



Qualité de l'air intérieur dans les établissements sanitaires et médicosociaux

Pierre Bonnet, Sutharsini Sivanantham, Anthony Grégoire, Valérie Cochet, Doriane Rousselle, Claire Dassonville, Olivier Ramalho, Virginie Desvignes, Driss Samri

► To cite this version:

Pierre Bonnet, Sutharsini Sivanantham, Anthony Grégoire, Valérie Cochet, Doriane Rousselle, et al.. Qualité de l'air intérieur dans les établissements sanitaires et médicosociaux. CSTB-OQAI/2021-227, CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment; OQAI - Observatoire de la qualité de l'air intérieur. 2023. <hal-05362972>

HAL Id: hal-05362972

<https://hal.science/hal-05362972v1>

Submitted on 13 Nov 2025

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

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



HAL Authorization

Qualité de l'air intérieur dans les établissements sanitaires et médicosociaux

Rapport final

Pierre BONNET, Sutharsini SIVANANTHAM, Anthony GRÉGOIRE, Valérie COCHET,
Doriane ROUSSELLE, Claire DASSONVILLE, Olivier RAMALHO, Virginie DESVIGNES,
Driss SAMRI

Direction Santé Confort, Division Qualité des Environnements Intérieurs

Juillet 2023

Rapport référencé CSTB-OQAI/2021-227
Version révisée au 29/09/2023

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 1^{er} juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et code pénal art. 425).

Toute citation d'extraits ou reproduction doit obligatoirement faire apparaître la référence de ce document sous la forme : Pierre BONNET, Sutharsini SIVANANTHAM, Anthony GRÉGOIRE, Valérie COCHET, Doriane ROUSSELLE, Claire DASSONVILLE, Olivier RAMALHO, Virginie DESVIGNES, Driss SAMRI. Qualité de l'air intérieur dans les établissements sanitaires et médico-sociaux en France. Rapport référencé CSTB-OQAI/2021-227, Mars 2023, 97 pages. <https://doi.org/10.82199/oqei-esms-w62g-vv45>

© 2023 CSTB



FINANCEMENT

Cette campagne de mesure a été financée par le ministère de la Transition écologique et solidaire, le ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales, le ministère des Solidarités et de la Santé et l'Agence de la transition énergétique (ADEME, convention 1962C0010).

REMERCIEMENTS

- Aux directions, aux personnels et aux résidents des établissements sanitaires et médico-sociaux qui ont accepté de participer à la campagne ;
- À People Vox, et particulièrement à Simon ROUX, pour le développement de la plateforme de saisie en ligne ;
- Aux enquêteurs de terrain :
 - EVADIES, Bouillonville (54) et A2L ENVIRONNEMENT, Yutz (57) pour la région Grand-Est ;
 - OXYGENAIR, Chambray-les-Tours (37) pour la région Pays de la Loire ;
 - ATMOSUD, Martigues (13) et APPA Région Sud, Marseille (13) pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur ;
 - CSTB, Champs-sur-Marne (77) pour la région Ile-de-France ;
- Aux laboratoires d'analyse : Laboratoire central de la préfecture de police (LCPP), Paris (75) ; Service parisien de santé environnement, Paris (75) ; CSTB, laboratoire de Saint-Martin-d'Hères (38).

RÉSUMÉ

De mars 2019 à mars 2021, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a mené une campagne nationale pour décrire la qualité de l'environnement intérieur des établissements sanitaires et médico-sociaux en France métropolitaine (campagne ESMS) avec trois objectifs :

1. la description des bâtiments et des pièces instrumentées, des équipements (chauffage, ventilation) et des usages (ouverture des fenêtres, taux d'occupation, activités créatives, utilisation de produits d'ambiance et d'entretien, fréquence de nettoyage, etc.) ;
2. l'évaluation de la qualité de l'air intérieur ;
3. l'évaluation de la perception de la qualité de l'air intérieur et de l'ambiance olfactive, thermique, acoustique et visuelle.

Pour cela, un échantillon de 97 établissements a été recruté par tirage au sort et sur la base du volontariat de février 2019 à fin décembre 2020. Les ESMS participants à la campagne sont des établissements d'hébergement de personnes âgées, des unités de soin de longue durée et des établissements d'accueil d'enfants et d'adultes handicapés. Dans chaque établissement, une pièce de vie commune et deux chambres ont fait l'objet de mesurages. Un questionnaire rempli lors de l'enquête a également permis de recueillir des informations descriptives sur les bâtiments et leurs usages.

L'évaluation de la qualité de l'air intérieur a été menée par mesurage de plusieurs paramètres tel que le CO₂, les particules PM_{2,5}, le NO₂, les COV et les aldéhydes. Le CO₂ a été mesuré par l'intermédiaire d'un capteur. Les médianes des concentrations moyennes de CO₂ mesurées dans les ESMS en journée et la nuit sont respectivement de 620 et 628 ppm. Les médianes des concentrations maximales mesurées en journée et la nuit sont respectivement de 1063 et 821 ppm, ce qui est bien inférieur aux concentrations mesurées lors de la campagne nationale « écoles » entre 2013 et 2017, où la médiane de la concentration moyenne était de 1 368 ppm et la médiane de la concentration maximale de 2 770 ppm. En journée, la concentration en CO₂ dépasse la VRAI de 800 ppm pendant moins de 9% du temps dans la moitié des pièces (pièces de vie et chambres) et pendant au moins 62% du temps dans 5% des pièces. Pendant la nuit, la concentration en CO₂ dépasse la valeur repère d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur (VRAI) pendant moins de 29% du temps dans la moitié des chambres et sur la totalité de la période suivie dans 14% des chambres. Ce niveau de concentration de CO₂ se traduit par un indice de confinement ICONE relativement faible puisqu'environ 88% des pièces de vie commune instrumentées présentent un indice ICONE nul (62%) ou faible (égal à 1, 26%) en journée. Concernant les chambres, l'indice ICONE a été calculé le jour et la nuit. Il en ressort que, le jour, 86% des chambres instrumentées présentent un indice ICONE nul (60%) ou faible (égal à 1, 26%), ce qui est comparable aux pièces de vie commune. La nuit, 59% des chambres présentent un indice ICONE faible (18%), voire nul (41%). Une part plus importante de chambres est représentée dans les indices ICONE très élevés (ICONE=4, 2,3%) et extrêmes (ICONE=5, 3,4%). La classe d'indice ICONE extrême était absente en journée et pourrait refléter un renouvellement de l'air insuffisant en période d'occupation, pourtant la grande majorité des ESMS dispose d'une ventilation mécanique (84% des pièces instrumentées).

Les particules PM_{2,5} ont été mesurées grâce à une méthode gravimétrique. La concentration médiane des particules PM_{2,5} est de 7,8 µg/m³ dans les établissements investigués dans cette campagne. Cette valeur respectait la valeur guide journalière de 25 µg/m³ définie par l'OMS en 2005 à des fins de gestion, et également la nouvelle valeur guide mise à jour le 22 septembre 2021 et abaissée à 15 µg/m³. A l'échelle des pièces (chambres et pièces de vie commune confondues), 8% (n=21) d'entre

elles dépassent la nouvelle valeur guide. 18% des ESMS investigués présentent au moins une pièce où la concentration de $PM_{2,5}$ est supérieure à la valeur guide de l'OMS (2021).

La concentration médiane de dioxyde d'azote (NO_2) est de $5,3 \mu g/m^3$ dans les établissements investigués. C'est environ 4 fois moins que la valeur guide de la qualité de l'air intérieur (VGAI) de $20 \mu g/m^3$ définie par l'ANSES en 2013. A l'échelle des pièces (chambres et pièces de vie commune confondues), 12% (n=34) d'entre elles dépassent la VGAI. Dans 16% des ESMS, au moins une pièce a une concentration de NO_2 supérieure à $20 \mu g/m^3$. Par comparaison avec la campagne CNE, 13% des écoles avaient au moins une pièce en dépassement de la VGAI (le NO_2 n'a pas été mesuré lors des campagnes de l'OQAI dans les logements et les bureaux).

Les composés organiques volatils ont été mesurés selon deux méthodes différentes : des prélèvements passifs sur 7 jours dans chacune des trois pièces sélectionnées (2 chambres et une pièce de vie commune) et un prélèvement actif de 6h dans la pièce de vie commune, au premier jour de la semaine de mesure. Ce prélèvement actif avait pour but de permettre l'analyse d'un plus grand nombre de composés (65 COV en actif contre 23 COV en passif) et de potentiellement mettre en évidence des COV exotiques issus de l'utilisation de produits de nettoyage et d'ambiance. Ce dernier point était notamment ressorti lors de l'enquête descriptive des ESMS, étape préalable à la campagne ESMS. Il ressort des résultats de la campagne de faibles concentrations de COV, que ce soit par prélèvement passif ou actif. Parmi les COV pour lesquels on dispose de VGAI, aucun dépassement n'est à signaler pour l'éthylbenzène, le tétrachloroéthylène, le toluène et le trichloroéthylène. Concernant le benzène, 5% (n=15) des pièces (chambres et pièces de vie commune confondues) sont supérieures à $2 \mu g/m^3$, valeur guide réglementaire de qualité d'air intérieur. Dans 9% (n=9) des ESMS, au moins une pièce (chambres et pièces de vie commune confondues) dépasse cette valeur. Un pourcent des ESMS possèdent au moins une pièce dans laquelle les niveaux de concentration en benzène sont supérieures à la VRAI.

Les aldéhydes ont été mesurés par prélèvement passif sur 7 jours dans chacune des trois pièces sélectionnées (2 chambres et une pièce de vie commune). Quatre aldéhydes ont été analysés : le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le benzaldéhyde et l'hexaldéhyde. Parmi ces aldéhydes, une valeur guide réglementaire ($100 \mu g/m^3$) est disponible pour le formaldéhyde ; elle n'est dépassée dans aucune pièce (chambres et pièces de vie commune confondues). Une valeur repère d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur existe également et est dépassée dans 2% (n=7) des 288 pièces considérées. La médiane pour le formaldéhyde se situe bien en-deçà de ces deux valeurs réglementaires et d'aide à la gestion puisqu'elle est de $8,1 \mu g/m^3$. Concernant l'acétaldéhyde, une VGAI existe également, fixée à $160 \mu g/m^3$ mais aucun dépassement n'est à signaler. La médiane de l'acétaldéhyde dans l'étude ESMS est de $5,7 \mu g/m^3$.

Le confort hygrothermique a été évalué. La médiane des températures moyennes mesurées dans les pièces de vie commune et les chambres est de $23^\circ C$. Les médianes des humidités relatives moyennes mesurées sont, en journée, de 40% dans les pièces de vie commune et de 41% dans les chambres et, la nuit, de 42% dans les chambres. Ces valeurs sont bonnes vis-à-vis du confort hygrothermique attendu dans les environnements intérieurs.

Pour conclure, la campagne nationale ESMS a permis de recueillir un grand nombre d'informations et d'acquérir les connaissances suffisantes pour aider les pouvoirs publics dans la définition des modalités de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, notamment les ESMS, qui seront concernés à partir du 1^{er} janvier 2025.

Mots clés : établissements sanitaires et médico-sociaux, ESMS, EHPAD, USLD, maisons de retraite, personnes âgées, adultes handicapés, enfants handicapés, personnes vulnérables, contamination chimique, COV, aldéhydes, dioxyde d'azote, particules fines, PM_{2,5}, ventilation, qualité de l'air intérieur.

SOMMAIRE

FINANCEMENT	3
REMERCIEMENTS	3
RÉSUMÉ	4
SOMMAIRE	7
LISTE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES FIGURES	12
ABRÉVIATIONS	13
GLOSSAIRE	15
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	16
1.1 Une population sensible	16
1.2 L'utilisation de produits d'entretien et d'ambiance : une caractéristique forte des ESMS	17
1.3 L'impact de la QAI dans les ESMS : un sujet encore peu étudié	17
1.4 Objectifs de la campagne nationale ESMS.....	18
2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE ET CONSTITUTION DE L'ECHANTILLON D'ESMS.....	20
2.1 Zones d'enquête	20
2.2 Type d'ESMS	22
2.3 Base de sondage	24
2.3.1 Construction des bases de sondage	24
2.3.2 Sélection des ESMS	24
2.4 Obtention des accords de participation des ESMS	24
2.4.1 Méthode de recrutement	24
2.4.2 Echantillon recruté en fin de campagne	24
2.5 Comparaison des ESMS participants et non-participants à la campagne.....	25
3. PARAMETRES MESURES ET STRATEGIE D'ENQUETE	27
3.1 Choix des polluants mesurés	27
3.2 Laboratoires réalisant les analyses	27
3.3 Mesures et prélèvements	27
3.3.1 Dioxyde de carbone (CO ₂) et indice de confinement ICONE.....	29
3.3.2 Température et humidité relative.....	30
3.3.3 Particules PM _{2,5}	31
3.3.4 Dioxyde d'azote (NO ₂).....	32
3.3.5 Composés organiques volatils.....	34
3.3.6 Aldéhydes.....	42
3.3.7 Bilan de réalisation des analyses.....	44
3.4 Mise en œuvre et suivi des enquêtes sur le terrain	45

3.4.1	Réalisation des enquêtes	45
3.4.2	Saison des enquêtes.....	46
3.4.3	Recrutement et formation des enquêteurs	46
3.4.4	Gestion du matériel d'enquête et des supports de prélèvement.....	47
3.4.5	Questionnaires et saisie informatique	48
4.	METHODES STATISTIQUES.....	50
4.1	Traitements statistiques des données	50
4.1.1	Traitement spécifique des mesures en continu	50
4.1.2	Traitement des données censurées	50
4.2	Etat descriptif.....	50
5.	DESCRIPTION DES ESMS	53
5.1	Caractéristiques des ESMS.....	53
5.2	Caractérisation de la ventilation	53
5.3	Caractéristiques des bâtiments et pièces	56
6.	ÉTAT DESCRIPTIF DES PARAMETRES DE POLLUTION ET D'AMBIANCE DANS LES ESMS	63
6.1	Concentration de dioxyde de carbone (CO ₂) et confinement de l'air.....	63
6.1.1	Dioxyde de carbone (CO ₂)	63
6.1.2	Confinement de l'air : indice ICONE	63
6.2	Température et humidité relative intérieures	65
6.2.1	Toutes saisons	65
6.2.2	Période de chauffe	67
6.2.3	Hors période de chauffe.....	68
6.3	Particules PM _{2,5}	70
6.3.1	Distribution des concentrations.....	70
6.3.2	Comparaison des niveaux de concentration aux valeurs limites	70
6.4	Dioxyde d'azote (NO ₂)	71
6.4.1	Distribution des concentrations.....	71
6.4.2	Comparaison des nveaux de concentration aux valeurs limites	71
6.5	Composés organiques volatils (COV)	71
6.5.1	Distribution des concentrations.....	71
6.5.2	Comparaison des niveaux de concentration aux valeurs limites	72
6.6	Aldéhydes	77
6.6.1	Distributions des concentrations	77
6.6.2	Comparaison par rapport aux valeurs limites	77
6.7	Comparaison des pièces de vie et chambres des ESMS	78
6.8	Comparaison de la pollution et du confort avant et après le premier confinement	78
7.	DISCUSSION	82

7.1	Dioxyde de carbone (CO ₂).....	82
7.2	Paramètres de confort	83
7.3	Particules PM _{2,5}	85
7.4	Dioxyde d'azote (NO ₂)	86
7.5	COV et aldéhydes.....	86
7.6	Comparaison aux campagnes nationales de mesure de la QAI dans d'autres lieux de vie	87
8.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	89
9.	REFERENCES.....	90
10.	ANNEXES.....	95

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Objectifs de recrutement par région et catégorie d'ESMS.....	23
Tableau 2. Bilan du recrutement des ESMS à fin décembre 2020	24
Tableau 3. Répartition de l'échantillon final par région, catégorie d'ESMS et type de commune	25
Tableau 4. Comparaison des caractéristiques des établissements participants et non-participants à la campagne ESMS.	26
Tableau 5. Paramètres enregistrés dans la campagne nationale ESMS	28
Tableau 6. Prélèvements d'air et mesurages de polluants réalisés dans la campagne nationale ESMS	28
Tableau 7. Liste des 23 COV recherchés avec leur débit d'échantillonnage (prélèvement passif).....	36
Tableau 8. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode (n=69) des COV (prélèvement passif).....	38
Tableau 9. Liste des 65 COV (prélèvement actif).....	40
Tableau 10. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode (n=53) des COV (prélèvement actif).....	41
Tableau 11. Débits d'échantillonnage des aldéhydes ciblés.....	44
Tableau 12. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode et blancs de terrain (n=38) des aldéhydes.....	44
Tableau 13. Bilan des analyses des polluants dans l'air dans le cadre de la campagne ESMS.....	45
Tableau 14. Répartition des ESMS en fonction du type d'établissement et de la saison de l'enquête	46
Tableau 15. Prestataires sélectionnés dans le cadre du marché 19P060	46
Tableau 16 : Valeurs limites de la qualité de l'air intérieur.....	52
Tableau 17. Caractéristiques des ESMS	53
Tableau 18. Illustrations des systèmes de ventilation extraites du guide du CETIAT Conception – Ventilation performante dans les écoles (CETIAT, 2001)	54
Tableau 19. Type de système de ventilation dans les pièces des ESMS.	55
Tableau 20. Répartition des bâtiments instrumentés selon leurs caractéristiques (n=132)	56
Tableau 21. Répartition des pièces instrumentées selon leurs caractéristiques (n=291)	58
Tableau 22. Distribution des concentrations moyennes et maximum en CO ₂ (ppm) en fonction de la période (diurne/nocturne) dans les pièces des ESMS (n=266).....	63
Tableau 23. Distribution des pourcentages de temps où les concentrations en CO ₂ dépassent le seuil de 800 ppm en fonction de la pièce et de la période (diurne/nocturne)	63
Tableau 24. Distributions des valeurs lissées horaires minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS.....	66
Tableau 25. Distributions des valeurs lissées horaires minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS.....	67
Tableau 26. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS en période de chauffe	67
Tableau 27. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS en période de chauffe.....	68
Tableau 28. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS hors période de chauffe	68

Tableau 29. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS hors période de chauffe	69
Tableau 30. Description de la distribution des concentrations de PM _{2,5} (µg/m ³) dans l'air des pièces des ESMS (n = 260)	70
Tableau 31. Pourcentage de pièces avec des concentrations de PM _{2,5} dépassants la valeur guide de qualité d'air intérieur existante.....	71
Tableau 32. Distribution des concentrations de NO ₂ (µg/m ³) dans l'air des ESMS.	71
Tableau 33. Pourcentage de pièces avec des concentrations de NO ₂ dépassant la valeur guide de qualité d'air intérieur existante.....	71
Tableau 34. Pourcentages de pièces avec des concentrations de benzène, éthylbenzène, tétrachloroéthylène, toluène et trichloroéthylène, et dépassant les valeurs guide de qualité d'air intérieur existantes	72
Tableau 35. Distributions des concentrations de COV passifs (µg/m ³) dans l'air des pièces de vie et chambres des ESMS (n=286 pièces)	73
Tableau 36. Distributions des concentrations de COV actifs (µg/m ³) dans l'air des pièces de vie des ESMS (n=88 pièces de vie commune)	74
Tableau 37. Distributions des concentrations en aldéhydes (µg/m ³) dans l'air des pièces des ESMS.....	77
Tableau 38. Pourcentage de pièces avec des concentrations en formaldéhyde dépassant les valeurs réglementaires et repère.	77
Tableau 39. Comparaison des paramètres entre les pièces de vie et chambres dans les EHPAD	79
Tableau 40. Comparaison des paramètres entre les pièces de vie et chambres dans les Etablissements pour handicapés enfants	80
Tableau 41. Comparaison avant / après le premier confinement : paramètres différant entre les deux périodes ...	81
Tableau 42. Concentrations moyennes hebdomadaires de CO ₂ de la littérature scientifique et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS (effectifs des pièces entre parenthèses).....	83
Tableau 43. Concentrations médianes de CO ₂ en période de chauffe et hors-chauffe de l'étude GERIA et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS	83
Tableau 44. Températures et humidités relatives moyennes de la littérature scientifique et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS	84
Tableau 45. Températures et d'humidités relatives médianes chauffe/hors-chauffe de l'étude GERIA et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS	84
Tableau 46. Concentrations médianes de PM _{2,5} et moyennes de NO ₂ , formaldéhyde de la littérature scientifique et comparaison avec la campagne ESMS	85
Tableau 47. Comparaison de la qualité de l'air dans les ESMS et les logements (CNL1, (Kirchner et al. 2007))	87
Tableau 48. Comparaison de la qualité de l'air dans les ESMS et les écoles (CNE)	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les 3 zones climatiques d'hiver (H1, H2, H3) de la réglementation thermique 2005	20
Figure 2. Pourcentage d'ESMS ayant répondu à l'enquête par département en France Métropolitaine	21
Figure 3. Départements sélectionnés pour la campagne répartis dans les 3 zones climatiques	21
Figure 4. Portoir insonorisé installé dans une chambre d'EHPAD	29
Figure 5. Class'Air (version 2) pour la mesure du CO ₂ développé au CSTB.	29
Figure 6. Tête de prélèvement pour les PM _{2,5}	31
Figure 7. Tube à diffusion Passam AG®.	33
Figure 8. Corps diffusif Radiello® pour les COV (passif) (code 120-2).	34
Figure 9. Prélèvement de COV par tube Tenax TA avec une pompe SKC Pocket	37
Figure 10. Corps diffusif Radiello® pour les aldéhydes (code 120-1).	43
Figure 11. Localisation des ESMS tirés au sort	45
Figure 12. Répartition des pièces de vie en fonction de leur indice ICONNE en journée (n=89)	64
Figure 13. Répartition des chambres en fonction de leur indice ICONNE et de la période de mesure (n=177)	65

ABRÉVIATIONS

BTEX	Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes
CESAP	Comité d'études, d'éducation et de soins auprès des personnes polyhandicapées
CLHP	Chromatographie liquide haute performance (ou HPLC)
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
CO	Monoxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
COVT	Composés organiques volatils totaux
CO ₂	Dioxyde de carbone
2,4-DNPH	2,4-dinitrophénylhydrazine
EEAP	Établissement et service pour enfants et adolescents polyhandicapés
EHPAD	Etablissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes
EPSMS	Etablissement public départemental au service des personnes en situation de handicap
ERP	Etablissement recevant du public
ESMS	Etablissement(s) sanitaire(s) et médico-social(aux)
FAM	Foyer d'accueil médicalisé
IEM	Etablissement pour enfants et adolescents déficients moteurs
IME	Institut médicoéducatif
INDEX	Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
(D)ITEP	(Dispositif) Institut thérapeutique éducatif et pédagogique
LD	Limite de détection
LQ	Limite de quantification
MAS	Maison d'accueil spécialisée
MIBK	Méthylisobutylcétone
NDIR	<i>Non Dispersive Infra Red</i>
NO ₂	Dioxyde d'azote
P5	5 ^{ème} Centile
P25	25 ^{ème} Centile
P50	50 ^{ème} Centile ou médiane
P75	75 ^{ème} Centile
P95	95 ^{ème} Centile
PM	<i>Particulate Matter</i>

PPM	Partie par million
PTFE	Polytétrafluoroéthylène
RT	Réglementation thermique
VMC	Ventilation mécanique contrôlée
VN	Ventilation naturelle
USLD	Unité de soins longue durée
UV	Ultra-violet
ZC	Zone climatique

GLOSSAIRE

Bioeffluent : composé organique volatil émis par le corps humain et pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air intérieur.

Limite de détection : valeur la plus basse concentration d'un composé analysé dans une matrice réelle qui, lorsqu'il subit toutes les étapes d'une méthode d'analyse, incluant le prétraitement et les extractions chimiques, produit un signal détectable, avec une fiabilité statistiquement définie, différent de celui produit par un « blanc » de matrice dans les mêmes conditions (Marchand 2013).

Limite de quantification : la plus faible quantité ou concentration dans un échantillon qui puisse être quantifiée avec une fidélité et une justesse acceptables dans des conditions expérimentales indiquées (ANSES 2015). En dessous de cette concentration (entre la limite de détection et la limite de quantification) le composé est bien détecté mais mal quantifié, une concentration peut malgré tout être estimée, mais l'incertitude sur la valeur quantifiée sera très importante.

Valeur d'action rapide (VAR) : elle correspond à un dépassement important de la valeur repère pour la qualité de l'air intérieur qui doit conduire à identifier dans les plus brefs délais les causes de cette pollution élevée afin de les neutraliser en engageant à court terme des travaux et actions d'amélioration (HCSP 2019).

Valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAI) : une valeur numérique associée à un temps d'exposition correspondant à une concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé (dans le cas de composés odorants) ne sont en principe attendus pour la population générale (ANSES 2011).

Valeur guide réglementaire : s'agissant des contaminants de l'air intérieur, valeur définie par le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour la qualité de l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène. Elle correspond à un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné.

Valeur limite réglementaire : valeur fixée par le décret prévu au paragraphe III de l'article R. 221-30 du code de l'environnement, pour laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

Valeur repère pour la qualité de l'air intérieur (VRAI) : concentration en dessous de laquelle il n'y a pas d'action spécifique à engager à court terme (HCSP 2019). En termes de gestion, elle peut être considérée comme une teneur maximale provisoirement acceptable pour le polluant considéré, compte tenu de la distribution des valeurs observées dans les espaces clos et dans les conditions de leur occupation régulière au long cours. Pour autant, le respect de cette VRAI peut être associé à des conséquences sanitaires, notamment pour les sujets les plus vulnérables, lorsqu'elle est supérieure à la VGAI et cette teneur a vocation à tendre vers la VGAI à terme.

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

La population des pays développés passe la majeure partie de son temps dans des environnements clos (habitations, transports, écoles, lieux de travail et de loisirs). De nombreuses études ont, par ailleurs, montré le rôle déterminant des paramètres intérieurs physiques et chimiques sur le confort des occupants et leur santé (Perez-Padilla, Schilmann, et Riojas-Rodriguez, s. d.; Mendes et al. 2016 ; Frontczak et Wargocki 2011). Par exemple, les effets néfastes de la qualité de l'air intérieur sur la santé respiratoire sont désormais relativement bien documentés dans la population générale (Hulin et al. 2012),(Bernstein et al. 2008).

Depuis 2010, en application de la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, les propriétaires ou exploitants de certains établissements recevant du public ont l'obligation de procéder à une surveillance périodique de la qualité de l'air intérieur. A partir de 2025, les établissements sanitaires et médico-sociaux intègrent le programme de surveillance réglementaire des lieux recevant du public vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur (Article R.221-30 du code de l'environnement) et plus particulièrement :

- les établissements d'hébergement de personnes âgées ;
- les unités de soin de longue durée ;
- les établissements d'accueil d'enfants handicapés ;
- et les établissements d'accueil d'adultes handicapés.

Les établissements sanitaires et médico-sociaux hébergent une population composée de personnes âgées plus ou moins dépendantes (EHPAD, USLD), mais également d'adultes handicapés (SESSAD, FAM, FAH, etc.) et d'enfants handicapés (IME, IEM, ITEP, etc.). Cette population passe beaucoup plus de temps en intérieur (environ 19-20h par jour), en chambre ou dans les pièces de vie commune, que la population générale, du fait de leur mobilité plus réduite. Elle est donc particulièrement exposée à une potentielle pollution de l'environnement intérieur pendant de longues périodes (Annesi-Maesano et al. 2013 ; Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014).

1.1 Une population sensible

Les personnes très âgées et les personnes handicapées, enfants et adultes, sont considérées comme des personnes vulnérables. D'une part, les personnes âgées sont une population sensible vis-à-vis de la qualité de l'air intérieur, même à des concentrations faibles, du fait de l'affaiblissement de leur système immunitaire et de l'augmentation de survenues de maladies chroniques, notamment respiratoires (bronchites chroniques, asthme), mais aussi de maladies (Mendes et al. 2016 ; Maio et al. 2015 ; Pinto et al. 2019 ; Moore et al. 2012). Bien que cette population soit hétérogène et qu'il existe une grande variabilité interindividuelle, le vieillissement diminue les capacités fonctionnelles de l'organisme et réduit ainsi la capacité à faire face à des situations d'agression (Boita et al. 2006). Les effets de la pollution intérieure et des paramètres de confort sur la morbidité respiratoire des sujets âgés résidant en EHPAD a été étudiée en Europe (Bentayeb et al. 2015), mais le mécanisme sous-jacent de la sensibilité des personnes âgées doit être approfondi par des recherches supplémentaires.

