contenant chacun 3 détecteurs. Il s'agit d'une mesure intégrée utilisant un dosimètre passif DTSN (détecteur solide de traces nucléaires), Kodalpha (film LR 115), dont les résultats peuvent être comparés au niveau de référence de 300 Bq/m³ en valeur moyenne annuelle.

Durée de mesure : 2 mois minimum entre début novembre et fin avril pendant la période de chauffage. Lorsque l'enquête a lieu en dehors de cette période, le kit est laissé à l'occupant

⁶³ [Décret n° 2018-434 du 4 juin 2018 portant diverses dispositions en matière nucléaire - Légifrance](#)

⁶⁴ <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/les-plans-nationaux-sante-environnement/article/plan-national-sante-environnement-4-pnse-4-un-environnement-une-sante-2021-2025>

pour une mise en place par ses soins. Dans tous les cas, le retrait et l'envoi des dosimètres par lettre préaffranchie au laboratoire incombe aux occupants après alertes de rappel des enquêteurs. Une durée d'exposition minimale de 59 jours a été retenue comme étant exploitable.

Lieu de mesure : trois points de mesure dans les logements :

- la pièce principale occupée pendant la journée ;
- la pièce principale occupée pendant la nuit ;
- et une des pièces situées dans les parties les plus basses du logement parmi les plus régulièrement occupées ou une autre pièce du volume habitable occupée régulièrement.

Mesurande : maximum de l'activité volumique du radon observée dans les pièces de vie du logement sur les périodes d'exposition comprises entre novembre et fin avril, et exprimé en Bq/m³ sans prendre en compte les incertitudes de mesure. Les chambres, séjours, salons, cuisines et bureaux sont considérés comme des pièces de vie.

Laboratoire : analyses des détecteurs par ALGADE. Gestion et transmission des résultats d'analyses par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Méthode analytique : détection et comptage des traces latentes produites sur un film en nitrate de cellulose (LR 115) par ionisation par les particules alpha du radon et de ses descendants.

Éléments de contrôle qualité :

- **Incertitudes affichées par le laboratoire :**
 - Au niveau 304 Bq/m³ : l'incertitude élargie est de 52 Bq/m³ (soit une incertitude relative élargie de 17 %) ;
 - Au niveau 647 Bq/m³ : l'incertitude élargie est de 106 Bq/m³ (soit une incertitude relative élargie de 16,3 %) ;
 - Au niveau 1 614 Bq/m³ : l'incertitude élargie est de 263 Bq/m³ (soit une incertitude relative élargie de 16,3 %) ;
- **Fidélité sur le terrain :** dans le cas d'enquêtes réalisées dans des studios, les trois dosimètres du kit étaient mis en place dans la même pièce. Ce qui permet d'estimer un niveau de fidélité. Quatre studios ont ainsi été instrumentés. Le niveau d'activité du radon était très faible et rarement détecté pour ces quatre cas. L'écart maximal observé était inférieur à 30 Bq/m³ (28 vs. < 20 Bq/m³).

Résultats :

La distribution de l'activité volumique maximale du radon, mesurée dans les pièces de vie, est présentée au **Tableau 51** et illustrée à la **Figure 55**. **Le radon est mesuré à des niveaux supérieures à la limite de détection dans plus de 71 % des logements . La valeur médiane de l'activité volumique maximale en radon est estimée à 40 Bq/m³ à l'échelle du parc de résidences principales en France métropolitaine continentale. Le niveau de référence de 300 Bq/m³ est dépassé dans 36 logements (représentant 7,6 % du parc de résidences principales). Sur les 36 logements, 26 sont situés dans des communes de catégorie 3 en potentiel radon (voir section 9.8), 9 en catégorie 1 et 1 logement en catégorie 2. Parmi ces logements, 9 d'entre eux (0,74 % du parc) affichent une activité volumique du radon qui dépasse 1000 Bq/m³ dans certaines pièces de vie et qui nécessiterait des actions correctives**

plus lourdes à mettre en œuvre pour diminuer l'exposition des occupants. Six des 9 logements sont situés dans des communes de catégorie 3, 2 en catégorie 1 et 1 seul en catégorie 2.

Tableau 51. Distribution de l'activité volumique maximale de radon mesurée en pièce de vie et comparaison avec la valeur de référence (champ : parc de résidences principales en France métropolitaine continentale sans distinction de zones à potentiel radon)

Radon (Bq/m ³)	
N CAS	10043-92-2
LD moyenne	22
%>LD	71,4
N échantillon	427
Min échantillon	<LD
Max échantillon	1 775
N parc national de logements	20 915 781
P25	<LD
Médiane	40,0
MG	41,7
IC 95%	[41,6 ; 41,9]
P75	80,0
P90	204
Niveau de référence (en valeur moyenne annuelle)t	300 (a)
Effectif de logements dépassant le niveau de référence	1 579 741
Proportion de logements pour lesquels l'activité volumique > niveau de référence (%)	7,55

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; LD : limite de détection du laboratoire (moyenne) ; MG : moyenne géométrique ; P : centile ; (a) Niveau de référence fixé à l'article R. 1333-28 du code de la santé publique à partir duquel il est recommandé d'abaisser la concentration dans l'habitat.

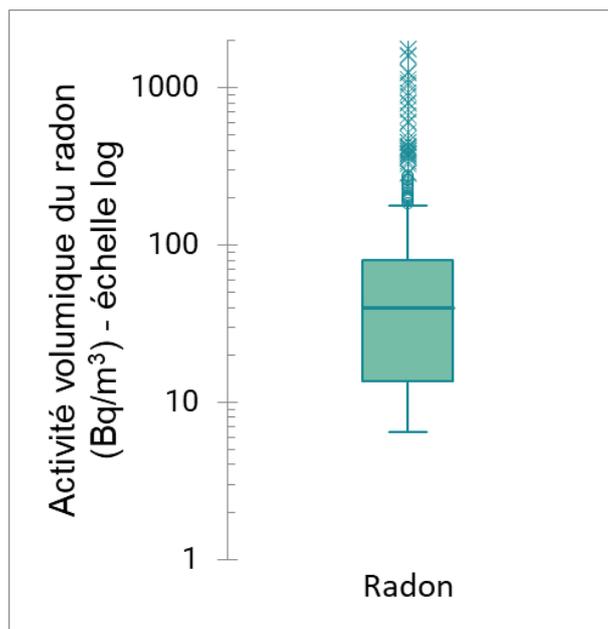


Figure 55 : Distribution de l'activité volumique maximale du radon dans les pièces de vie.

6. TEMPERATURE ET HUMIDITE RELATIVE DANS LES LOGEMENTS EN FRANCE

6.1. Synthèse de la mesure de température et humidité relative

Appareil utilisé: Enregistreur Class'air (Pyrescom).

Durée de mesure : en continu sur 7 jours

Pas de temps : 10 minutes

Lieu de mesure : dans la chambre de la personne de référence du logement.

Mesurandes :

- Température intérieure moyenne dans la chambre de la personne de référence (en °C)
- Humidité relative intérieure moyenne dans la chambre de la personne de référence (en %)

Toutes les périodes d'occupation ou d'inoccupation du logement, de jour comme de nuit, sont prises en compte dans les calculs.

Eléments d'incertitude :

- **Incertitude de l'appareil :** $\pm 0,3$ °C (plage de -40 à +125 °C) et ± 3 % (plage d'humidité relative comprise entre 10 % et 90 %)
- **Intercomparaison à mi-parcours :** A l'issue de la première vague d'enquêtes, les capteurs Class'air ont été comparés à un instrument de référence (Hygrológ, Rotronic) en enceinte climatique à 3 paliers de températures et d'humidités relatives différentes. Ces intercomparaisons ont été réalisées en plusieurs fois. Avec des lots différents de capteurs. L'incertitude élargie ($k = 2$) a été calculée en prenant en compte la justesse et la fidélité des capteurs :
 - Pour un palier de 15 °C, la température moyenne mesurée lors de deux essais d'intercomparaison était de $15,17 \pm 0,26$ °C et $15,48 \pm 0,46$ °C ;
 - Pour un palier de 20 °C, la température moyenne mesurée était de $19,47 \pm 0,24$ °C ;
 - Pour un palier de 30 °C, la température moyenne mesurée lors de deux essais d'intercomparaison était de $30,12 \pm 0,43$ °C et $29,96 \pm 0,34$ °C ;
 - Pour un palier de 35 %, l'humidité relative moyenne mesurée lors de deux essais d'intercomparaison était de $36,3 \pm 4,5$ % et $36,3 \pm 4,2$ % ;
 - Pour un palier de 80 %, l'humidité relative moyenne mesurée lors de deux essais d'intercomparaison était de $83,0 \pm 1,8$ % et $83,2 \pm 2,9$ % ;
- **Intercomparaison en fin de campagne :** A l'issue du terrain de la campagne, 25 capteurs Class'air utilisés en vague 2 de la campagne ont fait le même exercice d'intercomparaison en enceinte climatique :
 - Pour un palier de 15 °C, la température moyenne mesurée était de $15,08 \pm 0,34$ °C ;
 - Pour un palier de 23 °C, la température moyenne mesurée était de $22,93 \pm 0,36$ °C ;
 - Pour un palier de 30 °C, la température moyenne mesurée était de $29,96 \pm 0,37$ °C ;

- Pour un palier de 35 %, l'humidité relative moyenne mesurée était de $35,5 \pm 4,0$ % ;
- Pour un palier de 50 %, l'humidité relative moyenne mesurée était de $52,4 \pm 2,5$ % ;
- Pour un palier de 80 %, l'humidité relative moyenne mesurée était de $83,7 \pm 3,2$ % ;

6.2. Température intérieure

Le **Tableau 52** présente la distribution des températures moyennes hebdomadaires dans le parc de résidences principales de France métropolitaine continentale, répartie selon les trois périodes saisonnières : mois d'été (juin, juillet, août, septembre), mois d'hiver (novembre, décembre, janvier, février, mars) et mois de transition (avril, mai, octobre).

Les températures moyennes hebdomadaires varient entre 19,1 et 23,3 °C entre l'hiver et l'été dans la chambre des logements. Les écarts entre les logements peuvent être importants au sein d'une même période, avec des températures moyennes sur la semaine variant entre 11,7 et 23,5 °C en hiver, et de 17,5 à 29 °C en été. La distribution des températures moyennes hebdomadaires est représentée sous formes de boîtes à moustache à la **Figure 56**. D'autres indicateurs (moyenne arithmétique, écart-type, et centiles 5, 10 et 95) sont fournis en **ANNEXE 4**.

Tableau 52. Distribution de la température intérieure moyenne sur la semaine dans la chambre principale des logements (champ : parc de résidences principales)

Saison	Echantillon			Parc national de résidences principales						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Mois d'été	155	17,5	29,0	7 750 172	22,0	23,3	23,1	[23,0 ; 23,2]	24,6	25,5
Mois de transition	151	13,9	25,0	9 114 320	19,2	20,3	20,0	[19,9 ; 20,0]	20,8	21,7
Mois d'hiver	217	11,7	23,5	10 362 455	17,4	19,1	18,8	[18,6 ; 18,9]	20,2	21,8

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

La distribution des températures minimales sur la semaine est représentée au **Tableau 53**. Elles sont comprises entre 2,4 et 22,6 °C en hiver et entre 11,6 et 27 °C l'été. Les températures minimales très faibles en hiver traduisent généralement un épisode d'aération soutenue au cours de la semaine. A l'inverse, une température minimale élevée en été n'est pas forcément liée à un comportement particulier de l'occupant. Dans la majorité des logements, les températures minimales se situent entre 13 et 21 °C selon la saison.

Les températures maximales sur la semaine sont détaillées au **Tableau 54**. Elles sont comprises entre 17 et 29 °C en hiver et entre 19 et 33 °C en été. Pour la majorité des logements, les températures maximales varient de 20 à 28 °C selon la saison.

Tableau 53. Distribution de la température minimale sur la semaine dans la chambre principale des logements

Saison	Echantillon			Parc national de résidences principales						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Mois d'été	155	11,6	27,0	7 750 172	18,7	20,6	19,9	[19,9 ; 20,0]	21,4	23,2
Mois de transition	151	7,0	22,7	9 114 320	15,5	16,7	16,1	[16,0 ; 16,1]	18,4	19,4
Mois d'hiver	217	2,4	22,6	10 362 455	12,8	14,8	14,3	[14,3 ; 14,4]	16,4	18,4

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

Tableau 54. Distribution de la température maximale sur la semaine dans la chambre principale des logements

Saison	Echantillon			Parc national de résidences principales						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Mois d'été	155	19,4	33,4	7 750 172	23,6	25,9	25,7	[25,7 ; 25,8]	27,6	29,6
Mois de transition	151	18,3	28,8	9 114 320	20,7	22,6	22,5	[22,4 ; 22,6]	23,9	25,3
Mois d'hiver	217	16,6	29	10 362 455	19,5	21,0	21,0	[21,0 ; 21,1]	22,6	24,0

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

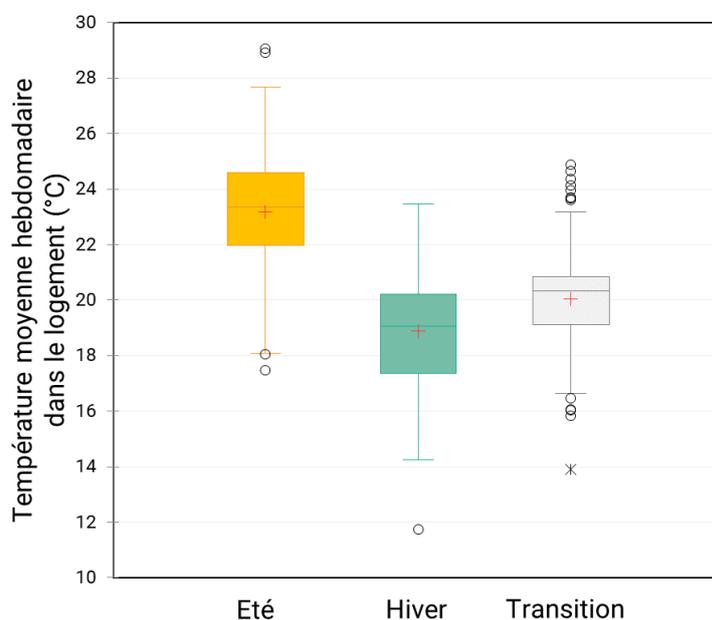


Figure 56. Distribution de la température moyenne hebdomadaire dans le logement par période saisonnière.

6.3. Humidité relative intérieure

Le **Tableau 55** présente la distribution de l'humidité relative dans le parc de résidences principales, répartie selon les trois périodes saisonnières : mois d'été (juin, juillet, août, septembre), mois d'hiver (novembre, décembre, janvier, février, mars) et mois de transition (avril, mai, octobre). L'humidité relative moyenne est globalement plus faible en hiver qu'en été avec des valeurs médianes respectives de 49 % et 57 %. Elle peut atteindre 80 % en été tout comme descendre à 28 % en hiver. La **Figure 57** permet de visualiser ces distributions selon les saisons. D'autres indicateurs (moyenne arithmétique, écart-type, et centiles 5, 10 et 95) sont également fournis en **ANNEXE 4**.

Tableau 55. Distribution de l'humidité relative moyenne dans les logements

Saison	Echantillon			Parc national de résidences principales						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Eté	155	43	80	7 750 172	53	57	57	[57 ; 58]	61	67
Transition	151	31	78	9 114 320	44	59	53	[52 ; 54]	61	67
Hiver	217	28	73	10 362 455	42	49	48	[48 ; 49]	56	61

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

La distribution de l'humidité relative minimale sur la semaine est représentée au **Tableau 56**. En tendance centrale, elle se situe à 35 % en hiver jusqu'à 43 % en été. Selon les logements et les saisons, elle varie de 18 % à 66 %.

L'humidité relative maximale sur la semaine se situe en général entre 60 % en hiver et 69 % en été au regard des valeurs médianes (**Tableau 57**). La plus forte valeur observée est de 88 % en été.

Tableau 56. Distribution de l'humidité relative minimale sur la semaine dans les logements

Saison	Echantillon			Parc national de logements						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Eté	155	24	66	7 750 172	40	43	44	[43 ; 44]	50	57
Transition	151	19	70	9 114 320	34	40	38	[38 ; 39]	46	53
Hiver	217	18	60	10 362 455	29	35	35	[35 ; 36]	42	49

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

Tableau 57. Distribution de l'humidité relative maximale sur la semaine dans les logements

Saison	Echantillon			Parc national de logements						
	N	Min	Max	N	P25	Médiane	MG	IC 95%	P75	P90
Eté	155	52	88	7 750 172	66	69	69	[69 ; 70]	73	78
Transition	151	42	84	9 114 320	59	68	66	[66 ; 67]	77	78
Hiver	217	40	87	10 362 455	55	60	60	[59 ; 60]	67	74

IC : intervalle de confiance de la moyenne géométrique ; MG : moyenne géométrique ; P : centile.

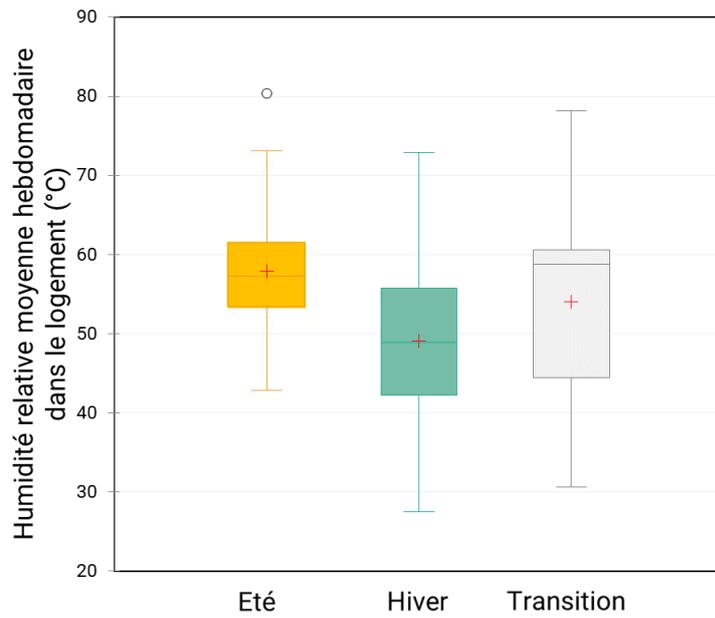


Figure 57. Distribution de l'humidité relative moyenne hebdomadaire dans le logement par période saisonnière.

7. CARACTERISTIQUES DES MENAGES ET DES LOGEMENTS EN FRANCE

7.1. 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 58**), 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. L'analyse de la typologie des communes révèle une prédominance urbaine (66 %) des logements enquêtés. 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 58. 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

Caractéristiques	N	Pourcentage
2	6 261 166	21,1
3	4 152 582	14,0
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
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
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
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
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

Caractéristiques	N	Pourcentage
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

Au regard de l'environnement extérieur proche du logement (**Tableau 59**), de nombreuses résidences principales se situent à proximité immédiate d'un chantier de construction ou de démolition (près de 44 %), d'une autre source potentielle de pollution non listée (près de 44 %, le plus souvent des axes de trafic routier) ou d'une activité agricole (42 %). Une faible proportion de logements (13 %) sont situés aux abords d'une station-service. Il en est de même pour la proximité d'une activité industrielle. De manière encore plus rare, la présence d'une centrale de traitement des déchets aux abords d'un logement n'est signalée que dans 1,2 % des cas.

Plus de 32 % des logements sont situés à moins de 200 m d'une zone de cultures ou d'un champ cultivé, y compris serres, pépinières et jardins publics. En écartant la présence spécifique et exclusive d'un jardin public (9,3 % des logements), cette proportion chute à un peu plus de 23 %.

Tableau 59. Sources potentielles de pollution à moins de 200 m du logement (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Chantier de construction ou de démolition à proximité		
Non	16 708 052	56,2
Oui	13 003 543	43,8
Total	29 711 595	100
Source de pollution : Station-service		
Non	7 951 910	86,7
Oui	1 215 769	13,3
Total	9 167 679	100
Source de pollution : Activité industrielle		
Non	7 943 762	86,6
Oui	1 223 918	13,4
Total	9 167 679	100
Source de pollution : Activité agricole		
Non	5 332 414	58,2
Oui	3 835 266	41,8
Total	9 167 679	100
Source de pollution : Centre de traitement des déchets		
Non	9 058 451	98,8
Oui	109 228	1,2
Total	9 167 679	100
Autre source de pollution		
Non	5 151 155	56,2
Oui	4 016 525	43,8
Total	9 167 679	100
Présence d'une zone de cultures ou de champ cultivé à proximité		
Non	20 071 755	67,6
Oui	9 639 839	32,4
Total	29 711 595	100

7.2. Caractéristiques des ménages

La personne de référence du ménage est un homme dans 52 % des cas (**Tableau 61**). Pour 75 % des ménages, cette personne est âgée d'au moins 42 ans avec un âge médian de 54 ans (**Tableau 60**).

La structure du ménage est représentée par une personne seule dans 38 % des cas. Les couples avec enfants représentent près de 26 % des ménages et les couples sans enfants également 26 %. Les familles monoparentales avec enfants sont rencontrées dans près de 5 % des foyers. Les autres structures de ménage non définies précédemment représentent plus de 5 % des foyers. Ces derniers se composent de 2 à 3 personnes le plus souvent sans enfant. Près de 70 % des ménages sont constitués d'un ou deux individus.

Au moins un fumeur est présent dans près de 25 % des ménages, mais dans la moitié des cas, ils ne fument jamais à l'intérieur du logement. Moins de 8 % des ménages comptent au moins un vapoteur, et vapotant le plus souvent à l'intérieur du logement.

Tableau 60. Distribution de l'âge de la personne de référence (champ : parc de résidences principales)

Personne de référence	Min*	P25	P50	Moyenne	ET	P75	Max*
Age de la personne de référence	22	42	54	54,1	16,8	66	90

ET : écart-type ; P : centile ; *âge min et max parmi les 571 foyers enquêtés

Tableau 61. Caractéristiques des ménages (champ : parc de résidences principales)

Caractéristiques	N	Pourcentage
Structure du ménage		
Personne seule	11 359 181	38,2
Couple avec enfant(s)	7 599 570	25,6
Couple sans enfant	7 748 249	26,1
Famille monoparentale avec enfant(s)	1 466 932	4,94
Autre	1 537 662	5,18
Total	29 711 595	100
Taille du ménage (adultes et enfants)		
1	11 069 126	37,3
2	9 429 561	31,7
3	3 931 676	13,2
4	3 521 374	11,9
5	1 522 526	5,12
6	204 696	0,69
7	32 636	0,11
Total	29 711 595	100
Ressource principale du ménage		

Caractéristiques	N	Pourcentage
Salaires, revenus ou traitements	17 715 580	59,6
Préretraite, retraite	10 488 461	35,3
Indemnités de chômage, RSA ou allocations sociales	1 224 234	4,12
Autres pensions et rentes diverses	114 922	0,39
Ne souhaite pas répondre	168 398	0,57
Total	29 711 595	100
Genre de la personne de référence		
Homme	15 472 259	52,1
Femme	14 239 336	47,9
Total	29 711 595	100
Présence de fumeur(s) dans le logement		
Aucun fumeur	22 485 936	75,7
Au moins un fumeur, mais aucun ne fume à l'intérieur	3 515 933	11,8
1 fumeur	2 418 636	8,14
2 fumeurs	542 985	1,83
3 fumeurs ou plus	748 104	2,52
Total	29 711 595	100
Présence de vapoteur(s) dans le logement		
Aucun vapoteur	27 438 743	92,4
Au moins un vapoteur, mais aucun ne vapote à l'intérieur	416 800	1,40
1 vapoteur	1 049 090	3,53
2 vapoteurs	64 948	0,22
3 vapoteurs ou plus	742 013	2,50
Total	29 711 595	100

7.3. Confort des occupants

Le **Tableau 62** regroupe les perceptions exprimées par la personne de référence du ménage concernant le confort de vie dans le logement, en particulier par rapport à la qualité de l'air, aux sources d'insatisfaction relatives à l'air, aux nuisances sonores, aux principaux désagréments et au ressenti global. Les questions relatives à la perception ont été posées lors de la première visite pour éviter un éventuel biais lié au déroulement de l'enquête au cours de la semaine.

Pour plus de 80 % des logements, la qualité de l'air du logement est jugée agréable (de 'plutôt à 'extrêmement') par la personne de référence. Ce n'est que dans près de 3 % des cas, qu'elle est jugée 'plutôt à extrêmement désagréable'. Pour la moitié des logements, aucune source d'insatisfaction vis-à-vis de la qualité de l'air n'est signalée. Un air trop sec ou un air trop

humide sont les sources d'insatisfaction mises en avant le plus souvent (respectivement dans 12 % et 11 % des logements). Une insatisfaction relative aux odeurs est également reportée dans plus de 13 % des logements, mais avec des sources différentes. C'est avant tout les odeurs provenant de l'extérieur qui sont pointées du doigt (5,9%), puis celles propres au logement (3,9 %) ou aux logements voisins (3,6 %). La température de l'air ou les courants d'air sont moins fréquemment cités comme sources d'insatisfaction.

En termes de nuisances sonores, un peu plus de 24 % des foyers expriment une gêne le plus souvent occasionnelle au regard du bruit des équipements propres au logement (ventilation, éclairage, sanitaires, etc.). Ils sont 33 % à ressentir une gêne plus ou moins fréquente vis-à-vis du bruit apporté par les logements voisins ou les parties communes de l'immeuble. Le bruit extérieur (majoritairement associé au trafic routier ou ferroviaire) représente une gêne fréquente ou occasionnelle pour 18 % des foyers lorsque les fenêtres sont fermées, pourcentage qui monte à près de 45 % quand les fenêtres sont ouvertes.

Pour une très grande majorité (80 %), les occupants se sentent plutôt bien, voire très bien, dans leur logement. Les 3 % des foyers qui se sentent mal dans leur logement mettent en cause l'humidité du logement ou le manque de place. Parmi les occupants qui se sentent bien dans leur logement, une majorité souligne néanmoins un aspect qui les gêne. Il s'agit dans la plupart des cas d'un défaut d'isolation du logement, ou dans une moindre mesure du niveau de bruit.

Un peu plus de 39 % des foyers déclarent avoir souffert de la chaleur l'été précédent l'enquête. Il s'agit selon les enquêtes de l'été 2020, 2021 ou 2022.

Tableau 62. Perceptions exprimées par la personne de référence du ménage sur son logement (champ : parc de résidences principales)

Perception des occupants	N	Pourcentage
Comment jugez-vous en ce moment l'air de votre logement ?		
Extrêmement agréable	3 261 407	11,0
Très agréable	6 136 487	20,7
Agréable	11 776 711	39,6
Plutôt agréable	2 766 240	9,31
Ni agréable, ni désagréable	4 895 809	16,5
Plutôt désagréable	138 910	0,47
Désagréable	8 322	0,02
Très désagréable	0	0
Extrêmement désagréable	727 709	2,43
Total	29 711 595	100
Quelle est en général votre principale source d'insatisfaction vis-à-vis de l'air dans votre logement ?		
Aucune	14 846 821	50,0
Air trop sec	3 590 748	12,1
Air trop humide	3 529 253	11,9

Perception des occupants	N	Pourcentage
L'odeur provenant de l'extérieur	1 741 927	5,86
Air trop confiné/renfermé	1 228 554	4,13
L'odeur du logement lui-même	1 147 084	3,86
Air trop chaud	1 062 452	3,58
L'odeur des logements voisins	1 060 230	3,57
Air trop froid	1 004 622	3,38
Trop de courants d'air	499 904	1,68
Total	29 711 595	100
En cette saison, quand vous êtes dans votre logement, à quelle fréquence ressentez-vous une gêne par rapport aux bruits provenant des équipements de votre logement ? (ventilation, chauffage, éclairage, installations sanitaires)		
Jamais	22 484 543	75,7
Parfois	5 581 254	18,8
Souvent	1 080 581	3,64
Tout le temps	554 257	1,87
Ne souhaite pas répondre	10 960	0,04
Total	29 711 595	100
En cette saison, quand vous êtes dans votre logement, à quelle fréquence ressentez-vous une gêne par rapport aux bruits provenant des autres habitations, des autres logements de l'immeuble ou des parties communes ?		
Jamais	19 805 611	66,7
Parfois	6 422 473	21,6
Souvent	1 986 660	6,68
Tout le temps	1 446 217	4,86
Ne souhaite pas répondre	50 634	0,16
Total	29 711 595	100
A cette époque de l'année, si vous ouvrez vos fenêtres, êtes-vous gêné par le bruit provenant de l'extérieur ?		
Oui, souvent	4 949 354	16,7
Oui, de temps en temps,	8 330 337	28,0
Non, pas du tout	16 411 197	55,2
Ne sait pas	20 707	0,07
Total	29 711 595	100
Quelle est l'origine principale de ce bruit (extérieur, fenêtres ouvertes) ?		
Circulation (routière, ferroviaire)	8 505 148	28,6
Voisinage	1 318 642	4,44
Activités industrielles, artisanales ou de loisirs (usines, commerces, bars, boîtes de nuit, etc.)	1 293 686	4,35

Perception des occupants	N	Pourcentage
Trafic aérien	834 770	2,81
Présence de chantiers	746 063	2,51
Autres cas	558 270	1,88
Ne sait pas	23 113	0,08
Sans objet	16 431 903	55,3
Total	29 711 595	100
A cette époque de l'année, fenêtres fermées, êtes-vous gêné par le bruit provenant de l'extérieur ?		
Oui, souvent	2 849 081	9,59
Oui, de temps en temps,	2 508 085	8,44
Non, pas du tout	24 354 428	82,0
Total	29 711 595	100
Quelle est l'origine principale de ce bruit (extérieur, fenêtres fermées) ?		
Circulation (routière, ferroviaire)	3 129 952	10,5
Voisinage	791 610	2,66
Trafic aérien	775 463	2,61
Activités industrielles, artisanales ou de loisirs (usines, commerces, bars, boîtes de nuit, etc.)	279 409	0,94
Autres cas	236 439	0,80
Présence de chantiers	144 293	0,49
Sans objet	24 354 428	82,0
Total	29 711 595	100
Globalement, comment vous sentez-vous dans votre logement ?		
Très bien	15 822 518	53,3
Bien	9 739 682	32,8
Plutôt bien	3 260 216	11,0
Plutôt mal	0	0
Mal	161 470	0,54
Très mal	727 709	2,45
Total	29 711 595	100
Globalement, qu'est-ce qui vous gêne le plus dans votre logement ?		
Rien	12 854 765	43,3
La mauvaise isolation (sensation de trop chaud et/ou de trop froid)	5 104 847	17,2
Le bruit	2 925 057	9,84
L'humidité	2 773 869	9,34

Perception des occupants	N	Pourcentage
Le manque de lumière	2 194 600	7,39
La suroccupation / Le manque de place	1 948 908	6,56
Autre chose	1 895 833	6,38
Ne souhaite pas répondre	13 717	0,05
Total	29 711 595	100
Avez-vous, ou une personne du ménage, souffert de la chaleur au cours de l'été dernier dans votre logement ?		
Non	17 317 856	58,3
Oui	11 671 055	39,3
Ne se souvient plus	722 684	2,43
Total	29 711 595	100

8. COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN POLLUANTS : CNL1 VS. CNL2

8.1. Comparaison des concentrations intérieures en polluants

La comparaison entre les deux campagnes nationales logements 1 et 2 a pu être menée sur les polluants mesurés communément avec des protocoles de mesures similaires (cf. section 4.2.2).