Les enfants sont également vulnérables aux pollutions atmosphériques, leurs organes et système immunitaire étant en plein développement. Rapportée à leur poids corporel, l'exposition aux pollutions chimiques, biologiques et physiques est plus importante, car ils inhalent un plus grand volume d'air (Déoux 2010).

1.2 L'utilisation de produits d'entretien et d'ambiance : une caractéristique forte des ESMS

La qualité de l'air intérieur est un enjeu fort dans les établissements sanitaires et médico-sociaux. En effet, ceux-ci font face à une très forte utilisation de produits désinfectants et d'entretien, afin de limiter les infections (Annesi-Maesano et al. 2013 ; Makris et al. 2000). Ce constat a par ailleurs été mis en évidence lors de l'enquête nationale descriptive des ESMS menée en 2017 par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) (Malingre et al. 2018) avec 2 739 établissements répondants. Par exemple, le nettoyage des sols avait été déclaré comme étant effectué une fois par jour ou plus, dans les pièces de vie commune pour 76% des répondants et dans les chambres pour 54% des répondants, avec une utilisation de produits liquides ou de lingettes imprégnées principalement. De plus, lors de cette même enquête, 61% des bâtiments de l'échantillon déclaraient utiliser fréquemment des désodorisants ou parfums d'ambiance, notamment dans les établissements hébergeant des personnes âgées dépendantes. De nombreuses études ont démontré le rôle prépondérant des produits d'entretien et des parfums d'ambiance dans l'exposition aux composés organiques volatils (Su et al. 2018) et à des substances dangereuses (Gerster et al. 2014 ; Bonnet et al. 2018), mais aussi dans la survenue de maladies respiratoires (diminution de la fonction pulmonaire, asthme (Rosenberg 2000), irritation, etc.), notamment chez le personnel de ménage de sexe féminin (Svanes et al. 2018 ; S.-J. Lee et al. 2014).

1.3 L'impact de la QAI dans les ESMS : un sujet encore peu étudié

L'impact de la qualité de l'air intérieur sur la santé des personnes très âgées (plus de 80 ans) et les personnes handicapées, enfants et adultes, résidant en structures médicalisées est relativement peu exploré dans la littérature scientifique. Cependant, quelques études relatives à cette thématique ont vu le jour ces dernières années en Europe et à l'international, mais se limitent bien souvent à des analyses de confort.

En Corée du Sud (K. Lee et al. 2018), 30 établissements pour personnes âgées ont été investigués en 2007 afin de caractériser les niveaux de pollution par COV, formaldéhyde et les conditions thermiques dans les chambres, pièces de vie commune et salles à manger. Cependant, dans cette étude, les effets néfastes sur la santé des personnes âgées, résultant d'une exposition chronique à ces polluants, n'ont pas été étudiés.

L'étude européenne GERIE (Annesi-Maesano et al. 2013), menée dans 7 pays européens entre 2009 et 2011 (Belgique, Danemark, France, Grèce, Italie, Pologne et Suède), avait pour objectif de combler le manque de connaissances des effets de la qualité de l'air intérieur chez les personnes âgées, en ciblant les résidents permanents d'EHPAD. Il s'agissait notamment d'inventorier les niveaux de polluants atmosphériques et les conditions thermiques auxquelles sont exposées les personnes âgées dans les EHPAD, estimer leur impact sur la santé, fournir un cadre pour aider à améliorer la qualité de l'air, les conditions thermiques dans les EHPAD et *in fine*, la santé des occupants. Plusieurs paramètres ont été considérés : température, humidité relative, CO₂, mesure d'éclairage et acoustique, concentrations atmosphériques de particules (PM_{0,1}, PM_{2,5} et PM₁₀), NO₂, COV et formaldéhyde, allergènes, bactéries et moisissures.

L'étude GERIA (Mendes et al. 2013), menée au Portugal entre 2011 et 2013, fut l'une des premières de ce type à s'intéresser aux effets de la QAI et du confort thermique sur la santé des personnes âgées, hébergées dans des structures de type EHPAD. Cinquante-trois établissements ont été sélectionnés pour en décrire les caractéristiques de construction, l'état de santé et la qualité de vie des occupants. Une seconde phase de l'étude a permis d'approfondir l'analyse sur 18 établissements, avec des mesures de QAI et de confort thermique menées entre 2013 et 2014 dans 116 chambres et pièces de vie commune. Des paramètres de confort (température et humidité relative), chimiques (concentrations atmosphériques de CO₂, CO, formaldéhyde, COVT, PM_{2,5} et PM₁₀) et biologiques (bactéries et moisissures) ont été mesurés, et une évaluation de la ventilation a été réalisée.

Les objectifs de cette étude étaient :

- de mesurer la qualité de l'air et les conditions thermiques en EHPAD et évaluer leurs effets sur la santé cardiorespiratoire des résidents ;
- d'évaluer l'association de la pollution de l'air intérieur avec la qualité de vie liée à la santé des personnes âgées ;
- d'identifier un sous-groupe de personnes âgées particulièrement sensibles aux effets néfastes des polluants atmosphériques, posant ainsi la base d'interventions préventives.

Une deuxième étude (Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014) similaire a été menée dans 10 EHPAD au Portugal en 2012. Dans chaque établissement, une chambre de deux personnes et une pièce de vie commune ont été investiguées. Dans chaque pièce, les paramètres suivants ont été mesurés : température, humidité, concentrations de CO₂, CO, particules en suspension dans l'air (PM_{0,3-0,5}, PM_{0,5-1}, PM_{1-2,5}, PM_{2,5-5} et PM₅₋₁₀), COVT, ozone et formaldéhyde. Des prélèvements dans l'air extérieur ont également été effectués et une enquête « Budget-temps » a été administrée auprès de 384 personnes âgées.

L'étude de (Hwang, Roh, et Park 2018) a été menée en Corée du Sud dans 82 établissements sanitaires et médico-sociaux, dont 62 pour personnes sensibles entre 2014 et 2015, des échantillonnages ont été réalisés sur les polluants suivants : PM₁₀, CO₂, bactéries en suspension dans l'air, COV totaux et formaldéhyde. Le but de cette étude était de déterminer les effets potentiels de ces polluants dans les installations intérieures, en particulier celles pour les populations sensibles et leur relation avec d'autres facteurs environnementaux intérieurs tels que la température et l'humidité relative.

Enfin, au Portugal, trois établissements pour personnes âgées ont fait l'objet d'une étude de la qualité de l'air intérieur dans 13 chambres, 5 pièces de vie commune et une salle à manger, entre 2015 et 2016 (Pinto et al. 2019). Les paramètres suivants ont été mesurés en période de chauffe et hors période de chauffe : concentrations atmosphériques de formaldéhyde, COV totaux et CO₂, température, humidité relative et taux de renouvellement d'air.

Ainsi, au cours des 12 années précédant la campagne ESMS, peu d'études portant sur l'impact de la qualité de l'air intérieur sur les personnes vulnérables résidant en structures médicalisées ont été documentées dans la littérature scientifique.

1.4 Objectifs de la campagne nationale ESMS

Dans le cadre de la mise en place de la nouvelle surveillance réglementaire, l'OQAI a été missionné par les pouvoirs publics pour réaliser une enquête et des mesurages dans une centaine d'ESMS afin d'obtenir des premières données relatives aux caractéristiques des bâtiments, à leurs usages, à la qualité de l'air intérieur et au confort. Les trois objectifs principaux de la campagne sont :

- la description des bâtiments et des pièces instrumentées, des équipements (chauffage, ventilation) et des usages (ouverture des fenêtres, taux d'occupation, activités créatives, utilisation de produits d'ambiance et d'entretien, fréquence de nettoyage, etc.) ;
- l'évaluation de la qualité de l'air intérieur (mesurages du CO₂, des particules PM_{2,5}, du NO₂, des COV et des aldéhydes) ;
- l'évaluation de la perception de la qualité de l'air intérieur et de l'ambiance olfactive, thermique, acoustique et visuelle.

Dans l'enquête, un focus sur l'utilisation des produits d'entretien et des parfums d'ambiance au sein des ESMS français a été proposé, grâce aux connaissances acquises par l'étude de la littérature

scientifique et par l'enquête nationale descriptive des ESMS (Malingre et al. 2018), afin de déterminer leur impact éventuel sur la qualité de l'air intérieur.

Les informations obtenues lors de cette campagne pourront aider les pouvoirs publics à déployer la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, plus particulièrement les structures sanitaires et médicosociales, à partir du 1^{er} janvier 2025.

2. STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET CONSTITUTION DE L'ÉCHANTILLON D'ESMS

La base FINESS (Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux), recensant les 18 432 établissements sanitaires et médico-sociaux établis en France métropolitaine et dans les régions et collectivités d'Outre-mer, a été fournie en février 2017 par le ministère des Solidarités et de la santé. Elle contient pour chaque établissement : un numéro FINESS unique, le nom de l'établissement, l'adresse postale, l'adresse électronique de contact, le numéro de téléphone, la catégorie d'ESMS, la raison sociale, etc.

La base FINESS a tout d'abord servi à l'enquête descriptive (Malingre et al. 2018) des établissements sanitaires et médico-sociaux, étape préalable à la campagne nationale « ESMS ». Un questionnaire sur les caractéristiques des établissements et leurs usages de produits a été envoyé par voie électronique ou postale à l'ensemble des 18 432 ESMS français. Parmi un peu plus de 4 000 réponses, 2 140 établissements ont pu être validés après suppression des réponses incomplètes, doublons et vérification de la cohérence des réponses aux questionnaires. Ils ont constitué la base exploitée pour décrire les ESMS français. A partir des résultats de l'enquête (Malingre et al. 2018), une stratégie d'échantillonnage et un protocole de mesurages ont été élaborés pour la campagne nationale « ESMS » dont l'objectif de recrutement était de 100 établissements.

La campagne est dite « nationale » en raison du grand nombre d'établissements recrutés et répartis sur plusieurs zones du territoire national. Néanmoins, l'échantillon ne couvre pas l'ensemble du territoire français et n'est pas représentatif du parc national des ESMS.

2.1 Zones d'enquête

La France métropolitaine est divisée en 3 zones climatiques (ZC) d'hiver (H1, H2, H3) (réglementation thermique RT 2005), représentées sur la Figure 1.

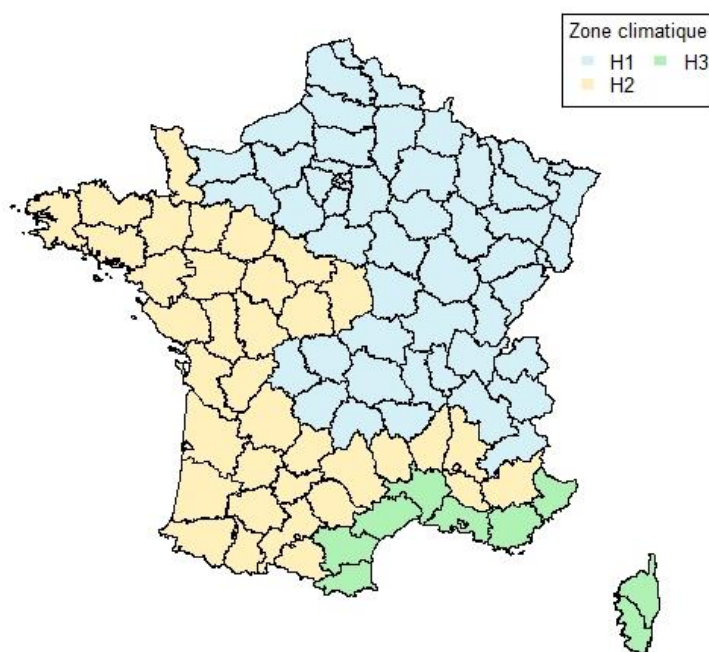


Figure 1. Les 3 zones climatiques d'hiver (H1, H2, H3) de la réglementation thermique 2005

Afin de sélectionner les zones d'enquête, la carte représentant le pourcentage d'ESMS ayant répondu, par département, à l'enquête descriptive de 2017 en France Métropolitaine (cf. Figure 2) a été comparée avec la carte des zones climatiques.

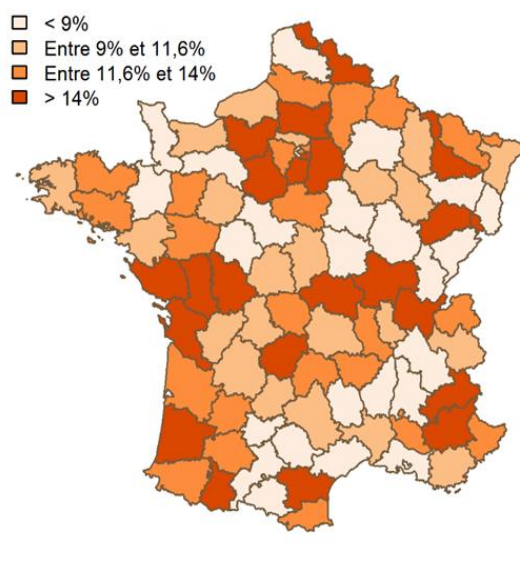


Figure 2. Pourcentage d'ESMS ayant répondu à l'enquête par département en France Métropolitaine

Quatre régions, pour un total de 27 départements répartis sur les 3 zones climatiques d'hiver, se sont dégagées de cette analyse par des taux de réponses importants relativement aux autres régions et ont donc constitué les zones d'enquêtes de la campagne nationale « ESMS » (cf. Figure 3) :

- **Région Grand Est (ZC H1)** : Ardennes, Aube, Marne, Haute-Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Bas-Rhin, Haut-Rhin et Vosges ;
- **Région Île-de-France (ZC H1)** : Paris, Seine-et-Marne, Essonne, Hauts-de-Seine, Seine-St-Denis et Val-de-Marne ;
- **Région Pays de la Loire (ZC H2)** : Loire-Atlantique, Maine-et-Loire, Mayenne, Sarthe et Vendée ;
- **Région Provence-Alpes-Côte d'azur (ZC H3)** : Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône, Var et Vaucluse.

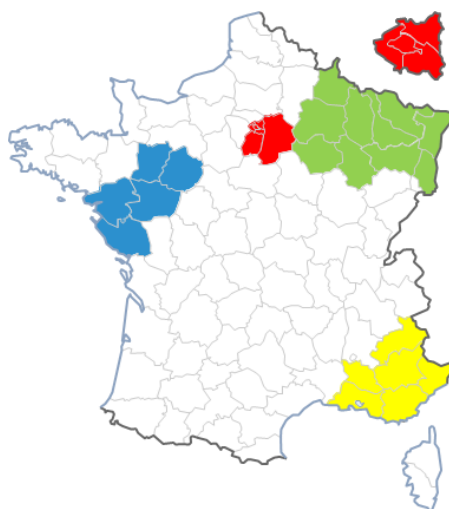


Figure 3. Départements sélectionnés pour la campagne répartis dans les 3 zones climatiques

Pour des raisons logistiques liées à la localisation de l'équipe OQAI, les départements des Yvelines et du Val-d'Oise ont été écartés de la liste des départements retenus pour la région Île-de-France.

2.2 Type d'ESMS

Les ESMS ciblés par la campagne nationale sont des structures collectives, hébergeant des publics sensibles : malades, personnes âgées, personnes handicapées enfants et adultes. Ces établissements relèvent des codes catégories d'établissements suivants dans la nomenclature FINESS :

- **1100 - Établissements hospitaliers :**
 - 1109 - Établissements de soins de longue durée : activité 362 ;
- **4100 - Établissements et services pour l'enfance et la jeunesse handicapée**
 - 4101 - Établissements d'éducation spéciale pour déficients mentaux et handicapés : activités 183, 188 et 402 ;
 - 4102 - Établissements d'éducation spéciale pour enfants avec trouble de la conduite et du comportement : activité 186 ;
 - 4103 - Établissements d'éducation spéciale pour handicapés moteurs : activité 192 ;
 - 4104 - Établissements d'éducation spéciale pour déficients sensoriels : activités 194, 195 et 196 ;
 - 4105 - Établissements et services d'hébergement pour enfants handicapés : activités 238, 390 et 396 ;
 - 4107 Établissements expérimentaux en faveur de l'enfance handicapée : activité 377 ;
- **4300 - Établissements et services pour adultes handicapés :**
 - 4301 - Établissements et services d'hébergement pour adultes handicapés : activités 252, 253, 255, 382, 395 et 437 ;
 - 4304 - Établissements expérimentaux en faveur des adultes handicapés : activité 379 ;
- **4400 - Établissements et services pour personnes âgées :**
 - 4401 - Établissements d'hébergement pour personnes âgées : activités 202, 500, 501 et 502 ;
 - 4402 - Services sanitaires de maintien à domicile : activité 207 ;
 - 4404 - Établissements expérimentaux en faveur des personnes âgées : activité 381.

Les ESMS non ciblés et donc exclus de la campagne était répertoriés selon la nomenclature de la base FINESS suivante :

- 1100 : tous les services hospitaliers (1101 à 1104, 1106 et 1107, 1110 et 1111), hormis les établissements de soins de longue durée (USLD) ;
- 4100 : l'ensemble des services à domicile ou ambulatoires pour personnes handicapées (4106) ;
- 4300 : les établissements et services de travail protégé et de réinsertion professionnelle (4302 et 4303), ainsi que les services de maintien à domicile (4305) ;
- 4400 : les services sociaux en faveur des personnes âgées (4403), ainsi que les résidences autonomie. Dans ce dernier type d'ESMS, les résidents possèdent leur propre appartement ce qui

rend hétérogène la pratique du ménage. Or, il s'agit d'un point important du protocole de la campagne ESMS, car l'utilisation des produits d'entretien est une caractéristique commune entre tous ces établissements et une source potentielle de pollution de la qualité de l'air intérieur.

Pour plus de commodité de lecture dans les tableaux et les graphiques du rapport, les établissements sélectionnés correspondant aux quatre catégories (1100, 4100, 4300 et 4400) ont été respectivement intitulés de la manière suivante : USLD (unités de soin de longue durée), HEnf (établissements pour l'enfance et la jeunesse handicapée), HAd (établissements pour adultes handicapés) et EHPAD (établissement pour personnes âgées).

La répartition du nombre d'ESMS attendu dans chaque catégorie a été obtenue par un croisement des variables « zone géographique × type d'ESMS », tout en respectant un équilibre entre chaque région. Elle est rapportée dans le Tableau 1.

Tableau 1. Objectifs de recrutement par région et catégorie d'ESMS

Zone géographique	Type d'ESMS	Nombre d'ESMS éligibles	Nombre d'ESMS visé dans l'échantillon (n=100)
GE (ZC H1)	TOTAL	1 281	24
	1100 – USLD	67	2
	4100 – HEnf	193	6
	4300 – HAd	395	4
	4400 – EHPAD	626	12
IDF (ZC H1)	TOTAL	1 162	28
	1100 – USLD	36	2
	4100 – HEnf	207	6
	4300 – HAd	375	4
	4400 – EHPAD	544	16
PACA (ZC H3)	TOTAL	1 061	24
	1100 – USLD	42	2
	4100 – HEnf	141	6
	4300 – HAd	268	4
	4400 – EHPAD	610	12
PDL (ZC H2)	TOTAL	1 152	24
	1100 – USLD	38	2
	4100 – HEnf	139	6
	4300 – HAd	377	4
	4400 – EHPAD	598	12

GE = Grand Est ; IDF = Ile-de-France ; PDL = Pays de la Loire ; PACA = Provence-Alpes-Côte-d'Azur

2.3 Base de sondage

La base de sondage correspond au support des données permettant de construire l'échantillon.

2.3.1 Construction des bases de sondage

Deux bases de sondage ont été construites à partir de la base FINESS :

- la première base de sondage correspond aux ESMS des régions sélectionnées ayant participé à l'enquête descriptive (n=429), appelée également « Base des répondants ». Cette base, utilisée dans un premier temps en partant du postulat que ces établissements seraient davantage volontaires pour participer à la campagne, a été stratifiée selon les 4 régions ;
- la deuxième base de sondage correspond au reste des ESMS, appelée « Bases des non-répondants » (n=4 227). Elle a également été stratifiée selon les 4 régions.

2.3.2 Sélection des ESMS

Dans chaque base de sondage et pour chaque région, un numéro a été attribué aléatoirement à chaque ESMS, par catégorie d'établissement, permettant ainsi de classer chaque ESMS par ordre de contact, facilitant ainsi le recrutement.

2.4 Obtention des accords de participation des ESMS

2.4.1 Méthode de recrutement

Les établissements ont été contactés par courriel, en commençant par la base des répondants, selon l'ordre d'attribution aléatoire, grâce à un fichier Excel permettant un envoi multiple de courriels personnalisés, contenant une plaquette explicative et un accord de participation vierge. Dans le cas où l'ensemble des « répondants » d'une catégorie d'ESMS ont été contactés, la base des non-répondants a été consultée permettant de poursuivre le recrutement afin d'atteindre l'objectif total de 100 établissements au niveau national.

Lorsqu'un établissement déclinait l'invitation de participer à la campagne, celui-ci était écarté de la base de sondage pour ne plus être recontacté.

Chaque établissement volontaire a été intégré à la campagne nationale ESMS après avoir retourné un accord de participation dûment complété et signé (joint en Annexe I).

2.4.2 Echantillon recruté en fin de campagne

A fin décembre 2020, le recrutement a été clos et 97 accords d'établissements sanitaires et médico-sociaux ont été obtenus. Le Tableau 2 ci-dessous présente le bilan du recrutement depuis son démarrage en février 2019.

Tableau 2. Bilan du recrutement des ESMS à fin décembre 2020

Type d'ESMS	Envois de courriels	ESMS contactés	Sans suite	Réponses	Accords	Refus dont désistement	Nombre moyen de relances par ESMS
USLD	113	31	21 (68%)	10 (32%)	8 (80%)	2 (20%)	3,6
HEnf	549	136	89 (65%)	47 (35%)	21 (45%)	26 (55%)	4,0
HAd	282	94	71 (76%)	23 (24%)	17 (74%)	6 (26%)	3,0
EHPAD	772	220	143 (65%)	77 (35%)	51 (66%)	26 (34%)	3,5
TOTAL	1716	481	324 (67%)	157 (33%)	97 (62%)	60 (38%)	3,5

Dix établissements se sont désistés lors de la prise de contact avec les techniciens enquêteurs, notamment à cause de la crise sanitaire liée à la COVID-19. Ces désistements ont conduit au recrutement d'un nouvel établissement, dans l'ordre du tirage au sort initialement réalisé.

Bien que l'objectif de 100 établissements recrutés (accords de participation reçus au CSTB) fût atteint en mars 2020, la crise sanitaire liée au SARS-CoV-2 a engendré des abandons et la difficulté de recruter en cette période de crise n'a permis d'atteindre *in fine* qu'un total de 97 ESMS. La répartition finale des ESMS recrutés par région, par catégorie et par type de commune est décrite dans le Tableau 3.

Tableau 3. Répartition de l'échantillon final par région, catégorie d'ESMS et type de commune

Régions	Total ESMS	1100 - USLD	4100 - HEnf	4300 - HAd	4400 - EHPAD
GE	26	2	6	4	14
IDF	27	1	6	4	16
PDL	25	3	4	6	12
PACA	19	2	5	3	9
Total	97	8	21	17	51

GE = Grand Est ; IDF = Ile-de-France ; PDL = Pays de la Loire ; PACA = Provence-Alpes-Côte-d'Azur

Le nombre ciblé par catégorie d'ESMS est atteint, excepté pour les établissements accueillant des enfants handicapés en milieu urbain (3 ESMS manquants), les établissements accueillant des adultes handicapés en milieu urbain (1 ESMS supplémentaire) et pour les EHPAD (2 établissements manquants en milieu urbain et 1 établissement supplémentaire en milieu rural).

2.5 Comparaison des ESMS participants et non-participants à la campagne

Sur la population éligible à la campagne de mesure de la QAI de 4 656 ESMS (cf. paragraphe 2.2), 97 ESMS ont participé et 4 559 ESMS n'ont pas participé à la campagne. Leurs caractéristiques sont présentées dans le Tableau 4. Les participants et non-participants à la campagne présentent des distributions du même ordre de grandeur pour les caractéristiques suivantes : le statut (privé à but lucratif, privé à but non-lucratif, public), la région (Grand-Est, Ile-de-France, Pays-de-Loire, Provence-Alpes-Côte-d'Azur) et la zone climatique d'hiver (H1, H2, H3). Il y a davantage d'établissements pour adultes handicapés parmi les établissements non-participants (31 %), par rapport aux établissements recrutés (17 %). Les établissements n'ayant pas participé à la campagne sont davantage situés en zone urbaine (86%) par rapport aux établissements recrutés (74 %).

Tableau 4. Comparaison des caractéristiques des établissements participants et non-participants à la campagne ESMS.

Caractéristiques	Participants (n=97)	Non participants (n=4 559)
Type d'ESMS (nomenclature FINESS)		
Unités de soins longue durée	8 (8 %)	175 (4 %)
Etablissements pour enfants handicapés	21 (22 %)	659 (14 %)
Etablissements pour adultes handicapés	17 (17 %)	1 398 (31 %)
EHPAD	51 (53 %)	2 327 (51 %)
Statut de l'établissement		
Établissement privé à but lucratif	6 (6 %)	692 (15 %)
Établissement privé à but non-lucratif	60 (62 %)	2 659 (58 %)
Établissement public	31 (32%)	1208 (27 %)
Région		
Grand-Est	26 (27 %)	1 255 (28 %)
Ile-de-France	27 (28 %)	1 135 (25 %)
Pays-de-Loire	25 (26 %)	1 127 (25 %)
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	19 (20 %)	1 042 (23 %)
Zone climatique d'hiver		
H1	53 (55 %)	2 390 (52 %)
H2	25 (26 %)	1 127 (25 %)
H3	19 (20 %)	1 042 (23 %)
Environnement		
Urbain	72 (74 %)	3 913 (86 %)
Rural	25 (26 %)	646 (14 %)

3. PARAMÈTRES MESURÉS ET STRATÉGIE D'ENQUÊTE

3.1 Choix des polluants mesurés

La sélection des polluants mesurés dans cette campagne a été réalisée à partir :

- des listes des substances mesurées dans les précédentes campagnes de l'OQAI (Campagne nationale Logements 1 (2003-2005) (Kirchner S et al. 2007.), Campagne nationale Bureaux (2013-2017) (Mandin C, Malingre L, Grégoire A, Ramalho O. 2019. État descriptif de la qualité de l'air et du confort dans les immeubles de bureaux en France), Campagne nationale Ecoles (2013-2017) (Dassonville et al. 2019), auxquelles se sont ajoutées les substances retenues pour la Campagne Nationale Logement 2 (2020-2023) ainsi que les substances dangereuses rencontrées lors du travail effectué sur les produits d'entretien déclarés dans l'enquête descriptive de 2017 (Bonnet et al. 2018) ;
- d'une liste de bioeffluents potentiellement identifiables dans les structures sanitaires et médico-sociales (Tang et al. 2015 ; 2016 ; Sun, He, et Yang 2017b ; 2017a) ;
- en prenant en compte la faisabilité métrologique par prélèvement actif et/ou passif.

La liste provisoire des substances retenues a ensuite été discutée en conseil scientifique de l'OQAI le 1^{er} février 2019 pour évaluer l'intérêt de leur recherche dans l'air intérieur, figeant ainsi la liste finale des polluants.

3.2 Laboratoires réalisant les analyses

Les laboratoires d'analyse ont été sélectionnés fin mars 2019 dans le cadre d'une procédure adaptée avec mise en concurrence et obtention d'au moins 3 devis par paramètre à analyser.

Trois laboratoires ont été sélectionnés pour effectuer les analyses :

- **Laboratoire POLLEM du CSTB** pour l'analyse des COV en actif et en passif, ainsi que pour les aldéhydes en passif ;
- **Laboratoire du Service Parisien de Santé Environnementale (SPSE)** pour l'analyse du dioxyde d'azote (NO₂) ;
- **Laboratoire Central de Préfecture de Police (LCPP)** pour l'analyse des particules PM_{2,5} prélevées par gravimétrie (analyse des filtres).

3.3 Mesures et prélèvements

Le Tableau 5 et le Tableau 6 récapitulent les paramètres mesurés au cours de la campagne, ainsi que les stratégies de prélèvement d'air et d'analyse associées.

On distingue les mesurages et les prélèvements d'air réalisés en continu sur la semaine d'enquête (du premier jour – J1 au dernier jour – J8) et les prélèvements et mesurages ponctuels réalisés le premier jour de la semaine d'enquête.

Tableau 5. Paramètres enregistrés dans la campagne nationale ESMS

Paramètre mesuré	Dispositif	Marque / Modèle	Principe de Mesure	Echantillonnage	Etendue de Mesure
Température	Thermo-hygromètre	Class'air	Sonde de Platine 100 Ω	Mesure en continu sur 7 jours	-10 à 50°C
Humidité relative			Capteur capacitif +/-1%	Pas de temps = 10 minutes	0 à 100%
Indice de confinement de l'air	Capteur de CO ₂	Class'air	Capteur NDIR	Mesure en continu sur 7 jours Pas de temps = 10 minutes	0 à 5000 ppm
Débit d'air	Débitmètre	ACIN FlowFinder2	Débitmètre à compensation de pression	Mesures à J1 et à J8 aux bouches de ventilation des pièces instrumentées si présence d'une ventilation mécanique contrôlée	10-550 m ³ /h (compensation de pression) 551-850 m ³ /h (compensation calculée)

Tableau 6. Prélèvements d'air et mesurages de polluants réalisés dans la campagne nationale ESMS

Paramètres mesurés	Dispositif	Marque / Modèle	Principe de prélèvement	Echantillonnage	Principe d'analyse	Laboratoires
Composés Organiques Volatils (COV)	Tube actif	Tenax TA®	Adsorption des COV sur le Tenax TA	Prélèvement actif sur 6 heures	Désorption thermique	POLLEM/CSTB (Grenoble, 38)
	Tube passif	Radiello® carbograph 4	Adsorption des COV sur le carbograph 4	Prélèvement continu sur 7 jours	Chromatographie en phase gazeuse Détection par spectrométrie de masse	
Aldéhydes (ALD)	Tube passif	Radiello® DNPH	Réaction des aldéhydes avec le 2,4-DNPH formant du 2,4-DNPHydrazone	Prélèvement continu sur 7 jours	Extraction dans l'acétonitrile Chromatographie liquide haute performance Détection UV	POLLEM/CSTB (Grenoble, 38)
Dioxyde d'azote (NO₂)	Tube passif	Tube PASSAM Ag®	Diffusion radiale du NO ₂ dans un tube contenant de la triéthanolamine	Prélèvement continu sur 7 jours	Extraction des nitrites en phase aqueuse. Quantité de nitrites déterminée par une lecture spectrophotométrique à 542 nm après formation d'un colorant azoïque (Méthode de Griess Saltzman)	SPSE (Paris, 75)
Particules PM_{2,5} en masse	Système de prélèvement par pompage	SKC/AirChek 3000 Battery eliminator/ Impacteur PM2,5 Filtre téflon	Gravimétrie	Prélèvement en continu sur 7 jours dans les deux chambres et en discontinu de 9h à 18h dans la pièce de vie commune par pompage actif 1,8 L/min	Pesée du filtre téflon avant et après prélèvement	LCPP (Paris, 75)

Les appareils de mesure et de prélèvement d'air étaient tous disposés dans un portoir insonorisé conçu par le CSTB (Figure 4).



Figure 4. Portoir insonorisé installé dans une chambre d'EHPAD

Le portoir était éloigné de tout élément de chauffage ou de refroidissement, de tout mur chaud ou froid, du rayonnement solaire direct, de toute bouche de ventilation ou d'aération pouvant provoquer des conditions de pression instable avec de fortes turbulences de l'air, etc. Le positionnement du portoir était souvent difficile dans ce type d'établissements, du fait, notamment, de l'utilisation d'un grand nombre de fauteuils roulants. Il devait donc être placé de façon à ne pas gêner le déplacement des résidents et du personnel soignant, la plupart du temps le long d'un mur ou dans un coin de la pièce

3.3.1 Dioxyde de carbone (CO₂) et indice de confinement ICONe

3.3.1.1 Dioxyde de carbone (CO₂)

Le dioxyde de carbone a été mesuré par le dispositif Class'air (Figure 5) sur un pas de temps de dix minutes, par une technique d'absorption dans l'infrarouge non dispersif (NDIR). La précision de la mesure fournie par le fabricant est +/-50 ppm + 3 % de la valeur lue. L'enregistrement du CO₂ s'est déroulé dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS sur 7 jours d'enquête, de J1 (pose) à J8 (dépose). Le Class'Air était placé à une hauteur d'environ 1,5m dans la partie haute du portoir (voir Figure 4).



Figure 5. Class'Air (version 2) pour la mesure du CO₂ développé au CSTB.

3.3.1.2 Indice ICONÉ

L'indice de confinement de l'air ICONÉ (Ribéron et al. 1970) a été calculé en période d'occupation « normale » de la pièce de vie commune, de 9h à 17h sur les 7 jours d'instrumentation, ainsi que dans les deux chambres de 9h à 17h (ICONÉ jour) et de 00h à 5h (ICONÉ nuit).

Cet indice prend une valeur comprise entre zéro et cinq : zéro correspondant à un confinement nul et cinq à un confinement extrême.

La formule de l'indice ICONÉ est la suivante :

$$ICONÉ = 8,3 \times \log_{10}(1 + f1 + 3 \times f2)$$

f1 : proportion des valeurs de CO₂ entre 800 et 1 500 ppm

f2 : proportion des valeurs de CO₂ au-delà de 1 500 ppm

3.3.1.3 Suivi métrologique des Class'Air

Les Class'Air étaient vérifiés et ajustés avant envoi du matériel aux équipes en début de campagne et après retour du matériel en fin de campagne, afin de s'assurer de la fiabilité des valeurs de CO₂ obtenues dans les pièces instrumentées (pièces de vie commune et chambres). Le logiciel embarqué de l'appareil permettait d'ajuster le capteur de CO₂ en lui appliquant un coefficient de correction déterminé à l'aide d'une procédure d'ajustage.

3.3.2 **Température et humidité relative**

La température (°Celsius) et l'humidité relative (%) ont été simultanément mesurées par le dispositif Class'Air. L'enregistrement de température et d'humidité relative s'est déroulé sur un pas de temps de dix minutes, de J1 à J8. Le dispositif Class'air était placé dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS à une hauteur d'environ 1,5m dans la partie haute du portoir (cf. Figure 4). Le capteur et les éléments sensibles étaient exactement à la température de l'environnement à mesurer.

3.3.2.1 Température

Le capteur de température était une sonde platine 100 Ohms, avec une plage de mesure allant de 0 °C à + 50 °C à ± 0,2 °C.

3.3.2.2 Humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible. L'humidité relative s'exprime en pourcentage. 100 % correspond à un air saturé en vapeur d'eau (risque de nuage, pluie, brouillard, rosée ou givre), 0 % à un air parfaitement sec (cette valeur d'humidité relative n'est jamais atteinte dans la nature, pas même dans les déserts) (source : [Météo France](https://www.meteo.fr/)).

L'humidité relative a été mesurée par un capteur capacitif « ROTRONIC Hygromer IN1 » avec une plage de mesure allant de 0 à 100 % à ± 0,8 %.

3.3.2.3 Suivi métrologique des thermo-hygromètres

Les thermo-hygromètres étaient vérifiés avant envoi du matériel aux équipes en début de campagne et après retour du matériel en fin de campagne, par inter-comparaison avec un appareil de référence dans une enceinte climatique. Ce dernier était étalonné et ajusté par le fabricant (raccordement Cofrac). Compte tenu des exigences requises en termes d'évaluation du confort thermique, de

l'incertitude de l'étalon utilisé pour l'étalonnage de l'appareil (0,15 °C) et des possibles variations spatiales à l'intérieure de l'enceinte climatique, l'écart maximal toléré (EMT) était de 0,2°C.

3.3.3 Particules $PM_{2,5}$

3.3.3.1 Stratégie d'échantillonnage et matériel

La collecte des particules $PM_{2,5}$ a été réalisée sur filtre en Téflon PTFE prépesé. Le prélèvement par pompage actif de l'air a été effectué à l'aide d'une pompe Aircheck 3000 et d'une tête de prélèvement adaptée à la collecte des $PM_{2,5}$ (Figure 6). Le débit fixé à 1,8 L/min ($\pm 5\%$) était contrôlé avant et après prélèvement sur site, par un débitmètre TSI 4146. Les prélèvements se sont déroulés dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS sur 7 jours selon le programme suivant :

- en continu de J1 à J8 dans les deux chambres : le volume d'air était en moyenne de $18,1 \pm 1,2$ m3 d'air ;
- de midi à 18h à J1, de 9h à 18h de J2 à J7 et de 9h jusqu'à arrêt de la pompe à J8 : le volume d'air était en moyenne de $6,6 \pm 0,2$ m3 d'air.

La pompe était disposée dans la partie basse insonorisée du portoir (voir Figure 4).

Les filtres étaient en téflon PTFE (porosité 2 μ m, diamètre 37 ou 47 mm, avec bague support). Ils étaient conservés dans une mini boîte de pétri après le prélèvement et stockés à -18 °C au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris.

3.3.3.2 Pesées des filtres

La pesée des filtres a été faite par le LCPP. Elle s'est effectuée dans une salle de pesée régulée en température ($20^{\circ}\text{C} \pm 1$) et humidité ($50\% \pm 5$) à l'aide d'une balance de précision dont la sensibilité est de 1 μ g. La pesée des filtres avant et après prélèvement a été réalisée selon la norme NF EN 12341 (AFNOR, 2014). 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 correspondait à la masse moyenne des deux pesées.



Crédit photo : CSTB.

Figure 6. Tête de prélèvement pour les $PM_{2,5}$.

3.3.3.3 Calcul de la concentration

La concentration C en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est calculée $C = \frac{m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}}}{\text{Volume d'air}}$

Avec :

m finale : masse du filtre exposé (μg)

m initiale : masse du filtre non exposé (μg)

Volume air : volume d'air total (m^3) dans les conditions ambiantes de prélèvement

3.3.3.4 Blancs de terrain et limites de détection et de quantification

Un blanc de terrain est un filtre soumis aux mêmes modes opératoires de conditionnement et de pesée qu'un filtre prélevé, y compris le transport et le stockage sur site, mais qui n'est pas utilisé pour prélever l'air (AFNOR 2014). Les filtres blancs de terrain ont été conditionnés en même temps que les filtres utilisés pour le prélèvement et ont été pesés comme tous les filtres vierges. Après le prélèvement, les blancs de terrain ont été à nouveau conditionnés comme des filtres prélevés dans la chambre de pesée. La différence de masse du blanc de terrain après et avant la période de prélèvement est la masse du blanc de terrain. Trente-quatre filtres blancs de terrain ont été effectués de manière aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon par zone d'enquête.

La limite de détection (LD) est la quantité en-dessous de laquelle les particules $\text{PM}_{2,5}$ ne sont pas détectées. La LD est égale à trois fois l'écart-type de la moyenne des différences de masses issues des doubles pesées avant et après prélèvement pour les filtres témoins et tous les filtres. La limite de détection est égale à $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($18,89 \mu\text{g}$) pour les prélèvements des pièces de vie commune et de $1,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($18,89 \mu\text{g}$) pour les prélèvements des chambres. Il n'y a pas de limite de quantification (LQ) en masse des particules, étant donné qu'on mesure une masse globale (filtre et particules) bien au-delà de la résolution de la balance. La LQ est égale à la LD.

3.3.3.5 Suivi métrologique des débitmètres

Les débitmètres étaient vérifiés avant envoi du matériel aux équipes en début de campagne et après retour du matériel en fin de campagne par inter-comparaison avec un appareil de référence (TSI modèle 4146) qui était préalablement vérifié et ajusté (raccordement Cofrac). L'écart en pourcentage toléré pour le débit $1,8 \text{ L}/\text{min}$ était de 5 %.

3.3.4 **Dioxyde d'azote (NO_2)**

3.3.4.1 Stratégie d'échantillonnage

Le NO_2 (n° CAS 10102-44-0) a été mesuré à l'aide d'un tube à diffusion de type tube de Palmes commercialisé par la société Passam AG (Shellenstrasse 44, CH-8708 Mannedorf). Les tubes ont été posés dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS pendant 7 jours, de J1 à J8, dans la partie haute du portoir et ont été stockés avant et après prélèvement à $+4^\circ\text{C}$.

L'échantillonneur comprend un tube en polypropylène de 7,34 cm de long et de 9,74 mm de diamètre en moyenne. Pendant la période de stockage, le tube est muni à ses deux extrémités de capuchons de couleurs différentes. Le bouchon coloré est enlevé pendant la phase de prélèvement et lors de l'étape d'analyse. Le bouchon blanc est inamovible. Il contient deux grilles accolées en acier inoxydable. Ces grilles sont imprégnées de triéthanolamine et d'un agent mouillant qui est du glycérol (Figure 7).

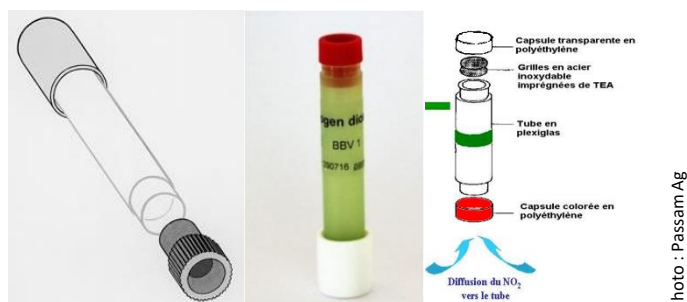


Figure 7. Tube à diffusion Passam AG®.

3.3.4.2 Analyse et calcul de la concentration

L'analyse a été réalisée par le Service parisien de santé environnementale (anciennement Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris). La réaction entre la triéthanolamine et le NO₂ pendant le prélèvement libère des nitrites qui sont ensuite dosés, après leur extraction en phase aqueuse. La quantité de nitrites est déterminée par une lecture spectrophotométrique à 542 nm après formation d'un colorant azoïque (méthode de Griess Saltzman). Le mode opératoire répondait aux spécifications de la norme NF EN 16339 (AFNOR 2013).

L'analyse du tube permet de déterminer la masse m de NO₂ en µg pour les échantillons, les blancs de lot et les blancs de terrain selon la formule suivante :

$$m = C \times V$$

Avec :

V = volume de réactif colorimétrique utilisé (ml)

C = concentration en nitrite relevée sur la courbe d'étalonnage (en µg/ml)

La concentration de NO₂ est calculée selon l'équation suivante :

$$C_{NO_2} = \frac{(m_{NO_2} - m_{BLC}) \times 10^6}{Q_T \times t}$$

Avec :

m_{NO_2} : masse de NO₂ dans l'échantillon (µg)

m_{BLC} : moyenne des masses de NO₂ dans les blancs analysés du même lot que l'échantillon (µg)

t : durée de prélèvement en minutes

Q_T : débit d'échantillonnage en cm³/min

Pour le tube Passam®, la valeur du débit d'échantillonnage Q_T est égale à 56,8 cm³/h à 21 °C et 1013,25 hPa (AFNOR 2013).

Les corrections du débit d'échantillonnage liées à la température moyenne pendant la durée du prélèvement ont été effectuées selon la formule suivante :

$$Q_T(cm^3/min) = \frac{[0,60 \times (T_K - 294,25) + 56,8]}{60}$$

Avec :

T_K : température en Kelvin

3.3.4.3 Blancs de terrain et limites de détection et de quantification

Les LD et LQ analytiques sont respectivement égales à 1,0 et 3,1 $\mu g/m^3$. Aucune concentration sur les tubes blancs de lot ne dépassait la LD analytique. Les LD et LQ de la méthode de mesure sont donc équivalentes aux LD et LQ analytiques.

Simultanément aux échantillons, des blancs de terrain ont été réalisés : il s'agit de tubes transportés et manipulés comme les échantillons mais non exposés. Ils permettent de détecter une contamination pendant le transport, sur site ou pendant la conservation des tubes.

Au cours de la campagne, 33 blancs de terrain ont été réalisés de manière aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon par zone d'enquête. Parmi ceux-ci, 31 tubes ont eu des concentrations inférieures à la LD. Un tube a eu une concentration inférieure à la LQ ($C=1,6 \mu g/m^3$) et un tube a eu une concentration supérieure à la LQ ($C=3,9 \mu g/m^3$).

3.3.5 **Composés organiques volatils**

3.3.5.1 Prélèvements passifs

3.3.5.1.1 *Stratégie d'échantillonnage*

Un échantillonneur passif de type Radiello® a été disposé dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS pendant 7 jours de J1 à J8 dans la partie haute du portoir.

Un échantillonneur passif est composé d'une cartouche pour désorption thermique (code n° 145), d'un corps diffusif (code n° 120-2) et d'un adaptateur (code n° 122) (Figure 8).

La cartouche (code n° 145) est cylindrique (40-60 mesh s.s. net), de diamètre externe 4,8 mm, et contenant 300 mg de charbon graphitisé (Carbograph 4). La cartouche est conservée dans un tube à essai en verre hermétiquement fermé par un bouchon en plastique.

Avant prélèvement, les tubes sont conditionnés par le laboratoire sur un désorbeur thermique de type RTA à 320°C sous flux d'Azote 6.0 pendant 2h. Un tube par rampe de régénération est sélectionné pour être analysé afin de vérifier l'absence de composés d'intérêt.



Figure 8. Corps diffusif Radiello® pour les COV (passif) (code 120-2).

La cartouche d'adsorbant préalablement conditionnée était conservée avant le prélèvement à 4 °C dans son tube à essai en verre, hermétiquement fermé par un bouchon en plastique. La durée de conservation de la cartouche dans ces conditions était au maximum de trois mois. Ce conditionnement a été réalisé par le laboratoire POLLEM (Grenoble, 38).

Après prélèvement, les cartouches étaient stockées à 4 °C, puis envoyées au laboratoire POLLEM à cette même température et stockées dans un espace dédié avant analyse.

3.3.5.1.2 Analyse et concentration

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire POLLEM. Les cartouches étaient extraites thermiquement, puis analysées par chromatographie en phase gazeuse (TD/GC).

Les cibles ont été identifiées et quantifiées par spectrométrie de masse (impact électronique et balayage). Le mode opératoire du laboratoire répondait aux spécifications de la norme NF EN ISO 16017-2 (2003) (AFNOR 2003).

Chaque COV cible a été identifié et quantifié par étalonnage externe à l'aide de solutions étalons correspondant au composé. L'analyse de la cartouche a ainsi permis de déterminer la masse de chaque COV prélevé au cours de la durée d'exposition du tube à diffusion (environ 7 jours).

Vingt-trois COV ont été ciblés et sont listés dans le Tableau 7 avec leur numéro CAS.

La concentration de COV a été calculée selon l'équation suivante :

$$C = \frac{m_{COV} \times 10^6}{Q_T \times t_{exp}}$$

Avec :

m_{COV} : masse de COV prélevée sur la cartouche exposée (ng)

C : concentration de COV dans l'air pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q_T : débit d'échantillonnage du COV considéré (mL/min)

t_{exp} : durée du prélèvement (min)

Les débits d'échantillonnage Q_T sont présentés dans le Tableau 7. Ils ont été corrigés selon la température T (en Kelvin) selon la formule suivante :

$$Q_T = Q_{298K} \left(\frac{T}{298} \right)^{1,5}$$

Avec :

T : température moyenne en Kelvin (°K) pendant le prélèvement.

Tableau 7. Liste des 23 COV recherchés avec leur débit d'échantillonnage (prélèvement passif).

COV	Numéros CAS	Débit d'échantillonnage (mL/min) à 25 °C et 1013 hPa (± incertitude étendue à 2σ en %) (source = Radiello.com)
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	21,9 (± 9,6 %)
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	22 (± 9,5 %)
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	26,6 (± 11,6 %)
1-Méthoxy-2-propylacétate (PGMEA)	108-65-6	21,3
2-Butoxyéthanol	111-76-2	19,4 (± 9,7 %)
2-éthylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	104-76-7	14,3 (± 17,4 %)
Benzène	71-43-2	27,8 (± 8,3 %) ^a
Décane	124-18-5	22,3 (± 22,4 %)
Ethylbenzène	100-41-4	25,7 (± 9,1 %)
Hexane	110-54-3	25,5 (± 10,9 %)
Heptane	142-82-5	25,3 (± 7,6 %)
Limonène	138-86-3	12,8 (± 24,8 %)
Nonane	111-84-2	21 (± 11,8 %)
Octane	111-65-9	24,1 (± 13,4 %)
alpha-Pinène	80-56-8+7785-26-4	6,4 (± 29,5 %)
Styrène	100-42-5	27,1 (± 24 %)
Toluène	108-88-3	30 (± 8,3 %)
Tétrachloroéthylène	127-18-4	25,4 (± 8,9 %)
Trichloroéthylène	79-01-6	27,1 (± 9,5 %)
n-Undécane	1120-21-4	12 (± 32,7 %)
m-Xylène	108-38-3	26,6 (± 11,3 %)
o-Xylène	95-47-6	24,6 (± 9,1 %)
p-Xylène	106-42-3	26,6 (± 11,3 %)

^a Débit indicatif, le débit utilisé est un débit modélisé décrit ci-après.

Pour le benzène, un débit de prélèvement modélisé, établi sur la base d'essais en chambre d'exposition pour des prélèvements de 1 à 7 jours a été retenu (Pennequincardinal et al. 2005a; 2005b; Plaisance, Leonardis, et Gerboles 2008). Ce débit est adapté à une gamme de concentrations de benzène allant jusqu'à 10 µg/m³. L'application de cette équation permet de tenir compte des effets des paramètres environnementaux sur le débit de prélèvement.

En intérieur (vitesse d'air de l'ordre de 0,05 cm/s)

$$Q_{model} = -0,18 \times T - 0,02 \times C_i + 29,3$$

Avec :

$T(^{\circ}C)$, la température moyenne en degré Celsius sur la durée de prélèvement

C_i : concentration de benzène calculée en prenant en compte la valeur de débit d'échantillonnage constant du tableau (en µg/m³)

3.3.5.1.3 *Blancs de terrain et limites de détection et de quantification*

Des blancs de terrain ont été réalisés : il s'agit de cartouches transportées et manipulées comme les échantillons, mais non exposées. Ils permettent de détecter une contamination pendant le transport, sur site ou pendant la conservation des cartouches. Sur la totalité de la campagne, 70 blancs de terrain ont été réalisés de manière aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon par zones d'enquêtes. Seulement 69 blancs de terrain ont été analysés, un blanc de terrain ayant été perdu au laboratoire, à la suite d'une erreur d'analyse (extraction à l'acétonitrile).

Il n'existe pas de blancs de lot pour les cartouches Carbograph, celles-ci ayant été conditionnées thermiquement avant chaque prélèvement. L'étude des blancs de terrain permet d'estimer les LD et LQ de la méthode à partir des LD et LQ analytiques. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8 où les résultats des blancs de terrain sont mis au regard des LD et LQ analytiques pour chaque COV.

3.3.5.2 Prélèvements actifs

3.3.5.2.1 *Stratégie d'échantillonnage*

Les COV ont également été prélevés par pompage actif de l'air au travers d'une cartouche d'adsorbant contenant un polymère poreux (Tenax TA®). Les COV sont fixés sur la cartouche d'adsorbant. Le dispositif de prélèvement est constitué d'une cartouche métallique (Tube Perkin Elmer) contenant 200 mg d'adsorbant Tenax TA® (60/80 mesh) et relié à une pompe de poche (SKC Pocket) (cf. Figure 9).



Figure 9. Prélèvement de COV par tube Tenax TA avec une pompe SKC Pocket

Tableau 8. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode (n=69) des COV (prélèvement passif).

Substances	LD analytique (µg/m³)	LQ analytique (µg/m³)	LD méthode (µg/m³)	LQ méthode (µg/m³)	% de blancs de terrain dont les concentrations < LD analytique	% de blancs de terrain dont les concentrations < LQ analytique
1,2,4-Triméthylbenzène	0,0045	0,015	0,050	0,050	87%	96%
1,4-Dichlorobenzène	0,0045	0,015	0,0045	0,015	99%	100%
1-methoxy-2-propanol	0,0037	0,012	0,019	0,019	84%	96%
1-méthoxy-2-propylacétate (PGMEA)	0,0047	0,015	0,037	0,037	93%	97%
2-Butoxyéthanol	0,0051	0,017	0,13	0,13	88%	90%
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	0,0069	0,023	1,4	1,4	71%	84%
Benzène	0,0036	0,012	0,22	0,22	3%	9%
Décane	0,0044	0,015	0,056	0,056	90%	96%
Ethylbenzène	0,0039	0,013	0,029	0,029	47%	87%
Heptane	0,0039	0,013	0,12	0,12	78%	87%
Hexane	0,0039	0,013	0,16	0,16	60%	79%
Limonène	0,0078	0,026	0,21	0,21	78%	91%
Nonane	0,0047	0,016	0,034	0,034	93%	97%
Octane	0,0041	0,014	0,011	0,014	88%	96%
Alpha-Pinène	0,015	0,051	0,034	0,051	99%	99%
Styrène	0,0037	0,012	0,060	0,060	49%	87%
Tétrachloroéthylène	0,0039	0,013	0,0039	0,013	99%	100%
Toluène	0,0033	0,011	0,46	0,46	3%	47%
Trichloroéthylène	0,0037	0,012	0,027	0,027	97%	97%
n-Undécane	0,0083	0,027	0,51	0,51	75%	88%
m-Xylènes	0,0037	0,012	0,054	0,054	31%	81%
o-Xylène	0,0040	0,013	0,035	0,035	62%	93%
p-Xylènes	0,0037	0,012	0,023	0,023	66%	96%

Les LD et LQ analytiques sont fournies par le laboratoire en masse et retranscrites en concentrations pour une durée type de 10 080 min et une température moyenne de 24,9 °C.

Le tube Tenax TA® et la pompe Pocket ont été disposés dans la partie haute du portoir (cf. Figure 4 et Figure 9), proche de la hauteur des voies respiratoires. Le prélèvement actif n'a eu lieu que dans la pièce de vie commune de chaque ESMS enquêtés, généralement à J1.

Sur les 97 ESMS de l'échantillon, un seul prélèvement n'a pas été effectué et 8 prélèvements ont été invalidés selon les critères retenus (cf. paragraphes 3.3.5.2.3 et 3.3.5.2.4).

3.3.5.2.2 Conditionnement initial des tubes et stockages

Avant prélèvement, les tubes sont conditionnés par le laboratoire POLLEM sur un désorbeur thermique de type RTA à 320°C sous flux d'Azote 6.0 pendant 2h. Un tube par rampe de régénération est

sélectionné pour être analysé afin de vérifier l'absence de composés d'intérêt. Après régénération les tubes sont bouchés hermétiquement avec des bouchons en laiton et conservés dans des boîtes inox à une température inférieure à 25°C avant envoi aux équipes chargées des enquêtes.

La durée de validité du nettoyage est de 2 mois pour les tubes actifs.

Après prélèvement, les tubes Tenax sont conservés à température ambiante (< 25°C) et à l'abri de la lumière dans un local dénué de sources majeures de pollution. Ils sont ensuite envoyés au laboratoire POLLEM et stockés à température ambiante dans un espace dédié, avant analyse.

3.3.5.2.3 *Durée de prélèvement*

La durée de prélèvement fixée est de 6 heures en continu (± 30 min) dans la pièce de vie commune sélectionnée pour les mesures, généralement la plus occupée. La durée théorique déterminée avec la date/heure de début et de fin de prélèvement renseignées par le technicien-enquêteur peut surestimer la durée réelle du prélèvement en cas de microcoupures. La durée fournie directement par la pompe a été préférée, car elle les prend en compte.

La borne maximale a été fixée à 375 minutes pour ne pas dépasser le volume de perçage du benzène. Un prélèvement de 387 minutes a donc été invalidé. Un prélèvement d'une durée de 2 minutes a également été invalidé. Finalement, les prélèvements d'une durée comprise entre 3,7 et 6,3 heures sont considérés valides s'ils respectent les autres critères de validation.

La durée moyenne des prélèvements valides ($N = 88$) était de $5,8 \pm 0,3$ heures (minimum : 3,7 heures et maximum : 6,3 heures).

3.3.5.2.4 *Débit de prélèvement*

Le débit de prélèvement nominal est de 20 mL/min, soit un volume théorique de 7,2 L. Le débit des pompes a été vérifié avant et après le prélèvement à l'aide d'un débitmètre TSI.