La comparaison des fréquences de détection, de quantification, des distributions de concentrations en polluants et des proportions de logements dépassant les valeurs de référence (cf. section 4.2.1.4) sont présentés dans les **Tableau 63** et **Tableau 64**. Les comparaisons ont été menées exclusivement sur les niveaux de concentrations observées à l'intérieur du logement.

Quelques substances sont moins souvent détectées en CNL2 qu'en CNL1 et ce, de façon significative relativement à un seuil d'erreur de 5 %. Les différences les plus marquantes sont constatées pour les COV chlorés comme le trichloréthylène et le tétrachloroéthylène détectés dans moins d'un logement sur dix en CNL2. Les autres substances moins souvent détectées en CNL2 sont le 1,4-dichlorobenzène, le 1-méthoxy-2-propanol, le 2-butoxyéthanol, l'éthylbenzène et dans une moindre mesure l'ortho-xylène. Seul le styrène est détecté dans significativement plus de logements en CNL2.

La fréquence de quantification est plus faible en CNL2 pour les substances citées précédemment. C'est également le cas pour le benzène et le n-undécane.

Les particules fines et les aldéhydes, détectés et quantifiés dans pratiquement tous les logements, ne montrent pas de différences significatives entre les deux campagnes. Il en va de même pour le 1,2,4-triméthylbenzène, le n-décane, le toluène et les (m+p)-xylènes. L'acétate du 1-méthoxy-2-propyle reste lui peu détecté et quantifié dans les deux campagnes.

Les concentrations des polluants dans l'air des logements ont diminué de façon significative dans la CNL2 par rapport à la CNL1, notamment pour les particules fines et pour la majorité des COV et des aldéhydes. Les COV chlorés et le n-décane sont les plus impactés avec une baisse relative de plus de 80 % de la concentration médiane et du 95^{ème} centile. Le benzène affiche une baisse significative comprise entre 40 % et 50 %. La concentration médiane en formaldéhyde a baissé d'environ 30 %, tout comme les particules fines (PM_{2,5}). La **Figure 58** illustre ces différences dans les distributions de concentrations du benzène, du formaldéhyde, du trichloroéthylène et du tétrachloroéthylène.

Une diminution significative des fréquences de dépassement des valeurs de référence est également observée dans la CNL2 par rapport à la CNL1 pour toutes les substances comparées, à l'exception du tétrachloroéthylène. Aucun dépassement des valeurs de référence n'a été observé pour l'acétaldéhyde, l'éthylbenzène et le toluène que ce soit en CNL1 ou en CNL2 (**Tableau 64**).

Tableau 63. Comparaison des fréquences de détection et de quantification des substances mesurées à l'intérieur des logements dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales, sauf pour PM_{2,5})

Substance / polluant	N (CNL1)	Max LD	Max LQ	Résultats CNL1		Résultats CNL2	
				%>MaxLD	%>MaxLQ	%>MaxLD	%>MaxLQ
Acétaldéhyde	23 881 729	0,30	0,40	100	100	100	100
Formaldéhyde	23 881 729	0,60	1,10	100	100	99,8	99,8
Hexaldéhyde	23 881 729	0,40	1,09	100	100	100	99,7
1,2,4-Triméthylbenzène	23 392 236	0,18	0,23	99,5	99,5	99,5	97,1
1,4-Dichlorobenzène	23 392 236	0,18	0,23	93,1	93,0	27,9***	22,9***
1-Méthoxy 2-propanol	23 392 236	0,50	1,80	84,9	51,3	49,6***	21,9***
1-Méthoxy-2-propyl acétate	23 392 236	0,70	2,20	22,7	5,5	14,2	3,8
2-Butoxyéthanol	23 392 236	0,40	1,50	83,0	52,9	54,1***	35,0***
Benzène	23 392 236	0,40	1,10	98,6	83,5	95,8	49,6***
n-Décane	23 392 236	0,18	0,22	99,3	99,3	98,6	97,4
Ethylbenzène	23 392 236	0,30	0,90	99,7	93,3	88,2***	36,1***
n-Undécane	23 392 236	0,50	1,40	99,4	97,0	97,9	74,9
Styrène	23 392 236	0,18	0,30	95,1	94,5	99,8***	90,2
Tétrachloroéthylène	23 392 236	0,40	1,20	84,3	56,3	7,5***	3,0***
Toluène	23 392 236	0,40	1,30	100	100	99,2	82,6
Trichloroéthylène	23 392 236	0,40	1,00	82,9	50,3	2,2***	1,3***
Xylènes (méta+para)	23 392 236	0,50	1,50	100	97,7	98,2	56,3
Xylène (ortho)	23 392 236	0,20	0,60	99,9	96,8	98,6*	59,2***
PM _{2,5} ^(a)	290	3,00	3,00	99,9	99,9	98,9	98,9

(a) Résultats sur l'échantillon de logements. Max LD : limite de détection maximale entre CNL1 et CNL2 ; Max LQ : limite de quantification maximale entre CNL1 et CNL2 ; %>LDM : fréquence de détection ; %>LQM : fréquence de quantification. **En gras** : substance avec une fréquence de détection ou de quantification plus faible en CNL2. **En vert** : substance avec une fréquence de détection ou de quantification plus élevée en CNL2. *Différence significative selon un test de Chi² (niveau de significativité p < 0,01). ***Différence significative selon un test de Chi² (niveau de significativité p < 0,0001).

Tableau 64. Comparaison des distributions des **concentrations intérieures** des substances mesurées dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales)

Substance	Unité de mesure	Résultats CNL1							Comparaison CNL2 versus CNL1			
		N	Médiane	P95	MG	IC 95%	VR	%>VR	Ecart relatif de la médiane	Ecart absolu de la médiane	Ecart relatif du P95	Ecart absolu du P95
Acétaldéhyde	µg/m ³	23 881 729	11,6	30,0	11,6	[10,9 ; 12,3]	160	0%	-30%***	-3,43	-27%	-8,22
Formaldéhyde	µg/m ³	23 881 729	19,6	46,6	19,4	[18,3 ; 20,6]	30	21,9% (+)***	-28%***	-5,53	-28%	-13,0
Hexaldéhyde	µg/m ³	23 881 729	13,6	50,1	14,4	[13,3 ; 15,5]	-	-	-6%	-0,79	-15%	-7,55
1,2,4-Triméthylbenzène	µg/m ³	23 392 236	4,06	21,2	4,35	[3,99 ; 4,74]	-	-	-83%***	-3,35	-42%	-8,86
1,4-Dichlorobenzène	µg/m ³	23 392 236	4,18	150	5,36	[4,47 ; 6,44]	-	-	-98%***	-4,09	-98%	-147
1-Méthoxy 2-propanol	µg/m ³	23 392 236	1,91	17,5	1,89	[1,66 ; 2,14]	-	-	-87%***	-1,66	-32%	-5,63
1-Méthoxy-2-propyl acétate	µg/m ³	23 392 236	<LD	2,26	<LD	<LD	-	-	-	-	-18%	-0,41
2-Butoxyéthanol	µg/m ³	23 392 236	1,59	10,3	1,36	[1,21 ; 1,53]	-	-	-58%***	-0,92	+3,1%	+0,32
Benzène	µg/m ³	23 392 236	2,06	7,17	2,02	[1,86 ; 2,19]	6	9,3% (+)***	-47%***	-0,96	-42%	-3,03
							30	0%				
n-Décane	µg/m ³	23 392 236	5,34	53,0	6,38	[5,66 ; 7,20]	-	-	-83%***	-4,41	-80%	-42,5
Ethylbenzène	µg/m ³	23 392 236	2,29	15,0	2,48	[2,27 ; 2,70]	22 000	0%	-74%***	-1,70	-39%	-5,85
n-Undécane	µg/m ³	23 392 236	6,21	72,4	7,34	[6,56 ; 8,21]	-	-	-61%***	-3,78	-71%	-51,6
Styrène	µg/m ³	23 392 236	0,98	2,70	0,94	[0,86 ; 1,01]	-	-	-46%***	-0,45	-37%	-1,01
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	23 392 236	1,41	7,34	1,25	[1,12 ; 1,41]	1 380	0%	-86%***	-1,21	-91%	-6,65
Toluène	µg/m ³	23 392 236	12,2	82,9	13,6	[12,5 ; 14,9]	20 000	0%	-77%***	-9,44	-43%	-35,5
Trichloroéthylène	µg/m ³	23 392 236	1,00	7,30	0,93	[0,82 ; 1,05]	10	3,85% (+)***	-80%***	-0,80	-97%	-7,10
							50	1,8% (+)***				
Xylènes (méta+para)	µg/m ³	23 392 236	5,55	39,7	6,37	[5,82 ; 6,98]	-	-	-68%***	-3,80	-14%	-5,50
Xylène (ortho)	µg/m ³	23 392 236	2,29	14,6	2,57	[2,36 ; 2,82]	-	-	-68%***	-1,56	-21%	-3,08
PM_{2,5}^(a)	µg/m ³	290	19,0	132	24,2	[22,0 ; 26,6]	10	91,8% (+)***	-33%***	-6,36	-48%	-63,7
							15	70,1% (+)***				
							50	21,1% (+)***				

Substance	Unité de mesure	Résultats CNL1							Comparaison CNL2 versus CNL1			
		N	Médiane	P95	MG	IC 95%	VR	%>VR	Ecart relatif de la médiane	Ecart absolu de la médiane	Ecart relatif du P95	Ecart absolu du P95
Radon	Bq/m ³	19 940 079	39,0	271	43,1	[43,0 ; 43,3]	300	3,05% (-) ^{***}	-2,6%	-1,00	+46%	+125
CO ₂ : moyenne hebdomadaire	ppm	21 565 286	756	1 484	768	[740 ; 798]	-	-	+3,4%	+25,7	+7,6%	+113

VR : Valeur de référence présentée dans le paragraphe 4.2.1.5 ; MA : moyenne arithmétique ; IC 95% : intervalle de confiance de la moyenne géométrique (ou arithmétique). **En gras** : substance avec une concentration médiane significativement plus faible en CNL2. *Différence significative selon un test de Mann Whitney Wilcoxon (comparaison des médianes) ou un test de Chi² pour la comparaison des proportions %>VR (niveau de significativité p < 0,01). *** Différence significative selon un test de Mann Whitney Wilcoxon (comparaison des médianes) ou un test de Chi² pour la comparaison des proportions %>VR (niveau de significativité p < 0,0001). ^(a) Résultats sur l'échantillon.

Seuls l'hexaldéhyde et le 1-méthoxy-2-propyl acétate ne montrent pas de différences significatives entre les deux campagnes. Il en va de même pour le CO₂. L'activité volumique du radon est également globalement similaire entre la CNL1 et la CNL2 même si les valeurs élevées sont plus fréquentes (+46 % sur le 95^{ème} centile). Cela se traduit par une fréquence de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³ plus élevée en CNL2 (7,6 % pour 3,1 % en CNL1). Cela est en partie lié au fait que la CNL1 intègre des mesures réalisées en toutes saisons, y compris en périodes chaudes lorsque l'activité volumique du radon est généralement plus faible. En considérant les seules enquêtes réalisées en période hivernale pour la CNL1, la fréquence de dépassement du niveau de référence de 300 Bq/m³ en radon atteint 5,9 %. La différence de fréquence de dépassement observée entre les deux campagnes reste significative. La valeur médiane de l'activité volumique du radon en CNL1 sur les enquêtes réalisées en période hivernale est de 50 Bq/m³ et supérieure à celle observée sur l'ensemble du parc en CNL1 (39 Bq/m³) pour un effectif qui ne représente plus que 173 contre 472 logements (soit 7,1 par rapport à 19,9 millions de logements représentés). Sur cette base, le niveau d'activité volumique en valeur médiane du radon dans les logements aurait eu tendance à baisser entre les deux campagnes. Cependant, l'écart conséquent des effectifs ne permet plus d'être représentatif du parc de résidences principales. Il n'est dès lors pas possible de conclure à une diminution du niveau de radon entre les deux campagnes.

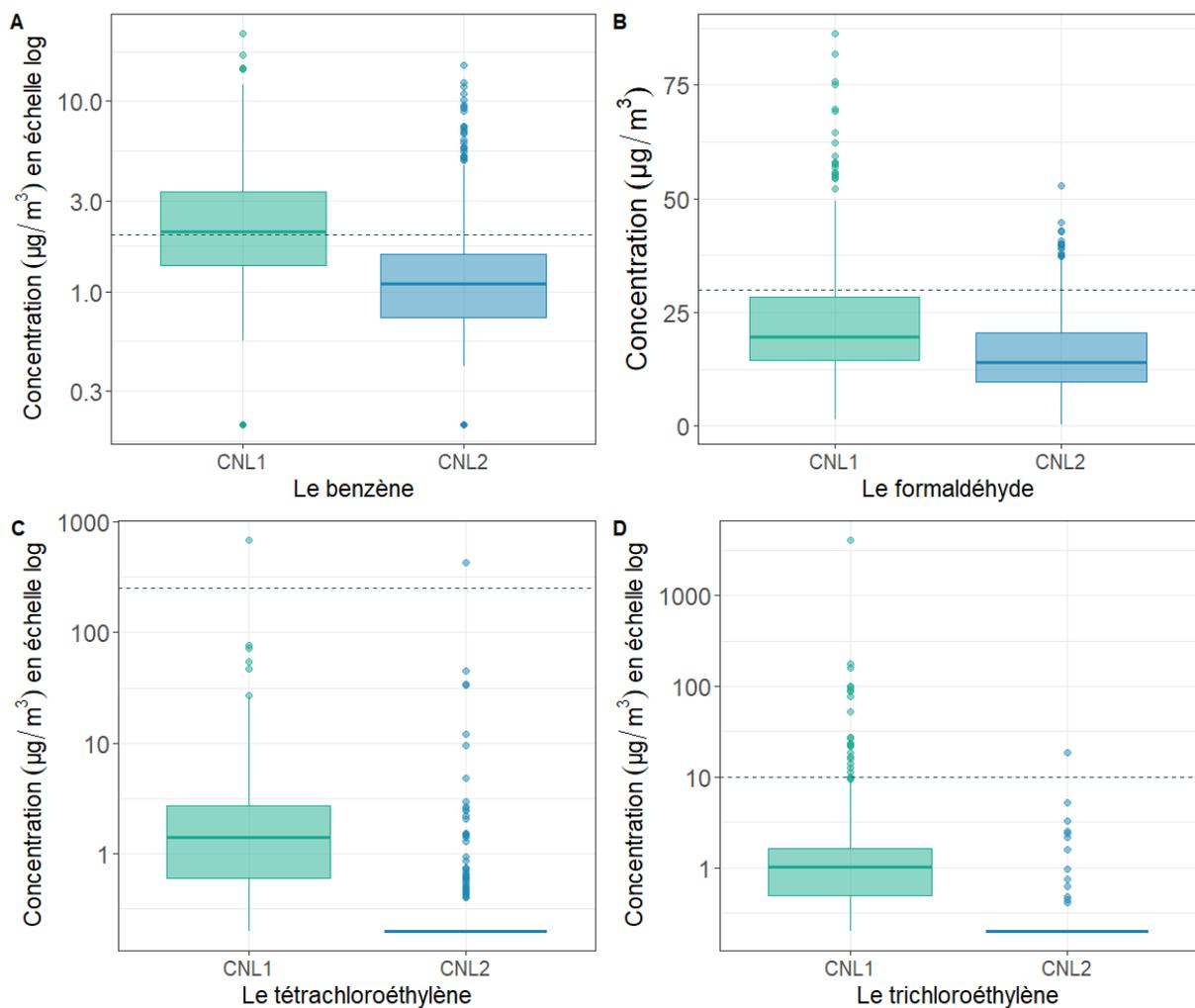


Figure 58 : Distribution comparée des niveaux de concentration intérieure entre CNL1 et CNL2 et comparaison aux valeurs de référence (ligne en pointillé) : A. benzène, B. formaldéhyde, C. tétrachloroéthylène, D. trichloroéthylène

8.2. Comparaison des concentrations extérieures en polluants

Seuls les composés organiques volatils (COV) ont fait l'objet de mesures à l'extérieur des logements pour les deux campagnes CNL1 et CNL2. Les protocoles de mesure étaient similaires autorisant ainsi la comparaison des données.

La comparaison des fréquences de détection, de quantification, des distributions de concentrations extérieures en polluants sont présentés dans les **Tableau 65** et **Tableau 66**. Par analogie avec les mesures réalisées dans les logements, la proportion de points de prélèvements extérieurs qui dépassent les valeurs de référence (cf. section 4.2.1.4) a été déterminée.

La fréquence de détection des COV à l'extérieur des logements a significativement baissé pour tous les COV recherchés depuis la CNL1, sauf pour le benzène. Ce dernier ne présente pas de différences au niveau de la fréquence de détection, mais sa fréquence de quantification (proportion de logements avec une concentration supérieure à $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a néanmoins diminué dans la CNL2. Les baisses les plus importantes concernent notamment les COV chlorés (1,4-dichlorobenzène, trichloréthylène et tétrachloroéthylène). Une baisse notable de la fréquence de détection est également observée pour la plupart des hydrocarbures aromatiques monocycliques (éthylbenzène, xylènes, 1,2,4-triméthylbenzène) sauf pour le toluène et le benzène. Il en est de même pour les hydrocarbures aliphatiques (n-décane et n-undécane).

Tous les COV présentent une baisse significative de leur fréquence de quantification, sauf pour les éthers de glycol (1-méthoxy-2-propanol et son acétate, 2-butoxyéthanol) déjà très peu quantifiés à la base à l'extérieur entre 2003 et 2005.

Une baisse de la concentration extérieure est également observée pour la plupart des COV entre la CNL1 et la CNL2, qui se traduit notamment par une baisse de la concentration médiane qui devient inférieure à la limite de détection ou de quantification et par une diminution en général de la proportion de concentrations élevées (traduite par le 95^{ème} centile de distribution). Le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène présentaient déjà durant la CNL1 une concentration extérieure médiane inférieure à la limite de quantification. Pour la CNL2, la concentration extérieure de ces deux composés est inférieure à la limite de détection dans plus de 95 % des cas. Dans ces conditions, la baisse de concentration n'est pas quantifiable entre les deux campagnes.

Le benzène présente une concentration extérieure médiane inférieure à la limite de quantification dans les deux campagnes. Mais, la proportion de valeurs élevées (notamment supérieures à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est plus faible pour la CNL2 (6,1 % contre 14,8 % pour la CNL1).

Enfin, les éthers de glycols montraient déjà une concentration extérieure médiane inférieure à la limite de détection pour la CNL1. Cela est resté inchangé avec la CNL2.

Tableau 65. Comparaison des fréquences de détection et de quantification des substances mesurées à l'extérieur des logements dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales)

Substance	Résultats CNL1				Résultats CNL2		
	N	Max LD	Max LQ	%>MaxLD	%>MaxLQ	%>MaxLD	%>MaxLQ
1,2,4-Trimethylbenzène	22 096 561	0,19	0,24	96,3	94,7	62,0***	46,6***
1,4-Dichlorobenzène	22 096 561	0,18	0,24	84,2	83,7	2,0***	1,3***
1-Méthoxy 2-propanol	22 096 561	0,50	1,80	5,7	0,8	1,5*	0,5
1-Méthoxy-2-propyl acétate	22 096 561	0,70	2,20	3,0	0,9	0,4**	0,3
2-Butoxyéthanol	22 096 561	0,40	1,50	8,7	1,8	2,1***	0,8
Benzène	22 096 561	0,40	1,10	93,5	49,6	95,2	36,2
n-Décane	22 096 561	0,19	0,23	94,9	93,7	60,2***	44,9***
Ethylbenzène	22 096 561	0,30	0,90	93,8	60,8	38,9***	3,5***
n-Undécane	22 096 561	0,50	1,40	87,5	61,7	61,6***	26,2***
Styrène	22 096 561	0,18	0,30	74,2	73,7	52,8***	11,2***
Tétrachloroéthylène	22 096 561	0,40	1,20	78,6	33,7	1,5***	0***
Toluène	22 096 561	0,40	1,30	99,5	93,3	96,5***	39,5***
Trichloroéthylène	22 096 561	0,40	1,00	77,0	37,8	0***	0***
Xylènes (méta+para)	22 096 561	0,50	1,50	96,3	75,6	64,8***	13,7***
Xylène (ortho)	22 096 561	0,20	0,60	95,4	80,2	71,5***	13,6***

Max LD : limite de détection maximale entre CNL1 et CNL2 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ; Max LQ : limite de quantification maximale entre CNL1 et CNL2 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ; %>LDM : fréquence de détection ; %>LQM : fréquence de quantification. **En gras** : substance avec une fréquence de détection ou de quantification plus faible en CNL2. **En vert** : substance avec une fréquence de détection ou de quantification plus élevée en CNL2. *Différence significative selon un test de Chi² (niveau de significativité p < 0,01). **Différence significative selon un test de Chi² (niveau de significativité p < 0,001). ***Différence significative selon un test de Chi² (niveau de significativité p < 0,0001).

Tableau 66. Comparaison des distributions des **concentrations extérieures** des substances mesurées dans les campagnes nationales logements 1 et 2 (champ : parc de résidences principales, unités de concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Substance	N	Résultats CNL1						Comparaison CNL2 versus CNL1			
		Médiane	P95	MG	IC 95%	VR	%>VR	Ecart relatif de la médiane	Ecart absolu de la médiane	Ecart relatif du P95	Ecart absolu du P95
1,2,4-Triméthylbenzène	22 096 561	1,4	4,1	1,3	[1,2 ; 1,4]	-	-	< (-100%)***	< (-1,1)	-79%	-3,20
1,4-Dichlorobenzène	22 096 561	1,8	4,3	1,2	[1,0 ; 1,3]	-	-	< (-100%)***	< (-1,6)	-	-
1-Méthoxy 2-propanol	22 096 561	<LD	<LQ	<LD	-	-	-	-	-	-	-
1-Méthoxy-2-propyl acétate	22 096 561	<LD	<LD	<LD	-	-	-	-	-	-	-
2-Butoxyéthanol	22 096 561	<LD	<LQ	<LD	-	-	-	-	-	-	-
Benzène	22 096 561	<LQ	2,9	<LQ	-	6	0,47%	-	-	-23%	-0,66
						30	0%				
n-Décane	22 096 561	1,9	6,4	1,7	[1,5 ; 1,9]	-	-	< (-100%)***	< (-1,7)	-88%	-5,57
Ethylbenzène	22 096 561	1,0	2,6	<LQ	-	22 000	0%	< (-100%)***	< (-0,7)	-	-
n-Undécane	22 096 561	1,8	7,0	1,5	[1,4 ; 1,7]	-	-	< (-26%)***	< (-0,4)	+19%	+1,31
Styrène	22 096 561	0,4	0,7	0,3	[0,3 ; 0,3]	-	-	< (-36%)***	< (-0,1)	-49%	-0,37
Tétrachloroéthylène	22 096 561	<LQ	3,9	<LQ	-	1 380	0%	-	-	-	-
Toluène	22 096 561	3,5	12,9	3,6	[3,3 ; 3,9]	20 000	0%	< (-100%)***	< (-2,2)	-66%	-8,52
Trichloroéthylène	22 096 561	<LQ	2,3	<LQ	-	10	0,48%	-	-	-	-
						50	0%				
Xylènes (méta+para)	22 096 561	2,4	7,1	2,2	[2,0 ; 2,4]	-	-	< (-63%)***	< (-0,9)	-60%	-4,30
Xylène (ortho)	22 096 561	1,1	2,7	0,9	[0,9 ; 1,0]	-	-	< (-77%)***	< (-0,5)	-61%	-1,65

<LD : résultat inférieur au maximum de limite de détection retenue entre CNL1 et CNL2. <LQ : résultat inférieur au maximum de limite de quantification retenue entre CNL1 et CNL2. VR : Valeur de référence présentée dans le paragraphe 4.2.1.5 ; MWW : Mann Whitney-Wilcoxon ; MA : moyenne arithmétique ; IC 95% : intervalle de confiance de la moyenne géométrique (ou arithmétique). **En gras** : substance avec une concentration médiane significativement plus faible en CNL2. Ecart relatif < (-100%) : baisse relative d'au moins 100 % du niveau médian de concentration en CNL2 par rapport à la CNL1. Ecart absolu < (-1,1) : baisse d'au moins 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau médian de concentration en CNL2 par rapport à la CNL1.

9. DISCUSSION

Plus de 170 polluants ont été mesurés dans l'air des logements enquêtés lors de la CNL2. Les résultats des composés organiques volatils (COV), aldéhydes, composés organiques semi-volatils (COSV), dioxyde d'azote (NO₂), particules fines (fraction massique PM_{2,5}), radon et dioxyde de carbone (CO₂), sont présentés dans ce rapport. Les principaux résultats de la CNL2 sont rappelés et discutés dans cette section.

9.1. Fréquences de détection et niveaux de concentrations dans les logements

De nombreuses substances sont détectées et retrouvées à des niveaux quantifiables dans au moins 50 % des logements :

- L'ensemble des **COV mesurés dans la chambre principale du logement**, mis à part les COV chlorés et le 1-méthoxy-2-propyl acétate, sont **présents à des niveaux quantifiables. Les terpènes (limonène et alpha-pinène) présentent les concentrations médianes les plus élevées, supérieures à 10 µg/m³**. La médiane des autres COV est comprise entre la limite de détection de la méthode et 3 µg/m³. Quelques logements dépassent 100 µg/m³ ⁶⁵en concentration de certains COV, en particulier pour le limonène (23 logements, soit 2,3 % du parc), l'alpha-pinène (13 logements représentant 1,6 % du parc), mais également pour le toluène (8 logements soit 1,3 % du parc) et les xylènes (7 logements soit 1,2 % du parc). D'autres COV comme l'éthylbenzène, le tétrachloroéthylène, les n-décane et n-undécane, l'acétate de butyle, le 1-méthoxy-2-propanol et le 2-butoxyéthanol, dépassent plus rarement 100 µg/m³ en concentration (un ou deux logements représentant au maximum 0,4 % du parc). Un seul logement enquêté dépasse 1 000 µg/m³ en limonène (représentant 0,09 % du parc de résidences principales) ;
- Quelques **COV, mesurés dans le séjour principal du logement sur 2 heures**, sont **observés à des niveaux quantifiables dans les logements comme les siloxanes (D4, D5 et D6), le naphthalène, l'éthyl acétate et le Texanol®**. Les concentrations médianes restent inférieures à 5 µg/m³, mais plusieurs COV dépassent les 100 µg/m³ dans quelques logements, notamment le siloxane D5 dans 16 logements (2,5 % du parc), le benzaldéhyde dans 6 logements (1,1 % du parc), l'éthyl acétate pour 6 logements (0,7 % du parc), le Texanol® dans 2 logements représentant 0,3 % du parc ou le siloxane D4 pour un seul logement (0,15 % du parc). Les COV totaux présentent une concentration médiane de plus de 100 µg/m³ avec des niveaux pouvant dépasser 1000 µg/m³ dans 12 logements (1,2 % du parc de résidences principales) ;
- **Les 3 aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde et hexaldéhyde) sont mesurés à des niveaux quantifiables dans plus de 99 % des logements**. Le **formaldéhyde** présente la concentration médiane la plus élevée des trois aldéhydes avec **14 µg/m³**, suivi de **l'hexaldéhyde** avec un peu plus de **12 µg/m³** et de **l'acétaldéhyde** avec **8 µg/m³**. Les concentrations maximales observées vont de 45 à 80 µg/m³, respectivement pour

⁶⁵ Valeur indicative de positionnement par ordre de grandeur sans effets particuliers associés.

l'acétaldéhyde et l'hexaldéhyde. Celle du formaldéhyde dépasse tout juste $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans un seul logement (représentant 0,2 % du parc) ;

- **Le dioxyde d'azote est mesuré dans la chambre à des niveaux quantifiables dans un peu plus de 71 % des logements** avec une **concentration médiane de l'ordre de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Un seul logement (représentant 0,2 % du parc) montre une concentration supérieure à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- **Les particules fines (fraction massique $\text{PM}_{2,5}$) sont quantifiées dans la quasi-totalité des logements**. La **concentration médiane** est de l'ordre de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des niveaux supérieurs à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observés dans 15 logements (soit 2,3 % du parc). Un logement (représentant 1,0 % du parc) montre un niveau de concentration dépassant $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- **Au niveau des composés organiques semi-volatils, les substances observées le plus fréquemment à des niveaux quantifiables sont les phtalates (sauf le BBP), les muscs synthétiques (galaxolide et tonalide), le tributylphosphate, le triclosan, les alkylphénols (sauf le 4-n-nonylphénol), une partie des HAP (acénaphène, anthracène, fluoranthène, fluorène, phénanthrène et pyrène) et quelques PCB (PCB-28, PCB-31, PCB-52 et PCB-101)**. Les **concentrations médianes** de ces substances fréquemment quantifiées **varient entre 0,03 (triclosan) et $144 \text{ ng}/\text{m}^3$ (DEP)**. De manière générale, **les concentrations des COSV sont en ordre de grandeur mille fois plus faibles que celles des COV**. Plusieurs substances atteignent des niveaux de concentration de plus de $1\,000 \text{ ng}/\text{m}^3$ (soit plus de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans certains logements. C'est le cas du DIBP dans 34 logements (11,8 % du parc), du galaxolide dans 6 logements (1,8 % du parc), du DEP dans 4 logements (0,9 % du parc) et du DBP dans 1 logement (0,05 % du parc). Le phénanthrène est le HAP avec la concentration la plus élevée par rapport aux autres congénères HAP semi-volatils pour une majorité de logements. Sa concentration médiane est de $9,6 \text{ ng}/\text{m}^3$ avec des niveaux dépassant $100 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans un logement (0,1 % du parc). Parmi la famille des PCB, c'est le PCB-28 qui se distingue avec une concentration médiane de l'ordre de $0,05 \text{ ng}/\text{m}^3$, mais des niveaux dépassant $100 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans un logement (0,2 % du parc). La tonalide présente en général des concentrations plus faibles que celles du galaxolide (médianes respectives de 11 et $65 \text{ ng}/\text{m}^3$), mais qui peuvent dépasser $100 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans 1,2 % du parc de résidences principales. La concentration en tributylphosphate est supérieure à $2 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans 50 % des logements et supérieure à $100 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans 0,4 % des logements ;
- **Le radon a été détecté et quantifié dans plus de 71 % des logements. L'activité volumique médiane est de $40 \text{ Bq}/\text{m}^3$** . Elle dépasse $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ dans 106 logements, représentant 21,7 % du parc de résidences principales. Elle dépasse $1\,000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ dans 9 logements, soit 0,7 % du parc ;
- **La moitié des logements présentent une concentration hebdomadaire en CO_2 , périodes d'occupation et d'inoccupation confondues, supérieure à 783 ppm** et pour un quart des logements, une concentration hebdomadaire supérieure à 1 066 ppm. Cinq logements (représentant 0,5 % du parc) affichent même une concentration hebdomadaire supérieure à 2 000 ppm. **Les concentrations maximales horaires sur la semaine varient de 506 à plus de 5000 ppm selon les logements**, avec une valeur médiane à 1 604 ppm. Pour 10 % des logements, la concentration maximale horaire dépasse 3 437 ppm. **En période nocturne, la concentration moyenne lissée entre**

01h00 et 05h10 se situe à **plus de 1 271 ppm pour la moitié des logements** et pour 10 % d'entre eux, elle dépasse 2 875 ppm.