- Le débit initial était en moyenne de $19,9 \pm 0,5$ mL/min (18 – 21 mL/min) ;
- Le débit final était en moyenne de $20,2 \pm 0,9$ mL/min (17 – 23 mL/min) ;
- L'écart (final-initial) absolu était en moyenne de $+0,3 \pm 0,8$ mL/min (-1 à +3 mL/min) ;
- L'écart (final-initial) relatif était en moyenne de $+2 \% \pm 4 \%$ (-6 % à +16 %).

Parmi les 88 prélèvements valides, 9 prélèvements ont des écarts de débits supérieurs à 5 %. Parmi ceux-ci, 3 ont des écarts de débit supérieurs à 10 %, dont 1 avec un écart supérieur à 15 %.

Cinq prélèvements ont été invalidés sur le critère des débits initiaux et finaux. Parmi eux, 3 prélèvements présentaient des débits initiaux et finaux trop élevés (supérieurs ou égaux à 25 mL/min). Les 2 autres prélèvements invalides présentaient un débit final trop élevé (supérieur ou égal à 30 mL/min) entraînant une trop forte variation entre le débit initial et le débit final.

3.3.5.2.5 *Volume de prélèvement*

Le volume de prélèvement préconisé était de 7,2 L.

Le volume effectif du prélèvement a été calculé au regard de la durée du prélèvement fournie par la pompe multipliée par le débit de prélèvement moyen (entre initial et final). Le volume pris en compte pour le calcul des concentrations dépend de la validation de ces 2 paramètres.

Le volume de prélèvement pour les COV (hors benzène) était de $6,9 \pm 0,4$ L (4,5 – 7,9 L) pour 88 prélèvements.

3.3.5.2.6 Analyse et concentration

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire POLLEM. Les tubes Tenax TA étaient extraits thermiquement, puis analysés par chromatographie en phase gazeuse (TD/GC).

Les cibles ont été identifiées et quantifiées par spectrométrie de masse (impact électronique et balayage). Le mode opératoire du laboratoire répondait aux spécifications de la norme NF EN ISO 16017-1 (AFNOR 2001).

Chaque COV cible a été identifié et quantifié par étalonnage externe à l'aide de solutions étalons correspondant au composé. L'analyse du tube a ainsi permis de déterminer la masse de chaque COV prélevé au cours de la durée d'exposition du tube Tenax TA (environ 6 heures).

Soixante-cinq COV ont été visés et sont listés dans le Tableau 9 avec leur numéro CAS.

Tableau 9. Liste des 65 COV (prélèvement actif).

COV	Numéros CAS	COV	Numéros CAS
1,2,4-Triméthylbenzène	95-63-6	Dipropylène glycol	25265-71-8
1,4-Dichlorobenzène	106-46-7	Dipropylène glycol monométhyl ether	34590-94-8
1-Méthoxy-2-propanol	107-98-2	dl-Carvone	99-49-0
1-Méthoxy-2-propylacétate	108-65-6	dl-Menthone	89-80-5
2-(2-Butoxyéthoxy)éthanol (Ether monobutylique du diéthylène glycol)	112-34-5	Dodécaméthylcyclohexasiloxane (D6)	540-97-6
2-(2-Ethoxyéthoxy)éthanol	111-90-0	Dodécane	112-40-3
2-Butanone	78-93-3	Ethylbenzène	100-41-4
2-Butoxyéthanol	111-76-2	Ethylène glycol	107-21-1
2-Butoxy-éthylacétate	112-07-2	Eucalyptol	470-82-6
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	104-76-7	Géraniol	106-24-1
2-Pentanone	107-87-9	Hexaméthylcyclotrisiloxane (D3)	541-05-9
2-Phénoxyéthanol	122-99-6	Hydroxycitronellal	107-75-5
2-Propylène glycol 1-n-butyl éther (2PG1BE) 1-Butoxy-2-propanol	5131-66-8	Limonène	138-86-3
6-Méthyl-5-heptèn-2-one	110-93-0	Linalool	78-70-6
Acétate de géranyle	105-87-3	Methylcyclohexane	108-87-2
Acétophénone	98-86-2	MIBK (méthylisobutylcétone)	108-10-1
Allylméthyl sulfide	10152-76-8	m-Xylène	108-38-3
alpha-Pinène	80-56-8+7785-26-4	Naphtalène	91-20-3
alpha-Terpinéol	98-55-5	n-Décanal	112-31-2
Benzène	71-43-2	n-Décane	124-18-5
Camphène	79-92-5	n-Heptane	142-82-5
Citral	5392-40-5	n-Hexadécane	544-76-3
Citronellol	106-22-9	n-Hexane	110-54-3
Cyclohexanone	108-94-1	n-Nonanal	124-19-6
Cyclopentane	287-92-3	n-Nonanal	124-19-6
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	541-02-6	n-Octane	111-65-9
Dihydromyrcenol	18479-58-8	Nonane	111-84-2
		n-Pentadécane	629-62-9

COV	Numéros CAS	COV	Numéros CAS
n-Pentane	109-66-0	Styrène	100-42-5
n-Undécane	1120-21-4	Terpinolène	586-62-9
Octaméthylcyclotetrasiloxane (D4)	556-67-2	Tétrachloroéthylène	127-18-4
o-Xylène	95-47-6	Toluène	108-88-3
Phénol	108-95-2	Trichloroéthylène	79-01-6
p-Xylène	106-42-3		

3.3.5.2.7 Blancs de terrain et limites de détection et de quantification

Des blancs de terrain ont été réalisés : il s'agit de tubes Tenax TA transportés et manipulés comme les échantillons, mais non exposés. Ils permettent de détecter une contamination pendant le transport, sur site ou pendant la conservation des tubes. Sur la totalité de la campagne, 53 blancs de terrain ont été réalisés de manière aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon par zones d'enquêtes.

Il n'existe pas de blancs de lot pour les tubes Tenax TA, ceux-ci ayant été conditionnés thermiquement avant chaque prélèvement. L'étude des blancs de terrain permet d'estimer les LD et LQ de la méthode à partir des LD et LQ analytiques. Les résultats sont présentés dans le Tableau 10 où les résultats des blancs de terrain sont mis au regard des LD et LQ analytiques pour chaque COV.

Tableau 10. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode (n=53) des COV (prélèvement actif).

Substances	LD analytique (µg/m³)	LQ analytique (µg/m³)	LD méthode (µg/m³)	LQ méthode (µg/m³)	% de blancs de terrain dont les concentrations < LD analytique	% de blancs de terrain dont les concentrations < LQ analytique
1.2.4-Triméthylbenzène	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
1.4-dichlorobenzène	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
1-Méthoxy-2-propanol	0,14	0,46	0,20	0,46	95%	100%
1-Méthoxy-2-propylacétate	0,14	0,46	0,27	0,46	98%	98%
2-(2-Butoxyéthoxy)éthanol (Ether monobutylique du diethylene glycol)	2,1	6,9	2,2	7,2	100%	100%
2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol	2,1	6,9	2,2	7,2	100%	100%
2-Butanone	0,14	0,46	5,7	5,7	6%	35%
2-Butoxyéthanol	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
2-Butoxy-éthylacétate	0,54	1,8	0,54	1,9	100%	100%
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	0,14	0,46	1,0	1,0	88%	97%
2-Pentanone	0,14	0,46	0,21	0,46	86%	100%
2-Phénoxyéthanol	2,2	7,4	2,3	7,7	100%	100%
2-Propylène glycol 1-n-butyl éther (2PG1BE) 1-Butoxy-2-propanol	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
6-Méthyl-5-heptèn-2-one	0,14	0,46	0,14	0,46	95%	100%
Acetate de geranyle	0,65	2,2	0,65	2,3	100%	100%
Acetophenone	0,14	0,46	0,51	0,51	76%	94%
Allyl methyl sulfide	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
alpha-Pinène	0,14	0,46	0,15	0,46	97%	100%
alpha-Terpineol	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
Benzène	0,14	0,46	1,5	1,5	9%	45%
Camphène	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
Citral	0,65	2,2	0,65	2,3	100%	100%
Citronellol	2,3	7,6	2,4	7,9	100%	100%
Cyclohexanone	0,14	0,46	0,23	0,46	97%	98%
Cyclopentane	0,14	0,46	2,5	2,5	80%	88%
Decamethylcyclopentasiloxane (D5)	0,14	0,46	0,53	0,53	89%	98%

Substances	LD analytique (µg/m³)	LQ analytique (µg/m³)	LD méthode (µg/m³)	LQ méthode (µg/m³)	% de blancs de terrain dont les concentrations < LD analytique	% de blancs de terrain dont les concentrations < LQ analytique
Décane	0,14	0,46	0,18	0,46	91%	100%
Dihydromyrcenol	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
Dipropylène glycol	4,4	15	4,6	15	100%	100%
Dipropylène glycol monométhyl ether	2,2	7,4	2,3	7,7	100%	100%
dl-Carvone	0,14	0,46	0,16	0,46	98%	100%
dl-Menthone	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
Dodecaméthylcyclohexasiloxane (D6)	0,14	0,46	0,16	0,46	91%	100%
Ethylbenzène	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
Ethylène glycol	19	64	20	67	100%	100%
Eucalyptol	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
Géraniol	2,1	6,9	2,2	7,2	100%	100%
Hexaméthylcyclotrisiloxane (D3)	0,14	0,46	4,3	4,3	20%	42%
Hydroxycitronellal	0,57	1,9	0,57	2,0	100%	100%
Limonène	0,14	0,46	0,35	0,46	95%	97%
Linalool	0,14	0,46	0,49	0,49	98%	98%
Méthylcyclohexane	0,14	0,46	0,76	0,76	97%	97%
MIBK (méthylisobutylcétone)	0,14	0,46	0,20	0,46	94%	100%
m-Xylènes	0,14	0,46	0,31	0,46	92%	97%
Naphtalène	0,14	0,46	0,25	0,46	98%	98%
n-Décanal	0,14	0,46	0,62	0,62	71%	95%
n-Dodécane	0,14	0,46	0,24	0,46	94%	100%
n-Heptane	0,14	0,46	1,8	1,8	95%	98%
n-Hexadécane	0,14	0,46	0,20	0,46	92%	100%
n-Hexane	0,14	0,46	0,20	0,46	88%	100%
n-Nonanal	0,56	1,85	0,76	1,9	94%	100%
n-Nonane	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
n-Octane	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
n-Pentadécane	0,14	0,46	0,14	0,46	97%	100%
n-Undécane	0,14	0,46	0,16	0,46	92%	100%
Octaméthylcyclotetrasiloxane (D4)	0,14	0,46	0,69	0,69	50%	97%
o-Xylène	0,14	0,46	0,18	0,46	97%	100%
Pentane	0,14	0,46	2,0	2,0	59%	79%
Phénol	0,14	0,46	3,2	3,2	65%	77%
p-Xylènes	0,14	0,46	0,14	0,46	98%	100%
Styrène	0,14	0,46	0,16	0,46	98%	100%
Terpinolène	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
Tétrachloroéthylène	0,14	0,46	0,14	0,46	100%	100%
Toluène	0,14	0,46	0,41	0,46	68%	94%
Trichloroéthylène	0,14	0,46	0,39	0,46	95%	98%

3.3.6 Aldéhydes

3.3.6.1 Stratégie d'échantillonnage

Les aldéhydes ont été mesurés à l'aide de capteurs passifs imprégnés de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH), exposés dans les deux chambres et la pièce de vie commune de chaque ESMS pendant 7 jours, de J1 à J8, dans la partie haute du portoir. Les cartouches ont été conservées avant et après prélèvement à 4 °C.

Un tube à diffusion de la marque Radiello® a été utilisé pour le prélèvement. L'échantillonneur est composé d'une cartouche (code n° 165), d'un corps diffusif (code n° 120-1) et d'un adaptateur (code n° 122). La cartouche (code n° 165) est cylindrique (100 mesh s.s. net), de diamètre externe 5,9 mm,

et contenant 900 mg de florisil 35-50 mesh imprégné de 2,4-DNPH. Cette cartouche est placée dans un corps diffusif en polyéthylène avant le prélèvement (Figure 10).



Figure 10. Corps diffusif Radiello® pour les aldéhydes (code 120-1).

3.3.6.2 Analyse et calcul de concentration

Quatre aldéhydes ont été analysés par le Laboratoire POLLEM : le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le benzaldéhyde et l'hexaldéhyde.

La réaction entre les aldéhydes et la 2,4-DNPH forment des hydrazones correspondantes qui sont ensuite extraites par élution avec une quantité définie d'acétonitrile. La méthode analytique était une chromatographie liquide haute performance (CLHP) (colonne à phase silice greffée C18), associée à une détection dans l'ultra-violet (UV) à une longueur d'onde de 360 nm. Un gradient d'élution à base d'acétonitrile, d'eau (et éventuellement de tétrahydrofurane) a permis la séparation des composés.

Les 4 aldéhydes cibles ont été identifiés et quantifiés par étalonnage externe à l'aide de solutions standard comprenant les dérivés hydrazones correspondant. Le mode opératoire du laboratoire répondait aux spécifications de la norme NF EN ISO 16000-4 (AFNOR 2012).

La concentration en aldéhydes a été calculée selon l'équation suivante :

$$C = \frac{(m_{ALD} - m_{BLC}) \times 10^6}{Q_T \times t_{exp}}$$

Avec :

m_{ALD} : masse d'aldéhyde prélevée sur la cartouche exposée (μg)

m_{BLC} : masse d'aldéhyde en moyenne dans les blancs de lot analysés (μg)

C : concentration d'aldéhyde dans l'air pendant l'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q_T : débit d'échantillonnage de l'aldéhyde considéré (mL/min)

t_{exp} : durée du prélèvement (min).

Il est nécessaire de corriger les débits d'échantillonnage Q_T selon la température T (en Kelvin). T est la température moyenne pendant la durée du prélèvement.

$$Q_T = Q_{298K} \left(\frac{T}{298} \right)^{0,35}$$

Les débits d'échantillonnage sont indiqués dans le Tableau 11.

Tableau 11. Débits d'échantillonnage des aldéhydes ciblés.

Substances	Débit d'échantillonnage (mL/min) à 25 °C et 1013 hPa ($\pm$ incertitude étendue à 2σ en %) (source = Radiello.com, Sacco et al., 2000)
Formaldéhyde	99 ($\pm$ 13,8 %)
Acétaldéhyde	84 ($\pm$ 15,9 %)
Benzaldéhyde	92 ($\pm$ 17,2 %)
Hexaldéhyde	18 ($\pm$ 20,2 %)

3.3.6.3 Blancs de terrain et limites de détection et de quantification

Des blancs de terrain ont été réalisés : il s'agit de cartouches transportées et manipulées comme les échantillons, mais non exposées. Ils permettent de détecter une contamination pendant le transport, sur site ou pendant la conservation des cartouches. Sur la totalité de la campagne, 38 blancs de terrain ont été réalisés de manière aléatoire sur l'ensemble de l'échantillon par zones d'enquêtes.

Une à neuf analyses de blancs de lot ont été réalisées sur les 5 lots différents de cartouches aldéhydes utilisés pour la campagne (n=21). Ces analyses ont permis de calculer une LD et LQ de la méthode. La LD est calculée comme étant 3 fois l'écart-type maximal observé intra-lot. La masse moyenne du blanc de lot n'est pas prise en compte car elle est soustraite automatiquement. Les résultats sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12. Limites de détection (LD) et quantification (LQ) analytiques et de la méthode et blancs de terrain (n=38) des aldéhydes.

Substances	LD analytique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQ analytique ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LD méthode ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LQ méthode ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% de blancs de terrain dont les concentrations < LD analytique	% de blancs de terrain dont les concentrations < LQ analytique
Formaldéhyde	0,000020	0,000070	0,48	0,48	3%	3%
Acétaldéhyde	0,000024	0,000083	1,0	1,0	26%	26%
Benzaldéhyde	0,000032	0,00011	0,38	0,38	76%	76%
Hexaldéhyde	0,00066	0,0022	0,82	0,82	74%	74%

3.3.7 *Bilan de réalisation des analyses*

Le Tableau 13 présente le bilan des analyses réalisées par les 3 laboratoires. Il est à noter que peu de prélèvements se sont perdus dans le transport ou n'ont pas été envoyés par les équipes d'enquêteurs. La limite de 7 jours entre la fin de l'enquête et la réception au laboratoire, fixée dans les protocoles et rappelée lors de la formation, a été bien respectée en règle générale.

Des erreurs de manipulation ont entraîné la perte de résultats d'analyse pour 3 aldéhydes (laboratoire POLLEM). Des avaries matérielles ont entraîné la perte de 8 prélèvements PM_{2,5} (2 pompes hors service et 6 filtres manquants avant enquête) et de 3 aldéhydes (supports de prélèvements non reçus avant enquête).

Tableau 13. Bilan des analyses des polluants dans l'air dans le cadre de la campagne ESMS

Paramètres Laboratoire	Echantillons prévus	Echantillons prélevés	Echantillons reçus	Echantillons analysés	Echantillons non analysés	Commentaires
COV actifs CSTB - POLLEM	97	96	96	96	1	Pompe hors service
COV passif CSTB - POLLEM	291	288	288	288	3	Problème à l'extraction
Aldéhydes CSTB - POLLEM	291	288	288	288	3	Echantillons non prélevés
NO ₂ SPSE	291	291	291	291	-	
PM _{2,5} (PMM) LCP	291	283	283	283	8	6 filtres manquants avant enquête 2 pompes hors service

3.4 Mise en œuvre et suivi des enquêtes sur le terrain

3.4.1 Réalisation des enquêtes

Les enquêtes réalisées dans les 97 ESMS recrutés ont commencé en mars 2019 pour l'équipe OQAI (Île-de-France) et en octobre 2019 pour les 3 autres équipes, et se sont terminées en mars 2021. Quatre-vingt-dix-sept pièces de vie commune et 194 chambres ont été investiguées. La Figure 11 indique la localisation des 97 ESMS enquêtés.

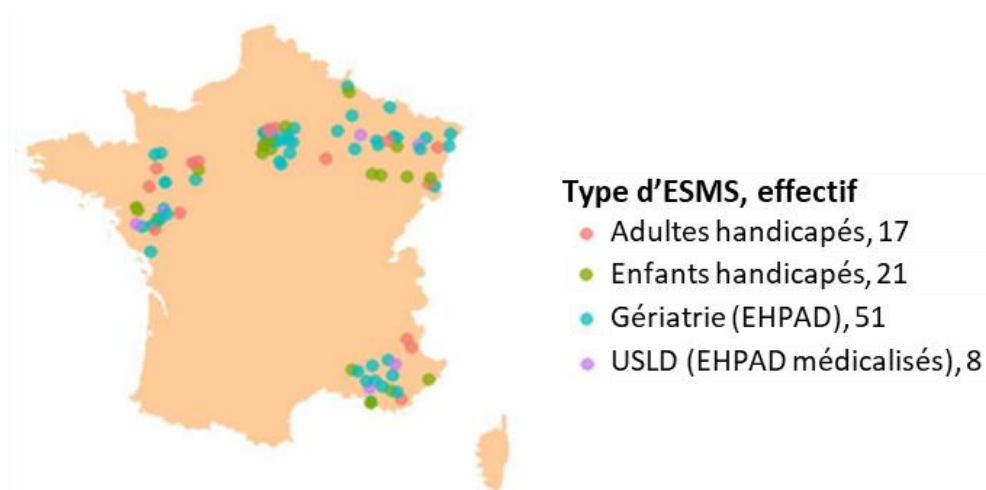


Figure 11. Localisation des ESMS tirés au sort

3.4.2 Saison des enquêtes

La période de chauffe conventionnelle est définie en fonction de la zone climatique (« Conventions unifiées pour le calcul du coefficient B. Cahier 2000. Centre scientifique et technique du bâtiment. Marne-la-Vallée » 1985) :

- zone H1 : du 26 septembre au 24 mai ;
- zone H2 : du 2 octobre au 24 mai ;
- zone H3 : du 11 novembre au 20 avril.

La répartition des ESMS en fonction de la saison de l'enquête est présentée dans le Tableau 14.

Tableau 14. Répartition des ESMS en fonction du type d'établissement et de la saison de l'enquête

Type d'établissement	Saison	Effectif (%)
Unités de soins longue durée	Chauffe	7 (7%)
Unités de soins longue durée	Hors-chauffe	1 (1%)
Etablissements pour enfants handicapés	Chauffe	14 (14%)
Etablissements pour enfants handicapés	Hors-chauffe	7 (7%)
Etablissements pour adultes handicapés	Chauffe	11 (11%)
Etablissements pour adultes handicapés	Hors-chauffe	6 (6%)
EHPAD	Chauffe	36 (36%)
EHPAD	Hors-chauffe	16 (16%)

3.4.3 Recrutement et formation des enquêteurs

3.4.3.1 Recrutement des enquêteurs

La sélection des prestataires réalisant les enquêtes a fait l'objet **d'un marché (19P060) sous la forme d'un accord cadre à bons de commande mono-attributaire alloti** comprenant :

- **Lot 1** : réalisation d'enquêtes dans 20 à 24 établissements sanitaires et médico-sociaux dans la région des Pays de la Loire ;
- **Lot 2** : réalisation d'enquêtes dans 20 à 24 établissements sanitaires et médico-sociaux dans la région Grand-Est ;
- **Lot 3** : réalisation d'enquêtes dans 20 à 24 établissements sanitaires et médico-sociaux dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Le Tableau 15 présente les prestataires sélectionnés pour chaque région.

Tableau 15. Prestataires sélectionnés dans le cadre du marché 19P060

Zone d'enquête	Prestataires	Enquêteurs
Pays de la Loire	OXYGENAIR, Chambray-lès-Tours (37)	Laetitia DURAND et Pierre MAILLET
	EVADIES, Bouillonville (54)	Nicolas PANIZZOLI et Rémi MERLEN
Grand Est	A2L Environnement, Yutz (57)	Arnaud ETUR
	ATMOSUD, Martigues (13)	Flavy MANIERI et Sandra LAPEYRIE
Provence-Alpes-Côte d'Azur	APPA Région Sud, Marseille (13)	Céleste GUILLAUD et Rachel FELIPO

3.4.3.2 Formation des enquêteurs sélectionnés

Toutes les équipes de prestataires chargées des enquêtes pour les 3 régions ont suivi une formation de 2 jours sur les protocoles d'enquête et les appareils de mesure dans les locaux du CSTB de Champs-sur-Marne. De deux à quatre opérateurs par équipe ont été formés.

Des outils pédagogiques ont été mis à leur disposition dans un classeur de formation comprenant les protocoles de prélèvement et de mesurage, les fiches de terrain, les procédures de suivi et de maintenance des appareils, les questionnaires d'enquête, les protocoles de saisie des questionnaires et des données de terrain sur la plateforme de saisie en ligne développée par People Vox.

3.4.4 *Gestion du matériel d'enquête et des supports de prélèvement*

3.4.4.1 Envoi, suivi et maintenance du matériel d'enquête

Chaque équipe de prestataires d'enquête a disposé d'un jeu de matériels permettant d'instrumenter une pièce de vie commune et 2 chambres simultanément. Chaque lot de matériel de mesure a été envoyé sur une palette par transporteur à chaque équipe mi-octobre 2019.

Les prestataires étaient tenus d'assurer la maintenance et le suivi du matériel en effectuant un contrôle systématique des matériels avant et après les enquêtes.

Dans le cas d'un matériel défectueux nécessitant une réparation, celui-ci était renvoyé au CSTB et remplacé par un autre matériel dans un délai permettant de ne pas interrompre le rythme des enquêtes.

3.4.4.2 Gestion des supports de prélèvement

Les supports de prélèvement nécessitant un nettoyage préalable (COV actif et passif) ou une pesée préalable (filtres PM_{2,5}) ont été fournis aux laboratoires au début de la campagne par le CSTB. Ils ont été gérés par les laboratoires d'analyse, selon une procédure précisée par le CSTB.

Les autres supports de prélèvement (aldéhydes et dioxyde d'azote) ont été gérés par le CSTB et envoyés au fil de l'eau sur demande des prestataires d'enquête.

Une fois la semaine d'enquête terminée, les échantillons étaient envoyés la semaine suivante par colis Chronopost 13h suivi, aux laboratoires pour analyse. Afin de simplifier et de suivre les envois postaux, le CSTB a établi un contrat chez Chronopost permettant :

- aux prestataires d'enquête d'éditer des bordereaux électroniques simplifiant la procédure d'envoi des colis ;
- au CSTB de suivre l'acheminement des colis et des prélèvements.

Les retards de livraison ont été fréquents, en raison de mauvaises conditions climatiques et de dysfonctionnements des bureaux de poste. Dans la majorité des cas, ces retards n'ont pas eu d'influence sur la validité du prélèvement.

3.4.5 Questionnaires et saisie informatique

3.4.5.1 Questionnaires

Parallèlement aux mesures, 4 questionnaires ont été renseignés :

- **Un questionnaire décrivant précisément l'établissement et le (ou les) bâtiment(s)** qui abrite(nt) les pièces instrumentées. Ils sont renseignés par les prestataires d'enquête, avec l'aide du gestionnaire de l'établissement sanitaire et médico-social. Ce questionnaire décrit :
 - les caractéristiques générales du (ou des) bâtiment(s) ;
 - l'occupation ;
 - le chauffage et la climatisation ;
 - les problèmes d'humidité.
- **Trois questionnaires décrivant précisément la pièce de vie commune et les deux chambres instrumentées.** Ces questionnaires sont complétés par les prestataires d'enquête et décrivent :
 - la localisation et l'occupation de la pièce ;
 - les généralités de la pièce ;
 - les revêtements de sol, de plafond et muraux ;
 - les ouvrants, l'aération, la ventilation, le chauffage et la climatisation ;
 - l'utilisation d'assainisseurs, d'épurateurs et de désodorisants ;
 - le mobilier ;
 - les problématiques d'humidité ;
 - l'entretien et le nettoyage (avec identification des produits utilisés) ;
 - la perception du confort olfactif, thermique, acoustique, visuel, de la qualité de l'air intérieur et global rapportée par les résidents lorsqu'ils le peuvent.

3.4.5.2 Saisie informatique

L'ensemble des questionnaires descriptifs (établissement, bâtiment(s) et pièces instrumentées) et des fiches terrain a été saisi, par chaque équipe de techniciens-enquêteurs, sur une interface informatique spécialement développée pour la campagne nationale ESMS par la société People Vox.

L'interface informatique sécurisée était accessible grâce à un identifiant établissement unique. La liste des identifiants a été communiquée de manière sécurisée à chaque équipe en début de campagne et actualisée au fil des recrutements. Cette interface permettait :

- la saisie des questionnaires descriptifs de l'établissement, du (ou des) bâtiment(s) et de chaque pièce instrumentée ;
- la saisie des données de la réalisation des mesures et des prélèvements (informations contenues dans les fiches de terrain) ;
- le chargement des fichiers d'enregistrement des mesures en continu (dioxyde de carbone, température, hygrométrie) ;
- le chargement des photos (vue aérienne, plan d'évacuation, pièce instrumentée, portoir, produits d'entretien et d'ambiance, problèmes d'humidité, etc.) ;

- le chargement des résultats d'analyse par les laboratoires d'analyse.

Des règles de saisie obligatoire et de cohérence (notamment sur les questions mères/filles) ont été programmées pour prévenir les données manquantes et les erreurs de saisie.

De plus, des codes qualité accessibles par menu déroulant ont permis d'expliquer le déroulement de la mesure ou du prélèvement.

Les prestataires d'enquête étaient tenus de saisir les données des questionnaires et des prélèvements dans un délai d'une semaine après la fin de l'enquête.

Enfin, le LCPP et le laboratoire du Service Parisien de Santé Environnementale ont également utilisé la plateforme informatique, pour charger les résultats d'analyse. Le laboratoire POLLEM a, quant à lui, mis à disposition les résultats de COV et d'aldéhydes directement sur le réseau sécurisé du CSTB accessible par l'OQAI.

4. MÉTHODES STATISTIQUES

4.1 Traitements statistiques des données

4.1.1 *Traitement spécifique des mesures en continu*

La température, l'humidité relative et le CO₂ ont été enregistrés en continu sur un pas de temps de dix minutes sur les 7 jours d'enquête (voir paragraphe 3.3). Les enregistrements de la première heure ont été supprimés afin de limiter le biais lié au temps de mise en place de l'appareil de mesure et de prise en compte du nouvel environnement. Afin d'atténuer les fluctuations transitoires et souligner les tendances, les séries de températures et d'humidités relatives ont été préalablement lissées en calculant les moyennes mobiles sur une heure (valeur affectée au centre de la gamme).