9.2. Dépassement des valeurs de référence

Pour certains polluants, des dépassements des valeurs de référence sont observés. Les dépassements sont avérés lorsque la période représentative de la mesure (durée de prélèvement) est la même ou bien supérieure à la durée d'exposition préconisée pour la valeur de référence. Par exemple, une concentration hebdomadaire supérieure à une valeur de référence journalière indique que cette dernière a été dépassée au moins une fois sur la semaine sans qu'il soit possible de quantifier le nombre de dépassement car il s'agit d'une mesure agrégée sur un pas de temps de 7 jours.

Les polluants concernés sont les suivants, classés par ordre décroissant de la proportion de logements pour lesquels un **dépassement avéré** est observé :

- **Particules fines (PM_{2,5}) :**
 - **Dépassement avéré de l'objectif cible de 10 µg/m³** dans l'air retenu par le HCSP à échéance de 2025 **pour 70,3 % des logements sur la semaine;**
 - **Dépassement avéré de la valeur moyenne journalière recommandée par l'OMS de 15 µg/m³** dans l'air **pour 43,3 % des logements.** Pour ces logements, cette recommandation a été dépassée au moins un jour sur la semaine de mesure ;
 - **Dépassement avéré sur la semaine de la valeur d'action rapide de 50 µg/m³** proposée par le HCSP **pour 57 logements représentant 10,9 % du parc ;**
- **Radon :**
 - **Dépassement avéré du niveau de référence réglementaire en valeur moyenne annuelle dans l'air intérieur de 300 Bq/m³** **pour 7,6 % des logements** dans au moins une pièce de vie. Pour les logements concernés par un dépassement du niveau de référence, un courrier spécifique d'alerte signé de l'OQAI a été envoyé par le prestataire Sépia Santé aux occupants, avec les recommandations à suivre, telles qu'elles sont communiquées par l'IRSN ;
- **Formaldéhyde :**
 - **Dépassement avéré de la valeur de gestion provisoire** proposée par le Haut conseil en santé publique de 30 µg/m³ sur une semaine pour 6,1 % des logements ;
- **Dioxyde d'azote (NO₂) :**
 - **Dépassement avéré de la valeur moyenne journalière** recommandée par l'OMS **de 25 µg/m³** **pour 3,0 % des logements** au moins une fois dans la semaine. Comparativement, les prélèvements réalisés à l'extérieur montrent que cette recommandation a été dépassée au moins une fois dans la semaine pour 7,4 % des cas. Les dépassements à l'intérieur ou à l'extérieur ne sont pas forcément observés pour les mêmes logements ;
- **Benzène :**

- **Dépassement avéré de la valeur repère de qualité d'air intérieur (VRAI)** du Haut conseil en santé publique de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une année **pour 1,35 % des logements**. Comparativement, les prélèvements réalisés à l'extérieur ne dépassent jamais cette valeur repère. Même si la technique de mesure préconisée par le HCSP pour la comparaison est un prélèvement actif, celle utilisée (prélèvement passif) convient également malgré le fait qu'elle soit associée à des incertitudes plus élevées notamment pour les valeurs supérieures à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en benzène (Anses, 2024) ;
- **Aucun dépassement de la valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAI)** court terme proposée par l'Anse de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a été observé à l'intérieur comme à l'extérieur des logements ;
- **Trichloroéthylène :**
 - **Dépassement avéré de la valeur repère de qualité d'air intérieur (VRAI)** proposée par le Haut conseil en santé publique **de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 1 logement de l'échantillon (représentant 0,05 % du parc)**. Cette VRAI est identique à la VGAI de l'Anses associée à un effet cancérigène sans seuil pour un niveau de risque de 1/100 000. Comparativement, aucun dépassement de cette valeur n'est observé à l'extérieur ;
 - **Aucun dépassement de la valeur d'action rapide (VAR)** du Haut conseil en santé publique **de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$** n'a été observé à l'intérieur comme à l'extérieur des logements ;

Aucun dépassement de valeurs de référence compatibles avec la durée de la mesure n'a été observé pour les substances suivantes :

- Acétaldéhyde (VRAI de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Ethylbenzène (VGAI court terme de $22\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Tétrachloroéthylène (VGAI court terme de $1\ 380 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Toluène (VGAI court terme de $20\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les valeurs de référence existantes pour le naphtalène et le benzo[a]pyrène sont associées à des durées d'exposition qui ne sont pas compatibles avec la durée d'agrégation des mesures (respectivement 2 heures et 1 semaine).

Pour le CO_2 , les valeurs de référence sont construites pour les établissements recevant du public (ERP) et ne sont pas transposables aux bâtiments résidentiels qui diffèrent en termes de schéma d'occupation des locaux et de présence de sources de combustion.

9.3. Points de vigilance associés aux concentrations élevées

Les concentrations des polluants mesurés peuvent parfois être élevées sans qu'une situation de dépassement puisse être constatée. En particulier, la concentration des polluants associés à des effets cancérigènes sans seuil doit être aussi faible que possible. Cette section rassemble ces observations qui représentent autant de points de vigilance. A ce stade de l'exploitation, la recherche des sources ou causes potentielles de ces concentrations élevées n'a pas été menée. D'autant que les facteurs en cause peuvent être multiples et interconnectés

nécessitant une approche multidimensionnelle plus complexe à mettre en œuvre qu'un simple rapprochement.

- **Benzène** :
 - 21,3 % du parc de résidences principales (97 logements de l'échantillon) présentent une concentration moyenne hebdomadaire supérieure à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sans pouvoir se prononcer sur le fait que la valeur guide de qualité d'air intérieur réglementaire⁶⁶ associée à une exposition long terme de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ soit dépassée ou non. Au moins deux prélèvements sur l'année sont nécessaires pour faire cette comparaison. Pour autant, cette observation implique qu'une vigilance particulière doit être maintenue sur le benzène considérant notamment les effets hématologiques cancérigènes sans seuil et que l'exposition à ce polluant doit être aussi faible que possible. En comparaison à l'extérieur des logements, la valeur moyenne hebdomadaire de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée dans 4,1 % des cas.
 - Parmi les logements avec un dépassement avéré à la VRAI de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 5 logements représentant 0,43 % du parc, montrent une concentration moyenne hebdomadaire en benzène qui dépasse $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'intérieur, sans qu'il soit possible de se prononcer sur le dépassement de la VGAI long terme associé à des effets hématologiques non cancérigènes ou encore de la VAR, les deux étant égales à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition long terme.
- **Benzo[a]pyrène** : 99 logements, soit 24 % du parc, présentent une concentration moyenne hebdomadaire supérieure à de $0,12 \text{ ng}/\text{m}^3$, sans qu'il soit possible de se prononcer sur un dépassement de la valeur recommandée par l'OMS sur une année, liée à un niveau de risque de 1/100 000 de contracter un cancer du poumon. Une vigilance particulière de ce polluant est néanmoins requise au vu de la proportion de logements potentiellement concernés.
- **COV totaux** : les COV totaux ne présentent pas de valeur de référence à proprement parler, même si l'Agence fédérale allemande (Umweltbundesamt, 2007) propose des mesures de gestion pour différents seuils associés à une durée d'application variable et pas clairement indiquée (en général entre 1 et 24 heures, ou 1 mois pour les prélèvements passifs). Pour rappel, la mesure des COV donnant lieu au calcul des COV totaux couvre 2 heures dans le séjour du logement. L'autre difficulté est inhérente au mode de calcul variable des COV totaux selon la technique de mesure utilisée (voir la norme Afnor ISO 16000-6). Les observations suivantes restent donc indicatives :
 - Dépassement de la valeur de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 13,8 % des logements. L'agence recommande d'augmenter le renouvellement d'air en cas de dépassement de cette valeur ;
 - Dépassement du seuil de $1\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 1,95 % des logements. La valeur est associée à un point de vigilance et représente une limite pour une occupation des locaux sur le long terme. Ce seuil est également proposé par l'Association

⁶⁶ L'Anses dans son avis du 8 novembre 2024 a préconisé de maintenir la VGAI réglementaire du benzène inscrite à l'article R. 221-29 du code de l'environnement à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au regard d'un projet de décret visant à modifier la valeur à $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ suite à la mise à jour des VGAI sanitaires (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2024SA0118.pdf>).

allemande des instituts de recherche en environnement (Agöf, 2013) et correspond aussi à la limite de concentration dans une pièce modèle suite aux émissions de COV par un produit de construction étiqueté A+ (Legifrance, 2011) ;

- Quatre logements représentant 0,46 % du parc dépassent en concentration le seuil de 3 000 µg/m³. L'Agence fédérale allemande associe un point d'alerte au-delà de ce niveau avec un besoin de renouvellement d'air accru et d'une occupation des locaux limitée au maximum à un mois.
- **Dioxyde d'azote (NO₂) :**
 - 148 logements représentant 35,7 % du parc de résidences principales affichent une concentration moyenne hebdomadaire en NO₂ supérieure à 10 µg/m³. Même s'il n'est pas possible de se prononcer sur le dépassement de la valeur guide recommandée par l'OMS (OMS, 2021), ces niveaux élevés requièrent une vigilance particulière. Comparativement, la concentration moyenne hebdomadaire à l'extérieur des logements dépasse 10 µg/m³ dans 39,5 % des cas.
 - Seuls 27 logements (4,7 % du parc) montrent une concentration moyenne hebdomadaire supérieure à 20 µg/m³, mais il n'est pas possible de dire si la VGAI long terme de 20 µg/m³ a été dépassée. A l'extérieur des logements, la concentration moyenne hebdomadaire de 20 µg/m³ est dépassée dans 14,5 % des cas.
- **Dioxyde de carbone (CO₂) :** la concentration maximale horaire en CO₂ dépasse 5 000 ppm pour 4 logements représentant 3 % du parc. Même si les niveaux de CO₂ habituellement observés dans les environnements intérieurs ne sont pas directement associés à des effets sanitaires, des niveaux de plus de 5 000 ppm sont plutôt rares, mêmes dans les atmosphères de travail pour lesquelles une valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures⁶⁷ est établie. A ce titre, de tels niveaux requièrent une vigilance particulière.
- **Particules fines (PM_{2,5}) :**
 - 497 logements, soit près de 96,6 % du parc présentent une concentration moyenne hebdomadaire en PM_{2,5} qui dépasse 5 µg/m³. Cette valeur correspond également à la valeur guide recommandée par l'OMS dans l'air pour une exposition annuelle de la population générale, mais il n'est pas possible de s'y comparer. Néanmoins, au vu de la proportion de logements potentiellement concernés, une vigilance accrue de ce polluant dans les environnements intérieurs apparaît nécessaire ;
- **Tétrachloroéthylène :**
 - Deux logements (0,43 % du parc) présentent une concentration moyenne hebdomadaire supérieure à 40 µg/m³, sans qu'il soit possible de se prononcer sur le dépassement de la VGAI de 40 µg/m³ associée à un niveau de risque de 1 sur 100 000 d'avoir un cancer du foie pour une exposition vie entière. Ces situations montrent le besoin de maintenir une vigilance sur ce polluant qui malgré la baisse générale observée peut atteindre des niveaux élevés.

⁶⁷ [Dioxyde de carbone \(FT 238\). VLEP et mesurages - Fiche toxicologique - INRS](#)

Comparativement, aucune concentration moyenne hebdomadaire mesurée à l'extérieur des logements ne dépasse $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Parmi les deux logements précédents, un seul voit sa concentration moyenne hebdomadaire dépasser $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Même si cette valeur correspond également à la VRAI proposée par le HCSP en 2010 sur le long terme, il n'est pas possible de conclure à un dépassement du fait de durées d'application incompatibles.

L'ANNEXE 5 – Positionnement des concentrations de polluants au regard de valeurs seuils rassemble dans un tableau l'ensemble des comparaisons à des valeurs seuils de concentration (ou niveau d'activité volumique pour le radon) qu'elles soient ou non associées à des valeurs de référence.

9.4. Polluants sans valeurs de référence

Sur l'ensemble des polluants mesurés, assez peu disposent de valeurs de références. Pour ces composés, le caractère satisfaisant ou non satisfaisant des niveaux de concentration ne peut pas être déterminé du fait de l'absence de valeur de référence sur laquelle s'appuyer.

Cela souligne le besoin continu de construire des valeurs guides sur la base d'études solides autour des effets sanitaires potentiels de ces substances seules mais également en mélange. Qualifier la qualité de l'air intérieur ne peut pas se résumer à la seule évaluation des indicateurs mesurés les plus connus et qui disposent de valeurs de référence, même si cela permet déjà de faire remonter des cas problématiques.

Dans l'attente, une valeur seuil intrinsèque peut être utilisée pour qualifier de manière purement indicative les logements les plus affectés. Le 75^{ème} centile de distribution est choisi pour représenter cette valeur seuil intrinsèque et ainsi mettre en évidence la proportion des 25 % de logements les plus exposés. Cette valeur seuil est tout à fait modulable et un autre centile de distribution peut très bien être pris en compte pour se focaliser sur une plus faible ou au contraire plus grande proportion de logements. Cette valeur seuil intrinsèque peut servir comme base de comparaison pour positionner les résultats d'autres études menées dans les logements.

La valeur seuil intrinsèque considérée, ici le 75^{ème} centile de distribution (P75) est indiquée pour chaque polluant à l'ANNEXE 6 - Valeurs seuils intrinsèques associées aux 25 % de logements les plus exposés.

9.5. Logements avec niveaux élevés ou faibles de pollution de l'air

Certains logements peuvent avoir plusieurs occurrences de concentrations élevées pour différentes substances. 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. Le CO_2 qui n'est pas à proprement parler un polluant n'est pas pris en compte dans cette approche. 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 59** représente la part de logements avec de multiples occurrences de polluants ayant des niveaux élevés (supérieur à P75) à l'échelle du parc de résidences principales.

- Aucun logement ne se retrouve avec une concentration supérieure au 75^{ème} centile pour tous les polluants.
- Pour 3 logements représentant 1,4 % du parc de résidences principales, la concentration d'au moins la moitié des polluants mesurés (et jusqu'à 55 % des polluants) est supérieure au 75^{ème} centile ;
- Pour 128 logements (24,6 % du parc), la concentration d'au moins un quart des polluants est supérieure au 75^{ème} centile ;
- Trois logements (0,6 % du parc) présentent un seul polluant (limonène, n-décane ou radon) dont la concentration dépasse le 75^{ème} centile ;
- Quatre logements (0,3 % du parc) affichent des concentrations qui ne dépassent jamais le 75^{ème} centile ;
- Pour le reste des logements (433 soit 73,2 % du parc), un dépassement du 75^{ème} centile est observée pour 2 % à 24 % des polluants mesurés.

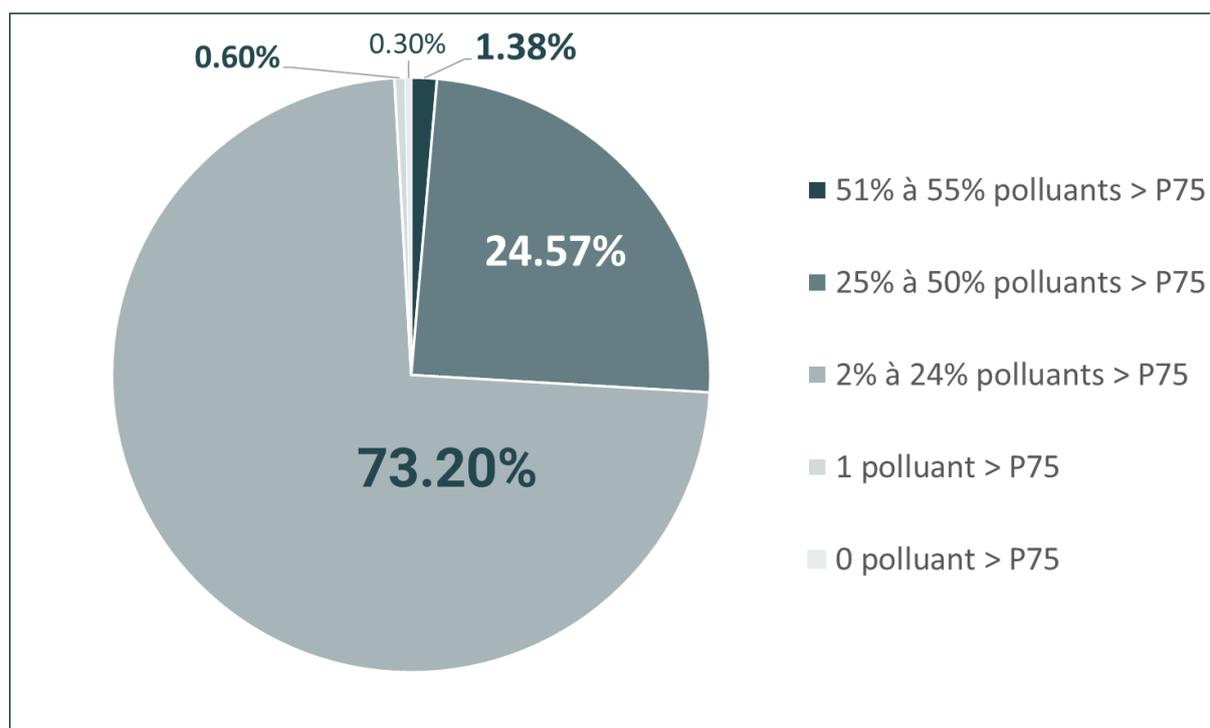


Figure 59. Part de logements avec de multiples occurrences de polluants avec des niveaux jugés élevés (> P75). Champ : parc de résidences principales.

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 LQM est prise en compte. Une concentration inférieure à la LQM est considérée de fait comme une concentration faible.

La **Figure 60** indique la part de logements à l'échelle du parc de résidences principales avec de multiples occurrences de polluants pour lesquels la concentration est jugée faible (< P25).

- Aucun logement ne présente une concentration systématiquement inférieure au 25^{ème} centile de la distribution pour l'ensemble des polluants mesurés ;
- Pour tous les logements, la concentration observée à l'intérieur est inférieure au 25^{ème} centile de la distribution pour 27 % à 94 % des polluants mesurés :
 - 36 % des logements avec moins de la moitié des polluants en concentration faible (< P25) ;
 - 60,6 % des logements avec plus de la moitié jusqu'au trois-quarts des polluants en concentration faible (< P25) ;
 - 3,5 % des logements avec plus de trois quarts des polluants en concentration faible (< P25), dont 0,4 % de logements avec plus de 90 % des polluants mesurés en concentration faible.

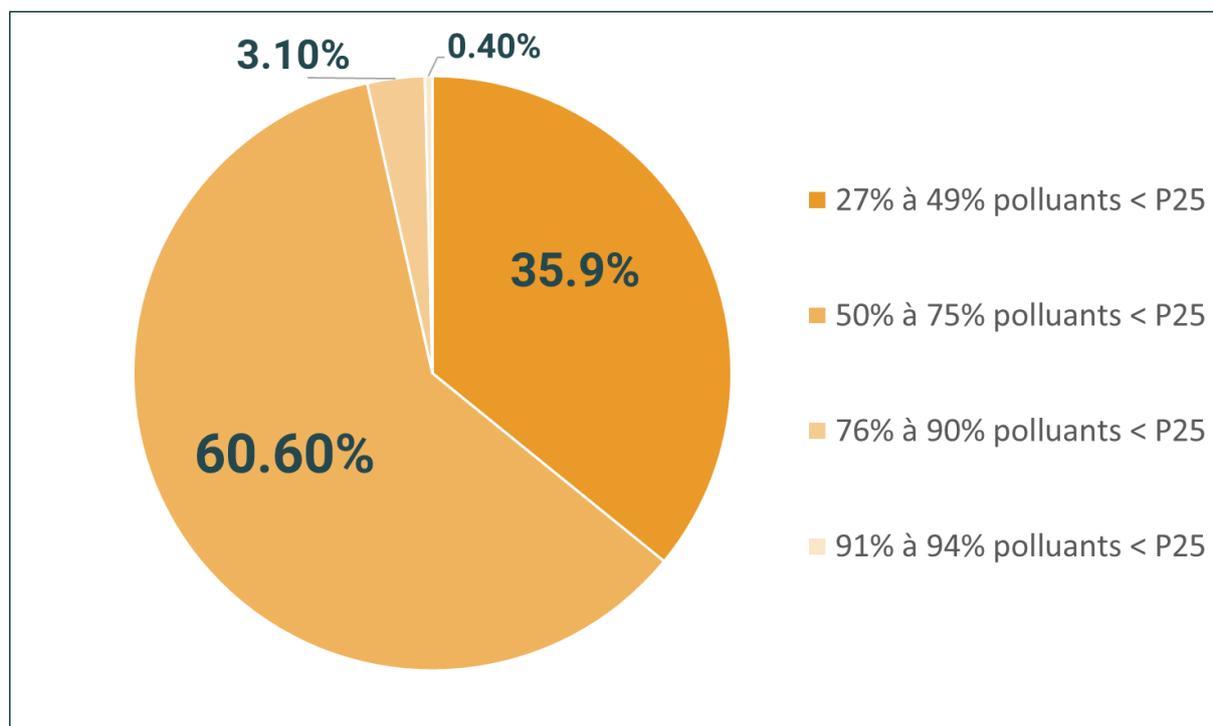


Figure 60. Part de logements avec de multiples occurrences de polluants avec des niveaux jugés faibles (< P25). Champ : parc de résidences principales.

Ces premiers éléments restent à compléter avec une étude multidimensionnelle plus poussée de la multipollution pour déterminer comment celle-ci se répartit entre les logements.

9.6. Substances très peu détectées dans les logements

Plusieurs substances recherchées restent très peu détectées dans les logements, à savoir avec une fréquence de détection inférieure à 5 %. Les substances concernées sont les suivantes :

- Trichloroéthylène (COV) ;
- 1,2-Dibromoéthane (COV émergent) ;
- 2-Butanone oxime (COV émergent) ;
- Bromodichlorométhane (COV émergent) ;
- Méthyl eugénol (COV émergent) ;
- p-Hydroquinone (COV émergent) ;
- p-Menthane-3,8-diol (citriodiol, COV émergent) ;
- Les polybromodiphényl éthers (BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154, COSV) ;
- PCB-77 (COSV) ;
- 4-n-Nonylphénol (COSV).

La faible détection de ces composés peut être liée à l'absence de sources d'émission dans le logement et l'absence de transfert depuis l'extérieur, à une dégradation de la substance dans l'environnement et/ou à une technique de prélèvement ou d'analyse inadaptée. Les deux derniers facteurs impacteraient plutôt les COV émergents. Mais, c'est probablement l'absence de sources spécifiques que vient traduire la très faible fréquence de détection de ces substances.

9.7. Spécificité de la qualité de l'air intérieur par rapport à l'extérieur

Les COV et le NO₂ prélevés par diffusion dans la chambre ont également fait l'objet d'un prélèvement à l'extérieur. Ce n'est pas le cas des autres polluants pour lesquels le niveau de concentration à l'extérieur n'est pas connu. Les aldéhydes légers sont sujets à la photolyse mais également à une production photochimique notamment en période estivale et sont de fait retrouvés en général à plus faible concentration à l'extérieur. C'était le cas lors de la CNL1 pour l'acétaldéhyde, le formaldéhyde et l'hexaldéhyde. Les prélèvements extérieurs n'ont pas été reconduits en CNL2. Il est prévu dans un travail à venir de rapprocher les niveaux de concentrations en particules fines (PM_{2,5}) des logements enquêtés à partir des données des réseaux de surveillance de la qualité de l'air ambiant et/ou des données de modélisation.

Les COV sont en général spécifiques de la qualité de l'air intérieur. En effet, leur **fréquence de détection est plus faible à l'extérieur qu'à l'intérieur du logement. A l'exception du benzène, du toluène et des (m+p)-xylènes**, pour lesquels, la fréquence de détection dépasse 90 % à l'intérieur comme à l'extérieur. Les écarts les plus importants sont observés pour les terpènes (limonène et alpha-pinène), le 2-éthyl-1-hexanol, le styrène, le n-décane ainsi que les éthers de glycols (1-méthoxy-2-propanol et son acétate, 2-butoxyéthanol). Les COV chlorés déjà peu détectés dans les logements le sont encore moins à l'extérieur, notamment le 1,4-dichlorobenzène et le tétrachloroéthylène.

Cette spécificité se retrouve également au niveau des concentrations observées, avec des valeurs médianes plus élevées dans les logements qu'à l'extérieur pour une majorité de COV. Les différences s'accroissent davantage pour les centiles plus élevés (75^{ème}, 90^{ème} notamment).

Le dioxyde d'azote (NO₂) présente une fréquence de détection légèrement supérieure à l'intérieur du logement comparativement à l'extérieur. Les concentrations médianes intérieure et extérieure sont proches, mais les 75^{ème} et 90^{ème} centiles sont plus élevés à l'extérieur. Il en est de même pour la fréquence de dépassement de la VGAI.

Le ratio de concentration intérieure sur la concentration extérieure (I/E) a été calculé pour chaque polluant et chaque logement. Le ratio I/E n'a pas été calculé dans les cas où l'une des deux concentrations était manquante. Il n'a pas non plus été calculé lorsque l'une des deux concentrations était inférieure à la limite de détection de la méthode (LD). Dans ce cas, trois situations se présentent :

- Les concentrations intérieures et extérieures sont toutes les deux inférieures à la LD (< LD). Cette situation ne permet pas de se prononcer sur la prépondérance d'une contribution intérieure ou extérieure ;
- Seule la concentration intérieure est inférieure à la LDM et la concentration extérieure est bien mesurée (< LD (INT)). La situation indique une contribution extérieure prépondérante propre à ce logement ;
- Seule la concentration extérieure est inférieure à la LDM et la concentration intérieure est bien mesurée (< LD (EXT)). La situation indique une contribution intérieure prépondérante propre à ce logement.

Lorsqu'il était possible, le calcul du ratio I/E a été fait sur la base des concentrations d'exposition mesurées aux conditions de température de l'ambiance, sans tenir compte des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur. Un découpage par tranche a été effectué selon 5 catégories :

- $I/E < 1$: le ratio est clairement inférieur à 1. Ce qui indique une prépondérance de la contribution extérieure et possiblement une dégradation ou perte de la substance à l'intérieur du logement concerné (dépôt du NO_2 sur les surfaces par exemple) ;
- $1 \leq I/E \leq 1,5$: le ratio est égal ou légèrement supérieur à 1. La contribution des sources intérieures est jugée minime et la contribution extérieure ne peut pas être écartée ;
- $1,5 < I/E \leq 5$: le ratio est supérieur à 1,5. La contribution des sources intérieures est majoritaire pour le logement concerné ;
- $5 < I/E \leq 50$: le ratio est supérieur à 5. La contribution des sources intérieures est prépondérante pour le logement concerné ;
- $I/E > 50$: le ratio est supérieur à 50. La contribution des sources intérieures est largement prépondérante pour le logement concerné.

Sur cette base, le pourcentage de logements pour lesquels la contribution intérieure est prépondérante a été calculé en intégrant les catégories suivantes : < LD (EXT), $I/E > 1,5$, $I/E > 5$ et $I/E > 50$. De la même façon, le pourcentage de logements pour lesquels la contribution extérieure est prépondérante prend en compte les situations suivantes : < LD (INT), $I/E < 1$ et $I/E \leq 1,5$.

L'examen des ratios de concentrations intérieures par catégorie (**Tableau 67**) permet de distinguer 4 groupes de polluants au regard de la proportion de logements avec prépondérance des contributions intérieures (%INT) ou extérieures (%EXT).

- Groupe de polluants avec contribution intérieure prépondérante (**%INT > 50 %**) :
 - Terpènes (limonène et alpha-pinène) ;
 - Alcools et éthers de glycols (2-éthyl-1-hexanol, 1-méthoxy-2-propanol) ;
 - Acétate de n-butyle ;
 - Alcanes (n-décane et n-undécane) ;
 - Hydrocarbures aromatiques monocycliques (éthylbenzène, toluène, styrène, 1,2,4-triméthylbenzène, xylènes (m,p,o) ;

- Groupe de polluants avec contribution **extérieure prépondérante** (%EXT > 50 %) :
 - Dioxyde d'azote (NO₂) ;
 - Benzène ;
- Groupe de polluants **très rares à la fois en intérieur et en extérieur** (% < LD > 50 %) :
 - 1-Méthoxy-2-propyl acétate ;
 - 1,4-Dichlorobenzène ;
 - Tétrachloroéthylène ;
 - Trichloroéthylène.
- Groupe de polluants **ni très rares et sans contribution prépondérante** : Un seul polluant répond à cette catégorie. Il s'agit du 2-butoxyéthanol. Il est en effet rare (près de 48 % des logements où il n'est pas détecté ni en intérieur ni en extérieur). Quand il est détecté, il l'est plus souvent dans les logements qu'à l'extérieur. Avec 49,6 % des logements pour lesquels la contribution des sources intérieures est prépondérante, il est proche du premier groupe cité sans toutefois respecter le critère d'appartenance (% INT > 50 %).