Pour l'ensemble des trois paramètres, les statistiques descriptives ont été calculées à l'échelle des pièces, en journée et en nuit. Pour la température et l'humidité relative, la période diurne est définie entre 8h et <20h et la période nocturne est définie entre 20h et <8h. Pour le calcul des distributions des concentrations en CO₂, du pourcentage de dépassement des concentrations en CO₂ par rapport à la valeur repère et de l'indice ICONE, la période diurne est définie entre 9h et 17h et la période nocturne est définie entre 0h et 5h. Les résultats de température et d'humidité relative ont été présentés en distinguant la période chauffe/hors chauffe (cf. la définition dans le paragraphe 3.4.2).

4.1.2 *Traitement des données censurées*

Dans le cadre du traitement statistique, les concentrations inférieures respectivement aux LD et LQ (données censurées) ont été traitées comme suit : pour un composé donné, si le laboratoire a fourni une valeur numérique, elle a été conservée. Sinon, la valeur suivante a été imputée :

- LD/2 pour les concentrations inférieures à la LD ;
- (LD+LQ)/2 pour les concentrations inférieures à la LQ.

4.2 Etat descriptif

Les pourcentages de pièces dans lesquelles les concentrations de COV, aldéhydes, NO₂ et particules PM_{2.5} sont supérieures à la LD et supérieures à la LQ ont été déterminés.

Les statistiques descriptives des concentrations des composés étudiés, températures, humidités relatives et ICONE en journée et nuit ont également été calculées :

- la médiane (valeur de concentration au-dessus de laquelle 50 % des pièces sont situés) ;
- les centiles P_x : x % des pièces dans lesquelles les concentrations des composés étudiés ne dépassent pas cette valeur. X étant égal à 5 %, 25 %, 75 %, 95 % ;
- la moyenne arithmétique et son erreur-type.

Ces indicateurs ont été calculés en distinguant :

- les quatre types d'établissements (EHPAD, USLD, établissements pour enfants ou adultes handicapés) ;
- les deux types de pièce (pièces de vie commune ou chambre) ;
- les deux périodes de mesure (avant ou après le confinement).

Des tests non paramétriques ont été choisis pour effectuer les comparaisons car les distributions des concentrations de polluants ne suivent pas une loi normale. Lorsque les effectifs étaient suffisants, les distributions des concentrations ont été comparées en fonction du type de pièces à l'aide du test des rangs signés de Wilcoxon car les données sont appariées (pièces d'un même ESMS). De même, lorsque les effectifs étaient suffisants, les distributions des concentrations ont été comparées en fonction de la période de mesure à l'aide du test de Mann-Whitney Wilcoxon car les données sont indépendantes (pièces de différents ESMS). La correction de Bonferroni a été appliquée afin d'ajuster le seuil de significativité lors de comparaisons multiples.

Les niveaux de concentration en polluants mesurés dans l'air sont également comparés à des valeurs limites. Différents types des valeurs sont disponibles selon les polluants :

- La valeur guide de la qualité de l'air intérieur (VGAI) : valeur numérique associée à un temps d'exposition correspondant à une concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé (dans le cas de composés odorants) ne sont en principe attendus pour la population générale (ANSES 2011). Ces valeurs sont proposées par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose également des valeurs guide ;
- La valeur guide réglementaire : niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné. Ces valeurs sont définies par décret et s'appuient sur des VGAI ou encore sur des valeur repère de la qualité de l'air intérieur ;
- La valeur repère de la qualité de l'air intérieur (VRAI) : concentration en dessous de laquelle il n'y a pas d'action spécifique à engager à court terme (HCSP 2019). En termes de gestion, elle peut être considérée comme une teneur maximale provisoirement acceptable pour le polluant considéré, compte tenu de la distribution des valeurs observées dans les espaces clos et dans les conditions de leur occupation régulière au long cours. Pour autant, le respect de cette VRAI peut être associé à des conséquences sanitaires, notamment pour les sujets les plus vulnérables, lorsqu'elle est supérieure à la VGAI et cette teneur a vocation à tendre vers la VGAI à terme. Les VRAI sont proposées par le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) ;
- La Valeur d'action rapide (VAR) : elle correspond à un dépassement important de la valeur repère pour la qualité de l'air intérieur qui doit conduire à identifier dans les plus brefs délais les causes de cette pollution élevée afin de les neutraliser en engageant à court terme des travaux et actions d'amélioration. Les VAR sont proposées par le HCSP.

Le Tableau 16 présente les valeurs retenues pour les polluants mesurés dans l'étude et disposant de telles valeurs.

Pour chaque polluant disposant d'une valeur limite, le pourcentage de dépassement des valeurs de concentration par rapport à cette valeur est calculé. Pour chaque pièce, ce pourcentage correspond au rapport du nombre de mesures dépassant le seuil sur le nombre total de mesures dans cette pièce, en ne considérant que les périodes diurnes pour les pièces de vie commune, et les périodes diurnes et nocturnes pour les chambres.

Tableau 16 : Valeurs limites de la qualité de l'air intérieur

Polluants	Type de valeurs limites	Valeurs	Référence
Acétaldéhyde	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	160 µg/m ³	(Anses 2014)
Benzène	Valeur guide réglementaire	2 µg/m ³	(Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène 2011)
	Valeur repère de la qualité de l'air intérieur	5 µg/m ³	(HCSP 2010)
	Valeur d'action rapide	10 µg/m ³	(HCSP 2010)
CO ₂	Valeur repère de la qualité de l'air intérieur	800 ppm	(HCSP 2021)
Formaldéhyde	Valeur guide réglementaire	30 µg/m ³	(Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène 2011)
	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	100 µg/m ³	(Anses 2018a)
NO ₂	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	20 µg/m ³	(Anses 2013)
PM _{2,5}	Valeur guide OMS 2021	15 µg/m ³	(WHO 2021)
	Valeur guide OMS 2005	25 µg/m ³	(WHO 2005)
	Valeur d'action rapide	50 µg/m ³	(HCSP 2013)

Enfin, les répartitions statistiques des variables descriptives des bâtiments, des usages et de l'environnement extérieur ont été calculées.

5. DESCRIPTION DES ESMS

5.1 Caractéristiques des ESMS

Les caractéristiques des ESMS instrumentés sont présentées dans le Tableau 17.

Tableau 17. Caractéristiques des ESMS

Caractéristiques	Effectifs (%)
Type d'ESMS	
Unités de soins longue durée	8 (8 %)
Etablissements pour enfants handicapés	21 (22 %)
Etablissements pour adultes handicapés	17 (17 %)
EHPAD	51 (53 %)
Statut de l'établissement	
Établissement privé à but lucratif	6 (6 %)
Établissement privé à but non-lucratif	60 (62 %)
Établissement public	31 (32%)
Zones géographiques ^a	
H1	53 (55 %)
H2	25 (26 %)
H3	19 (20 %)
Environnement	
Urbain	72 (74 %)
Rural	25 (26 %)
Zones géographiques ^a x environnement	
H1 - Urbain	41 (42 %)
H1 - Rural	12 (12 %)
H2 - Urbain	17 (18 %)
H2 - Rural	8 (8 %)
H3 - Urbain	14 (14 %)
H3 - Rural	5 (5 %)

a : zones géographiques issues des zones climatiques d'hiver (H1, H2, H3) de la réglementation thermique (se reporter au paragraphe 2.1)

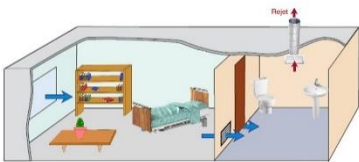
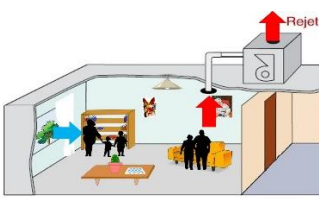
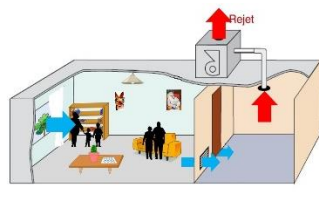
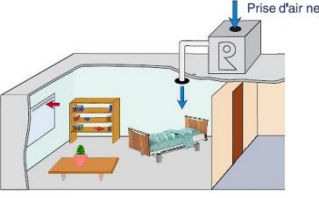
5.2 Caractérisation de la ventilation

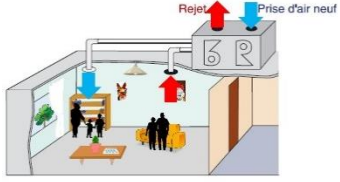
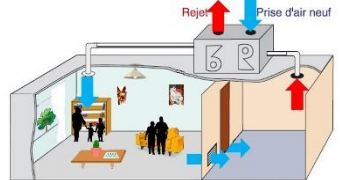
Les systèmes de ventilation dans les chambres et les pièces de vie commune ont été décrits par les techniciens-enquêteurs. Quatre grandes catégories de systèmes ont été observées sur le terrain et sont décrites en détail dans le Tableau 18 :

- système simple flux par extraction ou insufflation avec balayage ou sans balayage ;
- système double flux avec balayage ou sans balayage ;

- système de ventilation naturelle : présence de grilles hautes et basses sur la même façade ou des façades différentes ou par entrée d'air sur la façade et extraction par conduit à tirage naturel en salle de bains ;
- absence de système, l'aération se faisant par ouverture des fenêtres.

Tableau 18. Illustrations des systèmes de ventilation extraites du guide du CETIAT Conception – Ventilation performante dans les écoles (CETIAT, 2001)

Type de système	Explication	Illustration
Systèmes de ventilation naturelle VN	VN par entrée d'air permanente par grilles hautes et basses sur une même façade Grille(s) basse(s) (souvent sous la fenêtre, derrière le radiateur) et grille(s) haute(s) dans la chambre 1 sur une seule façade	
	VN par entrée d'air permanente par grilles hautes et basses sur deux façades différentes Grille(s) basse(s) (souvent sous la fenêtre, derrière le radiateur) et grille(s) haute(s) dans la chambre 1 sur deux façades différentes	
	VN par entrée d'air sur la façade et extraction par conduit à tirage naturel en salle de bains, si la chambre 1 possède une salle de bain attenante	
Systèmes spécifiques de ventilation mécanique VMC	VMC simple flux par extraction sans balayage ➤ Entrées d'air et/ou grilles d'aération au niveau des fenêtres/façades de la chambre 1 ➤ Bouches d'extraction dans la chambre 1	
	VMC simple flux par extraction avec balayage ➤ Entrées d'air et/ou grilles d'aération au niveau des fenêtres/façades de la chambre 1 ➤ Grilles de transfert dans la cloison et/ou détalonnage de la porte d'entrée ➤ Bouches d'extraction dans le couloir ou dans les sanitaires présents dans la chambre 1	
	VMC simple flux par insufflation sans balayage ➤ Bouches de soufflage dans la chambre 1 ➤ Sortie par grille au travers de la façade de la chambre 1	
	VMC simple flux par insufflation avec balayage ➤ Bouches de soufflage dans la chambre ➤ Sortie par grille de transfert au travers de la cloison intérieure de la chambre 1	

Type de système	Explication	Illustration
	VMC double flux sans balayage ➤ Bouches de soufflage dans la chambre 1 ➤ Bouches d'extraction dans la chambre 1	
	VMC double flux avec balayage ➤ Bouches de soufflage dans la chambre 1 ➤ Grilles de transfert dans la cloison et/ou détalonnage de la porte d'entrée ➤ Bouches d'extraction dans le couloir ou les sanitaires présents dans la chambre 1	

Pour qu'une chambre ou une pièce de vie commune puisse être considérée comme équipée d'un système de ventilation (VN ou VMC), tous les éléments constituant ce système devaient être présents (comme précisé dans le Tableau 18). Les débits d'air mesurés aux bouches de ventilation, ainsi que leur fonctionnement n'ont pas été pris en compte dans cet état descriptif.

Le Tableau 19 présente la répartition des systèmes dans les pièces des ESMS. Dans **84 % (n=243) des pièces des établissements**, il y a **un système de ventilation mécanique ou une ventilation naturelle**. Le système de ventilation naturelle n'est présent que dans 3 pièces des ESMS (1 %). Dans tous les autres ESMS, l'aération des chambres/pièces de vie commune se fait par ouverture des fenêtres.

Tableau 19. Type de système de ventilation dans les pièces des ESMS.

Type de système	Effectif (N=291 pièces)	Pourcentage d'ESMS
Aucun système	30	10 %
VMC	243	84 %
VN	3	1 %
Non renseigné	15	5 %

VMC : ventilation mécanique contrôlée ; VN : ventilation naturelle

5.3 Caractéristiques des bâtiments et pièces

Les distributions des caractéristiques des bâtiments instrumentés sont présentées dans le Tableau 20.

Tableau 20. Répartition des bâtiments instrumentés selon leurs caractéristiques (n=132)

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Bâtiment ayant toujours eu une vocation sanitaire/médico-social	Non	21	15,9%
	Oui	109	82,6%
	Ne sait pas	2	1,5%
Période de construction	Avant 1948	20	15,2%
	Entre 1949 et 1967	10	7,6%
	Entre 1968 et 1981	21	15,9%
	Entre 1982 et 1999	32	24,2%
	A partir de 2000	48	36,4%
	Ne sait pas	1	0,8%
Matériau principal des murs	Bois	2	1,5%
	Brique	10	7,6%
	Béton - parpaing	94	71,2%
	Pierre	21	15,9%
	Autre	5	3,8%
Système d'isolation principal des murs	Aucune isolation	10	7,6%
	Isolation extérieure	18	13,6%
	Isolation intérieure	77	58,3%
	Isolation mixte (intérieure et extérieur)	15	11,4%
	Autre ou ne sait pas	12	9,1%
Présence de matériaux amiantés dans le bâtiment de la pièce instrumentée	Non	100	75,8%
	Oui	19	14,4%
	Ne sait pas	13	9,9%
Nombre d'ETP jour dans le bâtiment de la pièce instrumentée	Au plus 24 ETP jour	68	51,5%
	25 ETP jour ou plus	64	48,5%
Nombre d'ETP nuit dans le bâtiment de la pièce instrumentée	Au plus 2 ETP nuit	91	68,9%
	3 ETP nuit ou plus	41	31,1%
Nombre de personnes hébergées dans le bâtiment de la pièce instrumentée	Au plus 37 personnes hébergées	74	56,1%
	38 personnes hébergées ou plus	58	43,9%
Nombre de chambres dans le bâtiment de la pièce instrumentée	Au plus 36 chambres	74	56,1%
	37 chambres ou plus	58	43,9%
Présence de garage en sous-sol du bâtiment de la pièce instrumentée	Non	115	87,1%
	Oui	17	12,9%

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Présence de parking attenant au bâtiment de la pièce instrumentée	Non	48	36,4%
	Oui	84	63,6%
Energie principale de chauffage du bâtiment de la pièce instrumentée	Bois / biomasse	3	2,3%
	Fioul	21	15,9%
Energie principale de chauffage du bâtiment de la pièce instrumentée	Gaz (citerne)	4	3,0%
	Gaz (naturel)	82	62,1%
	Réseau de chaleur (ex. : CPCU, géothermie)	5	3,8%
	Électricité	15	11,4%
	Autre	2	1,5%
Bâtiment avec au moins une pièce rafraîchie	Non	37	28,0%
	Oui	95	72,0%
Bâtiment climatisé	Non	75	56,8%
	Oui	57	43,2%
Problèmes d'humidité dans le bâtiment de la pièce instrumentée sur les 12 derniers mois	Non	106	80,3%
	Oui	26	19,7%
Dégâts des eaux dans le bâtiment de la pièce instrumentée sur les 12 derniers mois	Non	107	81,1%
	Oui	25	18,9%
Infiltrations dans le bâtiment de la pièce instrumentée sur les 12 derniers mois	Non	99	75,0%
	Oui	33	25,0%

Les distributions des caractéristiques des pièces instrumentées sont présentées dans le Tableau 21. Les produits et parfums d'ambiance rarement utilisés dans les ESMS ne sont pas décrits dans le tableau. En effet, les diffuseurs à tiges et les diffuseurs d'huiles essentielles sont utilisés dans moins de 10 pièces sur 291 instrumentées. Les sprays et aérosols automatiques, les bougies, les encens, les papiers d'Arménie et les diffuseurs électriques sont utilisés dans moins de 3 pièces sur 291. Les diffuseurs électriques insecticides ne sont jamais utilisés.

Certains modes de nettoyage sont rarement pratiqués dans les pièces des ESMS. Leurs fréquences de nettoyage ne sont pas décrites dans le tableau, tels que le cirage du parquet, la shampoineuse à moquette, le nettoyage du mobilier et des vitres à la vapeur d'eau (nettoyage fréquent dans moins de 6 pièces). D'autres modes de nettoyage ont été mal renseignés dans les questionnaires, tels que l'aspiration des moquettes ou tissus muraux, le lessivage des murs et plafonds à l'eau ou aux produits détergents (plus de 65 % de données manquantes).

Tableau 21. Répartition des pièces instrumentées selon leurs caractéristiques (n=291)

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Pièce appartenant à un :	EHPAD	153	52,6%
	Etablissement accueillant des adultes handicapés	51	17,5%
	Etablissement accueillant des enfants handicapés	63	21,7%
	USLD	24	8,3%
Pièce appartenant à un ESMS où :	1 seul bâtiment a été instrumenté	156	53,6%
	2 bâtiments ou plus ont été instrumentés	135	46,4%
Saison de mesure	Chauffe	201	69,1%
	Hors-chauffe	90	30,9%
Période de confinement	Avant confinement	162	55,7%
	Pendant confinement	129	44,3%
Niveau de la pièce instrumentée	Sous-sol, RDC ou RDJ	129	44,3%
	Etage	162	55,7%
Nombre de résidents pendant la semaine de mesure (chambres)	1 résident	171	88,1%
	2 résidents ou plus	23	11,9%
Nombre de résidents pendant la semaine de mesure (Pièce de vie commune)	Au plus 10 résidents	53	54,6%
	11 résidents ou plus	44	45,4%
Pièce de stockage de produits d'entretien à proximité	Non	248	85,2%
	Oui	43	14,8%
Lingerie/buanderie à proximité	Non	273	93,8%
	Oui	18	6,2%
Pièce avec utilisation d'essence à proximité	Non	290	99,7%
	Oui	1	0,3%
Cuisine à proximité	Non	242	83,2%
	Oui	49	16,8%
Autre pièce source d'émission à proximité	Non	281	96,6%
	Oui	10	3,4%
Résidents fumeurs	Non	264	90,7%
	Oui	27	9,3%
Fumeurs dans la pièce	Non	289	99,3%
	Oui	2	0,7%
Présence d'imprimantes	Non	284	97,6%
	Oui	7	2,4%
Présence de sources de combustion	Non	286	98,3%
	Oui	5	1,7%
Présence de solvants	Non	287	98,6%
	Oui	4	1,4%

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Utilisation de peintures acryliques (à l'eau)	Non	264	90,7%
	Oui	27	9,3%
Utilisation de peintures à l'huile	Non	284	97,6%
	Oui	7	2,4%
Utilisation de colles	Non	263	90,4%
	Oui	28	9,6%
Utilisation de solvants/ dissolvants	Non	276	94,9%
	Oui	15	5,2%
Utilisation de laques / teintures pour cheveux	Non	286	98,3%
	Oui	5	1,7%
Produits utilisés dans le cadre de travaux (ex : peinture)	Non	222	76,3%
	Oui	28	9,6%
	Ne sait pas	41	14,1%
Revêtement principal du sol	Sol : carrelage	54	18,6%
	Sol : moquette, tapis	1	0,3%
	Sol : parquet massif	8	2,8%
	Sol : revêtement stratifié	4	1,4%
	Sol : synthétique	223	76,6%
	Sol : autre	1	0,3%
Revêtement principal des murs	Mur : papier peint, papier vinyle, toile	125	43,0%
	Mur : peinture, crépi	163	56,0%
	Mur : autre	3	1,0%
Revêtement principal des plafonds	Plafond : faux-plafond	84	28,9%
	Plafond : faux-plafond acoustique	23	7,9%
	Plafond : lambris en bois brut ou reconstitué	1	0,3%
	Plafond : lambris en plastique	1	0,3%
	Plafond : papier peint, papier vinyle, to	6	2,1%
	Plafond : peinture	173	59,5%
	Plafond : autre	3	1,0%
Ancienneté du revêtement du sol	Sol : < 1 an	23	7,9%
	Sol : > 1 an	259	89,0%
	Ne sait pas	9	3,1%
Ancienneté du revêtement des murs	Mur : < 1 an	26	8,9%
	Mur : > 1 an	255	87,6%
	Ne sait pas	10	3,4%
Ancienneté du revêtement du plafond	Plafond : < 1 an	18	6,2%
	Plafond : > 1 an	261	89,7%
	Ne sait pas	12	4,1%
Nombre d'ouvrants donnant sur l'extérieur et s'ouvrant correctement (chambres)	0 ou 1 ouvrant	140	72,2%
	2 ouvrants ou plus	54	27,8%

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Nombre d'ouvrants donnant sur l'extérieur et s'ouvrant correctement (Pièce de vie commune)	0 à 3 ouvrants	53	54,6%
	4 ouvrants ou plus	44	45,4%
Fréquence moyenne d'ouverture des fenêtres en journée	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur ou fenêtres condamnées	11	3,8%
	Rarement ou jamais	23	7,9%
	Moins d'une ½ heure par jour	72	24,7%
	Entre ½ heure et 1 heure par jour	115	39,5%
	Plus d'une heure par jour	69	23,7%
	Non renseigné	1	0,3%
Fréquence moyenne d'ouverture des fenêtres pendant la nuit	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur ou fenêtres condamnées	11	3,8%
	Rarement ou jamais	251	86,3%
	Moins d'une ½ heure par jour	11	3,8%
	Entre ½ heure et 1 heure par jour	9	3,1%
	Plus d'une heure par jour	8	2,8%
	Non renseigné	1	0,3%
Système de ventilation	Aucun système de ventilation	30	10,3%
	Ventilation naturelle	3	1,0%
	VMC simple flux	193	66,3%
	VMC double flux	50	17,2%
	Non renseigné	15	5,2%
Pièce climatisée	Non	208	71,5%
	Oui	83	28,5%
Chauffage d'appoint	Aucun	281	96,6%
	Cheminée au bois	1	0,3%
	Electricité	9	3,1%
Présence d'un système d'humidification de l'air intérieur	Non	290	99,7%
	Oui	1	0,3%
Présence d'un système de déshumidification de l'air intérieur	Non	291	100,0%
Présence d'un système d'épuration de l'air intérieur	Non	291	100,0%
Utilisation de sprays/aérosols manuels	Aérosol/spray au moins une fois par semaine	69	23,7%
	Aérosol/spray plus d'une fois par semaine	42	14,4%
	Pas d'aérosol/spray	180	61,9%
Ancienneté du mobilier	Mobilier : moins d'1 an	19	6,5%
	Mobilier : plus d'1 an	262	90,0%
	Ne sait pas	10	3,4%
Problèmes d'humidité sur les 12 derniers mois	Non	266	91,4%
	Oui	25	8,6%

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Présence de moisissures et surface	Quelques tâches éparses	2	0,7%
	Surface cumulée < 1 m ²	4	1,4%
	Pas de moisissure/champignon	285	97,9%
Stockage de produits d'entretien dans la pièce	Non	287	98,6%
	Oui	4	1,4%
Stockage de produits d'entretien dans un local	Non	11	3,8%
	Oui	280	96,2%
Aspirateur	Aspirateur au moins 1 fois/mois	47	16,2%
	Pas d'aspirateur	244	83,9%
Balayage à sec	Balayage à sec au moins 1 fois/mois	78	26,8%
	Pas de balayage à sec	213	73,2%
Balayage humide	Balayage humide au moins 1 fois/semaine	37	12,7%
	Pas de balayage humide	254	87,3%
Balayage avec détergent	Balayage avec détergent au moins 1 fois/semaine	236	81,1%
	Pas de balayage avec détergent	55	18,9%
Balayage avec lingettes	Balayage avec lingettes au moins 1 fois/mois	44	15,1%
	Pas de balayage avec lingettes	247	84,9%
Autolaveuse à eau/vapeur	Autolaveuse à eau/vapeur au moins 1 fois/mois	22	7,6%
	Pas d'autolaveuse à eau/vapeur ou <1 fois/mois	269	92,4%
Autolaveuse avec détergent	Autolaveuse avec détergent au moins 1 fois/mois	68	23,4%
	Pas d'autolaveuse avec détergent ou <1 fois/mois	223	76,6%
Dépoussiérage à sec du mobilier	Dépoussiérage à sec au moins 1 fois/mois	30	10,3%
	Pas de dépoussiérage à sec	261	89,7%
Dépoussiérage humide du mobilier	Dépoussiérage humide au moins 1 fois/semaine	24	8,3%
	Pas de dépoussiérage humide	267	91,8%
Nettoyage du mobilier au détergent	Nettoyage du mobilier au détergent au moins 1 fois/mois	253	86,9%
	Pas de nettoyage du mobilier au détergent	38	13,1%
Nettoyage du mobilier avec lingettes	Nettoyage du mobilier avec lingettes au moins 1 fois/mois	25	8,6%
	Pas de nettoyage du mobilier avec lingettes	266	91,4%
Nettoyage à sec des vitres	Nettoyage à sec des vitres au moins 1 fois/mois	15	5,2%
	Pas de nettoyage à sec des vitres ou <1 fois/mois	276	94,9%

Caractéristiques	Modalités	Effectif	%
Nettoyage des vitres au détergent	Nettoyage des vitres au détergent au moins 1 fois/mois	106	36,4%
	Pas de nettoyage des vitres au détergent ou <1 fois/mois	185	63,6%

6. ÉTAT DESCRIPTIF DES PARAMETRES DE POLLUTION ET D'AMBIANCE DANS LES ESMS

6.1 Concentration de dioxyde de carbone (CO₂) et confinement de l'air

6.1.1 Dioxyde de carbone (CO₂)

Les distributions des concentrations maximales et moyennes de CO₂ (ppm) dans les ESMS, en journée et nuit, sont présentées dans le Tableau 22. Dans la moitié des pièces des ESMS, la concentration moyenne en CO₂ est supérieure à 620 ppm en journée et à 628 ppm en nuit.

Tableau 22. Distribution des concentrations moyennes et maximum en CO₂ (ppm) en fonction de la période (diurne/nocturne) dans les pièces des ESMS (n=266)

Concentration en CO ₂	Période	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA ± ET
Maximum du CO ₂ *	Journée	686	865	1 063	1 330	1 815	1 138 ± 399
	Nuit	508	606	821	1 102	1 763	940 ± 473
Moyenne du CO ₂	Journée	465	549	620	720	928	650 ± 150
	Nuit	455	519	628	831	1 268	723 ± 304

P : centile ; ET : écart-type ; MA : Moyenne arithmétique ; * Maximum instantané sur 10 minutes.

La distribution du pourcentage de temps avec dépassement du seuil de 800 ppm (VRAI définie par le HCSP) est présentée dans le Tableau 23. En journée, la concentration en CO₂ dépasse 800 ppm pendant au moins 9% du temps dans 50% des pièces (pièces de vie et chambres), et pendant au moins 28% du temps dans 25% des pièces. Le seuil de 800 ppm est dépassé au moins une fois en journée dans 81% des pièces. Pendant la nuit, la concentration en CO₂ dépasse 800 ppm pendant au moins 29% du temps dans 50% des chambres, et pendant au moins 72% du temps dans 25% des chambres. Le seuil de 800 ppm est dépassé au moins une fois pendant la nuit dans 71% des pièces.

Tableau 23. Distribution des pourcentages de temps où les concentrations en CO₂ dépassent le seuil de 800 ppm en fonction de la pièce et de la période (diurne/nocturne)

% de temps avec dépassement de 800 ppm	Période	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=89)	Journée	0%	1%	9%	28%	62%	18% ± 2%
Chambre (n=177)	Journée	0%	1%	9%	28%	65%	19% ± 2%
	Nuit	0%	0%	29%	72%	100%	40% ± 1%

P : centile ; ET : écart-type ; MA : Moyenne arithmétique

6.1.2 Confinement de l'air : indice ICONE

L'indice ICONE donne une indication sur le confinement de l'air dans une pièce et est représenté sur une échelle allant de 0 (confinement nul) à 5 (confinement extrême). La Figure 12 présente la répartition des pièces de vie en fonction de leur indice ICONE en journée. En journée, aucune pièce de vie ne présente un ICONE élevé, très élevé ou extrême, c'est-à-dire supérieur à 3. L'ICONE est nul dans 93% des pièces de vie et faible dans 7% des pièces de vie durant la nuit.