Tableau 67. Distribution des ratios de concentrations intérieures/extérieures (I/E) par tranches. En gras, pourcentage de logements supérieur à 50 %. (champ : parc de résidences principales en France métropolitaine continentale)

Polluant	Effectif national représenté	% < LD	% < LD(EXT)	% < LD(INT)	% I/E < 1,0	% I/E [1,0 ; 1,5]	% I/E]1,5 ; 5,0]	% I/E]5,0 ; 50]	% I/E > 50	%INT	%EXT
1,2,4-Triméthylbenzène	28 031 777	0,09%	36,5%	0,18%	3,83%	13,0%	30,4%	11,6%	4,46%	82,9%	17,0%
1,4-Dichlorobenzène	28 031 777	74,8%	19,6%	1,94%	-	0,28%	0,56%	1,70%	1,19%	23,0%	2,22%
1-Méthoxy 2-propanol	28 031 777	46,8%	41,1%	1,87%	0,05%	0,20%	4,77%	4,02%	1,23%	51,1%	2,11%
1-Méthoxy-2-propyl acétate	28 031 777	66,9%	24,1%	3,26%	0,64%	1,06%	2,03%	1,83%	0,17%	28,1%	4,96%
2-Butoxyéthanol	28 031 777	47,7%	46,7%	2,23%	0,10%	0,36%	0,57%	2,23%	0,15%	49,6%	2,69%
2-Ethyl-1-hexanol	28 031 777	12,6%	73,1%	1,27%	0,53%	0,04%	5,18%	6,63%	0,59%	85,5%	1,85%
Acétate de n-Butyle	28 031 777	1,89%	40,3%	0,72%	2,00%	4,67%	23,7%	23,2%	3,62%	90,7%	7,38%
alpha-Pinène	28 031 777	0,05%	63,9%	0,09%	1,39%	1,39%	9,20%	20,5%	3,51%	97,1%	2,87%
Benzène	28 031 777	1,50%	1,73%	2,76%	37,1%	21,1%	31,8%	3,95%	-	37,5%	61,0%
n-Décane	28 031 777	0,24%	40,7%	0,37%	3,04%	8,49%	30,4%	15,6%	1,26%	87,9%	11,9%
Dioxyde d'azote (NO ₂)	28 219 045	17,6%	16,6%	11,8%	34,4%	12,94%	6,44%	0,24%	-	23,3%	59,1%
Ethylbenzène	28 031 777	2,88%	20,6%	0,05%	5,13%	21,5%	30,1%	15,5%	4,27%	70,5%	26,7%
Limonène	28 031 777	0,12%	61,3%	0,09%	0,58%	0,45%	4,64%	22,4%	10,4%	98,8%	1,12%
Styrène	28 031 777	0,03%	46,7%	0,16%	1,22%	5,86%	36,9%	9,16%	-	92,7%	7,24%
Tétrachloroéthylène	28 031 777	75,9%	14,70	4,34%	1,11%	2,01%	1,01%	0,72%	0,17%	16,6%	7,46%
Toluène	28 031 777	0,05%	2,97%	0,89%	9,38%	23,1%	34,9%	22,2%	6,45%	66,6%	33,4%
Trichloroéthylène	28 031 777	93,2%	3,35%	2,94%	-	-	-	0,06%	0,45%	3,86%	2,94%
n-Undécane	28 031 777	0,40%	31,2%	0,31%	8,75%	10,9%	36,4%	11,2%	0,85%	79,6%	20,0%
Xylène (ortho)	28 031 777	2,75%	23,4%	0,07%	8,59%	17,3%	31,5%	12,3%	4,12%	71,3%	26,0%
Xylènes (méta+para)	28 031 777	-	2,37%	-	8,74%	20,5%	38,7%	22,5%	7,21%	70,8%	29,2%

% < LD : % de logements pour lesquels concentration < LDM à la fois en intérieur et en extérieur. Pas de ratio I/E calculé.

% < LD(EXT) : % de logements pour lesquels concentration extérieure < LDM et concentration intérieure > LDM. Pas de ratio I/E calculé, mais contribution intérieure prépondérante.

% < LD(INT) : % de logements pour lesquels concentration intérieure < LDM et concentration extérieure > LDM. Pas de ratio I/E calculé, mais contribution extérieure prépondérante.

% < LD(EXT) : % de logements pour lesquels concentration extérieure < LDM et concentration intérieure > LDM. Pas de ratio I/E calculé, mais contribution intérieure prépondérante.

%INT : % de logements pour lesquels la contribution intérieure est prépondérante (voir texte)

%EXT : % de logements pour lesquels la contribution extérieure est prépondérante (voir texte)

9.8. Radon et zones à potentiel radon

Les résultats de l'activité volumique du radon mesurée dans le cadre de la CNL2 sont exprimés à l'échelle du parc de résidences principales en France métropolitaine continentale. Ils permettent d'estimer la distribution de l'activité volumique maximale sur un ensemble de 21 millions de logements⁶⁸ à partir des 427 logements enquêtés. La représentativité de ces logements est déterminée sur la base de caractéristiques des logements et des ménages en intégrant la zone climatique administrative. Par contre, elle ne tient pas compte des zones à potentiel radon⁶⁹ et de ce fait les données de la CNL2 ne sont pas représentatives des groupes de bâtiments situés dans chacune des 3 zones à potentiel radon définies par l'IRSN. Une description des résultats de radon déclinés par zone à potentiel radon a par conséquent été réalisée sur la seule base de l'échantillon de logements.

Le potentiel radon fournit un niveau de risque relatif à l'échelle d'une commune, construit sur la base de paramètres géologiques, en particulier la teneur en uranium des terrains sous-jacents (IRSN, 2021⁷⁰). C'est ce facteur qui détermine le potentiel radon des formations géologiques : sur une zone géographique donnée, plus le potentiel est important, plus la probabilité de présence de radon à des niveaux élevés dans les bâtiments est forte. Il ne présage en rien de l'activité volumique présente dans le logement, celle-ci dépend de multiples autres facteurs (étanchéité de l'interface entre le bâtiment et le sol, taux de renouvellement de l'air intérieur...).

La cartographie du potentiel du radon des formations géologiques établie par l'IRSN conduit à classer les communes en 3 catégories :

- **Catégorie 1** : Les communes à potentiel radon de catégorie 1 sont celles localisées sur les formations géologiques présentant les teneurs en uranium les plus faibles ;
- **Catégorie 2** : Les communes à potentiel radon de catégorie 2 sont celles localisées sur des formations géologiques présentant des teneurs en uranium faibles mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments ;
- **Catégorie 3** : Les communes à potentiel radon de catégorie 3 sont celles qui, sur au moins une partie de leur superficie, présentent des formations géologiques dont les teneurs en uranium sont estimées être plus élevées comparativement aux autres formations.

Le potentiel radon de 36 093 communes (incluant les différents arrondissements des grandes agglomérations) a été mis à disposition en mai 2019 par l'IRSN sur le site <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/connaitre-le-potentiel-radon-de-ma-commune/>. La répartition des 35 438 communes de France métropolitaine continentale selon la catégorie de potentiel radon est présentée à la **Figure 61**, en comparaison avec la répartition des 286 communes dans lesquelles au moins une mesure valide de radon a été effectuée dans le cadre de la CNL2.

⁶⁸ Pour 144 logements, la mesure de l'activité volumique du radon n'a pas pu se faire ou a été invalidée. Ce qui a conduit à un manque de représentation de près de 9 millions sur les 30 millions de résidences principales du parc.

⁶⁹ <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/connaitre-potentiel-radon-ma-commune>

⁷⁰ Ibid.

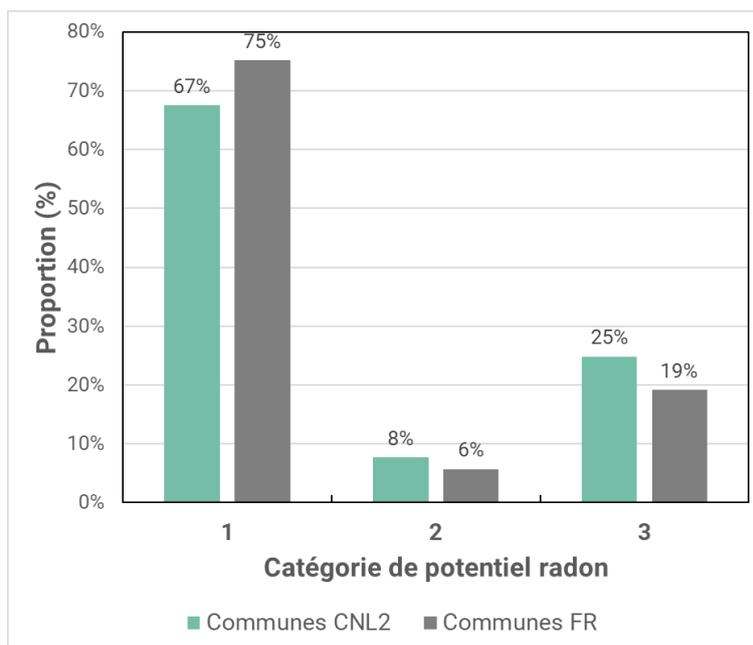


Figure 61. Répartition des 286 communes avec au moins une mesure de radon valide (Communes CNL2) selon la catégorie de potentiel radon comparativement à celle des 35 438 communes de France métropolitaine continentale (Communes FR).

Plus des trois-quarts des communes de France métropolitaine continentale se situe en zone de potentiel radon de catégorie 1. Un peu plus de 19 % des communes sont situées en catégorie 3 et relativement peu (moins de 6 %) en catégorie 2. Comparativement, au sein des 286 communes couvertes par au moins une enquête, les deux tiers se situent en catégorie 1, un quart en catégorie 3 et 8 % en catégorie 2. L'échantillon CNL2 présente donc un peu plus de communes avec un potentiel radon de catégorie 3 et par contre un peu moins de communes en catégorie 1.

Les résultats associés aux 427 logements de la CNL2 avec des mesures de radon ont été croisés avec la catégorie de potentiel radon de leur commune (**Tableau 68** et **Figure 62**). L'activité volumique du radon est significativement plus élevée dans les 106 logements situés en catégorie 3 (test de Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$) par rapport à ceux localisés dans les communes de catégorie 1 ou 2 (respectivement 291 et 30 logements). La proportion de logements avec une activité volumique maximale supérieure à 300 Bq/m^3 passe d'un peu plus de 3 % en catégorie 1 ou 2 à près de 25 % en catégorie 3.

Tableau 68. Statistiques de distribution de l'activité volumique maximale en radon dans les logements selon la catégorie de potentiel radon de la commune (champ : échantillon de 427 logements)

Radon (Bq/m ³)	Echantillon		Catégorie de potentiel radon		
	Global	1	2	3	
n	427	291	30	106	
Min	< 22	< 22	< 22	< 22	
Max	1775	1231	1599	1775	
P25	< 22	< 22	< 22	46,8	
P50	48,0	35,0	47,0	87,5	
P75	97,5	75,5	90,0	273	
P90	249,0	131	153	669	
MG	48,0	36,0	46,6	106	
IC 95 %	[34,7 ; 66,4]	[25,6 ; 50,6]	[13,9 ; 156]	[53,4 ; 212]	
% logements > 300 Bq/m ³	8,4%	3,1%	3,3%	24,5%	

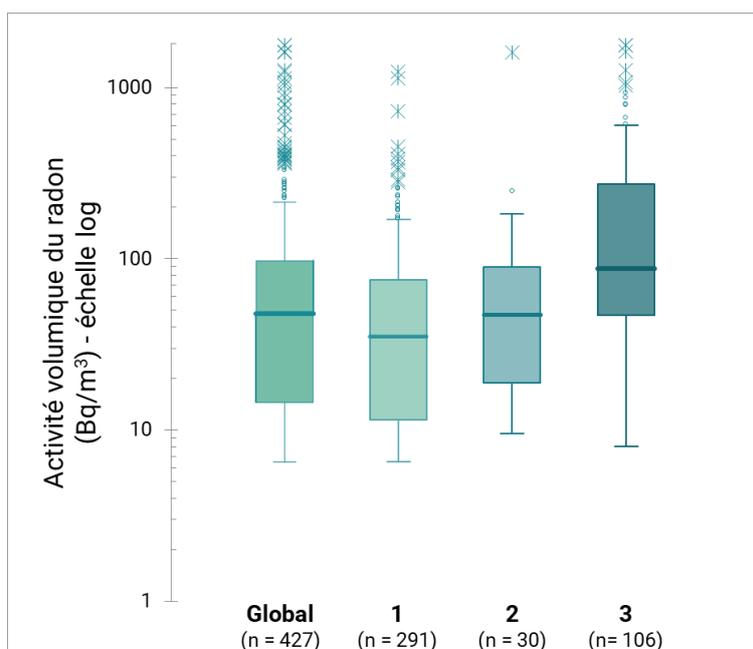


Figure 62. Distribution de l'activité volumique maximale en radon dans les logements selon la catégorie de potentiel radon de la commune (champ : échantillon de 427 logements).

La zone à potentiel radon est un facteur important qui montre que les logements situés dans les zones les plus à risque ont une probabilité plus forte d'avoir des niveaux d'activité en radon élevés. Pour autant, les résultats observés à l'échelle de l'échantillon de 427 logements ne sauraient rendre compte de la distribution des niveaux de radon au sein de chacune des zones. De fait, les résultats affichés au **Tableau 68** ne sont pas extrapolables à tous les logements situés au sein de ces zones. Pour une information plus détaillée sur les niveaux de radon au

sein de chacune de ces zones, il convient de se rapprocher de l'IRSN⁷¹ qui dispose d'un historique de mesures en radon plus conséquent.

9.9. Température et humidité dans les logements

Une synthèse des résultats observés en périodes d'été ou d'hiver est présentée ci-après pour l'ensemble des logements sans les décliner selon la présence de certains équipements comme un système de climatisation. Les données relatives aux mois de transition (avril, mai et octobre) sont moins contrastées et se situent globalement à l'intermédiaire des résultats observés pour les périodes plus contrastées que sont l'été et l'hiver. Elles ne sont pas rappelées dans ce chapitre.

Il est également important de noter que la description de la température et de l'humidité relative avec une approche saisonnière est pertinente, mais au regard de la méthodologie de l'enquête cela revient à comparer différents logements et à exprimer les résultats pour une partie de la population du parc seulement (voir la discussion plus détaillée en section 4.2.1.4). Ainsi, les enquêtes réalisées durant les mois d'été avec une mesure de température/humidité valide, exprimées à l'échelle du parc de résidences principales, concernent 28,5 % des logements. Celles réalisées durant les mois d'hiver reposent sur 38 % des logements, et durant les mois de transition sur 33,5 % des logements. Les résultats de température et d'humidité relative déclinés par saison, bien que pertinents, restent indicatifs.

La norme Afnor NF EN 16798-1 (2019) donne des indications d'ambiance intérieure dans le cadre de la conception et de l'évaluation d'un système spécifique de ventilation associée à la performance énergétiques des bâtiments, notamment résidentiels. Au regard du confort thermique, elle reprend les éléments de la norme NF EN ISO 7730 (2006) fixant les critères selon les indices PMV (vote moyen prévisible d'un groupe de personnes sur la sensation thermique) et PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits). Quatre catégories d'ambiance intérieures sont décrites et traduites en termes de plage de température (à vitesse d'air faible < 0,1 m/s et une humidité relative de l'ordre de 40 % en hiver et de 60 % en été) pour une activité sédentaire (1,2 met⁷²) et une tenue vestimentaire type (1 clo en hiver et 0,5 clo en été⁷³) :

- **Catégorie 1** : Ambiance intérieure de qualité élevée qui convient tout particulièrement aux populations sensibles (enfants et personnes âgées). Pour le confort thermique, elle correspond à un PPD < 6 %. La plage de température associée est de [21 ; 25 °C] en saison de chauffe et de [23,5 ; 25,5 °C] en saison estivale ;
- **Catégorie 2** : Ambiance intérieure de qualité moyenne qui correspond au niveau normal attendu. Elle est associée à un PPD < 10 %. La plage de température associée est de [20 ; 25 °C] en saison de chauffe et de [23 ; 26 °C] en saison estivale ;
- **Catégorie 3** : Ambiance intérieure de qualité modérée qui reste acceptable dans la plupart des cas mais qui peut être associée à un risque de performances réduites des

⁷¹ [Campagne nationale de mesure du radon | IRSN](#)

⁷² Le met (*Metabolic Equivalent of Task*) est une unité de mesure qui permet d'estimer la quantité d'énergie utilisée par le corps pendant l'activité physique, par rapport au métabolisme au repos.

⁷³ Le clo est une unité de mesure de l'isolation thermique utilisée pour les vêtements.

occupants. Elle est associée à un PPD < 15 %. La plage de température associée est de [18 ; 25 °C] en saison de chauffe et de [22 ; 27 °C] en saison estivale ;

- **Catégorie 4** : Ambiance intérieure de qualité faible qui peut convenir sur de courtes périodes de l'année ou dans des espaces plus rarement occupés. Elle est associée à un PPD < 25 %. La plage de température associée est de [17 ; 25 °C] en saison de chauffe et de [21 ; 28 °C] en saison estivale.

La catégorie 3 est retenue comme base de comparaison au regard des données de température qui ont été recueillies dans la chambre de la personne de référence. Les plages de température indiquées dans la norme sont exprimées en température opérative qui tient compte de la convection et du rayonnement (donc des températures de la surface des parois et de la vitesse d'air) (NF EN ISO 7726, 2002). Ces éléments n'ont pas été recueillis dans le cadre de la campagne. De ce fait, en première approximation, la température d'air mesurée localement dans la chambre est assimilée à une température opérative pour les besoins de la comparaison. Des parois plus froides (ou plus chaudes) que l'air de la pièce vont entraîner une température opérative différente de la température d'air. La comparaison des données observées à ces préconisations reste donc indicative.

En ce qui concerne l'humidité relative, la norme NF EN 16798-1 (2019) ne fixe pas de préconisations, mais indique des valeurs de conception pour l'humidification ou la déshumidification variables selon les catégories d'ambiances intérieures. Pour la catégorie 3, cela se traduit par une plage d'humidité relative comprise entre 20 % et 70 %. L'Ademe préconise dans son guide sur comment isoler sa maison⁷⁴ un taux d'humidité compris entre 40 % et 60 %. Cette dernière préconisation est retenue pour les besoins de la comparaison.

Une durée d'agrégation n'est pas systématiquement associée aux plages de températures ou d'humidité relative indiquées. Le caractère indicatif des comparaisons réalisées en est renforcé et leur interprétation doit être menée avec prudence.

9.9.1. Durant les mois d'été

L'analyse des températures mesurées dans les 155 logements enquêtés durant les mois d'été (représentant 7,75 millions de résidences principales) a montré que :

- **La moitié des logements** ont une température moyenne hebdomadaire **supérieure à 23 °C** dans leur chambre principale **durant les mois d'été**. Pour 10 % des logements, la température moyenne hebdomadaire dépasse 25,5 °C avec un maximum observé de 29 °C. Pour 1,8 % des logements, elle dépasse la valeur de 27 °C associée à une ambiance intérieure de qualité modérée. Dans 26,9 % des logements, la température moyenne hebdomadaire reste inférieure au seuil bas de 22 °C associée à une ambiance intérieure de qualité modérée. Cela peut aussi bien traduire des conditions estivales particulièrement fraîches comme un rafraîchissement accru de la température de la chambre par un système de climatisation par exemple. La grande majorité des logements (71,3 %) présente des conditions de température moyenne conformes à une ambiance intérieure de qualité modérée. Ils ne sont plus que 47,8 %

⁷⁴ <https://bibliothèque.ademe.fr/ged/9380/guide-comment-isoler-sa-maison.pdf>

à pouvoir qualifier leur ambiance de qualité moyenne et plus que 34,3 % pour une ambiance intérieure de qualité élevée ;

- La **température maximale sur la semaine** varie de 19,4 à 33,4 °C selon les logements. Elle est **supérieure à 26 °C pour la moitié des logements** et supérieure à 30 °C pour environ 10 % d'entre eux. Pour 29,6 % des logements, la température maximale dépasse la valeur de 27 °C associée à une ambiance intérieure de qualité modérée. Pour 6,8 % des logements, la température maximale n'atteint pas le seuil de 22 °C associée à une ambiance intérieure de qualité modérée. Près de 64 % de logements présentent une température maximale sur la semaine dans la plage comprise entre 22 et 27 °C, correspondant à une qualité d'ambiance intérieure modérée. Ce chiffre tombe à 38,7 % et 25,3 % pour une qualité d'ambiance intérieure respectivement moyenne ou faible ;
- La **température minimale sur la semaine** varie de 11,6 à 27 °C. Elle est **supérieure à 21 °C pour 50 % des logements** et supérieure à 23 °C pour 10 % d'entre eux. Aucun logement ne présente une température minimale supérieure à 27 °C, mais celle-ci reste inférieure à 22 °C dans près de 81 % des cas ;
- Seuls 6 logements (3 % des 7,75 millions de résidence principale) présentent l'intégralité de leurs données de température (minimale, moyenne et maximale) dans la plage comprise entre 22 et 27 °C associée à une qualité d'ambiance intérieure au moins modérée ;
- **L'amplitude de variation sur la semaine est inférieure à 5,5 °C pour la moitié des logements**. Elle est de plus de 9 °C pour 10 % des logements.

L'analyse de l'humidité relative mesurée dans les logements enquêtés en été a montré que :

- **L'humidité relative** hebdomadaire moyenne est **supérieure à 57 %** dans la chambre principale **durant les mois d'été**. Pour 10 % des logements, l'humidité relative moyenne hebdomadaire dépasse 67 % avec un maximum observé de 80 %. Au regard de la plage d'humidité comprise entre 40 % et 60 % préconisée par l'Ademe dans le logement, 69,8 % des logements s'y conforment. Aucun logement ne présente une humidité relative hebdomadaire moyenne inférieure à 40 %. En revanche, le seuil de 60 % d'humidité relative est dépassé dans 30,2 % des cas (et de 70 % dans 5,6 % des logements).
- L'humidité relative **maximale sur la semaine** varie de 52 % à 88 %. Elle est **supérieure à 69 % pour 50 % des logements** et supérieure à 78 % pour 10 % d'entre eux. L'humidité relative maximale s'inscrit dans la plage comprise entre 40 % et 60 % pour uniquement 3,3 % des logements. Une très grande majorité de logements (96,7 %) dépasse 60 % d'humidité relative au moins une fois sur la semaine (et dépasse 70 % d'humidité relative dans 45,5 % des cas) ;
- L'humidité relative **minimale sur la semaine** varie de 24 % à 66 % selon les logements. Elle est **inférieure à 43 % pour la moitié des logements** et inférieure à 36 % pour environ 10 % d'entre eux. Près de 75 % des logements présentent une humidité relative minimale dans la plage comprise entre 40 % et 60 %. Pour 23,6% des logements, le minimum observé est inférieur à 40 %, et dans 1,6 % des cas, la température minimale est restée supérieure à 60 % ;

- Aucun logement ne présente l'intégralité de ses données d'humidité sur la semaine (minimum, moyenne et maximum) comprises dans la plage de 40 % à 60 %. Mais pour 54,5 % des logements, toutes les mesures d'humidité restent comprises dans la plage de 20 % à 70 %.

9.9.2. Durant les mois d'hiver

L'analyse des températures mesurées dans les 217 logements enquêtés durant les mois d'hiver (représentant près de 10,4 millions de résidences principales) a montré que :

- **La moitié des logements** ont une température moyenne sur la semaine **inférieure à 19 °C** dans leur chambre principale **durant les mois d'hiver**. Pour 10 % des logements, la température moyenne ne dépasse pas 16,5 °C avec un minimum observé de 12 °C. Près de 67,5 % des logements ont une température moyenne sur la semaine qui reste dans la plage comprise entre 18 et 25 °C associée à une ambiance intérieure de qualité modérée. Aucun logement ne présente une température moyenne supérieure à 25 °C. Pour 32,6 % des logements, la température moyenne reste inférieure à 18 °C. La proportion de logements conformes à une qualité d'ambiance intérieure moyenne (plage de 20 à 25 °C) ou élevée (plage de 21 à 25 °C) est respectivement de 28 % et 15,3 % ;
- La **température maximale sur la semaine** varie de 16,6 à 29 °C selon les logements. Elle est **supérieure à 21 °C pour la moitié des logements** et supérieure à 24 °C pour 10 % d'entre eux. La température maximale se situe dans la plage de conformité à une qualité d'ambiance intérieure modérée (entre 18 et 25 °C) pour 87,4 % des logements. Elle reste inférieure à 18 °C pour 8,5 % des logements, mais affiche plus de 25 °C pour 4,1 % d'entre eux. Pour ce seul critère, la conformité à une qualité d'ambiance intérieure moyenne ou élevée est atteinte pour respectivement 64,8 % et 47 % des logements ;
- La **température minimale sur la semaine** varie de 2,4 à 23 °C. Elle est **inférieure à 15 °C pour 50 % des logements** et inférieure à 10,6 °C pour 10 % d'entre eux. Le seuil minimal de 18 °C associé à une qualité d'ambiance intérieure de qualité modérée n'est jamais atteint pour 86,2 % des logements ;
- Seuls 25 logements (12,1 % des 10,4 millions de résidences principales) sont conformes à une qualité d'ambiance intérieure modérée sur l'ensemble des données de température (minimum, moyenne et maximum) ;
- **L'amplitude de variation sur la semaine** est **supérieure à 6,1 °C pour la moitié des logements**. Pour 10 % des logements, elle est de plus de 11 °C. L'amplitude est de moins de 3,3 °C pour 10 % d'autres logements.

L'analyse de l'humidité relative mesurée dans les logements a montré que :

- **L'humidité relative** moyenne hebdomadaire est **supérieure à 49 %** dans la chambre principale **durant les mois d'hiver**. Pour 10 % des logements, l'humidité relative moyenne hebdomadaire dépasse 61 % avec un maximum observé de 73 %. Le minimum observé est de 28 %. Une proportion de 70 % des logements affiche une humidité relative moyenne dans la plage de 40 % à 60% préconisée par l'Ademe. Près

de 15 % des logements présentent une humidité relative moyenne inférieure à 40 % et un peu plus de 15 %, une humidité relative moyenne supérieure à 60 %. Pratiquement tous les logements sont par contre englobés dans une plage comprise entre 20 % et 70 % d'humidité ;

- L'humidité relative **maximale sur la semaine** varie de 40 % à 87 %, avec une valeur médiane de 60 %. Elle est **supérieure à 60 % pour près de 48 % des logements** et supérieure à 74 % pour 10 % d'entre eux. La plage de 40 % à 60 % préconisée par l'Ademe est respectée pour 52,1 % des logements (83,2 % en considérant la plage 20 % à 70 %) ;
- L'humidité relative **minimale sur la semaine** varie de 18 % à 60 % selon les logements. Elle est **inférieure à 35 % pour la moitié des logements** et inférieure à 26 % pour environ 10 % d'entre eux. Dans 66 % des cas, l'humidité relative minimale est inférieure à 40 %, mais très rarement en-dessous de 20 % (0,4 % des logements) ;
- Pour 20 logements (soit près de 7,9 % des 10,4 millions de résidences principales), la plage de 40 % à 60 % d'humidité relative préconisée par l'Ademe est respectée sur l'ensemble des données mesurées sur la semaine (minimum, moyenne, maximum).

Ces premiers éléments restent à compléter par une exploitation plus poussée des données de température et d'humidité qui permettrait par exemple d'exprimer le temps passé au-dessus ou en-dessous de valeurs seuils, le calcul de l'humidité spécifique et l'apport par rapport à l'extérieur. Les données de mesure dans la chambre de la personne de référence pourraient être croisées avec celles enregistrées dans le séjour principal du logement, encore en validation à ce stade. Ces pistes d'exploitations parmi d'autres pourront faire l'objet de prochains travaux de l'OQEI, par exemple dans une démarche plus globale d'analyse du confort thermique ou des problèmes d'humidité dans les logements.

9.10. Evolution des concentrations entre CNL1 et CNL2

9.10.1. Synthèse des évolutions de concentrations entre CNL1 et CNL2

De manière générale, une baisse des niveaux de concentration intérieure en COV, aldéhydes et particules est observée pour la CNL2 par rapport à la CNL1. Les différentes situations sont présentées ci-après :

- Baisse significative **de la concentration intérieure de plus de 80 %** :
 - COV halogénés : **trichloroéthylène, tétrachloroéthylène et 1,4-dichlorobenzène**, avec une baisse comprise entre 80 % et 98 %, à la fois sur la valeur médiane et sur le 95^{ème} centile. Pour le trichloroéthylène, une baisse significative de la proportion de logements qui dépasse la valeur de référence de 10 µg/m³ est également observée (0,05 % en CNL2 contre 3,85 % en CNL1) ;
 - **n-Décane**, à la fois sur la valeur médiane (-83 %) et sur le 95^{ème} centile (-80 %) ;
 - **1-Méthoxy-2-propanol**, au regard de la valeur médiane (-87 %). La baisse du 95^{ème} centile est moins prononcée (-32 %) ;
- Baisse significative **de la concentration intérieure de plus de 50 %** :
 - Hydrocarbures aromatiques : **toluène, éthylbenzène, xylènes (m,p,o)**, avec une baisse comprise entre 68 % et 77 % sur la valeur médiane. La baisse sur les valeurs élevées (exemple du 95^{ème} centile) est moins prononcée, entre 14 % et 43 % ;
 - **n-Undécane**, à la fois sur la valeur médiane (-61 %) et sur le 95^{ème} centile (-71 %) ;
 - **2-Butoxyéthanol**, au regard de la valeur médiane (-58 %). Le 95^{ème} centile est par contre légèrement plus élevé (+3 %) ;
- Baisse significative **de la concentration intérieure de moins de 50 %** :
 - Hydrocarbures aromatiques : **benzène et styrène**, avec une baisse autour de 46 % - 47 % sur la valeur médiane. La baisse sur les valeurs élevées (exemple du 95^{ème} centile) est du même ordre, respectivement 42 % et 37 %. La proportion de logements qui dépasse 6 µg/m³ en benzène baisse également significativement (1,35 % en CNL2 contre 9,3 % en CNL1) ;
 - **Particules fines (PM_{2,5})**, à la fois sur la valeur médiane (-33 %) et sur le 95^{ème} centile (-48 %). Une baisse significative de la proportion de logements qui dépasse 15 µg/m³ est également observée (43 % en CNL2 contre 70 % en CNL1). Pour ce polluant, la comparaison n'a pu se faire qu'à l'échelle de l'échantillon de logements du fait d'un nombre important de données invalidées lors de la CNL1. Par ailleurs, la période de mesure n'était pas exactement la même entre les deux campagnes. Pour la CNL1, la mesure des particules était intégrée le soir en semaine de 17h00 à 08h00 du matin le lendemain et tout le week-end. Pour la CNL2, les mesures sont intégrées sur la semaine complète. Cette différence méthodologique peut potentiellement conduire à des concentrations un peu plus faibles pour la CNL2 en intégrant possiblement plus de périodes d'inactivités et d'absence des occupants.

- Aldéhydes : **formaldéhyde** et **acétaldéhyde**, à la fois sur la valeur médiane et le 95^{ème} centile, avec une baisse autour de 30 % dans les deux cas. Pour le formaldéhyde, la proportion de logements qui dépasse la valeur de 30 µg/m³ baisse significativement (6 % en CNL2 contre 22 % en CNL1) ;
- Pas de modifications **significatives de la concentration intérieure** :
 - **Hexaldéhyde** : les niveaux de concentrations n'ont pas évolué de manière significative entre la CNL1 et la CNL2 ;
 - **1-Méthoxy-2-propyl acétate** : la substance reste peu détectée dans les logements à la fois en CNL1 et en CNL2 ;
 - **CO₂** : les niveaux de concentrations sont du même ordre entre la CNL1 et la CNL2 ;
- **Augmentations significatives** des concentrations durant la CNL2 :
 - **Radon** : Même si les niveaux de l'activité volumique sont globalement du même ordre entre les deux campagnes, une augmentation des valeurs les plus élevées est observée pour la CNL2 qui se traduit par une hausse du 95^{ème} centile de +46 % et surtout une hausse significative de la proportion de logements dépassant 300 Bq/m³ (7,6 % en CNL2 pour 3,0 % en CNL1). Cette évolution peut être liée au fait que les mesures se sont déroulées en période hivernale pour la CNL2 et sur l'ensemble de l'année en CNL1. La différence observée est réduite mais reste significative lorsque les seules enquêtes de la CNL1 réalisées exclusivement en période hivernale sont prises en compte (7,6 % en CNL2 pour 5,9 % en CNL1 pour les enquêtes comprises entre novembre et mars). La proportion d'enquêtes réalisées dans des communes de catégorie 3 en potentiel radon est passée de 19 % pour la CNL1 à 25 % pour la CNL2. Cet écart peut contribuer à expliquer les différences observées entre les deux campagnes.

La baisse de la concentration intérieure de la plupart des COV entre les deux campagnes s'accompagne également d'une baisse des niveaux observés à l'extérieur des logements. Cette baisse est en général difficile à quantifier du fait que les niveaux de concentration sont plus faibles qu'à l'intérieur voire inférieurs à la limite de détection dans plus de 50 % des logements. Il est par ailleurs difficile d'établir un lien voire une relation de causalité entre les baisses survenues à l'intérieur et à l'extérieur des logements. Pour le benzène, la baisse de concentration à l'extérieur est moins marquée même si la proportion de valeurs élevées diminue.

9.10.2. Facteurs de variation et sources d'incertitudes

Ces variations au niveau des concentrations intérieures de polluants à l'échelle du parc de résidences principales entre les deux campagnes peuvent être expliquées par différents facteurs. Des facteurs qui vont intervenir sur la mesure et le mode de calcul de la concentration et des facteurs physiques ou comportementaux qui vont directement influencer sur la concentration. Ces facteurs sont eux-mêmes susceptibles d'avoir évolué entre les deux campagnes.

Les facteurs qui interviennent sur la mesure et le mode de calcul de la concentration représentent des sources d'incertitudes et sont plutôt associés à la méthodologie d'enquête

ou de mesure des polluants, qui sont parfois différentes entre les deux campagnes. Ces sources d'incertitudes sont :

- la méthodologie de calcul des poids logements ;
- l'évolution spatiale dans le découpage des régions et communes et dans le fait de comparer différents logements enquêtés entre les deux campagnes ;
- la stratégie de prélèvement dont l'appareillage technique utilisé ;
- la méthode analytique.

Les facteurs physiques ou comportementaux qui influencent directement les niveaux de concentrations représentent plus des processus à l'origine des variations observées que des sources d'incertitudes. Ils peuvent être considérés comme des facteurs explicatifs. Ils ne sont pas forcément indépendants entre eux. Ces facteurs sont les suivants :

- les sources intérieures de pollution ;
- les sources extérieures de pollution ;
- le renouvellement de l'air des logements intégrant ventilation et aération ;
- le comportement des occupants ;
- le contexte pandémique survenu juste avant le démarrage de la CNL2. Lors de la campagne, les directives ou recommandations nationales concernant la gestion des cas Covid ont également eu un impact sur le comportement des occupants.

Le **Tableau 69** liste les facteurs de variation et sources d'incertitude pouvant influencer la comparaison des campagnes nationales logements 1 et 2. Pour chaque facteur de variation ou source d'incertitude identifié, il est indiqué si ce facteur a été pris en compte dans la comparaison des deux campagnes, et si oui, de quelle manière. Lorsqu'il ne peut pas être pris en compte, les différences de traitements entre la CNL1 et la CNL2 à l'origine des variations sont précisées. L'impact du facteur de variation ou de la source d'incertitude sur la comparaison des deux campagnes est estimée de manière qualitative lorsqu'il est connu.

Tableau 69. Facteurs de variation et sources d'incertitude susceptibles d'influencer la comparaison des niveaux de concentration de polluants entre la CNL1 et la CNL2

Facteur	Source d'incertitude / variation	Prise en compte		Type	Impact sur la comparaison
Poids logements	Poids avant calage sur marges	Non pris en compte	- Pour la CNL1 : poids d'inclusion du logement dans l'échantillon ; - pour la CNL2 : poids logements estimé à partir de poids individus EHIS déjà redressé et calé.	Incertain	Inconnu
	Poids après calage sur marges	Pris en compte	Calage sur les mêmes variables pour les deux campagnes.	Incertain	

Facteur	Source d'incertitude / variation	Prise en compte		Type	Impact sur la comparaison
Evolution spatiale	Modification des communes et régions	Non pris en compte	Evolution des limites territoriales entre les deux campagnes, impactant la méthodologie d'enquête	Incertitude	Marginale
	Logements enquêtés différents	Non pris en compte	Logements enquêtés différents entre les deux campagnes, mais peu d'impact sur la comparaison à l'échelle du parc	Incertitude	Faible à l'échelle du parc
Stratégie de prélèvement	Stratégie de prélèvement des aldéhydes et COV	Pris en compte	Stratégie de prélèvement et protocoles de mesure similaires dans les deux campagnes.	Incertitude	Aucun
	Stratégie de prélèvement des particules fines PM _{2,5}	Non pris en compte	- Débit et volume de prélèvement plus faible en CNL1. - Périodes de mesure un peu plus restreinte dans la CNL1 (123 h contre 168 h).	Incertitude	Faible
		Pris en compte	- Taux de données manquantes et invalides plus élevés dans la CNL1 (49 %). De ce fait, la comparaison a été uniquement réalisée sur les données non redressées.	Incertitude	Faible à l'échelle de l'échantillon de logements
	Stratégie de mesure du CO ₂	Pris en compte	Stratégie et technologies de mesure similaires entre les deux campagnes.	Incertitude	Marginal (appareils différents mais technologies similaires)
	Stratégie de mesure de l'activité volumique du radon	Pris en compte	Mêmes dosimètres et durées d'exposition pour les deux campagnes.	Incertitude	Faible
		Non pris en compte	Périodes d'exposition différentes : pour la CNL2, l'exposition des dosimètres se faisait exclusivement sur des mois d'hiver contrairement à la CNL1.	Incertitude	
Méthodes analytiques	Paramètres d'analyse des aldéhydes, COV et particules fines PM _{2,5}	Pris en compte	Choix de limites de détection et de quantification communes pour les deux campagnes : les moins performantes, c'est-à-dire les valeurs les plus élevées entre les deux campagnes.	Incertitude	Marginal car ajusté

Facteur	Source d'incertitude / variation	Prise en compte		Type	Impact sur la comparaison
Sources de pollution	Sources intérieures de pollution	Non pris en compte	Evolution du nombre, de la mise en œuvre et du débit d'émission des sources intérieures de pollution	Variation	Inconnu
	Sources extérieures de pollution	Non pris en compte	Evolution du nombre, de la mise en œuvre et du débit d'émission des sources de pollution extérieure	Variation	Inconnu
		Non pris en compte	Concentrations extérieures mesurées différentes entre les deux campagnes	Variation	Inconnu
Renouvellement d'air	Systèmes spécifiques de ventilation	Non pris en compte	Evolution du taux d'équipement en systèmes spécifiques de ventilation et de répartition entre les types de système	Variation	Inconnu
	Mode d'aération	Non pris en compte	Evolution du comportement à l'ouverture des fenêtres	Variation	Inconnu
Comportement des occupants	Evolution temporelle du comportement des occupants	Non pris en compte	Changements sociétaux et évolution des comportements des occupants sur la période séparant les deux campagnes (plus de 15 ans).	Variation	Inconnu
Contexte pandémique pour la CNL2	Comportement des occupants	Non pris en compte	Comportement des occupants impacté par le contexte pandémique pour la CNL2 affectant leur occupation, leurs activités et leur stratégie d'aération (ex : télétravail plus présent, semaine).	Variation	Inconnu

De nombreuses sources d'incertitude n'ont pas pu être prises en compte et leur impact sur la comparaison reste inconnu. Les facteurs de variation à l'origine de l'évolution des concentrations observées sont sans doute prépondérants.

9.10.3. Liens possibles avec l'évolution du parc et de la réglementation

Entre les deux campagnes CNL1 et CNL2, espacées de 15 ans, le parc de résidences principales a évolué et de nouvelles dispositions réglementaires sont apparues affectant tout particulièrement la qualité de l'air à l'intérieur des logements (voir section 1.2 Evolution du parc

et de la réglementation en 15 ans). Même s'il reste difficile d'estimer la contribution de chacune de ces dispositions, elles ont globalement exercé une influence sur la baisse des niveaux de concentrations de nombreux polluants.

- L'évolution de la réglementation thermique a conduit à limiter la perméabilité à l'air de l'enveloppe dans les bâtiments neufs en transposant l'efficacité du renouvellement de l'air au seul système spécifique de ventilation lorsque les fenêtres sont fermées. La part de résidences principales sans systèmes de ventilation est ainsi passée de 21,4 % en 2005⁷⁵ à 14,6 % en 2022 (données CNL2). La proportion de logements avec un système de ventilation mécanique (VMC ou autre) a elle augmenté en passant de 44,1 % en 2005 à 63,9 % en 2022 (CNL2). Il n'est par contre pas encore possible de dire si cette évolution s'est traduite en un taux de renouvellement d'air plus élevé dans les logements ;
- Les dispositions réglementaires ont mis en place l'interdiction de la présence de certains polluants cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques (trichloroéthylène, benzène, DEHP, DBP) dans des sources intérieures comme les revêtements de sols ou de murs, l'interdiction d'usage du tétrachloroéthylène dans les pressings et l'incitation à réduire les émissions de COV (dont les aldéhydes) par les produits de construction au travers d'un étiquetage obligatoire. Ces dispositions ont sans nul doute contribué à la baisse observée des COV de manière générale et en particulier des COV chlorés (trichloroéthylène, tétrachloroéthylène et 1,4-dichlorobenzène) ou encore le formaldéhyde dans les logements. Les baisses observées pour les COV, exprimées en écart relatif de la médiane, varient de 28 % (formaldéhyde) à 98 % (1,4-dichlorobenzène), laissent penser que l'impact est variable et qu'elles sont dépendantes des différents produits et matériaux présents dans les logements au moment de l'enquête. Un COV en particulier ne montre pas de baisse significative, l'hexaldéhyde. Il est en général associé aux composants bois (naturels ou transformés), aux revêtements de sols, aux peintures en phase solvant ou encore aux produits de parfumerie. Il est également présent de manière naturelle dans de nombreux aliments et peut être libéré lors de la cuisson des aliments. L'absence de baisse significative de la concentration en hexaldéhyde contrairement aux autres COV reste à expliquer ;
- Un autre polluant n'a pas baissé entre les deux campagnes et voit même la proportion de valeurs élevées augmenter malgré plusieurs dispositions réglementaires mises en œuvre à son sujet. Il s'agit du radon. Pour ce polluant, il est important de rappeler que l'expression des résultats à l'échelle du parc de résidences principales dans les deux campagnes ne tient pas compte des zones à potentiel radon. Pour la CNL2, près de 25 % des enquêtes donnant lieu à des mesures de radon valides sont situées en catégorie 3 contre 19 % des enquêtes en CNL1. Cet écart pourrait expliquer l'augmentation de la proportion de valeurs supérieures à 300 Bq/m³. Par contre, en considérant les seules enquêtes réalisées entre novembre et mars pour la CNL1, l'activité volumique médiane du radon est de 50 Bq/m³ et plus élevée que celle observée pour la CNL2 (39 Bq/m³). Les effectifs restent toutefois insuffisants pour confirmer cette dernière observation à l'échelle du parc de logements ;

⁷⁵ <https://www.oqai.fr/fr/campagnes/l-impact-de-la-ventilation-sur-la-pollution-interieure-des-maisons-francaises>

- Le CO₂ exprimé en moyenne hebdomadaire sur la semaine ne montre pas d'évolution significative entre les deux campagnes. La concentration en CO₂ est directement liée au nombre d'occupants du logement (et dans une moindre mesure aux sources de combustion non raccordées à l'extérieur) et au taux de renouvellement de l'air intégrant à la fois le débit de renouvellement de l'air et le volume du logement (ou plus spécifiquement de la chambre où le CO₂ a été mesuré). Pour chercher à comprendre l'absence d'évolution du CO₂ entre la CNL1 et la CNL2, il est donc nécessaire de prendre en compte comment l'occupation du logement (nombre d'occupants et densité d'occupation) et le renouvellement d'air ont évolué entre les deux campagnes. Cela nécessite une exploitation plus approfondie de ces données qui est en cours. A l'échelle du parc de logements selon les données Insee, le nombre moyen d'occupants par résidence principale a légèrement diminué de 2,30 à 2,17 occupants par logement (voir section 1.2.4). L'évolution de la réglementation thermique a conduit à une meilleure maîtrise de la perméabilité à l'air dans les logements neufs, sans qu'il soit possible de se prononcer sur l'évolution du taux de renouvellement d'air entre les deux campagnes ;
- Différentes dispositions réglementaires ont également conduit à une baisse généralisée des niveaux de polluants réglementés à l'extérieur (sauf l'ozone), en particulier concernant le NO₂ et les particules fines (PM_{2,5}), mais également les COV. Cette baisse à l'extérieur pourrait se répercuter à l'intérieur des logements. Le NO₂ n'a pas été mesuré lors de la CNL1 et de ce fait il est impossible de se prononcer sur son évolution. Pour les COV, les concentrations observées à l'extérieur lors de la CNL1 étaient déjà faibles comparées à l'intérieur. Si bien que pour nombre de COV, les concentrations mesurées à l'extérieur lors de la CNL2 sont inférieures à la limite de détection. De ce fait, l'évolution entre la CNL1 et la CNL2 est surtout marquée par une baisse de la fréquence de détection des COV mesurés à l'extérieur du logement, mis à part le benzène. Les données de la CNL2 ne permettent pas de mettre en évidence une évolution marquée de la concentration en benzène à l'extérieur contrairement à l'intérieur des logements ;
- Pour les particules fines, une baisse de 33 % a été observée sur la concentration médiane à l'intérieur des logements. Une différence méthodologique entre les deux campagnes, évoquée précédemment, a pu contribuer à cette baisse. D'autres facteurs peuvent également être avancés. Une diminution des concentrations extérieures pourrait en partie expliquer cette baisse même si celle-ci n'a pas pu être confirmée dans le cadre de la CNL2. Toutefois, il existe d'autres sources de particules notamment toutes celles qui relèvent de processus de combustion comme la fumée de tabac, la cuisson, l'utilisation d'encens ou encore d'un chauffage à combustible non raccordé. Notamment, la proportion de foyers enquêtés avec fumeurs a diminué entre la CNL1 et la CNL2 passant de 44,1 % (dont 10 % fumant exclusivement à l'extérieur du logement) à 24,7 % (dont 12,2 % fumant exclusivement à l'extérieur du logement). Cette baisse peut également expliquer en partie la diminution observée des concentrations en PM_{2,5} dans les logements ;
- Les nombreuses actions de sensibilisation du grand public ont sans doute également contribué à la baisse des niveaux de polluants dans l'air des logements par une prise de conscience grandissante de l'impact des activités domestiques sur la qualité de l'air intérieur, même si cette influence reste difficilement quantifiable ;

- Le rôle de l'épisode pandémique de Covid survenue en 2020 sur l'évolution des concentrations à l'intérieur des logements est par contre plus difficile à établir. S'il existe, il interviendrait sans nul doute au niveau du temps passé dans le logement et peut-être dans les pratiques d'aération par ouverture de fenêtres. Mais ces variables sont également susceptibles de dépendre de nombreux autres facteurs, si bien qu'il est difficile d'isoler un effet propre à l'épisode pandémique de Covid.

Pour aller plus loin dans l'expression des contributions des différents facteurs sur l'évolution des concentrations entre les deux campagnes, il serait nécessaire de mener une étude plus approfondie de l'impact des incertitudes et des facteurs de variation.

9.11. Comparaison avec d'autres études nationales et internationales

Une recherche bibliographique a été réalisée afin de comparer les concentrations des polluants rencontrés dans la CNL2 avec d'autres études récentes réalisées dans des conditions similaires publiés par un journal à comité de lecture international ou par une entité gouvernementale. Les critères pris en compte pour cette recherche bibliographique sont :

- Mots clés : « monitoring », « indoor air quality / qualité de l'air intérieur » et « dwelling / logement » ;
- Année de publication : 2017 à 2024 ;
- Année de la prise de mesures : à partir de 2010 ;
- Pays où la campagne de mesures a été réalisée : Europe ou Amérique du Nord ;
- Nombre de logements enquêtés : minimum de 30 logements en période d'occupation ;
- Durées de mesures : entre 24 heures et 2 semaines sauf pour les mesures de radon à 2 mois ou plus ;

Seize articles correspondent à la requête avec des résultats concernant les COV, les aldéhydes, le dioxyde d'azote (NO₂), les particules fines (PM_{2,5}), le CO₂, le radon et les PCB. Sur ces 16 articles, 10 d'entre eux présentent des données exploitables en termes de concentrations médianes ou moyennes. Pour le radon, une mise en perspective avec les données de l'atlas radon réalisé par l'IRSN entre 1982 et 2000 a également été réalisée.

Pour les composés organiques semi-volatils (COSV), une comparaison avec les analyses réalisées dans le cadre du projet ECOS-PM (Exposition cumulée aux composés organiques semi-volatils dans l'habitat) sur des filtres de particules collectés lors de la CNL1 apparaît pertinente (Mandin et al., 2016). Les résultats concernent les mêmes COSV mesurés que ceux de la CNL2 et sont exprimés à l'échelle du parc de résidences principales sur la période 2003-2005. Par contre, les résultats ne tiennent compte que de la phase particulaire de la fraction PM₁₀. La phase gazeuse n'est pas prise en compte.

L'Association des instituts de recherches environnementaux en Allemagne (AGÖF, 2013) a mis à disposition une base de connaissances sur les niveaux de COV observés dans plus de 4800 mesures en air intérieur sur la période 2006 – 2012. Les mesures ont été réalisées à partir de prélèvements actifs sur une à deux heures selon la norme NF ISO 16000-6 (2021) notamment. Les niveaux médians et 99^{ème} centiles sont ainsi disponibles pour comparaison avec les données mesurées dans le cadre de la CNL2. Une valeur guide indicative est également proposée, qui repose en général sur un indicateur statistique, le 90^{ème} centile de la concentration observée dans l'air. Cette valeur qui n'est pas basée sur des critères sanitaires.

Elle a l'avantage de donner des premières valeurs repères à des substances qui n'en disposent pas encore.

Les **Tableau 70** à **Tableau 77** présentent les différentes comparaisons réalisées avec les études internationales selon la famille de polluants.

Les niveaux de COV mesurés dans la chambre (**Tableau 70**) sont globalement du même ordre que ceux observés dans d'autres études au Canada ou en Suisse, ou encore en France dans des bâtiments performants en énergie entre 2012 et 2019. Pour les COV dits émergents et mesurés dans le séjour (**Tableau 71**), les niveaux mesurés sur 2 heures sont en général plus faible que les concentrations hebdomadaires observées dans les autres études. Les durées d'agrégation des mesures étant différentes, la comparaison est délicate. Mais, une concentration hebdomadaire supérieure à un niveau observé sur 2 heures traduit de façon très probable un dépassement de cette même concentration sur un créneau plus court de 2 heures au moins une fois dans la semaine. Par exemple, pour trouver une concentration moyenne hebdomadaire en naphthalène de $0,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans 3524 logements au Canada en 2019, il est très probable que la concentration soit égale ou supérieure à $0,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 2 heures au moins une fois dans la semaine. Cela n'exclut pas la possibilité que la concentration soit inférieure sur d'autres créneaux de 2 heures. Par conséquent, les données CNL2 n'étant pas représentatives de tous les créneaux de 2 heures à l'échelle de la semaine, il n'est pas possible de positionner ces valeurs avec les autres études.

La concentration médiane en formaldéhyde est du même ordre que celle mesurée en Suisse entre 2013 et 2016 ou encore en France dans des logements performants en énergie entre 2013 et 2014 (**Tableau 72**). L'étude roumaine SMART-RAD (Beldean-Galea et al., 2020) portant exclusivement sur des maisons rénovées avec des niveaux élevés en radon, affiche des concentrations en acétaldéhyde et formaldéhyde beaucoup plus élevées.

La concentration médiane en NO_2 mesurée dans le cadre de la campagne CNL2 semble légèrement un peu plus faible que celle mesurée dans d'autres études européennes (**Tableau 73**). Il en va de même pour la concentration en $\text{PM}_{2,5}$ (**Tableau 73**).

Pour le CO_2 , la valeur hebdomadaire médiane est un peu plus élevée que celle observée en France dans des logements performants en énergie ou encore en Californie, mais bien inférieure à celle relevée en Roumanie (**Tableau 74**).

La valeur médiane de l'activité volumique maximale en radon pour la CNL2, calculée sur 427 logements représentant 20,9 millions de logements, se situe à l'intermédiaire entre le niveau observé dans l'atlas radon ($50 \text{ Bq}/\text{m}^3$) et celui relevé dans une quarantaine de logements performant en énergie en France (**Tableau 75**). Les données de Roumanie sont, elles, centrées sur des maisons rénovées qui connaissent des problèmes de radon élevé, et ne sont donc pas directement comparables.

Pour la comparaison avec les mesures de composés organiques semi-volatils (COSV), une étude danoise (Andersen et al., 2020) est centrée sur les niveaux de PCB avec des niveaux particulièrement élevées parmi les appartements qui contiennent encore des joints émettant des PCB (**Tableau 76**). L'essentiel de la comparaison se fait avec les données du projet ECOS-PM, sur la base de l'analyse des filtres de particules prélevés lors de la CNL1 (Mandin et al., 2016). Pour cette étude, les données ne prennent pas en compte la fraction volatile gazeuse du COSV analysé.

Au niveau des HAP, la médiane de concentration en benzo[a]pyrène observée en CNL2 est plus faible que pour l'étude ECOS-PM. Phénanthrène et fluorène sont cependant plus élevés dans la CNL2. Pour les phtalates, la plus grande différence est observée au niveau des congénères les plus volatils comme le DMP, le DBP et le DIBP très peu détectés dans l'étude ECOS-PM. Le DEHP essentiellement attachée à la phase particulaire présente une concentration plus faible en CNL2. Les BDE sont très peu détectés à la fois pour la CNL2 et l'étude ECOS-PM. Les concentrations en PCB sont un peu plus élevées en général dans la CNL2. Il en est de même en général pour les alkylphénols, les muscs et le tributylphosphate. Le triclosan est par contre un peu plus faible.

Au regard des valeurs guides indicatives (VGI) proposées par l'Association des instituts de recherches environnementaux en Allemagne (AGÖF, 2013), quelques dépassements des concentrations en COV mesurées dans le séjour ont été observés. C'est le cas pour le Texanol®, la valeur guide indicative proposée étant de 2 µg/m³. C'est également le cas pour les siloxanes D4 et D5, l'acétate d'éthyle et le TXIB. Pour les COV mesurés sur une semaine dans la chambre, les dépassements observés indiquent que la valeur guide indicative a été dépassée au moins une fois sur la semaine. Le limonène présente le dépassement le plus élevée au regard d'une VGI assez basse de l'ordre de 23 µg/m³.

Les résultats de la campagne CNL2 montrent globalement des niveaux du même ordre ou un peu plus faibles que les données observées dans d'autres études internationales d'envergure. Cette comparaison reste indicative, la significativité des différences ne pouvant pas être testée sans accès aux données brutes de ces études. Par ailleurs, dans le cas où une différence significative serait observée, il pourrait être difficile d'établir si elle est attribuable aux spécificités propres aux logements étudiés ou au nombre d'années qui sépare la CNL2 de ces études.

Il serait également intéressant de regarder si la tendance générale à la baisse observée entre la CNL2 et la CNL1 se retrouve également dans d'autres pays, européens notamment.

Tableau 70. Concentrations hebdomadaires médianes de COV (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales

Etude	CNL2	Canadian national IAQ survey	OQAI-BPE		MESQUALAIR	EXPERIVA	
	Référence	(Li et al., 2019)	(Derbez et al., 2018)		(Yang et al., 2020)	(Caron-Beaudoin et al., 2022)	
Pays	France	Canada	France		Suisse	Canada	
Période	Nov 2020 - Fév 2023	2012-2013	Jan 2013 – Juil 2014		Jan 2013 - Mar 2016	2019	
Effectif	N = 29,7 M	N = 3524	N = 63 à 71 logements performants en énergie		N = 169	N = 85	
Saison	Globale	Globale	Chauffe	Hors-chauffe	Globale	Globale	
Pièce	Chambre	Séjour	Chambre	Chambre	Chambre	Chambre/séjour	
COV	N° CAS	P50	P50	P50	P50	P50	
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	0,8	1,1	1,3	0,7	-	0,6
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	< 0,2	0,1	0,8	0,7	-	-
2-Butoxyéthanol	111-76-2	0,5	2,1	0,8	2,0	-	3,3
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	1,3	1,6	-	-	-	2,8
alpha-Pinène	80-56-8	11,2	5,8	15,9	20,8	3,6	7,3
Benzène	71-43-2	1,2	1,1	2,1	0,7	-	0,8
Ethylbenzène	100-41-4	0,6	1,0	1,1	0,9	-	0,8
Limonène	138-86-3	18,2	24,9	23,1	13	-	28,2
(m+p)-Xylènes	108-38-3	1,9	3,5	2,6	1,9	3,2	3,0
o-Xylène	124-18-5	0,8	1,1	1,1	0,8	-	0,9
n-Décane	95-47-6	1,0	-	2,1	1,4	-	-
Styrène	100-42-5	0,5	0,6	0,9	0,9	-	0,9
Tétrachloroéthylène	127-18-4	< 0,2	0,2	-	-	-	0,2
Toluène	108-88-3	2,9	7,3	4,5	3,4	22	4,1

Tableau 71. Concentrations médianes de COV jugés émergents (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales

	Etude	CNL2	Canadian national IAQ survey	MESQUALAIR	EXPERIVA	SMART-RAD
	Référence	Présent rapport	(Li et al., 2019)	(Yang et al., 2020)	(Caron-Beaudoin et al., 2022)	(Beldean-Galea et al., 2020)
	Pays	France	Canada	Suisse	Canada	Roumanie
	Période	Nov 2020 - Fév 2023	2012-2013	Jan 2013 - Mar 2016	2019	Oct – Déc 2018
	Effectif	N = 29,6 M	N = 3524	N = 169	N = 85	N = 100 maisons rénovées avec radon élevé
	Saison	Parc de résidences principales	Globale	Globale	Globale	Saison de chauffe
	Agrégation	2 heures	Hebdomadaire	Hebdomadaire	Hebdomadaire	Hebdomadaire
	Pièce	Séjour	Séjour	Chambre	Chambre / Séjour	Séjour
COV	N° CAS	P50	P50	P50	P50	P50
1,2-Dichloroethane	107-06-2	< 0,28	0,04	-	-	-
1,4-Dioxane	123-91-1	< 0,57	0,06	-	0,1	-
2-Butanone oxime	96-29-7	< 0,83	1,06	-	1,7	-
Benzaldéhyde	100-52-7	< 3,28	-	-	3,6	3,5
Bromodichlorométhane	75-27-4	< 0,41	0,04	-	-	0,3
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	2,02	9,59	-	20,1	-
Ethyl acétate	141-78-6	3,28	-	7,2	-	-
Naphtalène	91-20-3	0,12	0,63	-	0,7	-
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	1,28	2,54	-	3,9	-
Phénol	108-95-2	< 0,93	0,97	-	-	-
Toluène	108-88-3	2,84	7,33	-	4,1	-
COV totaux	COVT	108	-	212	-	20,8

Tableau 72. Concentrations hebdomadaires médianes des aldéhydes (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans d'autres études internationales

Etude		CNL2	OQAI-BPE		MESQUALAIR	HENGH		SMART-RAD
Référence		Présent rapport	(Derbez et al., 2018)		(Yang et al., 2020)	(Singer et al., 2020)		(Beldean-Galea et al., 2020)
Pays		France	France		Suisse	USA (Californie)		Roumanie
Période		Nov 2020 - Fév 2023	Jan 2013 – Juil 2014		Jan 2013 - Mar 2016	Juil 2016 – Avr 2018		Oct – Déc 2018
Effectif		N = 29,7 M	N = 65 à 67 logements performants en énergie		N = 169	N = 68 maisons individuelles	N = 105 maisons individuelles	N = 100 maisons rénovées avec radon élevé
Sous-Gruppe		Parc de résidences principales	Chauffe	Hors-chauffe	Global	Construction 2011-2017	Construction 2002-2005	Saison de chauffe
Pièce		Chambre	Chambre	Chambre	Chambre	Chambre/séjour	Chambre/séjour	Séjour
COV	N° CAS	P50	P50	P50	P50	P50	P50	P50
Acétaldéhyde	75-07-0	8,57	10,3	9,7	0,5	-	-	70
Formaldéhyde	50-00-0	14,0	13,8	19,4	14	22,4*	36,1*	103
Hexaldéhyde	66-25-1	12,3	15,7	23,6	6,9	-	-	-