La Figure 13 présente la répartition des chambres en fonction de leur indice ICONe, en journée et nuit. Aucune chambre ne présente un ICONe extrême en journée, c'est-à-dire égal à 5. L'ICONe est très élevé ou extrême dans 6% des chambres pendant la nuit.

La campagne ESMS montre que la majorité des pièces possède un indice de confinement faible voire nul, ce qui reflète un bon renouvellement de l'air intérieur par rapport à l'occupation des pièces.

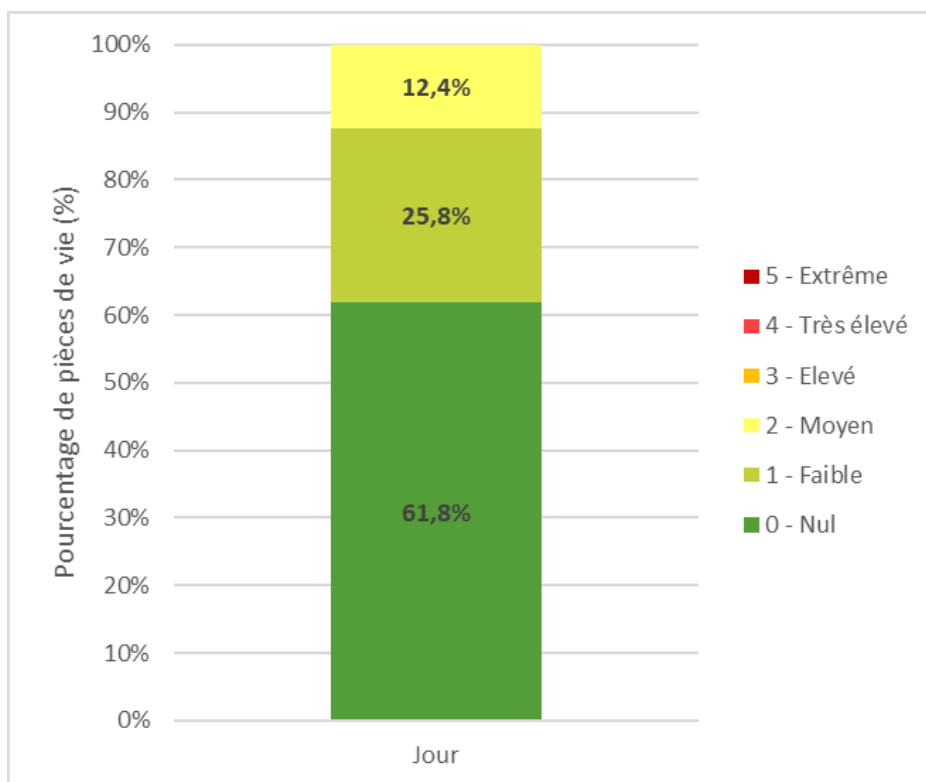


Figure 12. Répartition des pièces de vie en fonction de leur indice ICONe en journée (n=89)

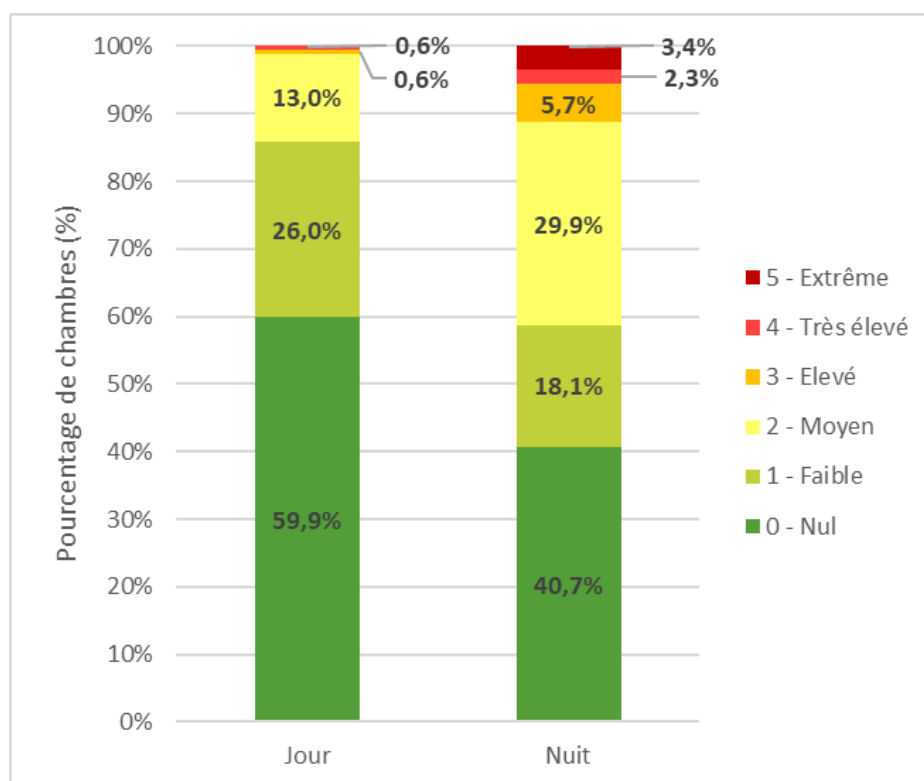


Figure 13. Répartition des chambres en fonction de leur indice ICONE et de la période de mesure (n=177)

L'indice ICONE calculé sur la journée (ICONE jour) valide cette observation. En effet, sur les 266 pièces considérées, seules deux pièces (chambres) possèdent un indice ICONE supérieur à 3. Trente-quatre pièces (23 chambres et 11 pièces de vie commune) présentent un indice ICONE égal à 2, et 69 pièces (46 chambres et 23 pièces de vie commune) ont un indice ICONE égal à 1. Enfin, 161 pièces ont un indice ICONE nul.

La nuit la tendance s'inverse puisque l'indice ICONE est plus élevé. L'estimation la plus forte est observée dans 6 chambres et est égale à 5, soit un confinement extrême. Quatre chambres ont un indice ICONE égal à 4, 10 chambres ont un indice ICONE égal à 3, 53 chambres ont un indice ICONE égal à 2, 32 chambres ont un indice ICONE faible et 72 chambres ont un indice ICONE nul. Ce constat s'explique par une plus forte occupation des chambres la nuit où un renouvellement de l'air correct n'est pas forcément assuré. Enfin, l'indice ICONE est nul dans 83 pièces de vie commune et faible dans 6 pièces de vie commune durant la nuit, en l'absence d'occupation sur cette plage horaire.

6.2 Température et humidité relative intérieures

6.2.1 Toutes saisons

Les distributions des valeurs minimales, maximales et moyennes de la température et de l'humidité relative après lissage sont présentées dans les Tableau 24 et Tableau 25, en fonction du type de pièce (pièce de vie et chambre) et de la période de mesure (jour et nuit).

Tableau 24. Distributions des valeurs lissées horaires minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=89)	Jour	Min. des températures (°C)	16,0	20,0	22,9	19,8 ± 2,2
		Max. des températures (°C)	22,0	24,4	28,5	25,0 ± 2,3
		Moyennes des températures (°C)	20,2	22,8	25,2	22,8 ± 1,6
	Nuit	Min. des températures (°C)	17,0	20,2	23,7	20,2 ± 1,9
		Max. des températures (°C)	20,7	24,0	27,2	24,1 ± 1,8
		Moyennes des températures (°C)	19,6	22,2	24,9	22,3 ± 1,5
Chambre (n=179)	Jour	Min. des températures (°C)	14,8	20,6	23,6	20,2 ± 2,9
		Max. des températures (°C)	21,8	24,3	28,7	24,6 ± 2,2
		Moyennes des températures (°C)	19,6	23,0	25,8	22,8 ± 2,0
	Nuit	Min. des températures (°C)	16,8	21,7	24,3	21,3 ± 2,4
		Max. des températures (°C)	21,3	24,1	27,7	24,2 ± 2,0
		Moyennes des températures (°C)	19,2	22,9	25,7	22,9 ± 1,9

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

Toutes saisons confondues, la moyenne des températures dans les pièces de vie des ESMS est égale à $22,8 \pm 1,6$ °C le jour et $22,3 \pm 1,5$ °C la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, la température maximale horaire est supérieure à 24,4 °C le jour et 24,0 °C la nuit. Dans 5 % des pièces de vie, la valeur minimale horaire de la température est inférieure ou égale à 16,0 °C le jour et 17,0 °C la nuit. A l'inverse, dans 5 % des pièces de vie, la température horaire maximale est supérieure ou égale à 28,5 °C le jour et 27,2 °C la nuit.

Dans les chambres, la moyenne des températures est égale à $22,8 \pm 2,0$ °C le jour et $22,9 \pm 1,9$ °C la nuit. Dans la moitié des chambres, la température maximale horaire est supérieure à 24,3 °C le jour et 24,1 °C la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale horaire de la température est inférieure ou égale à 14,8 °C le jour et 16,8 °C la nuit. A l'inverse, dans 5 % des chambres, la température horaire maximale est supérieure ou égale à 28,7 °C le jour et 27,7 °C la nuit.

Toutes saisons confondues, la moyenne des humidités relatives dans les pièces de vie des ESMS est égale à $41 \% \pm 9 \%$ le jour et la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 52 % le jour et 50 % la nuit. Dans 5 % des pièces de vie, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 19 % le jour et 20 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des pièces de vie, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 70 % le jour et 68 % la nuit.

Concernant les chambres, la moyenne des humidités relatives est égale à $42 \% \pm 8 \%$ le jour et la nuit. Dans la moitié des chambres, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 53 % le jour et 52 % la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 21 % le jour et 22 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des chambres, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 70 % le jour et 69 % la nuit.

Tableau 25. Distributions des valeurs lissées horaires minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=89)	Jour	Min. des RH (%)	19%	31%	44%	31 % ± 7 %
		Max. RH (%)	38%	52%	70%	53 % ± 10 %
		Moyennes des RH (%)	27%	40%	57%	41 % ± 9 %
	Nuit	Min. des RH (%)	20%	32%	45%	32 % ± 8 %
		Max. RH (%)	37%	50%	68%	52 % ± 10 %
		Moyennes des RH (%)	27%	40%	56%	41 % ± 9 %
Chambre (n=178)	Jour	Min. des RH (%)	21%	32%	46%	32 % ± 7 %
		Max. RH (%)	39%	53%	70%	53 % ± 10 %
		Moyennes des RH (%)	30%	41%	57%	42 % ± 8 %
	Nuit	Min. des RH (%)	22%	34%	48%	34 % ± 8 %
		Max. RH (%)	36%	52%	69%	51 % ± 9 %
		Moyennes des RH (%)	29%	42%	58%	42 % ± 8 %

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

6.2.2 Période de chauffe

Les distributions des valeurs minimales, maximales et moyennes de la température et de l'humidité relative après lissage, en période de chauffe, sont présentées dans les Tableau 26 et Tableau 27, en fonction du type de pièce (pièce de vie et chambre) et de la période de mesure (jour et nuit).

Tableau 26. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS en période de chauffe

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=65)	Jour	Min. des températures (°C)	16,7	19,9	22,9	19,6 ± 2,0
		Max. des températures (°C)	22,0	24,0	27,2	24,5 ± 1,9
		Moyennes des températures (°C)	20,2	22,6	24,9	22,5 ± 1,6
	Nuit	Min. des températures (°C)	17,0	20,0	23,8	20,0 ± 1,8
		Max. des températures (°C)	20,7	23,5	26,0	23,6 ± 1,5
		Moyennes des températures (°C)	19,6	22,1	24,8	22,0 ± 1,5
Chambre (n=131)	Jour	Min. des températures (°C)	14,8	19,9	23,1	19,5 ± 2,8
		Max. des températures (°C)	21,9	24,0	28,1	24,2 ± 2,1
		Moyennes des températures (°C)	19,6	22,5	24,9	22,4 ± 1,7
	Nuit	Min. des températures (°C)	16,6	21,3	24,1	20,8 ± 2,4
		Max. des températures (°C)	21,3	23,7	26,2	23,7 ± 1,7
		Moyennes des températures (°C)	19,2	22,5	25,1	22,4 ± 1,7

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

En période de chauffe, la moyenne des températures dans les pièces de vie des ESMS est égale à 22,5 ± 1,6 °C le jour et 22,0 ± 1,5 °C la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, la température maximale lissée est supérieure à 24,0 °C le jour et 23,5 °C la nuit. Dans 5% des pièces de vie, la valeur minimale lissée de la température est inférieure ou égale à 16,7 °C le jour et 17,0 °C la nuit. A l'inverse, dans 5 % des

pièces de vie, la température lissée maximale est supérieure ou égale à 27,2 °C le jour et 26,0 °C la nuit.

Dans les chambres, la moyenne des températures est égale à 22,4 ± 1,7 °C le jour et la nuit. Dans la moitié des chambres, la température maximale lissée est supérieure à 24,0 °C le jour et 23,7 °C la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale lissée de la température est inférieure ou égale à 14,8 °C le jour et 16,6 °C la nuit. A l'inverse, dans 5% des chambres, la température lissée maximale est supérieure ou égale à 28,1 °C le jour et 26,2 °C la nuit.

Tableau 27. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS en période de chauffe

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=65)	Jour	Min. des RH (%)	18%	28%	39%	29 % ± 7 %
		Max. RH (%)	37%	48%	64%	49 % ± 9 %
		Moyennes des RH (%)	26%	38%	52%	38 % ± 7 %
	Nuit	Min. des RH (%)	20%	29%	41%	30 % ± 7 %
		Max. RH (%)	36%	48%	63%	48 % ± 8 %
		Moyennes des RH (%)	27%	37%	52%	37 % ± 7 %
Chambre (n=130)	Jour	Min. des RH (%)	20%	30%	43%	30 % ± 7 %
		Max. RH (%)	38%	49%	65%	50 % ± 8 %
		Moyennes des RH (%)	27%	39%	50%	39 % ± 7 %
	Nuit	Min. des RH (%)	21%	32%	45%	32 % ± 7 %
		Max. RH (%)	36%	47%	62%	48 % ± 8 %
		Moyennes des RH (%)	27%	39%	52%	39 % ± 7 %

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

En période de chauffe, la moyenne des humidités relatives dans les pièces de vie des ESMS est égale à 38 % ± 7 % le jour et 37 % ± 7 % la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 48 % le jour et la nuit. Dans 5 % des pièces de vie, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 18 % le jour et 20 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des pièces de vie, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 64 % le jour et 63 % la nuit.

Concernant les chambres, la moyenne des humidités relatives est égale à 39 % ± 7 % le jour et la nuit. Dans la moitié des chambres, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 49 % le jour et 47 % la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 20 % le jour et 21 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des chambres, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 65 % le jour et 62 % la nuit.

6.2.3 Hors période de chauffe

Les distributions des valeurs minimales, maximales et moyennes de la température et de l'humidité relative après lissage, hors période de chauffe, sont présentées dans les Tableau 28 et Tableau 29, en fonction du type de pièce (pièce de vie et chambre) et de la période de mesure (jour et nuit).

Tableau 28. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de la température (°Celsius) dans les ESMS hors période de chauffe

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=24)	Jour	Min. des températures (°C)	15,6	21,0	22,9	20,4 ± 2,5
		Max. des températures (°C)	22,3	25,9	31,1	26,4 ± 2,9
		Moyennes des températures (°C)	21,2	23,9	25,2	23,6 ± 1,5
	Nuit	Min. des températures (°C)	15,6	21,1	23,2	20,8 ± 2,2
		Max. des températures (°C)	21,5	25,2	28,4	25,3 ± 1,8
		Moyennes des températures (°C)	20,5	23,2	25,0	23,1 ± 1,5
Chambre (n=48)	Jour	Min. des températures (°C)	19,8	22,5	24,5	21,9 ± 2,4
		Max. des températures (°C)	21,6	25,8	29,8	25,8 ± 2,1
		Moyennes des températures (°C)	20,8	24,1	26,9	24,1 ± 2,0
	Nuit	Min. des températures (°C)	19,6	22,8	24,9	22,5 ± 2,0
		Max. des températures (°C)	21,6	25,6	29,4	25,6 ± 2,2
		Moyennes des températures (°C)	20,7	24,3	27,0	24,1 ± 1,9

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

Hors période de chauffe, la moyenne des températures dans les pièces de vie des ESMS est égale à 23,6 ± 1,5 °C le jour et 23,1 ± 1,5 °C la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, la température maximale lissée est supérieure à 25,9 °C le jour et 25,2 °C la nuit. Dans 5% des pièces de vie, la valeur minimale lissée de la température est inférieure ou égale à 15,6 °C le jour et la nuit. A l'inverse, dans 5 % des pièces de vie, la température lissée maximale est supérieure ou égale à 31,1 °C le jour et 28,4 °C la nuit.

Tableau 29. Distributions des valeurs horaires lissées minimales, maximales et moyennes de l'humidité relative (RH %) dans les ESMS hors période de chauffe

Pièce	Période	Paramètre	P5	Médiane	P95	MA ± ET
Pièce de vie (n=24)	Jour	Min. des RH (%)	28%	37%	45%	37 % ± 6 %
		Max. RH (%)	55%	63%	72%	63 % ± 6 %
		Moyennes des RH (%)	40%	49%	59%	49 % ± 6 %
	Nuit	Min. des RH (%)	29%	38%	46%	38 % ± 6 %
		Max. RH (%)	55%	61%	72%	62 % ± 6 %
		Moyennes des RH (%)	43%	49%	58%	50 % ± 5 %
Chambre (n=48)	Jour	Min. des RH (%)	28%	37%	48%	38 % ± 6 %
		Max. RH (%)	51%	61%	72%	62 % ± 6 %
		Moyennes des RH (%)	39%	48%	59%	49 % ± 6 %
	Nuit	Min. des RH (%)	30%	39%	50%	39 % ± 7 %
		Max. RH (%)	52%	60%	70%	61 % ± 6 %
		Moyennes des RH (%)	41%	50%	60%	50 % ± 6 %

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

Dans les chambres, la moyenne des températures est égale à 24,1 ± 2,0 °C le jour et 24,1 ± 1,9 °C la nuit. Dans la moitié des chambres, la température maximale lissée est supérieure à 25,8 °C le jour et 25,6 °C la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale lissée de la température est inférieure ou

égale à 19,8 °C le jour et 19,6 °C la nuit. A l'inverse, dans 5% des chambres, la température lissée maximale est supérieure ou égale à 29,8 °C le jour et 29,4 °C la nuit.

Hors période de chauffe, la moyenne des humidités relatives dans les pièces de vie des ESMS est égale à 49 % ± 6 % le jour et 50 % ± 5 % la nuit. Dans la moitié des pièces de vie, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 63 % le jour et 61 % la nuit. Dans 5 % des pièces de vie, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 28 % le jour et 29 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des pièces de vie, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 72 % le jour et la nuit.

Concernant les chambres, la moyenne des humidités relatives est égale à 49 % ± 6 % le jour et 50 % ± 6 % la nuit. Dans la moitié des chambres, l'humidité relative maximale lissée est supérieure à 61 % le jour et 60 % la nuit. Dans 5 % des chambres, la valeur minimale lissée de l'humidité relative est inférieure ou égale à 28 % le jour et 30 % la nuit. A l'inverse, dans 5 % des chambres, l'humidité relative lissée maximale est supérieure ou égale à 72 % le jour et 70 % la nuit.

6.3 Particules PM_{2,5}

6.3.1 Distribution des concentrations

La distribution des concentrations de PM_{2,5} dans les ESMS est présentée dans le Tableau 30. Quarante-vingt-dix-neuf pourcents des concentrations mesurées dépassent la limite de détection. La médiane de concentration se situe à 7,8 µg/m³.

Tableau 30. Description de la distribution des concentrations de PM_{2,5} (µg/m³) dans l'air des pièces des ESMS (n = 260).

Estimateurs	Valeurs pour les PM _{2,5}
n	260
Pourcentage de dépassement de la LD	99%
5 ^{ème} centile	3,8 µg/m ³
25 ^{ème} centile	5,7 µg/m ³
Médiane	7,8 µg/m ³
75 ^{ème} centile	10,6 µg/m ³
95 ^{ème} centile	16,8 µg/m ³
Moyenne arithmétique ± écart-type	8,5 ± 4,1 µg/m ³

LD : limite de détection ; LD = 1,043 µg/m³ pour les pièces de vie ; LD = 2,846 µg/m³ pour les chambres

6.3.2 Comparaison des niveaux de concentration aux valeurs limites

Depuis le 22 septembre 2021, la valeur guide journalière de l'Organisation mondiale de la santé (OMS, WHO en anglais) a été mise à jour et abaissée à 15 µg/m³. Cette nouvelle valeur est dépassée dans 8% (n=21) des 260 pièces considérées (Tableau 31). A l'échelle des établissements, 18% (n=17) des 94 ESMS considérés possèdent au moins une pièce dépassant la nouvelle valeur conseillée par l'OMS. Aucune valeur de concentration mesurée dans les ESMS ne dépasse la VAR de 50 µg/m³.

Tableau 31. Pourcentage de pièces avec des concentrations de PM_{2,5} dépassants la valeur guide de qualité d'air intérieur existante

Valeur limite PM _{2,5}	Pourcentage de dépassement de la valeur limite pièce)	Pourcentage de dépassement de la valeur limite (dans au moins une pièce d'un ESMS)
15 µg/m ³ (WHO 2021)	8% (n=21)	18% (n=17)
25 µg/m ³ (WHO 2005)	0,4% (n=1)	1% (n=1)
50 µg/m ³ (HCSP 2013)	0% (n=0)	0% (n=0)

6.4 Dioxyde d'azote (NO₂)

6.4.1 Distribution des concentrations

La distribution des concentrations de dioxyde d'azote est présentée dans le Tableau 32. Les pourcentages de valeurs de concentration dépassant la LD et la LQ sont respectivement de 90% et 71%. La médiane de concentration se situe à 5,3 µg/m³.

Tableau 32. Distribution des concentrations de NO₂ (µg/m³) dans l'air des ESMS.

Estimateurs	Valeurs pour le NO ₂₅
n	290
Pourcentage de dépassement de la LD	90%
Pourcentage de dépassement de la LQ	71%
5 ^{ème} centile	< LD
25 ^{ème} centile	< LQ
Médiane	5,3 µg/m ³
75 ^{ème} centile	11,4 µg/m ³
95 ^{ème} centile	26,7 µg/m ³
Moyenne arithmétique ± écart-type	8,8 ± 11,4 µg/m ³

LD : limite de détection ; LQ : limite de quantification ; LD = 1,046 µg/m³ ; LQ = 3,138 µg/m³.

6.4.2 Comparaison des niveaux de concentration aux valeurs limites

Une valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAI) (voir glossaire, page 13) existe pour le NO₂ (Anses 2013). Cette valeur est dépassée dans 12% (n=34) des 290 pièces considérées (Tableau 33). A l'échelle des établissements, 16% (n=16) des 97 ESMS considérés possèdent au moins une pièce dépassant la VGAI fixée par l'ANSES.

Tableau 33. Pourcentage de pièces avec des concentrations de NO₂ dépassant la valeur guide de qualité d'air intérieur existante

VGAI NO ₂ ^a	Pourcentage de dépassement de la VGAI (pièce)	Pourcentage de dépassement de la VGAI (dans au moins une pièce d'un ESMS)
20 µg/m ³ (Anses 2013)	12% (n=34)	16% (n=16)

^a VGAI : voir glossaire, page 12.

6.5 Composés organiques volatils (COV)

6.5.1 Distribution des concentrations

Les fréquences de détection, de quantification et les estimateurs décrivant les distributions des concentrations de COV dans les pièces des ESMS sont présentés dans le Tableau 35 et le Tableau 36.

6.5.2 Comparaison des niveaux de concentration aux valeurs limites

Plusieurs valeurs limites sont disponibles pour le benzène (cf. paragraphe 4.2). Le benzène, le toluène, le tétrachloroéthylène et l'éthylbenzène sont des polluants pour lesquels il existe des VGAI. Ces valeurs ne sont jamais dépassées pour l'éthylbenzène, le tétrachloroéthylène, le toluène et le trichloroéthylène (Tableau 34). En revanche, 5% (n=15) des 286 pièces considérées dépassent la valeur guide réglementaire pour le benzène. A l'échelle des établissements, 9% (n=9) des 96 ESMS considérés possèdent au moins une pièce dépassant cette valeur limite pour le benzène. Seulement 1% des établissements dépasse la VRAI de 5 µg/m³, et aucun la VAR de 10 µg/m³.

Tableau 34. Pourcentages de pièces avec des concentrations de benzène, éthylbenzène, tétrachloroéthylène, toluène et trichloroéthylène, et dépassant les valeurs guide de qualité d'air intérieur existantes

Polluants	Valeur limite	Pourcentage de dépassement de la valeur limite (pièce)	Pourcentage de dépassement de la valeur limite (dans au moins une pièce d'un ESMS)
Benzène	2 µg/m ³ (Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011)	5% (n=15)	9% (n=9)
	5 µg/m ³ (HCSP 2010)	0,3% (n=1)	1% (n=1)
	10 µg/m ³ (HCSP 2010)	0% (n=0)	0% (n=0)
Ethylbenzène	1 500 µg/m ³ (Anses 2016)	0%	0%
Tétrachloroéthylène	250 µg/m ³ (Anses 2010)	0%	0%
Toluène	20 000 µg/m ³ (Anses 2018b)	0%	0%
Trichloroéthylène	10 µg/m ³ (Anses 2019)	0%	0%

^a VGAI : voir glossaire, page 13.