* Conversion de ppb en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 25 °C

Tableau 73. Concentrations hebdomadaires médianes en NO₂ et PM_{2,5} (en µg/m³) dans d'autres études internationales

Etude	Pays	Période	N	Sous-groupe	NO ₂ (chambre)	NO ₂ (séjour)	PM _{2,5} (séjour)
CNL2 (présent rapport)	France	Nov 2020 – Fév 2023	29,7 M (NO ₂) 27,3 M (PM _{2,5})	Parc de résidences principales	8,0	-	13,2
OQAI-BPE (Derbez et al., 2018)	France	Jan 2013 – Juil 2014	68-70 logements performants en énergie	Chauffe	16,1	18,8	15,8
				Hors chauffe	11,9	14	12,4
HENGH (Singer et al., 2020)	USA (Californie)	Juil 2016 – Avr 2018	66-67 maisons	Construction 2011-2017	-	8,5*	4,8
			28-29 maisons	Construction 2002-2005	-	3,0*	10,5
HOME-CRESSH (Chu et al., 2021)	USA (MA)	Jun 2016 – Aoû 2017	71	Global	-	-	5,8
NeoGene (Madureira et al., 2020)	Portugal	Mai 2018 – Fév 2019	65	Global	-	-	34**
(CLASP, 2023) (moyennes arithmétiques sur 2 semaines)	Pays-Bas	Jan – Fév 2023	37	Cuisson électrique	11,2	12,3	13,6
				Cuisson gaz	15,2	20,7	13,1
	Italie	Mars 2023	36	Cuisson électrique	13,1	9,5	8,7
				Cuisson gaz	21,3	27,5	27,5
	Espagne	Mars 2023	34	Cuisson électrique	15,8	17,8	16,4
				Cuisson gaz	28,5	32,9	27
	France	Avril 2023	35	Cuisson électrique	10,3	11,1	17,9
				Cuisson gaz	15,4	18,7	24,3
	Slovaquie	Avril 2023	36	Cuisson électrique	4,3	4,7	24,5
				Cuisson gaz	13,4	16,4	20,2
	Roumanie	Mai 2023	34	Cuisson électrique	20,9	21,4	38,1
				Cuisson gaz	19,0	22,8	26,2
	Royaume-Uni	Mai 2023	35	Cuisson électrique	10,5	12,2	16,6
				Cuisson gaz	18,7	23,4	17,4

* Conversion de ppb en µg/m³ à 25 °C, ** Mesure sur 48 heures

Tableau 74. Concentrations hebdomadaires médianes en CO₂ (ppm) dans d'autres études internationales

Etude		CNL2	OQAI-BPE		HENGH		SMART-RAD
Référence		Présent rapport	(Derbez et al., 2018)		(Singer et al., 2020)		(Beldean-Galea et al., 2020)
Pays		France	France		USA (Californie)		Roumanie
Période		Nov 2020 - Fév 2023	Jan 2013 – Juil 2014		Juil 2016 – Avr 2018		Oct – Déc 2018
Effectif		N = 27,2 M	N = 61 à 63 logements performants en énergie		N = 69 maisons individuelles	N = 107 maisons individuelles	N = 100 maisons rénovées avec radon élevé
Sous-Gruppe		Parc de résidences principales	Chauffe	Hors-chauffe	Construction 2011-2017	Construction 2002-2005	Saison de chauffe
Substance	Pièce	P50	P50	P50	P50	P50	P50
CO ₂	Chambre	783	743	621	608	564	1076
	Séjour	-	694	552			

Tableau 75. Activités volumiques médianes en radon (Bq/m³) dans d'autres études internationales

Etude		CNL2	ATLAS RADON	OQAI-BPE	SMART-RAD
Référence		Présent rapport	(IRSN, 2000)	(Derbez et al., 2018)	(Beldean-Galea et al., 2020)
Pays		France	France	France	Roumanie
Période		Nov 2020 - Fév 2023	1982 - 2000	Jan 2013 – Juil 2014	Oct – Déc 2018
Effectif		N représenté = 21 M	N = 12 641	N = 41	N = 98
Sous-Gruppe		Parc de résidences principales	France métropolitaine	Logements performants en énergie	Maisons rénovées avec radon élevé
Saison		Chauffe	Toutes saisons	Chauffe	Toutes saisons
Radon		40	50	28	301*

* moyenne annuelle sur la base de maisons avec une concentration de radon > 250 Bq/m³ dans au moins une pièce

Tableau 76. Concentrations hebdomadaires médianes en COSV (ng/m³) dans d'autres études internationales

Etude		CNL2	ECOS-PM	PCB-Danemark	
Référence		Présent rapport	(Mandin et al., 2016)	(Andersen et al., 2020)	
Pays		France	France	Danemark	
Période		Nov 2020 - Fév 2023	Sep 2003 – Déc 2005	Oct - Déc 2017	
Effectif		N = 25,8 M	N = 24,7 M	N = 53 appartements	N = 20 appartements
Durée de mesure		Hebdomadaire	Hebdomadaire	24 h	24 h
Type de mesure		Air (gaz + PM _{2,5})	Particulaire (PM ₁₀)	Air (gaz + PM total)	Air (gaz + PM total)
Sous-Groupes		Parc de résidences principales	France métropolitaine	Avec joints contenant des PCB	Sans joints avec PCB
HAP	N CAS				
Acénaphène	83-32-9	0,28	-	-	-
Acénaphthylène	208-96-8	0,12	-	-	-
Anthracène	120-12-7	0,31	0,01	-	-
Benzo[a]anthracène	56-55-3	0,03	0,04	-	-
Benzo[a]pyrène	50-32-8	0,03	0,14	-	-
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	0,08	0,31	-	-
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	0,08	0,23	-	-
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	< 0,05	0,06	-	-
Chrysène	218-01-9	0,05	0,08	-	-
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	< 0,05	0,02	-	-
Fluoranthène	206-44-0	0,73	0,07	-	-
Fluorène	86-73-7	1,32	0,02	-	-

Etude		CNL2	ECOS-PM	PCB-Danemark	
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	0,06	0,18	-	-
Phénanthrène	85-01-8	9,59	0,05	-	-
Pyrène	129-00-0	0,49	0,05	-	-
Phtalates	N CAS				
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	1,3	1,6	-	-
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	124	< 0,8	-	-
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	144	< 0,8	-	-
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	19,1	46,2	-	-
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	279	0,9	-	-
DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	7,5	7,9	-	-
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	7,7	< 0,02	-	-
PBDE	N CAS				
BDE 47	5436-43-1	< 0,05	0,011	-	-
BDE 99	60348-60-9	< 0,05	0,009	-	-
BDE 100	189084-64-8	< 0,04	< 0,002	-	-
BDE 153	68631-49-2	< 0,006	< 0,004	-	-
BDE 154	207122-15-4	< 0,006	< 0,004	-	-
PCB	N CAS				
PCB 28	7012-37-5	0,054	< 0,0004	219	3
PCB 31	16606-02-3	0,058	< 0,0004	318	5
PCB 52	35693-99-3	0,11	< 0,001	207	6
PCB 77	32598-13-3	< 0,01	< 0,0004	-	-
PCB 101	37680-73-2	0,064	0,0015	11	1

Etude		CNL2	ECOS-PM	PCB-Danemark	
PCB 105	32598-14-4	< 0,01	< 0,001	3	< 0,4
PCB 118	31508-00-6	0,013	0,0015	2	< 0,4
PCB 138	35065-28-2	0,011	0,0023	< 0,4	< 0,4
PCB 153	35065-27-1	0,013	0,0024	0.9	< 0,4
PCB 180	35065-29-3	< 0,01	0,0013	-	< 0,4
Alkylphénols	N CAS				
4-n-nonylphénol	104-40-5	< 0,02	< 0,01	-	-
4-tert-butylphénol	98-54-4	4,32	< 0,02	-	-
4-tert-octylphénol	140-66-9	0,77	< 0,01	-	-
Muscs polycycliques	N CAS				
Galaxolide / HHCB	1222-05-5	64,5	< 0,04	-	-
Tonalide / AHTN	21145-77-7	11,1	< 0,02	-	-
Autres COSV	N CAS				
Tributylphosphate	126-73-8	2,06	< 0,04	-	-
Triclosan	3380-34-5	0,03	0,11	-	-

Tableau 77. Comparaison des données CNL2 avec les données de l'Association allemande des instituts de recherche environnementaux (Agöf, 2013)

Composé	Données CNL2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Données Agöf ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 2013			
	Famille	CAS	P50	P90	%>VG	N pop > VG	n	P50	P90	Valeur guide
Acétaldéhyde	ALDP	75-07-0	8,27	19,4	0%	0	911	20	54	54
Formaldéhyde	ALDP	50-00-0	14,0	25,8	6.1%	1 825 490	2035	35	81	30
Hexaldéhyde	ALDP	66-25-1	12,3	28,7	1.2%	345 976	3725	11	55	55
Dibutyl phtalate (DBP)	COSV	84-74-2	0,12	0,28	-	-	2180	<2	<7	-
Diéthyl phtalate (DEP)	COSV	84-66-2	0,14	0,39	0.4%	92 643	2198	<1	1,8	1,8
Diisobutyl phtalate (DIBP)	COSV	84-69-5	0,28	1,0	-	-	2186	<2	<7	-
Tributylphosphate	COSV	126-73-8	0,002	0,005	-	-	715	<1	<1	-
1,4-Dioxane	COVA	123-91-1	<0,57	<0,57	-	-	2380	<1	<3	-
1-Décanol	COVA	112-30-1	<0,83	<2,75	-	-	2397	<1	<1,5	-
2-Butanone oxime	COVA	96-29-7	<0,83	<0,83	0.6%	172 919	2507	<1	3,6	3,6
Benzaldéhyde	COVA	100-52-7	<3,28	9,37	4.4%	1 312 560	3684	4	15	15
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	COVA	541-02-6	2,02	28,8	12.5%	3 698 604	3168	3	22	22
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	COVA	540-97-6	0,8	3,87	1.9%	574 197	816	<3	10,8	11
Ethyl acétate	COVA	141-78-6	3,28	18,4	8.3%	2 450 445	3636	3	22,9	23
Méthyl méthacrylate	COVA	80-62-6	<0,28	<0,28	-	-	3619	<1	<1,5	-
Naphtalène	COVA	91-20-3	0,12	0,49	0.4%	106 090	3619	<1	1,2	1,2
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	COVA	556-67-2	1,28	5,56	8.6%	2 538 185	3610	1	7	7
Phénol	COVA	108-95-2	<0,93	1,66	1.6%	480 680	2598	<1	3	3
Texanol	COVA	25265-77-4	0,58	4,35	21.1%	6 240 940	3535	<1	2	2
TXIB	COVA	6846-50-0	<0,96	2,33	7.9%	2 331 277	2921	<1	3	3

Composé	Données CNL2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Données Agöf ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 2013			
	Famille	CAS	P50	P90	%>VG	N pop > VG	n	P50	P90	Valeur guide
COV totaux	COVA	-	108	328	1.9%	576 368	2505	360	1572	1000
1,2,4-Triméthylbenzène	COVP	95-63-6	0,75	6,23	7.7%	2 283 274	3639	1	10,9	11
1,4-Dichlorobenzène	COVP	106-46-7	<0,18	0,55	-	-	3548	<1	<1	-
1-Méthoxy-2-propanol	COVP	107-98-2	0,26	7,1	4.5%	1 326 177	3548	2	14	14
1-Méthoxy-2-propyl acétate	COVP	108-65-6	<0,2	0,94	0.8%	248 617	3472	1	7,8	7,8
2-Butoxyéthanol	COVP	111-76-2	0,52	5,57	1.0%	306 190	3550	1,9	13,4	13
2-Ethyl-1-héxanol	COVP	104-76-7	1,31	5,66	1.8%	542 739	3592	3	13	13
alpha-Pinène	COVP	80-56-8	11,2	43,5	3.4%	995 133	3591	4	68	68
Benzène	COVP	71-43-2	1,18	3,1	12.4%	3 673 227	3647	1	3	3
Ethylbenzène	COVP	100-41-4	0,63	3,95	6.2%	1 830 933	3652	1	10	10
Limonène	COVP	138-86-3	18,2	57	40.2%	11 927 442	3648	4	23	23
(m,p)-Xylènes	COVP	1330-20-7	1,88	17,5	7.8%	2 314 760	3650	3	29	29
o-Xylène	COVP	95-47-6	0,75	5,5	7.8%	2 307 585	3643	1	9	9
n-Butyl acétate	COVP	123-86-4	1,36	9,48	2.3%	687 171	3596	2	26,6	27
n-Décane	COVP	124-18-5	0,95	5,81	4.9%	1 449 589	3627	1	11	11
n-Undécane	COVP	1120-21-4	2,43	10,4	8.2%	2 421 329	3624	2	14	14
Styrène	COVP	100-42-5	0,54	1,42	0%	0	3652	1	12	12
Tétrachloroéthylène	COVP	127-18-4	<0,15	0,28	-	-	3615	<1	<1	-
Trichloroéthylène	COVP	79-01-6	<0,15	<0,15	-	-	2501	<1	<1	-
Toluène (sur 7 jours)	COVP	108-88-3	2,87	40,5	11.3%	3 360 980	3664	7	30	30
Toluène (sur 2 heures)	COVA	108-88-3	2,84	27,1	9.0%	2 676 980	3664	7	30	30

10. CONCLUSION

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) devenu l'Observatoire de la qualité des environnements intérieurs (OQEI) présente les résultats 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 paramètres mesurés ont été choisis sur la base d'une hiérarchisation sanitaire mise à jour d'après leur dangerosité et leur occurrence, mais également au regard de leur impact sur le confort. Plus de 170 polluants et paramètres sont ainsi mesurés dans l'air des logements pour cette campagne nationale : composés organiques volatils (dont aldéhydes), composés organiques semi-volatils (parmi lesquels hydrocarbures aromatiques polycycliques, phtalates, retardateurs de flamme bromés, polychlorobiphényles, alkylphénols, muscs), pesticides, particules fines, dioxyde d'azote, dioxyde de carbone, radon, température, humidité relative, débit d'air ou pression aux bouches de ventilation. Plusieurs polluants (ou paramètres) ont également été mesurés lors de la première campagne nationale de qualité de l'air dans les logements, permettant une comparaison de l'évolution des concentrations (ou des niveaux le cas échéant) entre les deux campagnes nationales espacées de 15 ans.

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, 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. Les logements enquêtés sont répartis dans 321 communes et 84 départements.

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.

L'état de la qualité de l'air intérieur des logements s'exprime sous la forme de distributions statistiques montrant, pour chaque polluant ou paramètre de confort, la répartition des logements en fonction des concentrations ou niveaux mesurés.

De nombreux polluants sont détectés et quantifiés dans au moins 50 % des logements. Les concentrations médianes varient de quelques centièmes de nanogrammes par m³ pour certains composés organiques semi-volatils à près d'une vingtaine de microgrammes par m³ pour les terpènes, les aldéhydes et les particules fines. Des valeurs hebdomadaires très élevées de plusieurs centaines de microgrammes par m³ sont observées dans un petit nombre de logements (entre 1 à 23 logements, représentant jusqu'à 2,3 % du parc de résidences

principales) pour quelques COV (limonène, alpha-pinène, toluène, xylènes, éthylbenzène, tétrachloroéthylène, n-décane, n-undécane, acétate de butyle, 1-méthoxy-2-propanol et 2-butoxyéthanol), le NO₂ et les particules fines (fraction PM_{2,5}).

Pour certains polluants, des dépassements des valeurs de références sont observés. Un dépassement est avéré lorsque la durée de prélèvement est la même ou bien supérieure à la durée d'exposition préconisée pour la valeur de référence. Les valeurs de référence retenues pour la comparaison sont celles qui disposaient d'une durée d'exposition préconisée compatible avec la durée de la mesure. Elles comprennent aussi bien des valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) réglementaires, des VGAI sanitaires proposées par l'Anses, des valeurs de gestion du Haut conseil de la santé publique (HCSP) ou encore des recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les dépassements observés concernent les polluants suivants :

- Pour plus de 70 % des logements, la concentration en particules fines (fraction massique PM_{2,5}) dépasse l'objectif cible de 10 µg/m³ proposé par le HCSP à échéance de 2025. La valeur maximale journalière de 15 µg/m³ préconisée par l'OMS est également dépassée dans plus de 43 % des logements. La valeur d'action rapide (VAR) de 50 µg/m³ recommandée par le HCSP est dépassée pour près de 11 % des logements ;
- La valeur guide d'air intérieur réglementaire de 300 Bq/m³ de radon est dépassée dans près de 8 % des logements ;
- Le formaldéhyde est sujet au dépassement de la valeur de gestion provisoire de 30 µg/m³ proposée par le HCSP dans un peu plus de 6 % des logements ;
- Pour le dioxyde d'azote (NO₂), près de 3 % des logements présentent au moins un dépassement sur la semaine de la valeur guide journalière de 25 µg/m³ recommandée par l'OMS ;
- La concentration hebdomadaire en benzène dépasse la valeur repère de gestion de la qualité de l'air intérieur (VRAI) de 6 µg/m³ proposée par le HCSP dans 1,35 % des logements, mais elle ne dépasse jamais la VGAI court terme de 30 µg/m³ associée à des effets non cancérigènes ;
- Celle du trichloroéthylène dépasse la VRAI de 10 µg/m³ pour 0,05 % des logements sans jamais dépasser la VAR de 50 µg/m³ ;
- Aucun dépassement des valeurs de référence n'a été observé pour l'acétaldéhyde, l'éthylbenzène, le tétrachloroéthylène et le toluène.

Même si aucun dépassement n'a pu être confirmé, au regard des valeurs de référence non retenues pour la comparaison du fait d'une durée d'exposition non compatible avec la durée de la mesure, il convient d'être particulièrement vigilant pour les polluants associés à des effets sanitaires sans seuil comme le benzo(a)pyrène ou le tétrachloroéthylène, qui peuvent présenter dans certains cas des valeurs élevées (respectivement 24 % des logements avec une concentration en benzo(a)pyrène supérieure à 0,12 ng/m³ et 0,4 % des logements avec une concentration en tétrachloroéthylène supérieure à 40 µg/m³). Une vigilance similaire est à observer concernant les particules fines (près de 97 % des logements dépassent 5 µg/m³), le NO₂ (près de 36 % des logements dépassent 10 µg/m³), le benzène avec 21 % des logements

qui dépassent $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou encore les COV totaux, avec une concentration supérieure à $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observée pour près de 14 % des logements.

Il est également très important de noter que sur l'ensemble des polluants mesurés, peu disposent de valeurs de référence sur lesquelles s'appuyer afin de déterminer si les niveaux observés sont satisfaisants ou non. Cela souligne le besoin continu de construire des valeurs guides sur la base d'études solides autour des effets sanitaires de ces substances seules mais également en mélange. Qualifier la qualité de l'air intérieur ne peut pas se résumer à la seule évaluation des indicateurs mesurés les plus connus et qui disposent de valeurs de référence, même si cela permet déjà de faire remonter des cas problématiques.

Dans l'attente, pour ces polluants sans valeurs de référence, une valeur seuil intrinsèque comme le 75^{ème} centile de la distribution en concentration, a été proposée qui peut être utilisée pour catégoriser les logements présentant les concentrations les plus élevées et les mettre au regard de données de santé collectées par ailleurs.

Pour 1,4 % du parc de résidences principales, la concentration d'au moins la moitié des polluants mesurés est supérieure au 75^{ème} centile de la distribution (concentration jugée élevée). Pour plus de 99 % des logements, au moins un des polluants mesurés dépasse le 75^{ème} centile de la distribution. Tous les logements présentent au moins un des polluants mesurés qui dépasse le 25^{ème} centile de la distribution. Aucun logement ne présente donc une concentration jugée faible (inférieure au 25^{ème} centile de la distribution) sur l'ensemble des polluants mesurés.

Plusieurs substances sont très peu détectées dans les logements (fréquence de détection inférieure à 5 %), parmi lesquels des COV halogénés (trichloroéthylène, 1,2-dibromoéthane, bromodichlorométhane), la 2-butanone oxime, le méthyl eugénol, la p-hydroquinone, le citriodiol, les PBDE, le PCB-77 et le 4-n-nonylphénol. Pour ces substances, l'absence de sources spécifiques dans le logement est sans doute la cause principale de la très faible fréquence de détection observée.

Les COV et le dioxyde d'azote ont également été mesurés à l'extérieur. Il existe une spécificité de la pollution en COV à l'intérieur des logements par rapport à l'extérieur. La contribution des sources intérieures est en effet prépondérante pour les terpènes, les alcools et éthers de glycols, l'acétate de n-butyle, les alcanes et les hydrocarbures aromatiques monocycliques (éthylbenzène, toluène, xylènes, styrène et 1,2,4-triméthylbenzène). A l'inverse, la contribution de la pollution extérieure apparaît prépondérante pour bon nombre de logements dans le cas du benzène et du NO_2 . Pour ce dernier, la valeur guide journalière préconisée par l'OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée à l'extérieur dans 7,4 % des cas, soit bien plus souvent que dans les logements. Deux autres groupes de polluants sont identifiés avec d'une part, un groupe de polluants rarement détectés à la fois en intérieur et en extérieur comprenant les COV chlorés et le 1-méthoxy-2-propyl acétate et d'autre part, un groupe constitué du seul 2-butoxyéthanol avec une contribution intérieure plus marquée sans être majoritaire mais également souvent non détecté à l'intérieur comme à l'extérieur.

De manière générale, une baisse des niveaux de concentration en COV, aldéhydes et particules est observée pour la CNL2 par rapport à la CNL1. Elle est particulièrement marquée (plus de 80 % de baisse) pour les COV chlorés (1,4-dichlorobenzène, trichloroéthylène et tétrachloroéthylène), le 1-méthoxy-2-propanol et le n-décane. Une baisse moins importante mais significative de 28 % à 47 % est observée pour le benzène, les particules fines et le formaldéhyde. L'évolution des dispositions réglementaires entre les deux campagnes visant

d'une part, l'interdiction de certaines substances comme le trichloroéthylène et le benzène dans les produits de construction ou le tétrachloroéthylène dans les procédés de nettoyage à sec et d'autre part, la réduction des émissions de COV par le biais d'un étiquetage obligatoire des produits de construction, a sans nul doute contribué à cette baisse des concentrations dans l'air des logements.

Les dispositions réglementaires concernant l'air ambiant ont également entraîné une baisse générale des concentrations des polluants réglementés dans l'air extérieur (hormis l'ozone) mais également des COV, qui se répercute principalement sur une baisse de leur fréquence de détection à l'extérieur des logements entre les deux campagnes. Seule exception, le benzène conserve une fréquence de détection supérieure à 93 % entre les deux campagnes et n'affiche pas de baisse marquée de la concentration à l'extérieur contrairement à l'intérieur.

Pour les particules fines, la baisse de 33 % observée sur la concentration médiane à l'intérieur des logements pourrait en partie être expliquée par une différence méthodologique entre les deux campagnes. Une diminution globale des niveaux extérieurs pourrait également être en cause mais cela ne peut pas être confirmé avec les données de la CNL2. En revanche, la proportion de foyers enquêtés avec fumeurs a diminué entre les deux campagnes passant de 44 % à près de 25 %. Le tabagisme étant une des sources principales de particules dans les environnements intérieurs, cette baisse a sans nul doute contribué à la diminution de la concentration en PM_{2,5} dans les logements.

Quelques polluants ne montrent pas d'évolution entre les deux campagnes. Il s'agit tout d'abord du 1-méthoxy-2-propyl acétate qui est très peu détecté dans les deux cas. Dans le cas de l'hexaldéhyde, associé à de nombreuses sources aussi bien naturelles (bois et aliments notamment) qu'anthropiques (matériaux et revêtements de sols, peintures en phase solvant, parfumerie, etc.), l'absence de baisse significative de la concentration en hexaldéhyde contrairement aux autres COV n'est pas expliquée à ce stade. De la même façon, la concentration moyenne hebdomadaire en CO₂ ne tend pas à diminuer entre les deux campagnes. Le CO₂ étant lié à l'occupation du logement et au renouvellement de l'air, il est nécessaire d'approfondir l'exploitation de ces deux aspects pour chercher à interpréter cette observation.

Pour le radon, l'activité volumique maximale observée dans les logements est du même ordre entre les deux campagnes. La proportion de valeurs élevées est par contre plus importante dans la CNL2 du fait d'une part que les mesures ont été exclusivement réalisées en période de chauffe contrairement à la CNL1 et que d'autre part la CNL2 intègre une proportion plus importante de logements situés dans des zones à potentiel radon élevé (catégorie 3).

Des différences méthodologiques et métrologiques apportent de l'incertitude sur la comparaison entre les deux campagnes. Certaines sources d'incertitude ont pu être prises en compte et d'autres non, mais ces dernières ont été jugées mineures. Les facteurs environnementaux et comportementaux à l'origine de l'évolution des concentrations observées sont sans doute prépondérants. Ces derniers ont d'ailleurs été impactés par différentes dispositions :

- L'évolution des dispositions réglementaires autour de la réglementation thermique des bâtiments, de la réduction des sources de pollution à l'intérieur comme à l'extérieur, et de l'appui à la santé environnementale de manière générale ;
- L'évolution du parc de bâtiments avec près de 15 % de bâtiments construits après 2005 au début de la CNL2 ;

- L'augmentation des actions de sensibilisation qui a vraisemblablement joué sur la manière dont les occupants appréhendent la qualité de l'air intérieur et le renouvellement de l'air dans leur logement.

L'impact de l'épisode pandémique de Covid sur l'évolution de la qualité de l'air dans les logements est à ce stade plus difficile à établir. Comprendre son rôle passe par une étude plus approfondie du temps passé et des activités mises en œuvre par les occupants dans les deux campagnes.

Quantifier la contribution des différents facteurs de variation est un travail délicat à mener et nécessitera au préalable de déterminer les différentes sources d'incertitude non prises en compte avec plus de précisions. Néanmoins, une recherche approfondie des changements survenus dans la société entre les deux campagnes a permis d'émettre des hypothèses sur les possibles facteurs à l'origine des évolutions des niveaux de polluants observés dans les logements. Cela représente autant de pistes de recherches à explorer pour aller plus loin.

Une comparaison des résultats de la campagne CNL2 avec les études internationales d'envergure menées en Europe ou en Amérique du Nord montrent globalement des niveaux du même ordre ou un peu plus faibles pour la CNL2. Cette comparaison reste indicative, la significativité des différences ne pouvant pas être testée sans accès aux données brutes de ces études.

A la fin de la campagne, 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. Des recommandations ont été formulées en cas de dépassement des valeurs de référence.

Les pistes d'exploitation des données de la CNL2 sont nombreuses. De manière non exhaustive, on peut citer :

- **Un état descriptif de la ventilation dans les logements** : cet état mettra en avant les résultats de mesures de débit d'air ou de pression aux bouches de ventilation, une caractérisation plus détaillée des différents types de ventilation au regard des composants renseignés par pièces, un état descriptif de l'aération des logements, une exploitation plus fine des données de CO₂, le calcul du taux de renouvellement de l'air moyen et le croisement de ces éléments avec des variables caractéristiques du logement ;
- **Un état de l'exposition des occupants aux pesticides dans l'air et la poussière des logements** : cet état décrira les niveaux de concentration en pesticides mesurés dans l'air et les poussières des logements, et la fréquence d'utilisation des pesticides renseignée par les occupants ;
- **Une étude de la variabilité court terme de la qualité de l'air dans les logements** : l'exploitation des données de mesure de plusieurs paramètres toutes les 10 min par les capteurs permettrait de documenter certains aspects de la variabilité court terme de la qualité de l'air qui est très peu documentée. L'analyse des variations brusques pourrait également renseigner sur l'occurrence d'évènements associés au comportement des occupants (épisodes d'ouverture des fenêtres, de combustion, de nettoyage, etc.) ;

- **L'estimation des expositions des ménages français à la pollution de l'air intérieur** : le croisement des données de concentration avec les semainiers d'occupation permettra de déterminer d'une part le temps passé par les individus dans leur logement qui sera comparé avec les données de la CNL1 et d'estimer l'exposition des ménages français à différents polluants de l'air intérieur (COV, aldéhydes, NO₂, PM_{2,5}) ;
- **Un état de la multipollution dans les logements** : il s'agirait d'établir d'une part des typologies de logements basées sur leurs caractéristiques intrinsèques, des typologies de ménages intégrant leurs caractéristiques et leurs habitudes de vie et de les croiser avec des typologies de pollution de manière à faire ressortir les catégories de logements/ménages les plus à risque ;
- **Une étude détaillée des produits domestiques utilisés dans les logements** : un inventaire des produits domestiques les plus couramment utilisés a été effectué lors de l'enquête de la CNL2 en recueillant le nom et des photographies des produits. L'objectif serait d'analyser les fiches de sécurité associées pour extraire les substances utilisées, permettant ainsi d'apporter de la connaissance supplémentaire sur de potentiels polluants non mesurés lors de l'enquête ;
- **Un état du confort thermique dans les logements** : une exploitation plus poussée des données de température et d'humidité intérieures et extérieures devrait être menée au regard des équipements de chauffage et de climatisation et des données de perception de confort exprimée par les occupants ;
- **Un état des problèmes d'humidité et de moisissures dans les logements** : les données d'humidité relative intérieures comme extérieures devraient également être exploitées au regard des problèmes d'humidité répertoriées dans les logements et la présence de moisissures visibles. Les risques de condensation seraient également étudiés. L'indice de contamination fongique pourrait également être calculé ;
- **Influence des facteurs socio-économiques sur la qualité de l'air intérieur** : l'influence des facteurs socio-économiques du ménage (ressources, catégories socio-professionnelles, situations de précarités) sur la qualité de l'air intérieur ;
- **Adéquation de la perception des occupants avec la qualité de l'air de leur logement** : le croisement des données de perception avec les mesures de qualité de l'air permettrait de renseigner la perception de la qualité de vie dans son logement et les facteurs qui l'influencent ;
- **La poursuite de la recherche des déterminants sur d'autres polluants d'intérêt** : il s'agit de poursuivre le travail de recherche des déterminants au regard d'autres polluants qui n'ont pas été initialement choisis ;
- **L'élaboration de modèles prédictifs parcimonieux sur des bases statistiques** : les modèles prédictifs élaborés permettraient d'estimer le niveau de concentration de différents polluants cibles dans le cadre d'autres études d'intérêt comme le suivi de cohortes ou encore la base de données nationale des bâtiments (BDNB).

11. REFERENCES

- Achille, J., Ramalho, O., Boulanger, G., Perouel, G., Garnier, R., Mandin, C. (2019). *Hazard assessment of chemical substances in indoor environments: What are the high-priority compounds for French monitoring campaigns?* ISES-ISIAQ Conference, Joint Annual Meeting, Kaunas (Lithuania), August 18 - 22, 2019, TH-PL-A1-03.
- Achille, J., Ramalho, O., Mandin, C. (2018). *Préparation de la campagne nationale logements n°2 choix des substances d'intérêt*, Rapport CSTB-OQAI / 2018-042, Convention DHUP-CSTB N° 2201077243, mars 2018, 33 p.
- AFNOR (2009). *NF ISO 16000-14. Air intérieur - Partie 14 : dosage des polychlorobiphényles (PCB) de type dioxine et des polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) / polychlorodibenzofuranes (PCDF) totaux (en phase gazeuse et en phase particulaire) - Extraction, purification et analyse par chromatographie en phase gazeuse haute résolution et spectrométrie de masse.* Afnor Editions. (<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-iso-1600014/air-interieur-partie-14-dosage-des-polychlorobiphenyles-pcb-de-type-dioxine/fa153835/33670>)
- AFNOR (2021), *NF ISO 11665-4. Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Air : radon-222 - Partie 4 : méthode de mesure intégrée pour la détermination de l'activité volumique moyenne du radon avec un prélèvement passif et une analyse en différé.* Afnor Editions. (<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-iso-116654/mesurage-de-la-radioactivite-dans-lenvironnement-air-radon222-partie-4-meth/fa201680/263137>)
- AFNOR (2021), *NF ISO 11665-8. Mesurage de la radioactivité dans l'environnement - Air : radon 222 - Partie 8 : méthodologies appliquées aux investigations initiales et complémentaires dans les bâtiments.* Afnor Editions. (<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-iso-116658/mesurage-de-la-radioactivite-dans-lenvironnement-air-radon-222-partie-8-met/fa198535/238184>).
- AFNOR (2023). *NF EN 12341. Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension.* Afnor Editions. (<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-12341/air-ambiant-methode-normalisee-de-mesurage-gravimetrique-pour-la-determinat/fa186364/351830>)
- AFSSET (2010). *Valeurs guides de qualité d'air intérieur - Particules*, Rapport d'expertise collective, Janvier 2010, 97 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2004etVG007Ra.pdf>)
- AGÖF (2013). *AGÖF Guidance Values for Volatile Organic Compounds in Indoor Air.* 28 November 2013 Edition, 26 p. (<https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-guidance-values.html>)
- Almeras, C. (2010). *Hiérarchisation sanitaire des polluants de l'environnement intérieur : Mise à jour pour le cas des logements et extrapolation à d'autres environnements intérieurs*, Mémoire de l'école des hautes études en santé publique, Rapport EHESP-OQAI, 189 p.
- Andersen, H. V., Gunnarsen, L., Knudsen, L. E., Frederiksen, M. (2020). PCB in air, dust and surface wipes in 73 Danish homes. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 229, 113429. (<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113429>)

- Anses. (2011). *Phtalates, parabènes, alkylphénols: Quatre questions à Marc Mortureux*. (<https://www.anses.fr/fr/content/phtalates-parab%C3%A8nes-alkylph%C3%A9nols-quatre-questions-%C3%A0-marc-mortureux>)
- Anses. (2013). *Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - Le dioxyde d'azote*. Rapport d'expertise collective, février 2013, 150 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0021Ra.pdf>)
- Anses. (2014). *Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - L'acétaldéhyde*, Rapport d'expertise collective, avril 2014, 154 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2013sa0076Ra.pdf>).
- Anses. (2016). *Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur—L'éthylbenzène*, Rapport d'expertise collective, octobre 2016, 182 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2013SA0136Ra.pdf>)
- Anses. (2018). *Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur—Le toluène*, Rapport d'expertise collective, juillet 2018, 160 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2016SA0043Ra.pdf>)
- Anses (2024). *Valeurs guides de qualité d'air intérieur - Le benzène*, Rapport d'expertise collective, juillet 2024, 282 p. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2021MPEX0006Ra.pdf>)
- Arrêté du 20 février (2019). *Arrêté du 20 février 2019 relatif aux informations et aux recommandations sanitaires à diffuser à la population en vue de prévenir les effets d'une exposition au radon dans les immeubles bâtis*. JORF n°0051 du 1er mars 2019. (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000038184964>)
- Article R1333-28 du Code de la santé publique (2018). *Réduction de l'exposition au radon*. (https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037016933)
- Article R221-29 du Code de l'environnement (2022). *Valeurs-guides pour l'air intérieur*. (https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037017689)
- Becue, A., Nguyen, R. (2004). *Etude de l'analyse des Alkylphénols*. Rapport Ineris, Convention DE n° CV04000107 – Thème n°1, février 2005, 40 p. (<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/alkylsphenols.pdf>)
- Beldean-Galea, M. S., Dicu, T., Cucos, A., Burghela, B.-D., Catalina, T., Botoş, M., Ţenter, A., Szacsvai, K., Lupulescu, A., Pap, I., Dobrei, G., Moldovan, M., Tunyagi, A., Florică, Ş., Pănescu, V., Sainz, C. (2020). Evaluation of indoor air pollutants in 100 retrofit residential buildings from Romania during cold season. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124098. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124098>)
- Berryman, D., Beaudoin, J., Cloutier, S., Laliberté, D., Messier, F., Tremblay, H., Moissa, A. D. (2009). *Les polybromodiphényléthers (PBDE) dans quelques cours d'eau du Québec méridional et dans l'eau de consommation produite à deux stations de traitement d'eau potable*. Rapport, Bibliothèque nationale du Québec, 36 p. (https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/toxique/Rapport_PBDE.pdf)
- Caron-Beaudoin, É., Whyte, K. P., Bouchard, M. F., Chevrier, J., Haddad, S., Copes, R., Frohlich, K. L., Dokkie, D., Juul, S., Bouchard, M., Verner, M.-A. (2022). Volatile organic compounds (VOCs) in indoor air and tap water samples in residences of pregnant women living in an area of unconventional natural gas operations : Findings from the

- EXPERIVA study. *Science of The Total Environment*, 805, 150242. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150242>)
- Chu, M. T., Gilooly, S. E., Levy, J. I., Vallarino, J., Reyna, L. N., Laurent, J. G. C., Coull, B. A., Adamkiewicz, G. (2021). Real-time indoor PM2.5 monitoring in an urban cohort : Implications for exposure disparities and source control. *Environmental Research*, 193, 110561. (<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110561>)
- Chupeau, Z., Bonvallot, N., Mercier, F., Le Bot, B., Chevrier, C., Glorennec, P. (2020). Organophosphorus Flame Retardants : A Global Review of Indoor Contamination and Human Exposure in Europe and Epidemiological Evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6713. (<https://doi.org/10.3390/ijerph17186713>)
- CLASP. (2023). *Clearing the Air : Gas Cooking and Pollution in European Homes*. Rapport du CLASP, 59 p. (<https://respire-asso.org/wp-content/uploads/2023/11/CLASP-Indoor-Air-Quality-Field-Study-Report-embargoed.pdf>)
- Cramer, Harald. (1946). *Mathematical methods of statistics / by Harald Cramer*. Princeton University Press.
- Dargnat, C. (2008). *Sources, transfert et devenir des phtalates sur le bassin versant de la Seine : caractérisation des dangers pour l'environnement et les écosystèmes*, Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, 320 p. (<https://www.theses.fr/2008PA066574>).
- Derbez, M., Wyart, G., Le Ponner, E., Ramalho, O., Ribéron, J., Mandin, C. (2018). Indoor air quality in energy-efficient dwellings: Levels and sources of pollutants. *Indoor Air*, 28(2), 318-338. (<https://doi.org/10.1111/ina.12431>)
- Deroyon, T. (2017). *La correction de la non-réponse par repondération*. Note Insee, 5 p. (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2838097/8-correction-de-la-non-reponse-par-reponderation.pdf>)
- Directive n° 2013/59/Euratom du 05/12/13 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants, (2013), JOUE n° L 13 du 17 janvier 2014. (<https://aida.ineris.fr/reglementation/directive-ndeg-201359euratom-051213-fixant-normes-base-relatives-a-protection>)
- 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>)
- Dybing, E., Schwarze, P. E., Nafstad, P., Victorin, K., Penning, T. M. (2015). *Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air and cancer*. Corpus ID 9583858. (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:9583858>)
- Garcia-Jares, C., Regueiro, J., Barro, R., Dagnac, T., Llompарт, M. (2009). Analysis of industrial contaminants in indoor air. Part 2. Emergent contaminants and pesticides. *Journal of Chromatography A*, 1216(3), 567-597. (<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.10.020>)
- HCSP (2010). *Valeurs repères pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos*. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique, juin 2010, 36 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=165>)

- HCSP (2012). *Valeurs repères d'aide à la gestion pour le naphthalène dans l'air des espaces clos*. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique, janvier 2012, 47 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=249>)
- HCSP (2013). *Valeurs repères d'aide à la gestion pour les particules dans l'air intérieur*. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique, juillet 2013, 72 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=371>)
- HCSP (2019). *Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur – le formaldéhyde*. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique, mai 2019, 71 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=732>)
- HCSP (2020). *Qualité de l'air intérieur : Valeurs repères pour le trichloroéthylène*. Rapport du Haut Conseil de la Santé Publique, juillet 2020, 71 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=901>)
- HCSP. (2022). *Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone dans l'air intérieur des établissements recevant du public*. Avis du Haut Conseil de la Santé Publique, janvier 2022, 19 p. (<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1154>)
- Husson, F., Josse, J., Le, S., Mazet, J. (2023). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining* (2.8) [Logiciel]. (<https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>)
- INERIS (2011). *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Les polyChloroBiphenyles (PCB)*, DRC-11-118962-11081A, 89 p. (<https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/1336-36-3%20-%20PCB%20-%20FTE.pdf>).
- INERIS (2014). *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Triclosan*, DRC-14-136881-07001A, 42 p. (<https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/3380-34-5%20-%20TRICLOSAN%20-%20FTE.pdf>)
- INERIS (2016). *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Tributyl phosphate (TBP)*, DRC-16-158744-05752A, 40 p. (<https://substances.ineris.fr/sites/default/files/archives/126-73-8%20-%20TRIBUTYPHOSPHATE%20-%20FTE.pdf>)
- INSPQ (2021). *COVID-19: Concepts de base concernant le dioxyde de carbone (CO2) et sa mesure dans les bâtiments*. Rapport de l'Institut national de santé publique du Québec, 25 p. (<https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/3146-dioxyde-carbone-mesure-batiments.pdf>)
- IRSN (2000). *Campagne nationale de mesure du radon*. Atlas de données, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Notes Techniques SEGR/LEADS-2000/14, (<https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/campagne-nationale-mesure-radon>)
- IRSN (2021). *Qu'est-ce que le radon ?* Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Page internet (<https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/dou-vient-radon>)
- Kemmlin, S., Herzke, D., Law, R. J. (2009). Brominated flame retardants in the European chemicals policy of REACH—Regulation and determination in materials. *Journal of Chromatography A*, 1216(3), 320-333. (<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.05.085>)

- Kirchner, S., Arenes, J.-F., Cochet, C., Derbez, M., Duboudin, C., Elias, P., Gregoire, A., Jédor, B., Lucas, J.-P., Pasquier, N., Pigneret, M., Ramalho, O. (2007). *Campagne nationale Logements—Etat de la qualité de l'air dans les logements français*. Rapport OQAI DDD/SB 2006-57, mis à jour mai 2007, 183 p. (https://www.oqai.fr/media/download/216/1_LOG_CNLI_Etat-QAI.pdf).
- 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>)
- Leduc, A., Deroyon, T., Rochereau, T., Renaud, A. (2021). *Premiers résultats de l'enquête santé européenne (EHIS) 2019*. Les dossiers de la DREES, n° 78, avril 2021, 98 p. (<https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/publications/les-dossiers-de-la-drees/premiers-resultats-de-lenquete-sante-europeenne-ehis-2019-metropole-guadeloupe-martinique-guyane-la-r%C3%A9union-mayotte>)
- Li, Y., Cakmak, S., Zhu, J. (2019). Profiles and monthly variations of selected volatile organic compounds in indoor air in Canadian homes : Results of Canadian national indoor air survey 2012–2013. *Environment International*, 126, 134-144. (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.035>)
- Lucattini, L., Poma, G., Covaci, A., Boer, J. de, Lamoree, M. H., Leonards, P. E. G. (2018). A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment : Occurrence in consumer products, indoor air and dust. *Chemosphere*, 201, 466-482. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.161>)
- Madureira, J., Slezakova, K., Costa, C., Pereira, M. C., Teixeira, J. P. (2020). Assessment of indoor air exposure among newborns and their mothers : Levels and sources of PM10, PM2.5 and ultrafine particles at 65 home environments. *Environmental Pollution*, 264, 114746. (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114746>)
- 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>)
- Meyer, D., Zeileis, A., Hornik, K. (2023). *vcd : Visualizing Categorical Data* (1.4.11) [Logiciel]. (<https://cran.r-project.org/web/packages/vcd/index.html>)
- Ministère de la transition écologique et solidaire et Ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales (s. d.). *La pollution de l'air par les particules (PM10 et PM2,5)*. Données et études statistiques, Essentiels sur l'environnement, Page internet. (<https://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/air-particules.htm>)
- Newsted, J., Tazelaar, D., Kristofco, L., Losey, B. (2023). A meta-analysis of the occurrence of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates in surface waters and sediments in the United States between 2010 and 2020. *Environmental Pollution*, 330, 121757. (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121757>)
- Niang, B., Glorennec, P., Le Bot, B., Mercier, F., Chevrier, C., Bonvallot, N. (2019). Hiérarchisation de contaminants anthropiques semi-volatils pour l'étude des risques. Le cas des retardateurs de flamme organophosphorés. *Environnement, Risques & Santé*, 18(3), 222-234. (<https://www.jle.com/10.1684/ers.2019.1309>)

- OFSB (2002). *Valeur indicative pour les PCB dans l'air à l'intérieur des bâtiments. Information et recommandations*. Rapport de l'Office fédéral de la santé publique, Berne (Suisse), 10 p. (https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/chemikalien/fachinfo-daten/pcb-richtwert_fuerinnenraeume.pdf.download.pdf/valeur_indicativepourlespcbdanslairalinterieurdesbatiments.pdf)
- OMS (2009). *WHO handbook on indoor radon : A public health perspective*. Report World Health Organization, 110 p. (<https://www.who.int/publications/i/item/9789241547673>).
- OMS (2010). *WHO guidelines for indoor air quality : Selected pollutants*. Report, World Health Organization, 484 p. (<https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>)
- OMS (2016). *Polychlorinated biphenyls and polybrominated biphenyls. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Report, International agency for research on cancer, 510 p. (<https://publications.iarc.fr/131>).
- OMS (2021). *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Report, World Health Organization, 273 p. (<https://iris.who.int/handle/10665/345329>)
- OQAI (s. d.). *Composés organiques volatils (COV)*. Page internet (<https://www.oqai.fr/fr/pollutions/les-composes-organiques-volatils-cov>)
- Pearson, K. (1900). On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50(302), 157-175. (<https://doi.org/10.1080/14786440009463897>)
- R Core Team (2023a). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (4.3.0) [Logiciel]. R Foundation for Statistical Computing. (<https://www.R-project.org/>)
- R Core Team (2023b). *stats: The R Stats Package* (4.3.0) [Logiciel]. (<https://rdrr.io/r/stats/stats-package.html>)
- Rao, J. N. K., Scott, A. J. (1984). On Chi-Squared Tests for Multiway Contingency Tables with Cell Proportions Estimated from Survey Data. *The Annals of Statistics*, 12(1), 46-60. (<https://doi.org/10.1214/aos/1176346391>)
- Ramalho, O., Berthineau, B., Cochet, V., Dupuis, V., Gaie-Levrel, F., Ginestet, A., Hanoune, B., Honore, C., Pernet, P., Queron, J., Redon, N., Robert, L., Roussel, G., Rousselle, D., Schneider, I., Zeitouni, K. (2018), *Déploiement de micro-capteurs de qualité de l'air dans les logements pour une campagne nationale – Contraintes et opportunités*, International symposium individual air pollution sensors, Lille, 29-30 Novembre 2018, 3 p. (<https://ineris.hal.science/ineris-03239676/document>)
- Rebecq, A. (2016). *Icarus : An R package for calibration in survey sampling* (0.3.2) [Logiciel]. (<https://cran.r-project.org/web/packages/icarus/index.html>)
- Règlement (CE) n° 1272/2008. (2008). *Règlement (CE) n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n o 1907/2006 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)*. JO L 353 du 31.12.2008. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32008R1272>)

- Règlement (CE) n° 1223/2009 (2009). *Règlement (CE) No 1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques.* (<https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/5719ed94-1f12-11e9-8d04-01aa75ed71a1/language-fr>)
- Robson, M., Melymuk, L., Csiszar, S. A., Giang, A., Diamond, M. L., Helm, P. A. (2010). Continuing sources of PCBs : The significance of building sealants. *Environment International*, 36(6), 506-513. (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.03.009>)
- RStudio Team. (2023). *RStudio : Integrated Development Environment for R* (2023.3.1.446) [Logiciel]. (<http://www.rstudio.com/>)
- Santé Canada. (2023). *Composés organiques volatils (COV)*. Gouvernement du Canada, Page internet. (<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/contaminants-air-interieur/composes-organiques-volatils.html>)
- Sautory, O. (2018). *Les méthodes de calage*. Insee, Département des méthodes statistiques, Version n°1, 5 mars 2018, 7 p. (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2838097/5-les-methodes-de-calage.pdf>)
- Singer, B. C., Chan, W. R., Kim, Y.-S., Offermann, F. J., Walker, I. S. (2020). Indoor air quality in California homes with code-required mechanical ventilation. *Indoor Air*, 30(5), 885-899. (<https://doi.org/10.1111/ina.12676>)
- Thiele, B., Günther, K., Schwuger, M. J. (1997). Alkylphenol Ethoxylates : Trace Analysis and Environmental Behavior. *Chemical Reviews*, 97(8), 3247-3272. (<https://doi.org/10.1021/cr970323m>)
- Thomas, K., Xue, J., Williams, R., Jones, P., Whitaker, D. (2012). *Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in School Buildings : Sources, Environmental Levels, and Exposures*. Report Environmental Protection Agency, EPA/600/R-12/051, 150 p. (https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/pcb_epa600r12051_final.pdf)
- Umweltbundesamt (2007). [Evaluation of indoor air contaminants by means of reference and guideline values] Beurteilung von Innenraumlufkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. *Bundesgesundheitsblatt*, 50(7), 990-1005. (<https://doi.org/10.1007/s00103-007-0290-y>)
- Wang, T., Zou, H., Li, D., Gao, J., Bu, Q., Wang, Z. (2023). Global distribution and ecological risk assessment of synthetic musks in the environment. *Environmental Pollution*, 331, 121893. (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121893>)
- Wickham, H. (2016). *ggplot2 : Elegant Graphics for Data Analysis* (3.4.2) [Logiciel]. (<https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>)
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., D'Agostino McGowan, L., François, R. (2019). *Welcome to the tidyverse.* "Journal of Open Source Software" (2.0.0) [Logiciel]. (<https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/index.html>)
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80-83. (<https://doi.org/10.2307/3001968>)
- Yang, S., Pernot, J. G., Jörin, C. H., Niculita-Hirzel, H., Perret, V., Licina, D. (2020). Energy, indoor air quality, occupant behavior, self-reported symptoms and satisfaction in energy-

- efficient dwellings in Switzerland. *Building and Environment*, 171, 106618. (<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106618>)
- Yates, F. (1964). Sir Ronald Fisher and the Design of Experiments. *Biometrics*, 20(2), 307-321. (<https://doi.org/10.2307/2528399>)
- Yu, X., Liu, B., Yu, Y., Li, H., Li, Q., Cui, Y., Ma, Y. (2023). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in household dust : A systematic review on spatio-temporal distribution, sources, and health risk assessment. *Chemosphere*, 314, 137641. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137641>)
- Zeghnoun, A., Dor, F, Gregoire, A, Mandin, C, Kirchner, S. (2010). *Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement*, Rapport Institut national de veille sanitaire / Observatoire de la qualité de l'air intérieur, 40 p. (https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/604743/document_file/18806_10456-10456-ps.pdf?version=1)

ANNEXE 1 – Synthèse des limites de détection et de quantification des substances mesurées au cours de la CNL2

Les tableaux suivants regroupent les limites de détection (LD) et de quantification (LQ) analytiques telles que reportées par les laboratoires, les limites de détection et de quantification recalculées pour la méthode globale tenant compte des teneurs résiduelles observés dans les blancs et les témoins (LDM et LQM). Les LDM et LQM sont exprimées en masse sur support (ng ou µg selon les familles de composés) et en concentration en appliquant un volume théorique (base sur le débit nominal et une durée de 7 jours (ou de 2 heures pour COV en actif)). Les durées et les volumes de prélèvement pouvant varier d'un logement à l'autre, la moyenne, minimum et maximum des LDM et LQM observés en prélèvements intérieurs est également indiquée.

La limite de quantification de la méthode (LQM) reste égale à la limite de quantification (LQ) du laboratoire, si cette dernière est 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.

Tableau 78. Limites de détection et de quantification des COV prélevés par diffusion

COV par diffusion	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	16,7	50	40	50	0,18	0,23	0,19	0,13	0,22	0,24	0,16	0,27
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	16,7	50	39	50	0,18	0,23	0,18	0,13	0,21	0,24	0,16	0,27
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	16,7	50	39	50	0,13	0,16	0,13	0,09	0,16	0,17	0,12	0,20
1-Méthoxy-2-propylacétate	108-65-6	16,7	50	40	50	0,20	0,24	0,21	0,14	0,24	0,25	0,18	0,30
2-Butoxyéthanol	111-76-2	16,7	50	40	50	0,30	0,37	0,31	0,22	0,36	0,39	0,27	0,45
2-Ethyl-1-Hexanol	104-76-7	16,7	50	39	50	0,27	0,35	0,28	0,20	0,33	0,36	0,25	0,42
Acétate de n-butyl	23-86-4	16,7	50	40	50	0,16	0,20	0,17	0,12	0,20	0,21	0,15	0,24
alpha-Pinène	80-56-8	16,7	50	41	50	0,64	0,78	0,66	0,46	0,77	0,81	0,56	0,94
Benzène	71-43-2	16,7	50	105	105	0,37	0,37	0,39	0,27	0,45	0,39	0,27	0,45
Ethylbenzène	100-41-4	16,7	50	41	50	0,17	0,21	0,18	0,12	0,21	0,22	0,15	0,25
Limonène	138-86-3	16,7	50	40	50	0,31	0,39	0,32	0,22	0,37	0,4	0,28	0,47
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	16,7	50	45	50	0,21	0,23	0,22	0,15	0,25	0,24	0,17	0,28
o-Xylène	95-47-6	16,7	50	42	50	0,18	0,22	0,19	0,13	0,22	0,23	0,16	0,26
n-Décane	124-18-5	16,7	50	40	50	0,18	0,22	0,19	0,13	0,21	0,23	0,16	0,27
n-Undécane	1120-21-4	16,7	50	50	50	0,41	0,41	0,43	0,30	0,50	0,43	0,30	0,50
Styrène	100-42-5	16,7	50	48	50	0,18	0,18	0,18	0,13	0,21	0,19	0,13	0,22
Tétrachloroéthylène	127-18-4	16,7	50	39	50	0,15	0,20	0,16	0,11	0,19	0,2	0,14	0,24
Toluène	108-88-3	16,7	50	98	98	0,35	0,35	0,37	0,26	0,42	0,37	0,26	0,42
Trichloroéthylène	79-01-6	16,7	50	40	50	0,15	0,18	0,15	0,11	0,18	0,19	0,13	0,22

Tableau 79. Limites de détection et de quantification des COV prélevés par pompage actif de l'air

COV actif	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique (µg/m ³)	LQM théorique (µg/m ³)	LDM moyenne (µg/m ³)	LDM min (µg/m ³)	LDM max (µg/m ³)	LQM moyenne (µg/m ³)	LQM min (µg/m ³)	LQM max (µg/m ³)
1,2-Dibromoethane	106-93-4	1	3	1	3	0,14	0,42	0,14	0,11	0,22	0,41	0,33	0,65
1,2-Dichloroethane	107-06-2	2	7	2	7	0,28	0,97	0,28	0,22	0,43	0,96	0,77	1,51
1,4-Dioxane	123-91-1	1	3	4,2	4,2	0,58	0,58	0,57	0,46	0,90	0,57	0,46	0,90
1-Décanol	107-15-3	6	20	6	20	0,83	2,78	0,83	0,66	1,29	2,75	2,19	4,31
2-Butanone oxime	96-29-7	6	20	6	20	0,83	2,78	0,83	0,66	1,29	2,75	2,19	4,31
Benzaldéhyde	100-52-7	0,3	1	23,8	23,8	3,31	3,31	3,28	2,61	5,13	3,28	2,61	5,13
Benzophénone	119-61-9	1	3	1,4	3	0,19	0,42	0,19	0,15	0,30	0,41	0,33	0,65
Bromodichlorométhane	75-27-4	3	10	3	10	0,42	1,39	0,41	0,33	0,65	1,38	1,10	2,15
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	1	3	1,9	3	0,27	0,42	0,27	0,21	0,42	0,41	0,33	0,65
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6	1	3	2,6	3	0,36	0,42	0,36	0,29	0,56	0,41	0,33	0,65
Ethyl acétate	141-78-6	1	3	11,4	11,4	1,59	1,59	1,57	1,25	2,46	1,57	1,25	2,46
Géranol	106-24-1	1	3	1	3	0,14	0,42	0,14	0,11	0,22	0,41	0,33	0,65
Méthyl eugéno	93-15-2	3	10	5,0	10	0,69	1,39	0,68	0,54	1,07	1,38	1,10	2,15
Méthyl méthacrylate	80-62-6	2	7	2	7	0,28	0,97	0,28	0,22	0,43	0,96	0,77	1,51
N,N-Diméthylformamide	68-12-2	11	36	11	36	1,53	5,00	1,51	1,21	2,37	4,95	3,95	7,76
Naphtalène	91-20-3	0,2	0,7	0,8	0,8	0,11	0,11	0,11	0,09	0,17	0,11	0,09	0,17
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	1	3	5,2	5,2	0,72	0,72	0,71	0,57	1,11	0,71	0,57	1,11
Phénol	108-95-2	0,2	0,7	6,8	6,8	0,94	0,94	0,93	0,74	1,46	0,93	0,74	1,46
p-Hydroquinone	123-31-9	22	71	22	71	3,06	9,86	3,03	2,41	4,74	9,76	7,78	15,30
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	21	70	21	70	2,92	9,72	2,89	2,30	4,52	9,63	7,67	15,08
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4	1	3	1,5	3	0,20	0,42	0,25	0,20	0,40	0,41	0,33	0,65

COV actif	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Toluène	108-88-3	1	3	7,5	7,5	1,04	1,04	1,03	0,82	1,62	1,03	0,82	1,62
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0	2	7	2	7	0,28	0,97	0,28	0,22	0,43	0,96	0,77	1,51
Somme des COV totaux (C6-C16 / ISO16000-6)	COVT	-	-	412	412	57	57	57	45	89	57	45	89
Somme des COV légers	VVOC	-	-	1543	1543	214	214	212	169	332	212	169	332
Somme des COV semi-volatils	SVOC	-	-	418	418	58	58	58	46	90	58	46	90

Tableau 80. Limites de détection et de quantification des aldéhydes prélevés par diffusion

Aldéhydes	N CAS	LD analytique (μg)	LQ analytique (μg)	LDM (μg)	LQM (μg)	LDM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Acétaldéhyde	75-07-0	0,1	0,2	0,21	0,21	0,25	0,25	0,24	0,17	0,28	0,24	0,17	0,28
Formaldéhyde	50-00-0	0,07	0,2	0,20	0,2	0,20	0,20	0,20	0,14	0,24	0,20	0,14	0,24
Hexaldéhyde	66-25-1	0,07	0,2	0,07	0,2	0,39	1,10	0,40	0,28	0,61	1,09	0,79	1,30

Tableau 81. Limites de détection et de quantification du NO_2 prélevé par diffusion

Dioxyde d'azote	N CAS	LD analytique (μg)	LQ analytique (μg)	LDM (μg)	LQM (μg)	LDM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM théorique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LDM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQM max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO_2	10102-44-0	0,02	0,03	0,042	0,042	4,42	4,42	4,38	3,11	5,27	4,38	3,11	5,27

Tableau 82. Limites de détection et de quantification des particules fines (fraction PM_{2,5})

Particules fines	LD analytique (µg)	LQ analytique (µg)	LDM (µg)	LQM (µg)	LDM théorique (µg/m ³)	LQM théorique (µg/m ³)	LDM moyenne (µg/m ³)	LDM min (µg/m ³)	LDM max (µg/m ³)	LQM moyenne (µg/m ³)	LQM min (µg/m ³)	LQM max (µg/m ³)
PM _{2,5}	40	40	60	60	3,0	3,0	3,0	2,1	3,6	3,0	2,1	3,6

Tableau 83. Limites de détection et de quantification des composés organiques semi-volatils (COSV)