Tableau 35. Distributions des concentrations de COV passifs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air des pièces de vie et chambres des ESMS (n=286 pièces)

COV passifs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LD	LQ	% > LD	% > LQ	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA $\pm$ ET
1,2,4-Triméthylbenzène	0,05	0,05	78%	78%	<LD	0,1	0,1	0,3	1,2	0,3 $\pm$ 0,5
1,4-Dichlorobenzène	0,005	0,01	86%	51%	<LD	<LQ	0,02	0,04	0,3	0,1 $\pm$ 0,2
1-Méthoxy-2-propanol	0,02	0,02	100%	100%	0,1	0,2	0,4	0,9	5,3	1,1 $\pm$ 2,0
1-Méthoxy-2-propylacétate (PGMEA)	0,04	0,04	69%	69%	<LD	<LD	0,1	0,3	1,4	0,4 $\pm$ 1,3
2-Butoxyéthanol	0,1	0,1	87%	87%	<LD	0,2	0,6	1,5	8,2	3,0 $\pm$ 13,6
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	1,4	1,4	65%	65%	<LD	<LD	2,6	5,7	21,7	5,8 $\pm$ 11,3
Benzène	0,2	0,2	85%	85%	<LD	0,3	0,6	1,1	2,2	0,8 $\pm$ 0,7
n-Décane	0,1	0,1	57%	57%	<LD	<LD	0,1	0,2	0,7	0,3 $\pm$ 1,1
Ethylbenzène	0,03	0,03	100%	100%	0,1	0,2	0,4	0,7	2,1	0,6 $\pm$ 0,7
n-Heptane	0,1	0,1	69%	69%	<LD	<LD	0,2	0,5	1,3	0,5 $\pm$ 1,8
n-Hexane	0,2	0,2	33%	33%	<LD	<LD	<LD	0,2	0,5	0,2 $\pm$ 0,2
Limonène	0,2	0,2	98%	98%	0,4	1,8	4,2	10,0	29,8	9,0 $\pm$ 16,4
n-Nonane	0,03	0,03	72%	72%	<LD	<LD	0,1	0,2	1,3	0,3 $\pm$ 0,8
n-Octane	0,01	0,01	99%	99%	0,02	0,04	0,1	0,1	0,3	0,1 $\pm$ 0,1
alpha-Pinène	0,03	0,1	99%	99%	0,2	0,8	1,7	3,7	9,5	3,2 $\pm$ 5,3
Styrène	0,1	0,1	99%	99%	0,1	0,2	0,3	0,4	1,3	0,5 $\pm$ 0,7
Toluène	0,5	0,5	86%	86%	<LD	0,6	1,1	1,8	3,8	1,5 $\pm$ 1,4
Tétrachloroéthylène	0,004	0,01	99%	90%	<LQ	0,02	0,04	0,1	0,2	0,1 $\pm$ 0,2
n-Undécane	0,5	0,5	6%	6%	<LD	<LD	<LD	<LD	0,5	<LD
Trichloroéthylène	0,03	0,03	5%	5%	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
m-Xylènes	0,1	0,1	100%	100%	0,1	0,3	0,6	1,1	3,4	1,1 $\pm$ 1,4
p-Xylènes	0,02	0,02	100%	100%	0,1	0,1	0,2	0,4	1,3	0,4 $\pm$ 0,6
o-Xylène	0,03	0,03	99%	99%	0,1	0,2	0,3	0,6	1,7	0,6 $\pm$ 0,7

LD : limite de détection ; LQ : limite de quantification ; ET : écart-type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile ; % > : pourcentage de dépassement

Tableau 36. Distributions des concentrations de COV actifs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air des pièces de vie des ESMS (n=88 pièces de vie commune)

COV actifs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LD	LQ	% > LD	% > LQ	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA $\pm$ ET
1,2,4-Triméthylbenzène	0,1	0,5	45%	16%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,1	<LQ
1,4-Dichlorobenzène	0,1	0,5	3%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
1-Méthoxy-2-propanol	0,2	0,5	57%	32%	< LD	< LD	< LQ	0,7	5,5	1,7 $\pm$ 5,2
1-Méthoxy-2-propylacétate	0,3	0,5	28%	25%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,6	0,5 $\pm$ 1,2
2-(2-Butoxyéthoxy)éthanol [Ether monobutylique du diéthylène glycol]	2,2	7,2	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
2-(2-Ethoxyethoxy)éthanol	2,2	7,2	2%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
2-Butanone	5,7	5,7	27%	27%	< LD	< LD	< LD	6,2	14,7	<LD
2-Butoxyéthanol	0,1	0,5	35%	15%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,8	0,7 $\pm$ 2,6
2-Butoxy-éthylacétate	0,6	1,9	2%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	1,1	1,1	52%	52%	< LD	< LD	1,3	3,3	10	3,0 $\pm$ 5,1
2-Pentanone	0,2	0,5	42%	14%	< LD	< LD	< LD	< LQ	0,7	<LQ
2-Phénoxyéthanol	2,3	7,7	6%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	<LD
2-Propylène glycol 1-n-butyl éther (2PG1BE) 1-Butoxy-2-propanol	0,1	0,5	45%	22%	< LD	< LD	< LD	< LQ	18,9	2,5 $\pm$ 8
6-Méthyl-5-heptèn-2-one	0,1	0,5	82%	53%	< LD	< LQ	0,5	1	2,6	1,2 $\pm$ 2,6
Acétate de géranyle	0,7	2,3	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Acétophénone	0,5	0,5	25%	25%	< LD	< LD	< LD	< LD	1,1	<LD
Allyl methyl sulfide	0,1	0,5	1%	1%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LQ
alpha-Pinène	0,2	0,5	78%	44%	< LD	< LQ	< LQ	0,8	2,3	0,8 $\pm$ 1,7
alpha-Terpinéol	0,1	0,5	18%	16%	< LD	< LD	< LD	< LD	2,4	0,5 $\pm$ 1,5
Benzène	1,5	1,5	26%	26%	< LD	< LD	< LD	1,5	2,7	<LD
Camphène	0,1	0,5	10%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	<LD
Citral	0,7	2,3	1%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Citronellol	2,4	7,9	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Cyclohexanone	0,2	0,5	32%	16%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,5	0,5 $\pm$ 1,5
Cyclopentane	2,5	2,5	2%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Décaméthylcyclopentasiloxane (D5)	0,5	0,5	77%	77%	< LD	0,6	1,6	4,9	17,1	7,3 $\pm$ 22,8
Dihydromyrcénol	0,1	0,5	40%	19%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,2	<LQ
Dipropylène glycol	4,6	15,3	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Dipropylène glycol monométhyl éther	2,3	7,7	9%	3%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	<LQ

COV actifs (µg/m³)	LD	LQ	% > LD	% > LQ	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA ± ET
dl-Carvone	0,2	0,5	13%	3%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	< LQ
dl-Menthone	0,1	0,5	10%	1%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	< LD
Dodécamethylcyclohexasiloxane (D6)	0,2	0,5	65%	35%	< LD	< LD	< LQ	0,7	3	0,9 ± 2,6
Ethylbenzène	0,1	0,5	64%	14%	< LD	< LD	< LQ	< LQ	1,2	< LQ
Ethylène glycol	20	66,6	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Eucalyptol	0,1	0,5	65%	35%	< LD	< LD	< LQ	0,7	3,1	0,7 ± 1,4
Géraniol	2,2	7,2	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Hexaméthylcyclotrisiloxane (D3)	4,3	4,3	8%	8%	< LD	< LD	< LD	< LD	5,1	< LD
Hydroxycitronellal	0,6	2	0%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Limonène	0,4	0,5	82%	80%	< LD	0,5	3	10,5	68,9	21,9 ± 93,1
Linalool	0,5	0,5	15%	15%	< LD	< LD	< LD	< LD	2,9	1,5 ± 9,0
Méthylcyclohexane	0,8	0,8	6%	6%	< LD	< LD	< LD	< LD	1	1,0 ± 4,1
MIBK (méthylisobutylcétone)	0,2	0,5	38%	20%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,8	< LQ
m-Xylènes	0,3	0,5	50%	40%	< LD	< LD	< LD	0,6	2,3	0,7 ± 1,5
Naphtalène	0,3	0,5	8%	3%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	< LQ
n-Decanal	0,6	0,6	76%	76%	< LD	0,7	1,2	3,3	8,3	2,7 ± 4,2
n-Décane	0,2	0,5	44%	22%	< LD	< LD	< LD	< LQ	3,2	4,5 ± 36,2
n-Dodécane	0,2	0,5	26%	16%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,7	< LQ
n-Heptane	1,8	1,8	5%	5%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
n-Hexadécane	0,2	0,5	35%	13%	< LD	< LD	< LD	< LQ	0,6	< LQ
n-Hexane	0,2	0,5	18%	8%	< LD	< LD	< LD	< LD	0,7	< LD
n-Nonanal	0,8	1,9	80%	59%	< LD	< LQ	2,5	6,3	36,4	6,5 ± 12,0
n-Nonane	0,1	0,5	41%	13%	< LD	< LD	< LD	< LQ	0,9	0,8 ± 4,2
n-Octane	0,1	0,5	26%	2%	< LD	< LD	< LD	< LQ	< LQ	< LD
n-Pentadécane	0,1	0,5	35%	6%	< LD	< LD	< LD	< LQ	0,5	< LQ
n-Undécane	0,2	0,5	56%	24%	< LD	< LD	< LQ	< LQ	3	1,3 ± 5,5
Octaméthylcyclotétrasiloxane (D4)	0,7	0,7	17%	17%	< LD	< LD	< LD	< LD	1,1	< LD
o-Xylène	0,2	0,5	47%	14%	< LD	< LD	< LD	< LQ	1,1	< LQ
Pentane	2	2	20%	20%	< LD	< LD	< LD	< LD	8,1	2,2 ± 3,5
Phénol	3,2	3,2	7%	7%	< LD	< LD	< LD	< LD	4,1	< LD

COV actifs (µg/m³)	LD	LQ	% > LD	% > LQ	P5	P25	Médiane	P75	P95	MA ± ET
p-Xylènes	0,1	0,5	47%	9%	< LD	< LD	< LD	< LQ	0,9	<LQ
Styrène	0,2	0,5	24%	3%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LQ	<LD
Terpinolène	0,1	0,5	1%	0%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Tétrachloroéthylène	0,1	0,5	5%	1%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD
Toluène	0,4	0,5	77%	75%	< LD	0,5	0,8	1,3	2,7	2,8 ± 15,4
Trichloroéthylène	0,4	0,5	2%	2%	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	<LD

LD : limite de détection ; LQ : limite de quantification ; ET : écart-type ; MA : moyenne arithmétique ; P : centile.

6.6 Aldéhydes

6.6.1 Distributions des concentrations

Les fréquences de détection et de quantification et les distributions des concentrations d'aldéhydes dans les ESMS sont présentées dans le Tableau 37. Dans les ESMS, les formaldéhyde, acétaldéhyde et hexaldéhyde sont détectés dans 100 % des cas. Ils sont également systématiquement quantifiés (voir glossaire, page 13). La LD est égale à la LQ.

Les distributions des concentrations d'aldéhydes dans les pièces des ESMS sont présentées dans le Tableau 37.

Tableau 37. Distributions des concentrations en aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air des pièces des ESMS

Estimateurs	Formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Acétaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Benzaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Hexaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
n	288	288	288	288
LD	0,6	0,8	0,3	0,6
Pourcentage de dépassement de la LD	100%	100%	62%	100%
5 ^{ème} centile	3,6	2,5	<LD	3,0
25 ^{ème} centile	5,7	3,5	<LD	4,4
Médiane	8,1	4,6	0,3	6,1
75 ^{ème} centile	12,1	6,4	0,6	9,0
95 ^{ème} centile	24,9	13,4	1,1	21,7
Moyenne arithmétique $\pm$ écart-type	10,4 $\pm$ 7,6	5,7 $\pm$ 3,6	0,4 $\pm$ 0,3	8,5 $\pm$ 9,9

LD : limite de détection, LQ : limite de quantification ; P : centile ; ET : écart-type ; MA : moyenne arithmétique.

6.6.2 Comparaison par rapport aux valeurs limites

Une VGAI existe pour le formaldéhyde. Cette valeur n'est dépassée dans aucune pièce dans les ESMS (Tableau 38). Une valeur-guide réglementaire pour l'air intérieur existe également pour le formaldéhyde. Cette valeur est dépassée dans 2% (n=7) des 288 pièces considérées (Tableau 38). A l'échelle des établissements, 6% (n=6) des 96 ESMS considérés possèdent au moins une pièce dépassant la valeur repère d'aide à la gestion de la QAI fixée par le HCSP.

Une VGAI existe pour l'acétaldéhyde. Cette valeur n'est dépassée dans aucune pièce dans les ESMS.

Tableau 38. Pourcentage de pièces avec des concentrations en formaldéhyde dépassant les valeurs réglementaires et repère.

Polluant	Valeurs limites	Pourcentage de pièces > valeur limite
Formaldéhyde	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011)	2% (n=7)
	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anses 2018a)	0%
	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anses 2014)	0%

6.7 Comparaison des pièces de vie et chambres des ESMS

Les comparaisons ont été réalisées pour les EHPAD et établissements accueillant des enfants handicapés uniquement, car ils présentent des effectifs suffisants pour les tests statistiques. Les concentrations de $PM_{2,5}$ et NO_2 sont significativement plus élevées dans les pièces de vie par rapport aux chambres. A l'inverse, les concentrations de 2-butoxyéthanol, 2-éthylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol), 1,4-dichlorobenzène et aldéhydes sont significativement plus élevées dans les chambres par rapport aux pièces de vie. Les chambres présentent également des ICONE, températures et humidités relatives plus élevées que dans les pièces de vie pendant la nuit. Ces différences sont principalement constatées dans l'échantillon des EHPAD dont l'effectif est plus important que les autres types d'établissements. Les différences relatives aux $PM_{2,5}$ sont observées dans les EHPAD et établissements accueillant des enfants handicapés (Tableau 39, Tableau 40).

6.8 Comparaison de la pollution et du confort avant et après le premier confinement

Les concentrations de décane et limonène (prélèvements actifs) sont significativement plus faibles dans les pièces de vie instrumentées après le premier confinement par rapport à celles instrumentées avant. Les concentrations de $PM_{2,5}$ et NO_2 sont également significativement plus faibles dans les chambres instrumentées après le premier confinement. En revanche, les concentrations de nonanal (prélèvement actif) et alpha-pinène (prélèvement passif), formaldéhyde, acétaldéhyde, les températures et humidités relatives sont plus élevées dans les pièces instrumentées après le premier confinement (Tableau 41).

Tableau 39. Comparaison des paramètres entre les pièces de vie et chambres dans les EHPAD

Paramètre	Pièces de vie				Chambres				Niveau de significativité
	n	P5	P50	P95	n	P5	P50	P95	
1,2,4-triméthylbenzène	49	< LD	0,2	2,1	102	< LD	0,1	1,6	NS
1,4-Dichlorobenzène	49	< LD	< LQ	0,1	102	< LD	0,03	0,3	***
1-Méthoxy-2-propanol	49	0,1	0,3	4,6	102	0,1	0,3	4,8	NS
1-Méthoxy-2-propylacétate (PGMEA)	49	< LD	0,1	2,2	102	< LD	0,1	1,2	NS
2-Butoxyéthanol	49	< LD	0,4	4,7	102	< LD	0,6	2,9	*
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	49	< LD	1,8	8,8	102	< LD	3,2	32,7	***
Benzène	49	< LD	0,6	3,1	102	< LD	0,6	1,8	NS
n-Décane	49	< LD	0,1	1,1	102	< LD	0,1	0,8	NS
Ethylbenzène	49	0,1	0,4	3,4	102	0,1	0,3	2,0	NS
n-Heptane	49	< LD	0,2	1,0	102	< LD	0,2	1,2	NS
n-Hexane	49	< LD	< LD	0,8	102	< LD	< LD	0,4	NS
n-Nonane	49	< LD	0,1	3,0	102	< LD	0,1	1,1	NS
Limonène	49	0,8	4,1	58,7	102	0,5	4,6	26,6	NS
n-Octane	49	0,02	0,1	0,3	102	0,03	0,1	0,3	NS
alpha-Pinène	49	0,1	1,3	7,7	102	0,3	1,4	8,8	NS
Styrène	49	0,1	0,3	0,9	102	0,1	0,3	0,8	NS
Toluène	49	< LD	1,1	6,5	102	< LD	1,1	2,9	NS
Tétrachloroéthylène	49	< LQ	0,03	0,2	102	< LQ	0,04	0,2	NS
Trichloroéthylène	49	< LD	< LD	< LD	102	< LD	< LD	< LD	NS
n-Undécane	49	< LD	< LD	0,7	102	< LD	< LD	0,5	NS
m-Xylènes	49	0,1	0,8	7,3	102	0,1	0,6	3,4	NS
o-Xylène	49	0,1	0,4	3,6	102	0,1	0,3	1,7	NS
p-Xylènes	49	0,0	0,3	2,8	102	0,1	0,2	1,4	NS
Formaldéhyde	50	3,0	5,6	12,3	100	4,4	8,9	18,4	***
Acétaldéhyde	50	2,0	4,2	14,0	100	2,8	4,9	11,8	**
Benzaldéhyde	50	< LD	< LD	0,7	100	< LD	0,4	1,0	***
Hexaldéhyde	50	2,6	4,6	19,9	100	3,5	6,3	18,0	**
PM _{2.5}	42	4,9	9,8	19,7	94	3,7	6,5	13,1	***
NO ₂	51	< LQ	6,6	34,2	101	< LD	4,8	26,2	**
ICONE jour	48	0	0	1	97	0	0	1	NS
ICONE nuit	48	0	0	0	97	0	0	2	***
Température jour	48	20,7	23,4	25,2	98	21,0	23,5	26,4	NS
Température nuit	48	20,4	22,6	24,9	98	20,7	23,5	26,0	***
Humidité relative jour	48	25%	40%	57%	98	27%	40%	55%	NS
Humidité relative nuit	48	26%	39%	56%	98	27%	41%	54%	*

*** : p-valeur comprise entre 0 et 0,001 ; ** : p-valeur comprise entre 0,001 et 0,01 ; * : p-valeur comprise entre 0,01 et 0,05 ; NS : non significatif.

*Tableau 40. Comparaison des paramètres entre les pièces de vie et chambres dans les
Etablissements pour handicapés enfants*

Paramètre	Pièces de vie				Chambres				Niveau de significativité
	n	P5	P50	P95	n	P5	P50	P95	
1,2,4-Triméthylbenzène	21	< LD	0,1	1,2	42	< LD	0,1	0,6	NS
1,4-Dichlorobenzène	21	< LD	< LQ	0,3	42	< LD	< LQ	0,4	NS
1-Méthoxy-2-propylacétate (PGMEA)	21	< LD	0,1	1,3	42	< LD	0,05	3,0	NS
1-Méthoxy-2-propanol	21	0,1	0,7	6,9	42	0,05	0,7	5,2	NS
2-Butoxyéthanol	21	< LD	1,4	11,4	42	< LD	1,0	10,5	NS
2-Ethylhexanol (ou 2-éthyl-1-hexanol)	21	< LD	1,9	17,4	42	< LD	2,4	17,4	NS
Benzène	21	< LD	0,6	1,5	42	< LD	0,7	1,8	NS
Décane	21	< LD	0,1	0,3	42	< LD	0,1	0,3	NS
Ethylbenzène	21	0,2	0,5	2,1	42	0,1	0,4	1,8	NS
n-Heptane	21	< LD	0,2	2,9	42	< LD	0,2	1,3	NS
n-Hexane	21	< LD	< LD	0,3	42	< LD	< LD	0,8	NS
n-Nonane	21	< LD	0,1	1,3	42	< LD	0,04	0,4	NS
Limonène	21	0,4	3,4	26,7	42	< LD	2,2	15,3	NS
n-Octane	21	0,02	0,1	0,2	42	0,02	0,1	0,2	NS
alpha-Pinène	21	0,7	1,8	5,3	42	0,4	2,5	9,6	NS
Styrène	21	0,1	0,3	1,1	42	0,1	0,2	1,5	NS
Toluène	21	< LD	1,1	2,0	42	< LD	1,0	3,1	NS
Tétrachloroéthylène	21	0,02	0,03	0,1	42	< LQ	0,04	0,1	NS
Trichloroéthylène	21	< LD	< LD	0,04	42	< LD	< LD	0,1	NS
n-Undécane	21	< LD	< LD	< LD	42	< LD	< LD	< LD	NS
m-Xylènes	21	0,2	0,7	2,9	42	0,2	0,6	3,2	NS
o-Xylène	21	0,1	0,4	1,6	42	0,1	0,4	1,6	NS
p-Xylènes	21	0,1	0,3	1,0	42	0,1	0,3	0,9	NS
Formaldéhyde	21	4,8	12,8	26,7	42	3,6	11,1	33,4	NS
Acétaldéhyde	21	2,9	4,7	9,7	42	2,3	4,0	11,1	NS
Benzaldéhyde	21	< LD	0,4	0,9	42	< LD	0,3	1,2	NS
Hexaldéhyde	21	4,0	8,9	15,5	42	3,4	6,6	27,9	NS
PM _{2,5}	20	3,1	9,6	19,4	39	2,3	6,0	12,5	***
NO ₂	21	< LD	5,6	15,3	42	< LD	5,4	23,2	NS
ICONE jour	18	0	0	2	35	0	0	2	*
ICONE nuit	18	0	0	0	35	0	0	3	**
Température jour	18	19,1	22,4	25,1	35	17,3	21,7	24,4	NS
Température nuit	18	19,1	21,9	24,9	35	18,3	21,7	24,6	NS
Humidité relative jour	18	34%	44%	59%	35	33%	45%	59%	NS
Humidité relative nuit	18	31%	46%	61%	35	34%	46%	61%	NS

*** : p-valeur comprise entre 0 et 0,001 ; ** : p-valeur comprise entre 0,001 et 0,01 ; * : p-valeur comprise entre 0,01 et 0,05 ; NS : non significatif.

Tableau 41. Comparaison avant / après le premier confinement : paramètres différant entre les deux périodes

Type de pièce	Paramètre	Avant		Après		Niveau de significativité
		Nombre de pièces	P50	Nombre de pièces	P50	
Pièces de vie	n-Décane (actif)	48	<LQ	40	<LD	*
	Limonène (actif)	48	4,38	40	0,72	*
	n-Nonanal (actif)	48	<LQ	40	5,49	*
	Humidité relative nuit	52	38,6	37	43,9	*
	alpha-Pinène (passif)	106	1,43	86	2,27	*
	Formaldéhyde	106	8,67	86	10,27	*
	Acétaldéhyde	106	4,33	86	5,39	**
Chambres	PM2.5	99	6,95	78	6,33	*
	NO2	107	5,99	86	4,61	*
	Température jour	105	22,6	74	23,5	**
	Température nuit	105	22,5	74	23,5	**
	Humidité relative jour	105	39,3	73	43,5	**
	Humidité relative nuit	105	40	73	44,6	**

*** : p-valeur comprise entre 0 et 0,001 ; ** : p-valeur comprise entre 0,001 et 0,01 ; * : p-valeur comprise entre 0,01 et 0,05 ; NS : non significatif ; p50 : médiane

7. DISCUSSION

Cette campagne de mesure dans les ESMS en France métropolitaine apporte un éclairage complet et original sur la qualité des environnements intérieurs d'établissements recevant du public, et prochainement visés par la surveillance réglementaire, grâce au grand nombre de paramètres mesurés et de données collectées. Des éléments de mise en perspective des résultats obtenus par rapport aux sources connues des pollutions, aux données de la littérature internationale dans les établissements pour personnes âgées et populations sensibles sont discutés ci-après. Cependant, le manque d'harmonisation dans les méthodes de prélèvements (matériel, durée, etc.) et dans l'expression des résultats (moyennes arithmétiques et/ou médianes) rend difficile ce travail de comparaison. Certaines données de la littérature internationale ont dû être écartées par manque de compatibilité au niveau de la méthode ou de l'expression des résultats (K. Lee et al. 2018).

7.1 Dioxyde de carbone (CO₂)

La ventilation et l'aération jouent un rôle essentiel sur la qualité des environnements intérieurs, car elles permettent d'évacuer l'air vicié, chargé de polluants et d'humidité, et d'apporter un air neuf. Un air faiblement renouvelé est considéré comme confiné. Un bon indicateur du confinement de l'air est la mesure du CO₂ émis par la respiration des personnes présentes : plus la concentration de CO₂ est élevée, plus l'air est confiné. Les facteurs qui affectent le niveau de confinement sont donc les paramètres d'occupation (production métabolique de CO₂ des occupants) et les conditions d'aération. Dans les chambres et les pièces de vie commune des ESMS, ces dernières dépendent de la perméabilité à l'air du bâtiment, du système de ventilation en place et des ouvertures de fenêtres.

La concentration de CO₂ mesurée dans les environnements intérieurs n'a pas d'effet direct sur la santé des occupants, mais est un marqueur de la qualité de l'air intérieur. En effet, un environnement intérieur avec de fortes concentrations de CO₂ indique que le renouvellement de l'air n'est pas suffisant et que les polluants présents peuvent s'accumuler, abaissant ainsi le niveau de qualité de l'air intérieur.

Les distributions des concentrations en CO₂ dans les ESMS ont été calculées sur les périodes diurne et nocturne selon la méthode définie en paragraphe 4.1.1. Les moyennes et médianes obtenues en journée ont été comparées aux données de littérature.

Le Tableau 42 synthétise les données de la littérature scientifique relatives aux concentrations moyennes hebdomadaires de CO₂ mesurées en journée dans les établissements pour personnes âgées et permet une comparaison avec les données obtenues dans les EHPAD de la campagne ESMS.

La concentration moyenne de CO₂ mesurée dans les EHPAD de la campagne ESMS se situe dans la même gamme que les concentrations relevées dans la littérature scientifique et avoisine la concentration mesurée par Hwang et al. dans l'étude menée en Corée du Sud.

Tableau 42. Concentrations moyennes hebdomadaires de CO₂ de la littérature scientifique et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS (effectifs des pièces entre parenthèses)

Nom de l'étude	N	Concentration moyenne* de CO ₂ en ppm	Pays	Année	Référence
ESMS (EHPAD)	145	665	France	2017	
Etude coréenne	168	638	Corée du sud	2014-2015	(Hwang, Roh, et Park 2018)
GERIE	50	572	Europe (Suède, Pologne, Grèce, Italie, France, Belgique, Danemark)	2009-2011	(Annesi-Maesano et al. 2013 ; Bentayeb et al. 2015)
Etude portugaise	20	893	Portugal	2012	(Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014)

*moyenne intégrant les périodes d'occupation et d'inoccupation ; N : effectif des pièces de mesure

Le Tableau 43 synthétise les données de l'étude GERIA relatives aux concentrations médianes de CO₂ mesurées en journée dans les établissements pour personnes âgées et permet une comparaison avec les données obtenues dans les EHPAD de la campagne ESMS.

Tableau 43. Concentrations médianes de CO₂ en période de chauffe et hors-chauffe de l'étude GERIA et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS

Etude	Période de chauffe		Période hors chauffe	
	N	Concentration médiane*	N	Concentration médiane*
ESMS (EHPAD)	101	670 ppm	44	563 ppm
GERIA (Mendes et al. 2016)	131	975 ppm	131	721 ppm

*médiane intégrant les périodes d'occupation et d'inoccupation ; N : effectif des pièces de mesure

Les concentrations médianes en CO₂ mesurées dans les EHPAD de la campagne ESMS sont un peu inférieures aux concentrations mesurées dans l'étude GERIA pour les deux périodes : chauffe et hors-chauffe.

Une limite à noter dans ces deux comparaisons concerne la différence de méthodes adoptées dans chaque étude pour la mesure du CO₂. Dans la campagne ESMS, le CO₂ a été mesuré en continu dans les chambres et les pièces de vie commune pendant 7 jours avec un pas de temps de 10 minutes. Les moyennes et médianes des concentrations ont été calculées sur la période diurne (cf. paragraphe 4.1.1). Certaines études ont mesuré le CO₂ uniquement la nuit dans les chambres et le jour dans les pièces de vie commune sur une durée de 11-16h (Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014), d'autres n'ont mesuré le CO₂ que dans les pièces de vie commune pendant 2 jours (Annesi-Maesano et al. 2013 ; Bentayeb et al. 2015) et, enfin, certaines études n'ont mesuré le CO₂ que sur une période de 30 minutes (Mendes et al. 2016 ; 2013). La comparaison des données CO₂ de la campagne ESMS avec les études de la littérature scientifique est donc délicate et l'interprétation doit être prise avec précaution.

7.2 Paramètres de confort

Les personnes âgées semblent percevoir le confort thermique différemment des personnes plus jeunes, avec comme cause possible, une combinaison entre un vieillissement physique et des

différences comportementales (van Hoof 2006). Plusieurs études montrent que les personnes âgées ont un niveau d'activité et un taux métabolique inférieurs à ceux des personnes plus jeunes et ont donc besoin de températures ambiantes plus élevées (Mendes et al. 2013 ; Havenith 2001). De plus, la capacité à réguler la température corporelle a tendance à diminuer avec l'âge (van Hoof 2006) et les adultes physiologiquement plus âgés préféreraient alors un environnement plus chaud (+2°C) que les personnes plus jeunes (Tsuzuki et Ohfuku 2002). La zone habituelle de confort fixée entre 20 et 24°C ne serait pas assez chaude : une température optimale de 25,3°C serait conseillée pour les personnes âgées sédentaires (Mendes et al. 2013).

Les distributions des températures et humidité relative dans les ESMS ont été calculées sur les périodes diurne et nocturne selon la méthode définie en paragraphe 4.1.1. Les moyennes et médianes obtenues en journée ont été comparées aux données de littérature. Le Tableau 44 synthétise les données de la littérature scientifique relatives aux moyennes de température et d'humidité relative mesurées en journée dans les établissements pour personnes âgées et permet une comparaison avec les données obtenues dans les EHPAD de la campagne ESMS.

Tableau 44. Températures et humidités relatives moyennes de la littérature scientifique et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS

Nom de l'étude	N	Température (°C)	Humidité relative (%)	Pays	Année	Référence
ESMS (EHPAD)	146	23	40	France	2017	
Etude coréenne	168	25	49	Corée du sud	2014-2015	(Hwang, Roh, et Park 2018)
GERIE	50	23	37	Europe (Suède, Pologne, Grèce, Italie, France, Belgique, Danemark)	2009-2011	(Annesi-Maesano et al. 2013 ; Bentayeb et al. 2015)
Etude portugaise	20	21	59	Portugal	2012	(Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014)

N : effectif des pièces de mesure

Les température et humidité relative moyennes mesurées dans les EHPAD de la campagne ESMS sont du même niveau que celles mesurées dans l'étude européenne GERIE.