COSV	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique (ng/m ³)	LQM théorique (ng/m ³)	LDM moyenne (ng/m ³)	LDM min (ng/m ³)	LDM max (ng/m ³)	LQM moyenne (ng/m ³)	LQM min (ng/m ³)	LQM max (ng/m ³)
4-n-nonylphénol	104-40-5	0,1	0,25	0,1	0,25	0,002	0,006	0,002	0,002	0,009	0,006	0,004	0,023
4-tert-butylphénol	98-54-4	2,5	6,25	4,8	6,25	0,119	0,155	0,120	0,083	0,446	0,156	0,108	0,581
4-tert-octylphénol	140-66-9	2,5	6,25	4,1	6,25	0,100	0,155	0,101	0,070	0,281	0,155	0,108	0,433
Acénaphène	83-32-9	1	2,5	1	2,5	0,025	0,062	0,025	0,017	0,093	0,062	0,043	0,233
Acénaphylène	208-96-8	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465
Anthracène	120-12-7	2,5	5	3,7	5	0,091	0,124	0,092	0,064	0,342	0,125	0,087	0,465
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	40	200	40	200	0,992	4,960	0,999	0,693	3,720	4,997	3,465	18,600
BDE 100	189084-64-8	1	2,5	1,8	2,5	0,044	0,062	0,044	0,031	0,165	0,062	0,043	0,233
BDE 153	68631-49-2	0,25	0,625	0,25	0,625	0,006	0,016	0,006	0,004	0,023	0,016	0,011	0,058
BDE 154	207122-15-4	0,25	0,625	0,25	0,625	0,006	0,016	0,006	0,004	0,023	0,016	0,011	0,058
BDE 47	5436-43-1	1	2,5	2,1	2,5	0,051	0,062	0,051	0,036	0,191	0,062	0,043	0,233
BDE 99	60348-60-9	1	2,5	2,1	2,5	0,051	0,062	0,051	0,036	0,192	0,062	0,043	0,233
Benzo[a]anthracène	56-55-3	1	2,5	1	2,5	0,025	0,062	0,025	0,017	0,093	0,062	0,043	0,233
Benzo[a]pyrène	50-32-8	1	2,5	1,1	2,5	0,026	0,062	0,026	0,018	0,098	0,062	0,043	0,233
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465

COSV	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique (ng/m ³)	LQM théorique (ng/m ³)	LDM moyenne (ng/m ³)	LDM min (ng/m ³)	LDM max (ng/m ³)	LQM moyenne (ng/m ³)	LQM min (ng/m ³)	LQM max (ng/m ³)
Chrysène	218-01-9	1	2,5	1	2,5	0,025	0,062	0,025	0,017	0,093	0,062	0,043	0,233
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	40	200	40	200	0,992	4,960	0,999	0,693	3,720	4,997	3,465	18,600
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	40	200	40	200	0,992	4,960	1,000	0,693	3,720	4,998	3,465	18,600
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	200	500	200	500	4,960	12,401	5,001	3,465	18,600	12,502	8,661	46,501
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	40	200	105	200	2,604	4,960	2,623	1,819	9,763	4,998	3,465	18,600
DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	40	200	73	200	1,813	4,960	1,826	1,266	6,799	4,997	3,465	18,600
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	10	25	10	25	0,248	0,620	0,250	0,173	0,930	0,625	0,433	2,325
Fluoranthène	206-44-0	1	2,5	1	2,5	0,025	0,062	0,025	0,017	0,093	0,062	0,043	0,233
Fluorène	86-73-7	1	2,5	1,5	2,5	0,037	0,062	0,037	0,026	0,139	0,062	0,043	0,233
Galaxolide	1222-05-5	5	12,5	9,5	12,5	0,235	0,310	0,237	0,164	0,882	0,312	0,217	1,163
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	2	5	2	5	0,050	0,124	0,050	0,035	0,186	0,125	0,087	0,465
PCB 101	37680-73-2	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 105	32598-14-4	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 118	31508-00-6	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 138	35065-28-2	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 153	35065-27-1	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 180	35065-29-3	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 28	7012-37-5	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 31	16606-02-3	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 52	35693-99-3	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
PCB 77	32598-13-3	0,4	1	0,4	1	0,010	0,025	0,010	0,007	0,037	0,025	0,017	0,093
Phénanthrène	85-01-8	2,5	5	3,4	5	0,083	0,124	0,084	0,058	0,313	0,125	0,087	0,465

COSV	N CAS	LD analytique (ng)	LQ analytique (ng)	LDM (ng)	LQM (ng)	LDM théorique (ng/m ³)	LQM théorique (ng/m ³)	LDM moyenne (ng/m ³)	LDM min (ng/m ³)	LDM max (ng/m ³)	LQM moyenne (ng/m ³)	LQM min (ng/m ³)	LQM max (ng/m ³)
Pyrène	129-00-0	1	2,5	1	2,5	0,025	0,062	0,025	0,017	0,093	0,062	0,043	0,233
Tonalide	21145-77-7	5	12,5	5	12,5	0,124	0,310	0,125	0,087	0,465	0,312	0,217	1,163
Tributylphosphate	126-73-8	13	38	13	38	0,322	0,942	0,325	0,225	1,209	0,950	0,658	3,534
Triclosan	3380-34-5	0,1	0,25	0,1	0,25	0,002	0,006	0,002	0,002	0,009	0,006	0,004	0,023

Tableau 84. Limites de détection et de quantification pour la mesure du radon

Radon	LD laboratoire (Bq/m ³)	LQ laboratoire (Bq/m ³)	LD moyenne (Bq/m ³)	LD min (Bq/m ³)	LD max (Bq/m ³)	LQ moyenne (Bq/m ³)	LQ min (Bq/m ³)	LQ max (Bq/m ³)
Radon	20	20	22	13	38	22	13	38

ANNEXE 2– Liste des variables avant modélisation

La première étape dans la modélisation consiste à tester la corrélation entre la variable d'intérêt (variable à prédire) et les variables descriptives présentées dans le **Tableau 85** (concernant la personne de référence du ménage, des indicateurs de perception, des caractéristiques liées au logement, des aspects spécifiques aux ménages, ainsi que des variables associées à la passation du questionnaire).

Tableau 85. Variables EHIS/SEPIA testées en bivariés

Variables quantitatives	Variables qualitatives
Nombre de personnes majeures	Surface du logement
Nombre de personnes habitant le logement	Dégâts liés à l'humidité
Nombre de pièces	Gêne liée au bruit
Durée du questionnaire (secondes)	Souffrance liée au froid l'hiver dernier
Niveau du logement	Souffrance liée à la chaleur l'été dernier
Revenus fonciers du ménage	Quartier prioritaire de la politique de la ville
Revenus de valeurs mobilières	Mode de collecte des données (face-à-face / téléphone)
Niveau de vie	Vague définitive de collecte du questionnaire EHIS (1 ou 2)
Âge de la personne de référence	Présence d'un chauffage central
	Région administrative du logement de l'enquête EHIS
	Type de ménage
	Personne de référence interviewée (oui/non)
	Sexe de la personne de référence
	Situation professionnelle de la personne de référence
	Situation vis-à-vis du couple pour la personne de référence
	Situation vis-à-vis du mariage civil pour la personne de référence
	Terrain définitif (CATI / CAPI)
	Année de construction redressée
	Statut d'occupation du logement
	Type de logement
	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence
	Âge de la personne de référence
	Durée du questionnaire
	Nombre de personnes habitant le logement
	Nombre de personnes majeures

Variables quantitatives	Variables qualitatives
	Nombre de pièces
	Niveau de vie
	Relance SEPIA (oui/non)

À la suite de ces tests de corrélation, les variables qui se sont avérées significativement corrélées sont listées dans le **Tableau 86**.

Tableau 86. Variables retenues à la suite des tests bivariés

EHIS-SEPIA : Variables retenues avant modélisation	SEPIA-CNL2 : Variables retenues avant modélisation
Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	Relance SEPIA
Âge de la personne de référence	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence
Souffrance liée à la chaleur	Niveau de vie
Situation professionnelle de la personne de référence	Surface du logement
Situation vis-à-vis du mariage civil pour la personne de référence	Occupation du logement
Personne de référence interviewée	Nombre de pièces
Niveau de vie	Mode de collecte des données
Région administrative du logement de l'enquête EHIS	Type de local
Gêne liée au bruit	Quartier prioritaire de la politique de la ville
Type de logement	Nombre de pièces
Nombre d'habitants	Niveau de vie
Durée du questionnaire	
Type de ménage	
Dégâts liés à l'humidité	
Niveau du logement	
Niveau de vie	
Âge de la personne de référence	
Nombre de personnes habitant le logement	

ANNEXE 3 – Autres valeurs de distribution des substances mesurées

Composés organiques volatils (COV)

Prélèvement diffusif

COV à l'intérieur du logement

Tableau 87. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif dans la chambre de la personne de référence du logement

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	2,62	5,2	0,24	0,32	13,5
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	0,59	3,02	< 0,18	< 0,18	1,86
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	2,85	9,64	< 0,13	< 0,13	12,2
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	0,60	3,02	< 0,20	< 0,20	1,89
2-Butoxyéthanol	111-76-2	2,12	5,19	< 0,30	< 0,30	10,9
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	2,57	4,32	< 0,27	< 0,27	8,91
Acétate de n-butyle	23-86-4	4,17	10,4	0,33	0,46	16,6
alpha-Pinène	80-56-8	20,5	30,5	2,24	3,5	60,6
Benzène	71-43-2	1,59	1,5	0,42	0,51	4,61
Ethylbenzène	100-41-4	2,43	6,71	0,23	0,29	13,2
Limonène	138-86-3	26,6	45,2	2,13	3,29	72
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	9,17	30,3	0,59	0,75	44,4
o-Xylène	95-47-6	3,15	9,03	0,28	0,35	16,4
n-Décane	124-18-5	2,90	6,54	0,26	0,32	10,9
n-Undécane	1120-21-4	4,84	8,6	0,62	0,74	16,8
Styrène	100-42-5	0,74	0,69	0,23	0,29	1,81
Tétrachloroéthylène	127-18-4	0,71	8,48	< 0,15	< 0,15	0,62
Toluène	108-88-3	12,5	35,2	0,85	1,13	65,1
Trichloroéthylène	79-01-6	< 0,15	-	< 0,15	< 0,15	< 0,15

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

COV à l'extérieur du logement

Tableau 88. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 20 COV mesurés par prélèvement diffusif à l'extérieur du logement

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - extérieur	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	0,28	0,27	< 0,19	< 0,19	0,67
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	< 0,18	-	< 0,18	< 0,18	< 0,18
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	< 0,17	-	< 0,13	< 0,13	0,25
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	< 0,21	-	< 0,21	< 0,21	0,25
2-Butoxyéthanol	111-76-2	< 0,31	-	< 0,31	< 0,31	< 0,31
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	< 0,28	-	< 0,28	< 0,28	0,38
Acétate de n-Butyl	23-86-4	0,30	0,5	< 0,17	< 0,17	0,78
alpha-Pinène	80-56-8	0,89	1,6	< 0,66	< 0,66	3,22
Benzène	71-43-2	0,99	0,52	0,42	0,49	1,95
Ethylbenzène	100-41-4	0,29	0,25	< 0,18	< 0,18	0,62
Limonène	138-86-3	0,49	1,88	< 0,32	< 0,32	1,29
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	0,91	1,07	0,26	0,28	2,04
o-Xylène	95-47-6	0,36	0,35	< 0,19	< 0,19	0,79
n-Décane	124-18-5	0,31	0,37	< 0,19	< 0,19	1,07
n-Undécane	1120-21-4	1,42	2,49	< 0,43	< 0,43	5,54
Styrène	100-42-5	0,19	0,31	< 0,18	< 0,18	0,34
Tétrachloroéthylène	127-18-4	< 0,16	-	< 0,16	< 0,16	< 0,20
Toluène	108-88-3	1,5	1,62	0,42	0,52	3,53
Trichloroéthylène	79-01-6	< 0,15	-	< 0,15	< 0,15	< 0,15

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

COV par prélèvement actif

Tableau 89. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 23 COV mesurés par prélèvement actif dans le séjour du logement

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
1,2-Dibromoethane	106-93-4	< 0,41	-	< 0,14	< 0,14	< 0,14
1,2-Dichloroethane	107-06-2	< 0,28	-	< 0,28	< 0,28	< 0,96
1,4-Dioxane	123-91-1	< 0,57	-	< 0,57	< 0,57	0,88
1-Décanol	107-15-3	< 0,83	-	< 0,83	< 0,83	< 2,75
2-Butanone oxime	96-29-7	< 0,83	-	< 0,83	< 0,83	< 0,83
Benzaldéhyde	100-52-7	5,76	14,5	< 3,28	< 3,28	13,3
Benzophénone	119-61-9	< 0,41	-	< 0,19	< 0,19	0,55
Bromodichlorométhane	75-27-4	< 0,41	-	< 0,41	< 0,41	< 0,41
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	14,9	48,8	< 0,27	< 0,41	49,8
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6	1,91	5,44	< 0,36	< 0,36	5,89
Ethyl acétate	141-78-6	8,54	23,2	< 1,57	< 1,57	35,9
Géraniol	106-24-1	< 0,14	-	< 0,14	< 0,14	< 0,41
Méthyl eugénol	93-15-2	< 0,68	-	< 0,68	< 0,68	< 0,68
Méthyl méthacrylate	80-62-6	< 0,96	-	< 0,28	< 0,28	1,09
N,N-Diméthylformamide	68-12-2	< 1,51	-	< 1,51	< 1,51	< 4,95
Naphtalène	91-20-3	0,39	1,5	< 0,11	< 0,11	1,16
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	2,58	6,37	< 0,71	< 0,71	8,73
Phénol	108-95-2	< 0,93	-	< 0,93	< 0,93	1,91
p-Hydroquinone	123-31-9	< 3,03	-	< 3,03	< 3,03	< 3,03
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	< 2,89	-	< 2,89	< 2,89	< 2,89
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4	3,22	23	< 0,25	< 0,25	9,6
Toluène	108-88-3	12,7	35	< 1,03	< 1,03	48,7
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0	1,26	4,23	< 0,28	< 0,28	5,89
COV totaux (C6-C16 / ISO16000-6)	COVT	197	345	< 56,6	< 56,6	594
Somme des COV légers	COVL	< 212	-	< 212	< 212	< 212
Somme des COV semi-volatils	COSV	< 57,6	-	< 57,6	< 57,6	112

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

Aldéhydes

Tableau 90. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 3 aldéhydes mesurés dans la chambre de la personne de référence du logement

Aldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Acétaldéhyde	Formaldéhyde	Hexaldéhyde
N CAS	75-07-0	50-00-0	66-25-1
MA	10,3	15,7	15,5
ET	7,22	8,23	11,3
P5	3,13	6,33	4,2
P10	3,85	6,98	5,25
P95	25,7	32,4	40,4

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

Dioxyde d'azote (NO_2)

Tableau 91. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de NO_2 dans la chambre de la personne de référence et à l'extérieur du logement

NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Chambre	Extérieur
N CAS	10102-44-0	
MA	9,14	10,3
ET	7,78	9,18
P5	< 4,38	< 4,73
P10	< 4,38	< 4,73
P95	19,6	30,1

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

Particules fines ($\text{PM}_{2.5}$)

Tableau 92. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de particules fines (fraction $\text{PM}_{2.5}$) dans le séjour du logement

$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
MA	27,6
ET	65,3
P5	5,64
P10	6,57
P95	66,8

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

Dioxyde de carbone (CO₂)

Tableau 93. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations hebdomadaires de CO₂ dans la chambre de la personne de référence du logement

CO ₂ - moyenne hebdomadaire (ppm)	
N CAS	124-38-9
MA	1 897
ET	106
P5	676
P10	828
P95	4 505

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

Composés organiques semi volatils (COSV)

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Tableau 94. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) mesurés dans l'air du séjour du logement

HAP (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
Acénaphène	83-32-9	0,4	0,39	0,09	0,12	1,17
Acénaphthylène	208-96-8	0,22	0,31	< 0,049	< 0,049	0,84
Anthracène	120-12-7	0,5	0,77	< 0,09	< 0,09	1,68
Benzo[a]anthracène	56-55-3	0,072	0,11	< 0,024	< 0,024	0,28
Benzo[a]pyrène	50-32-8	0,092	0,18	< 0,026	< 0,026	0,36
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	0,16	0,21	< 0,049	< 0,049	0,5
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	0,12	0,14	< 0,049	< 0,049	0,4
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	< 0,12	-	< 0,049	< 0,049	0,17
Chrysène	218-01-9	0,097	0,14	< 0,024	< 0,024	0,33
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	< 0,049	-	< 0,049	< 0,049	< 0,12
Fluoranthène	206-44-0	0,97	1,04	0,27	0,35	2,23
Fluorène	86-73-7	1,67	1,38	0,51	0,58	3,61
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	< 0,12	-	< 0,049	< 0,049	0,41
Phénanthrène	85-01-8	11,8	11,8	3,85	5,02	22
Pyrène	129-00-0	0,59	0,41	0,2	0,23	1,55

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

Phtalates

Tableau 95. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 7 phtalates mesurés dans l'air du séjour du logement

Phtalate (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	5,33	22,7	< 0,98	< 0,98	19,3
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	150	106	30,6	46,4	341
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	206	233	47	66	546
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	29,6	36,6	6,55	8,13	100
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	702	1750	79,8	109	1920
DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	14	18,7	< 1,79	< 4,9	48,8
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	12,2	14	2,81	3,37	38,4

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

Polybromodiphenyls éthers (PBDE)

Tableau 96. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 5 polybromodiphenyls éthers (PBDE) mesurés dans l'air du séjour du logement

PBDE (ng/m ³)	BDE 47	BDE 99	BDE 100	BDE 153	BDE 154
N CAS	5436-43-1	60348-60-9	189084-64-8	68631-49-2	207122-15-4
MA	< 0,05	< 0,05	< 0,043	< 0,0061	< 0,0061
ET	-	-	-	-	-
P5	< 0,05	< 0,05	< 0,043	< 0,0061	< 0,0061
P10	< 0,05	< 0,05	< 0,043	< 0,0061	< 0,0061
P95	< 0,05	< 0,05	< 0,043	< 0,0061	< 0,0061

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

Polychlorobiphényles (PCB)

Tableau 97. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 10 polychlorobiphényles (PCB) mesurés dans l'air du séjour du logement

PCB (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
PCB 28	7012-37-5	0,43	7,5	< 0,024	0,025	0,32
PCB 31	16606-02-3	0,11	0,16	< 0,024	0,026	0,37
PCB 52	35693-99-3	0,26	0,45	0,029	0,042	0,94
PCB 77	32598-13-3	< 0,0098	-	< 0,0098	< 0,0098	< 0,0098
PCB 101	37680-73-2	0,16	0,36	< 0,024	< 0,024	0,48
PCB 105	32598-14-4	< 0,024	-	< 0,0098	< 0,0098	0,034
PCB 118	31508-00-6	0,046	0,19	< 0,0098	< 0,0098	0,13

PCB (ng/m ³)	N CAS	MA	ET	P5	P10	P95
PCB 138 + PCB 163	35065-28-2 / 74472-44-9	0,039	0,14	< 0,0098	< 0,0098	0,15
PCB 153	35065-27-1	0,046	0,15	< 0,0098	< 0,0098	0,16
PCB 180	35065-29-3	< 0,024	-	< 0,0098	< 0,0098	0,03

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

Alkylphénols

Tableau 98. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 3 alkylphénols mesurés dans l'air du séjour du logement

Alkylphénol (ng/m ³)	4-n-nonylphénol	4-tert-butylphénol	4-tert-octylphénol
N CAS	104-40-5	98-54-4	140-66-9
MA	< 0,0024	5,59	1,06
ET	-	5,37	2,63
P5	< 0,0024	0,91	0,29
P10	< 0,0024	1,3	0,36
P95	< 0,0024	13,2	2,39

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

Muscs polycycliques

Tableau 99. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des 2 muscs polycycliques mesurés dans l'air du séjour du logement

Musc polycyclique (ng/m ³)	Galaxolide	Tonalide
N CAS	1222-05-5	21145-77-7
MA	156	21,9
ET	262	27,8
P5	9,86	2,8
P10	12,9	4,08
P95	452	68,9

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

Autres composés

Tributylphosphate et triclosan

Tableau 100. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 des concentrations de tributylphosphate et triclosan mesurés par prélèvement actif dans l'air du séjour du logement

Polluant (ng/m ³)	Tributylphosphate	Triclosan
N CAS	126-73-8	3380-34-5
MA	3,6	0,084
ET	11,4	0,19
P5	< 0,93	0,0062
P10	< 0,93	0,0089
P95	7,46	0,31

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

Radon

Tableau 101. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de l'activité volumique maximale en radon observée en pièce de vie

Radon (Bq/m ³)	
N CAS	10043-92-2
MA	89
ET	164
P5	< 22
P10	< 22
P95	396

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

ANNEXE 4 – Autres valeurs de distribution de température/humidité intérieure

Tableau 102. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de la température hebdomadaire moyenne intérieure mesurée dans la chambre

Saison	MA	ET	P5	P10	P95
Eté	23,2	2,16	18,7	20,5	26,5
Transition	20,0	1,7	17	17,7	23,2
Hiver	18,9	2,03	15,4	16,5	22,2

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

Tableau 103. Moyenne arithmétique, écart type et centiles 5, 10 et 95 de l'humidité relative hebdomadaire moyenne intérieure mesurée dans la chambre

Saison	MA	ET	P5	P10	P95
Eté	57,8	6,67	47,2	49,2	71,0
Transition	54,0	10,7	35,7	39,8	68,1
Hiver	49,1	9,16	33,6	37,2	63,6

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

ANNEXE 5 – Positionnement des concentrations de polluants au regard de valeurs seuils

Tableau 104. Positionnement des concentrations de polluants par rapport à des valeurs seuils avec dépassement ou non de valeurs de références compatibles avec la durée d'agrégation de la mesure.

Polluant	C	n logts > C	% Parc > C	V _{ref} dépassée	% Ext > C
Acétaldéhyde (µg/m ³)	160	0	0%	-	nm
	3000	0	0%	-	nm
Benzène (µg/m ³)	0,6	482	84,99%	-	77,59%
	2	97	21,34%	-	4,08%
	5	25	4,30%	-	0,06%
	6	17	1,35%	VRAI	0%
	10	5	0,43%	-	0%
	20	0	0%	-	0%
	30	0	0%	VGAI-CT	0%
Benzo(a)pyrène (µg/m ³)	0,12	99	23,87%	-	nm
	1	3	0,55%	-	nm
CO ₂ (moy hebdo) ppm	800	276	48,47%	-	nm
	1000	155	29,68%	-	nm
	1500	33	8,40%	-	nm
	5000	0	0%	-	nm
CO ₂ (max horaire) ppm	800	483	90,20%	-	nm
	1000	441	78,61%	-	nm
	1500	303	56,52%	-	nm
	5000	4	3,02%	-	nm
COV totaux (2h) (µg/m ³)	300	98	13,79%	-	nm
	1000	12	1,95%	-	nm
	3000	4	0,46%	-	nm
Ethylbenzène (µg/m ³)	1500	0	0%	-	0%
	22000	0	0%	-	0%
Formaldéhyde (µg/m ³)	30	39	6,14%	-	nm
	100	0	0%	-	nm
Naphtalène (2h) (µg/m ³)	10	2	0,36%	-	nm
	50	0	0%	-	nm
NO ₂ (µg/m ³)	10	148	35,70%	-	39,50%
	20	27	4,70%	-	14,50%
	25	16	2,95%	VG-OMS (24h)	7,40%
	40	2	0,25%	-	0,59%
	200	0	0%	-	0%

Polluant	C	n logts > C	% Parc > C	V _{ref} dépassée	% Ext > C
PM _{2,5} (µg/m ³)	5	497	96,50%	-	nm
	10	338	70,30%	VRAI	nm
	15	204	43,30%	VG-OMS (24h)	nm
	20	149	31,90%	-	nm
	25	118	22,70%	-	nm
	50	57	10,90%	VAR	nm
Radon (Bq/m ³) (max Pièces de vie)	100	106	21,72%	-	nm
	300	36	7,55%	VGAI-R	nm
	1000	9	0,74%	-	nm
Toluène (µg/m ³)	20000	0	0%	-	0%
Tétrachloroéthylène (µg/m ³)	40	2	0,43%	-	0%
	250	1	0,03%	-	0%
	400	1	0,03%	-	0%
	1250	0	0%	-	0%
	1380	0	0%	-	0%
Trichloroéthylène (µg/m ³)	10	1	0,05%	VRAI	0%
	50	0	0%	-	0%

C : valeur seuil de concentration (ou niveau d'activité volumique) en moyenne hebdomadaire utilisé pour la comparaison ;

n logts > C : nombre de logements dans l'échantillon qui dépasse un seuil de concentration moyenne hebdomadaire ;

% Parc > C : proportion de logements du parc de résidences principales qui dépasse un seuil de concentration moyenne hebdomadaire ;

V_{ref} dépassée : dépassement avéré de la valeur de référence associée à la valeur seuil C

% Ext > C : proportion de prélèvements extérieurs pondérés à l'échelle du parc de résidences principales qui dépasse un seuil de concentration moyenne hebdomadaire ;

Polluant en gras : polluant pour lequel au moins une valeur de référence compatible avec la mesure est dépassée ;

Valeur C en gras : valeur seuil de concentration (ou niveau d'activité volumique) qui correspond à une valeur de référence compatible avec la durée d'agrégation de la mesure, et donc comparable.

ANNEXE 6 - Valeurs seuils intrinsèques associées aux 25 % de logements les plus exposés

Tableau 105. Valeurs seuils intrinsèques des polluants correspondant aux 25 % de logements les plus exposés (P75 ou 75^{ème} centile de la concentration)

COV, aldéhydes et NO ₂ (µg/m ³) Chambre – 7 jours	N CAS	P75
Acétaldéhyde	75-07-0	12,3
Acétate de n-butyle	23-86-4	3,43
alpha-Pinène	80-56-8	24,7
Benzène	71-43-2	1,77
2-Butoxyéthanol	111-76-2	1,99
n-Décane	124-18-5	2,63
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	< 0,18
2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	2,88
Ethylbenzène	100-41-4	1,75
Formaldéhyde	50-00-0	20,0
Hexaldéhyde	66-25-1	19,1
Limonène	138-86-3	32,9
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	1,45
1-Méthoxy-2-propyl acétate	108-65-6	0,36
NO ₂	10102-44-0	13,0
Styrène	100-42-5	0,84
Tétrachloroéthylène	127-18-4	< 0,15
Toluène	108-88-3	9,04
Trichloroéthylène	79-01-6	< 0,15
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	2,05
n-Undécane	1120-21-4	5,11
(m+p)-Xylènes	108-38-3 / 106-42-3	6,04
o-Xylène	95-47-6	2,1
PM _{2,5} (µg/m ³) Séjour – 1 semaine	N CAS	
PM _{2,5}	-	22,4
HAP (ng/m ³) Séjour – 1 semaine	N CAS	
Acénaphène	83-32-9	0,44
Acénaphylène	208-96-8	0,26
Anthracène	120-12-7	0,51
Benzo[a]anthracène	56-55-3	0,09

Benzo[a]pyrène	50-32-8	0,11
Benzo[b]fluoranthène	205-99-2	0,21
Benzo[g,h,i]perylène	191-24-2	0,15
Benzo[k]fluoranthène	207-08-9	0,07
Chrysène	218-01-9	0,11
Dibenzo[a,h]anthracène	53-70-3	< 0,05
Fluoranthène	206-44-0	1,2
Fluorène	86-73-7	1,91
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	193-39-5	0,14
Phénanthrène	85-01-8	13,5
Pyrène	129-00-0	0,70
Phtalates (ng/m ³) Séjour – 1 semaine		N CAS
BBP (Butyl benzyl phtalate)	85-68-7	< 4,90
DBP (Di-n-butyl phtalate)	84-74-2	198
DEP (Diethyl phtalate)	84-66-2	230
DEHP (Di-2-éthylhexylphtalate)	117-81-7	32,3
DIBP (Diisobutyl phtalate)	84-69-5	497
DiNP (Diisononyl phtalate)	28553-12-0	17,6
DMP (Diméthyl phtalate)	131-11-3	13,3
PBDE (ng/m ³) Séjour – 1 semaine		N CAS
BDE 47	5436-43-1	< 0,05
BDE 99	60348-60-9	< 0,05
BDE 100	189084-64-8	< 0,04
BDE 153	68631-49-2	< 0,006
BDE 154	207122-15-4	< 0,006
PCB (ng/m ³) Séjour – 1 semaine		N CAS
PCB 28	7012-37-5	0,12
PCB 31	16606-02-3	0,13
PCB 52	35693-99-3	0,29
PCB 77*	32598-13-3	< 0,010
PCB 101	37680-73-2	0,16
PCB 105*	32598-14-4	< 0,024
PCB 118*	31508-00-6	0,036
PCB 138 + PCB 163	35065-28-2 / 74472-44-9	0,032
PCB 153	35065-27-1	0,045
PCB 180	35065-29-3	< 0,024
Alkylphénols (ng/m ³) Séjour – 1 semaine		N CAS
4-n-nonylphénol	104-40-5	< 0,024

4-tert-butylphénol	98-54-4	7,57
4-tert-octylphénol	140-66-9	1,22
Muscs synthétiques (ng/m³) Séjour – 1 semaine	N CAS	
Galaxolide / HHCB	1222-05-5	168
Tonalide / AHTN	21145-77-7	30,3
Autres COSV (ng/m³) Séjour – 1 semaine	N CAS	
Tributylphosphate	126-73-8	3,63
Triclosan	3380-34-5	0,064
COV émergents (µg/m³) Séjour – 2 heures	N CAS	
Benzaldéhyde	100-52-7	4,42
Benzophénone	119-61-9	< 0,41
Bromodichlorométhane	75-27-4	< 0,41
2-Butanone oxime	96-29-7	< 0,83
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	8,51
1-Décanol	107-15-3	< 0,83
1,2-Dibromoéthane	106-93-4	< 0,14
1,2-Dichloroéthane	107-06-2	< 0,28
1,4-Dioxane	123-91-1	< 0,57
N,N-Diméthylformamide	68-12-2	< 1,51
Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6	1,69
Ethyl acétate	141-78-6	7,85
Géranol	106-24-1	< 0,14
p-Hydroquinone	123-31-9	< 3,03
p-Menthane-3,8-diol (citriodiol)	42822-86-6	< 2,89
Méthyl eugénol	93-15-2	< 0,68
Méthyl méthacrylate	80-62-6	< 0,28
Naphtalène	91-20-3	0,25
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	556-67-2	2,41
Phénol	108-95-2	1,15
Texanol (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol monoisobutyrate)	25265-77-4	1,66
Toluène	108-88-3	7,17
TXIB (2,2,4-triméthyl-1,3-pentanediol diisobutyrate)	6846-50-0	< 0,96
Somme des COV totaux (C6-C16 / ISO 16000-6)	COVT	218
Somme des COV légers	COVL	< 212
Somme des COV semi-volatils	COSV	< 57,6
Radon (Bq/m³) Max pièces de vie – 2 mois	N CAS	
Radon	10043-92-2	80,0



CSTB
le futur en construction

Siège social

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