Le Tableau 45 synthétise les données de la littérature scientifique relatives aux médianes de température et d'humidité relative mesurées en journée en période de chauffe et hors-chauffe dans l'étude GERIA (Mendes et al. 2016) et permet une comparaison avec les données obtenues dans les EHPAD de la campagne ESMS.

Tableau 45. Températures et d'humidités relatives médianes chauffe/hors-chauffe de l'étude GERIA et comparaison avec les EHPAD de la campagne ESMS

Paramètre	Période	ESMS (EHPAD)		GERIA (Mendes et al. 2016)	
		N	Température	N	Température
Température (°C)	Chauffe	103	23	131	20
	Hors-chauffe	43	24	131	24
Humidité relative (% HR)	Chauffe	103	36	131	53
	Hors-chauffe	43	47	131	56

N : effectif des pièces de mesure

La température médiane mesurée en période hors-chauffe dans la campagne ESMS est du même ordre de grandeur que celle mesurée dans l'étude européenne GERIA. Cependant, la température médiane mesurée en période de chauffe dans les EHPAD de la campagne ESMS est plus élevée de 3°C par rapport à l'étude GERIA. Concernant l'humidité relative, les médianes mesurées en période de chauffe et hors-chauffe semblent plus faibles (-17% en chauffe et -9% hors-chauffe) que celle mesurées dans l'étude GERIA.

La limite de cette dernière comparaison réside dans le fait que les échantillons chauffe/hors-chauffe de la campagne ESMS proviennent d'établissements différents (une seule campagne par établissement) alors dans l'étude GERIA deux campagnes de mesure étaient faite par établissement. De plus, à l'instar du CO₂ (cf. 7.1. Dioxyde de carbone (CO₂), page 82), les différences notables dans la méthode de mesure de la température et de l'humidité relative rendent la comparaison entre les études délicate.

7.3 Particules PM_{2,5}

Les PM_{2,5} proviennent principalement de sources extérieures comme le trafic routier ou les émissions industrielles, mais les sources de combustion telles que le tabagisme, la cuisson d'aliments ou la combustion d'encens peuvent également en être à l'origine.

L'OMS a, en premier lieu, proposé une valeur guide journalière de 25 µg/m³ en 2005, puis l'a fait évoluer, le 22 septembre 2021, en l'abaissant à 15 µg/m³. Cette valeur est proposée par l'OMS pour l'air ambiant à des fins de gestion. En effet, l'OMS considère, qu'en l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de valeurs de concentrations dans l'air ambiant en dessous desquelles l'ensemble de la population serait protégé des effets sur la santé de la pollution particulaire.

Les études dans les établissements hébergeant des populations sensibles sont peu nombreuses dans la littérature scientifique internationale et concernent, le plus souvent, les établissements pour personnes âgées (EHPAD). Concernant les PM_{2,5}, peu d'études les ont considérées, s'intéressant principalement à la mesure des PM₁₀.

Le Tableau 46 synthétise les données de la littérature scientifique relatives aux concentrations de PM_{2,5} mesurées dans les établissements pour personnes âgées et permet une comparaison avec les données obtenues dans les EHPAD de la campagne ESMS.

Tableau 46. Concentrations médianes de PM_{2,5} et moyennes de NO₂, formaldéhyde de la littérature scientifique et comparaison avec la campagne ESMS

Paramètre	ESMS		Etudes européennes	
	N	Concentration	N	Concentration
PM_{2,5} (moyenne en µg/m ³)	136	8,3	20	9,7 GERIA (Mendes et al. 2016)
PM_{2,5} (médiane en µg/m ³)	136	7,3	131	30 (Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014)
NO₂ (moyenne en µg/m ³)	152	9,5	50	20 GERIE (Annesi-Maesano et al. 2013 ; Bentayeb et al. 2015)
Formaldéhyde (moyenne µg/m ³)	150	8,5	50	7,2

N : effectif des pièces de mesure

La concentration moyenne en $PM_{2,5}$ mesurée dans les EHPAD de la campagne ESMS est inférieure à la nouvelle valeur guide journalière de l'OMS du 22 septembre 2021 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cf. paragraphe 6.3.2), et du même niveau que la concentration moyenne mesurée dans l'étude d'Almeida et al. (Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014). Concernant la concentration médiane mesurée dans la campagne ESMS, elle est environ 4 fois plus faible que celle mesurée dans l'étude menée par (Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014).

Dans cette comparaison, notons la limite de la méthode employée qui est différente dans les 3 études. Dans la campagne ESMS, les $PM_{2,5}$ ont été mesurées sur 7 jours par gravimétrie (méthode de référence) alors que dans les deux autres études, les $PM_{2,5}$ ont été mesurées à l'aide d'un compteur optique sur une durée allant de 4h à 16h.

7.4 Dioxyde d'azote (NO_2)

Le NO_2 mesuré dans un environnement intérieur peut provenir de deux types de sources : des sources extérieures provenant du trafic routier ou des zones industrielles et des sources internes au bâtiment provenant des sources de combustion (gaz, charbon, bois, fioul) comme les appareils de chauffage ou de cuisine qui sont potentiellement présents dans les établissements sanitaires et médico-sociaux. Dans la présente étude, des dépassements de la VGAI ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont observés dans 16 % ($n=16$) des 97 ESMS considérés.

Sur l'ensemble des études de la littérature scientifique similaires à la campagne ESMS, seule l'étude GERIE (Annesi-Maesano et al. 2013 ; Bentayeb et al. 2015) a mesuré la concentration de NO_2 au moyen de tubes passifs sur une semaine ce qui est comparable à la méthode employée dans notre étude (Tableau 46).

La concentration moyenne en NO_2 mesurée dans les EHPAD de la campagne ESMS est environ 2 fois moins élevée que celle mesurée dans l'étude GERIE. Cependant, un point de vigilance à apporter sur cette comparaison concerne les concentrations extérieures en NO_2 , liées aux conditions climatiques ou à des situations spécifiques (zones industrielles ou zones urbaines à fort trafic routier par exemple), qui peuvent varier de façon importante et être à l'origine de l'écart observé entre les deux études.

7.5 COV et aldéhydes

Les données obtenues dans la campagne ESMS montrent que les concentrations de COV et aldéhydes sont faibles dans l'air intérieur des ESMS. Des dépassements de la valeur guide réglementaire sont tout de même observés pour le benzène et le formaldéhyde, pour lesquels respectivement, 9% et 7% des ESMS ont au moins une pièce présentant des concentrations supérieures à la valeur guide réglementaire.

Aucun COV (actif ou passif) mesuré dans la campagne ESMS n'a pu être comparé avec les données de la littérature scientifique. En effet, les études similaires ne se sont intéressées qu'aux COV totaux, paramètre qui n'a pas été retenu dans notre étude.

Concernant le formaldéhyde, seule l'étude GERIE a été retenue dans ce comparatif (Tableau 46), car l'ensemble des autres études (Mendes et al. 2016 ; Almeida-Silva, Wolterbeek, et Almeida 2014 ; Hwang, Roh, et Park 2018) a effectué des prélèvements actifs de quelques heures et les résultats ne peuvent donc pas être comparés à une mesure par prélèvement passif sur 7 jours.

La concentration moyenne de formaldéhyde mesurée dans les EHPAD de la campagne ESMS est du même niveau que celle rapportée dans l'étude GERIE. Elle reste cependant bien inférieure à la valeur

repère d'aide à la gestion de la QAI (30 µg/m³) fixée par le HCSP en 2018 et, par conséquent, à la valeur guide réglementaire (100 µg/m³) de l'ANSES (2018) (cf. 6.6.2. Comparaison par rapport aux valeurs , page 77).

7.6 Comparaison aux campagnes nationales de mesure de la QAI dans d'autres lieux de vie

Les autres lieux retenus pour la comparaison des niveaux de concentrations mesurés dans la campagne ESMS sont les lieux fréquentés par les personnes âgées ou une population sensible, c'est-à-dire les logements et les écoles. Les résultats de cette campagne ont donc été comparés avec les données disponibles de la Campagne Nationale Logements 1 (CNL1) (Kirchner et al. 2007) qui s'est déroulée entre 2003 et 2005 et avec celles de la campagne nationale dans les écoles (Dassonville et al. 2019) qui a eu lieu entre 2013 et 2017. La comparaison n'a pu être réalisée que sur les distributions des paramètres qui ont été mesurés de manière commune entre les deux campagnes et qui sont présentés dans les Tableau 47 et Tableau 48.

Tableau 47. Comparaison de la qualité de l'air dans les ESMS et les logements (CNL1, (Kirchner et al. 2007))

Paramètre	Unité de mesure	Campagne « ESMS » (n = 97)			Campagne logements « CNL1 » (parc français)		
		Médiane	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Moyenne	Erreur-type
PM _{2,5}	µg/m ³	7,8	8,5	4,1	19,1	37,4	2,9
Acétaldéhyde	µg/m ³	4,6	5,7	3,6	11,6	14,0	0,4
Formaldéhyde	µg/m ³	8,1	10,4	7,6	19,6	22,6	0,5
Hexaldéhyde	µg/m ³	6,1	8,5	9,9	13,6	19,7	1,0
1,2,4-Triméthylbenzène	µg/m ³	0,1	0,3	0,5	4,1	6,7	0,4
1,4-Dichlorobenzène	µg/m ³	0,02	0,1	0,2	4,2	50,7	12,3
1-Méthoxy-2-propanol	µg/m ³	0,4	1,1	2,0	1,9	4,6	0,4
2-Butoxyéthanol	µg/m ³	0,6	3,0	13,6	1,6	2,8	0,2
Benzène	µg/m ³	0,6	0,8	0,7	2,1	2,8	0,1
Décane	µg/m ³	0,1	0,3	1,1	5,3	18,1	3,5
Éthylbenzène	µg/m ³	0,4	0,6	0,7	2,3	3,9	0,2
Styrène	µg/m ³	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	0,1
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	0,04	0,1	0,2	1,4	3,6	1,2
Toluène	µg/m ³	1,1	1,5	1,4	12,2	22,3	1,4
Trichloroéthylène	µg/m ³	< 0,03	< 0,03	-	1,0	8,4	6,1
m,p-Xylènes	µg/m ³	0,9	1,5	2,0	5,6	10,8	0,7
o-Xylène	µg/m ³	0,3	0,6	0,7	2,3	4,1	0,3

< x, x étant la limite de détection ; PVC : pièce de vie commune.

Il est observé que les distributions des concentrations en aldéhydes, COV et PM_{2,5} sont plus faibles dans les ESMS que dans les logements (Tableau 47 et Tableau 48). Ces différences peuvent relever d'une présence moindre de mobiliers comparativement au logement, de l'absence quasi-systématique de sources de combustion dans les chambres des occupants comme le chauffage au bois, le tabagisme

ou la cuisine. Elles peuvent aussi être liées à l'évolution de la réglementation et à la diminution des sources extérieures entre les deux campagnes. L'emploi de certaines substances a été interdit ou sévèrement limité entre les deux. Par exemple, le tétrachloroéthylène, utilisé comme solvant dans les installations de pressing a été progressivement interdit d'utilisation depuis 2012 dans les installations à côté de locaux impliquant une détection dans l'air plus faible. De même, Le 1,4-dichlorobenzène est longtemps entré dans la composition de répulsifs pour les mites et de produits désodorisants, en particulier, les blocs désodorisants utilisés dans les toilettes. Dans le cadre du règlement européen sur les substances chimiques (REACH), le 1,4-dichlorobenzène ne peut plus être mis sur le marché ou utilisé, en tant que substance ou constituant de mélanges, à une concentration égale ou supérieure à 1 % en poids, pour servir de désodorisant dans les toilettes, depuis 2015. Une évolution à la baisse des concentrations extérieures de polluants comme le benzène est aussi observée depuis les années 2000.

Les distributions des concentrations en formaldéhyde sont aussi plus faibles dans la campagne ESMS par rapport aux logements (Tableau 47) mais aussi par rapport aux écoles (Tableau 48) dans lesquelles la distribution des concentrations ne différaient pas significativement de celles des logements (Dassonville et al. 2019). Cette différence s'explique probablement par une moindre présence de sources de formaldéhyde dans les chambres des occupants des ESMS que dans les logements ou les écoles comme le mobilier plus restreint, peu ou pas d'activités récréatives utilisant des produits contenant du formaldéhyde ou des précurseurs de formaldéhyde. Par ailleurs, les concentrations en CO₂ plus faibles (Tableau 47 et Tableau 48) et le fait que les ESMS soient mieux équipés en système de ventilation mécanique (84% des pièces) que les écoles (29% des bâtiments), pourraient indiquer un renouvellement de l'air meilleur que dans les écoles et les logements, dont le rôle est essentiel pour évacuer l'humidité et l'air chargé de polluants.

Tableau 48. Comparaison de la qualité de l'air dans les ESMS et les écoles (CNE)

Paramètre	Unité de mesure	Campagne « ESMS »			Campagne écoles « CNE » (parc français)		
		Médiane	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Moyenne	Erreur-type
NO ₂	µg/m ³	5,3	8,8	11,4	<LQ (=5,0)	8,4	0,8
PM _{2,5}	µg/m ³	7,8	8,5	4,1	18,1	20,0	1,0
Acétaldéhyde	µg/m ³	4,6	5,7	3,6	5,1	5,8	0,3
Formaldéhyde	µg/m ³	8,1	10,4	7,6	19,3	21,4	0,7
Hexaldéhyde	µg/m ³	6,1	8,5	9,9	11,8	13,6	1,0
Benzène	µg/m ³	0,6	0,8	0,7	1,2	1,4	0,1
Décane	µg/m ³	0,1	0,3	1,1	1,6	4,7	1,0
Éthylbenzène	µg/m ³	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	0,1
Hexane	µg/m ³	< 0,2	0,2	0,2	< 2,6	3,4	0,7
Limonène	µg/m ³	4,2	9	16,4	7,0	10,6	1,0
Alpha-pinène	µg/m ³	1,7	3,2	5,3	14,8	34,5	7,4
Styrène	µg/m ³	0,3	0,5	0,7	0,7	0,9	0,03
Tétrachloroéthylène	µg/m ³	0,04	0,1	0,2	< 0,1	< 0,3	-
Toluène	µg/m ³	1,1	1,5	1,4	3,7	7,0	1,3
o-Xylène	µg/m ³	0,3	0,6	0,7	0,9	1,6	0,2
m,p-Xylènes	µg/m ³	0,9	1,5	2,0	2,0	3,5	0,4

< x, x étant la limite de détection ; LQ : limite de quantification ; PVC : pièce de vie commune.

8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La qualité des environnements intérieurs dans les établissements recevant des personnes sensibles (personnes âgées, enfants et adultes handicapés) est un sujet de santé publique encore peu étudié à l'échelle nationale et internationale. Pour cette raison, la présente campagne a permis d'apporter des premières données essentielles sur la caractérisation de la qualité de l'air intérieurs dans ces établissements en France. Elle a été menée à bien malgré un contexte sanitaire compliqué. En effet, la crise sanitaire liée à la COVID-19 a impacté la campagne. Le premier confinement strict et la fermeture au public de tous les établissements sanitaires et médico-sociaux en France ont empêché l'intervention des techniciens-enquêteurs mettant ainsi en pause les enquêtes, pour une durée totale d'environ 5 mois. Les nombreux désistements liés aux contraintes sanitaires ont pu, en partie, être rattrapés par de nouveaux accords, mais l'effectif total de 100 ESMS (atteint en mars 2020) n'a pu être atteint et 97 ESMS ont finalement participé à la campagne. Cette dernière, dont la fin était programmée pour mi-juillet 2020, ne s'est terminée qu'en mars 2021.

Il ressort de cette campagne que dans la majorité des établissements instrumentés, les valeurs guide réglementaires pour le formaldéhyde et le benzène sont respectées. Dans les établissements où ces valeurs de référence sont dépassées, aucune concentration en benzène et formaldéhyde n'était au-dessus des valeurs limites de 10 et 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aucun dépassement de valeur guide de qualité d'air intérieur n'a été observé pour les autres COV et aldéhydes mesurés qui en disposent (éthylbenzène, tétrachloroéthylène, toluène, acétaldéhyde). Les indices ICONE calculés dans la campagne montrent que dans plus de la moitié des établissements le confinement de l'air est faible. La valeur guide journalière de l'OMS pour les particules $\text{PM}_{2,5}$ fixée à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été dépassée dans au moins une pièce d'un cinquième des établissements environ, mais les concentrations en $\text{PM}_{2,5}$ ainsi que celles de COV et des aldéhydes sont plus faibles que celles mesurées dans les logements.

Un premier travail descriptif du confort hygrothermique a montré que la nuit en période hors chauffe, la température maximale lissée est supérieure à 25,6 °C et 29,4°C dans respectivement 50% et 5% des chambres. Sachant que les personnes hébergées dans ces établissements, et notamment les personnes âgées, sont particulièrement vulnérables à la chaleur, il serait intéressant d'approfondir l'étude du confort hygrothermique dans ces bâtiments notamment dans les situations de température horaire élevée en période hors chauffe ou de température horaire faible en période de chauffe.

Enfin, malgré les aléas précédemment cités, les données collectées dans cette campagne fournissent un premier état des lieux de la qualité de l'air dans ces établissements. Il va permettre aux pouvoirs publics de définir les modalités de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans ces établissements notamment en ce qui concerne le choix des polluants. En effet, à compter du 1^{er} janvier 2025, les ESMS intègrent le dispositif de surveillance réglementaire en vigueur de la qualité de l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP) en France.

9. RÉFÉRENCES

- AFNOR. 2001. NF EN ISO 16017-1 : Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail - Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire - Partie 1 : échantillonnage par pompage.
- . 2003. *NF EN ISO 16017-2 : Air Intérieur, Air Ambiant et Air Des Lieux de Travail - Échantillonnage et Analyse Des Composés Organiques Volatils Par Tube à Adsorption/Désorption Thermique/Chromatographie En Phase Gazeuse Sur Capillaire - Partie 2 : Échantillonnage Par Diffusion*.
- . 2012. *NF ISO 16000-4 : Air Intérieur. Partie 4 : Dosage Du Formaldéhyde — Méthode Par Échantillonnage Diffusif*.
- . 2013. « EN 16339 - Air ambiant - Méthode pour la détermination de la concentration du dioxyde d'azote au moyen d'échantillonneurs par diffusion Association française de normalisation. »
- . 2014. « NF EN 12341 - Qualité de l'air ambiant, méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la fraction massique MP2,5 et MP10 de matière particulaire en suspension. »
- Almeida-Silva, M, H T Wolterbeek, et S M Almeida. 2014. « Elderly Exposure to Indoor Air Pollutants ». *Atmospheric Environment* 85: 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.061>.
- Annesi-Maesano, Isabella, Dan Norback, Jan Zielinski, et Alfred Bernard. 2013. « Geriatric study in Europe on health effects of air quality in nursing homes (GERIE study) profile: objectives, study protocol and descriptive data ». *Multidiscip Respir Med* 8 (71).
- Anses. 2010. « Valeur guide de qualité d'air intérieur. Le tétrachloroéthylène - Avis de l'Afsset - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison Alfort. »
- . 2011. « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - Méthode d'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur ». Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective Autosaisine VGAI-2010-SA-0307. ANSES.
- . 2013. « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le dioxyde d'azote - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »
- . 2014. « Proposition de valeurs guide de qualité d'air intérieur. L'acétaldéhyde - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »
- . 2015. « Guide de validation des méthodes d'analyses ». ANSES/PR3/07/01 version a. ANSES - Pôle Recherche et Référence.
- . 2016. « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - L'éthylbenzène - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »
- . 2018a. « Mise à jour des valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »
- . 2018b. « Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur - Le toluène. Edition scientifique. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »

- — —. 2019. « Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le trichloroéthylène - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Maison-Alfort. »
- Bentayeb, Malek, Dan Norback, Micha Bednarek, Alfred Bernard, Guihong Cai, Sonia Cerrai, Konstantinos Kostas Eleftheriou, et al. 2015. « Indoor Air Quality, Ventilation and Respiratory Health in Elderly Residents Living in Nursing Homes in Europe ». *European Respiratory Journal* 45 (5): 1228-38. <https://doi.org/10.1183/09031936.00082414>.
- Bernstein, Jonathan A., Neil Alexis, Hyacinth Bacchus, I. Leonard Bernstein, Pat Fritz, Elliot Horner, Ning Li, et al. 2008. « The Health Effects of Nonindustrial Indoor Air Pollution ». *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 121 (3): 585-91. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.045>.
- Boita, F., L.J. Couderc, B. Crestani, B. De Wazieres, P. Devillier, C. Ferron, A. Franco, et al. 2006. « Évaluation de la fonction respiratoire chez le sujet âgé ». *Revue des Maladies Respiratoires* 23 (6) : 619-28. [https://doi.org/10.1016/S0761-8425\(06\)72077-0](https://doi.org/10.1016/S0761-8425(06)72077-0).
- Bonnet, Pierre, Jérémie Achille, Laeticia Malingre, Hervé Duret, Olivier Ramalho, Corinne Mandin, et University of Paris-Est, Scientific and Technical Center for Building (CSTB), Health and Comfort Department, French Indoor Air Quality Observatory (OQAI), 84 Avenue Jean Jaures, Champs sur Marne, 77447 Marne la Vallée Cedex 2, France. 2018. « VOCs in Cleaning Products Used in Age Care and Social Facilities: Identification of Hazardous Substances ». *AIMS Environmental Science* 5 (6) : 402-17. <https://doi.org/10.3934/environsci.2018.6.402>.
- Conventions unifiées pour le calcul du coefficient B. Cahier 2000. Centre scientifique et technique du bâtiment. Marne-la-Vallée. 1985. CSTB.
- Dassonville, Claire, Anthony Grégoire, Sutharsini Sivanantham, Jérémie Achille, Bruno Berthineau, Valérie Cochet, Mickaël Derbez, et al. 2019. « Qualité de l'air intérieur et contamination des poussières déposées au sol dans les écoles en France ». CSTB, Direction Santé Confort, Division Expologie – Observatoire de la qualité de l'air intérieur.
- Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène. 2011. Vol. 2011-1727.
- Déoux, Suzanne. 2010. *Bâtir pour la santé des enfants : maternités, crèches, écoles, cantines, gymnases, piscines, patinoires, hôpitaux*. Andorra: Medieco.
- Frontczak, Monika, et Pawel Wargocki. 2011. « Literature Survey on How Different Factors Influence Human Comfort in Indoor Environments ». *Building and Environment* 46 (4): 922-37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>.
- Gerster, Fabian Melchior, David Vernez, Pascal Pierre Wild, et Nancy Brenna Hopf. 2014. « Hazardous Substances in Frequently Used Professional Cleaning Products ». *International Journal of Occupational and Environmental Health* 20 (1): 46-60. <https://doi.org/10.1179/2049396713Y.0000000052>.
- Havenith, George. 2001. « Temperature Regulation and Technology ». *Temperature Regulation* 1 (1) : 10.
- HCSP. 2010. « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos ».
- — —. 2013. « Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour les particules dans l'air des espaces clos ».
- — —. 2019. « Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur - Présentation de la démarche méthodologique ».
- — —. 2021. « Avis relatif à l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2 ».

- Hoof, Joost van. 2006. « Thermal Comfort and Older Adults », 14.
- Hulin, Marion, Marzia Simoni, Giovanni Viegi, et Isabella Annesi-Maesano. 2012. « Respiratory Health and Indoor Air Pollutants Based on Quantitative Exposure Assessments ». *European Respiratory Journal* 40 (4): 1033-45. <https://doi.org/10.1183/09031936.00159011>.
- Hwang, Sung Ho, Jaehoon Roh, et Wha Me Park. 2018. « Evaluation of PM10, CO2, Airborne Bacteria, TVOCs, and Formaldehyde in Facilities for Susceptible Populations in South Korea ». *Environmental Pollution* 242 : 700-708. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.013>.
- Kirchner S et al. 2007. Campagne nationale Logements - Etat de la qualité de l'air dans les logements français - Rapport final. Mai 2007, 183 pages.
- Kirchner, Séverine, Jean-François ARENES, Christian COCHET, Mickael DERBEZ, Cédric DUBOUDIN, Patrick ELIAS, Anthony GREGOIRE, et al. 2007. « Campagne nationale Logements - Etat de la qualité de l'air dans les logements français ». CSTB, 183 pages.
- Lee, Kyoungcho, Jae-Hyun Choi, Seokwon Lee, Hee-Jin Park, Yu-Jin Oh, Geun-Bae Kim, Woo-Seok Lee, et Bu-Soon Son. 2018. « Indoor Levels of Volatile Organic Compounds and Formaldehyde from Emission Sources at Elderly Care Centers in Korea ». Édité par Alexander Larcombe. *PLOS ONE* 13 (6) : e0197495. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197495>.
- Lee, Soo-Jeong, Bora Nam, Robert Harrison, et OiSaeng Hong. 2014. « Acute Symptoms Associated with Chemical Exposures and Safe Work Practices among Hospital and Campus Cleaning Workers: A Pilot Study: Chemical Exposure and Symptoms Among Cleaners ». *American Journal of Industrial Medicine* 57 (11): 1216-26. <https://doi.org/10.1002/ajim.22376>.
- Maio, S, G Sarno, S Baldacci, I Annesi-Maesano, et G Viegi. 2015. « Air Quality of Nursing Homes and Its Effect on the Lung Health of Elderly Residents ». *Expert Review of Respiratory Medicine* 9 (6): 671-73. <https://doi.org/10.1586/17476348.2015.1105742>.
- Makris, Alex T., Louise Morgan, Donna J. Gaber, Alan Richter, et Joseph R. Rubino. 2000. « Effect of a comprehensive infection control program on the incidence of infections in long-term care facilities ». *American Journal of Infection Control* 28 (1): 3-7. [https://doi.org/10.1016/S0196-6553\(00\)90004-X](https://doi.org/10.1016/S0196-6553(00)90004-X).
- Malingre, Laetitia, Hervé Duret, Pierre Bonnet, Jérémie Achille, Joane Cettier, et Corinne Mandin. 2018. « Enquête nationale descriptive des établissements de santé et médico-sociaux ». CSTB-OQAI/2018-038. CSTB, Direction Santé Confort.
- Mandin C, Malingre L, Grégoire A, Ramalho O. 2019. État descriptif de la qualité de l'air et du confort dans les immeubles de bureaux en France, Rapport référencé CSTB-OQAI/2019-160, Octobre 2019, 154 pages.
- Marchand, Mario. 2013. « Comparaison des limites de détection déterminées par répétabilité et par reproductibilité ». INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC.
- Mendes, Ana, Ana Luísa Papoila, Pedro Carreiro-Martins, Stefano Bonassi, Iolanda Caires, Teresa Palmeiro, Livia Aguiar, et al. 2016. « The Impact of Indoor Air Quality and Contaminants on Respiratory Health of Older People Living in Long-Term Care Residences in Porto ». *Age and Ageing* 45 (1): 136-42. <https://doi.org/10.1093/ageing/afv157>.
- Mendes, Ana, Cristiana Pereira, Diana Mendes, Livia Aguiar, Paula Neves, Susana Silva, Stuart Batterman, et João Paulo Teixeira. 2013. « Indoor Air Quality and Thermal Comfort—Results of a Pilot Study in Elderly Care Centers in Portugal ». *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 76 (4-5): 333-44. <https://doi.org/10.1080/15287394.2013.757213>.
- Moore, Kelly L., W. John Boscardin, Michael A. Steinman, et Janice B. Schwartz. 2012. « Age and Sex Variation in Prevalence of Chronic Medical Conditions in Older Residents of U.S. Nursing Homes ». *Journal of the American Geriatrics Society* 60 (4): 756-64. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2012.03909.x>.

- Pennequincardinal, A, H Plaisance, N Locoge, O Ramalho, S Kirchner, et J Galloo. 2005a. « Dependence on Sampling Rates of Radiello Diffusion Sampler for BTEX Measurements with the Concentration Level and Exposure Time ». *Talanta* 65 (5): 1233-40. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.08.049>.
- . 2005b. « Performances of the Radiello Diffusive Sampler for BTEX Measurements: Influence of Environmental Conditions and Determination of Modelled Sampling Rates ». *Atmospheric Environment* 39 (14): 2535-44. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.12.035>.
- Perez-Padilla, R, A Schilmann, et H Riojas-Rodriguez. s. d. « Respiratory Health Effects of Indoor Air Pollution », 8.
- Pinto, Lanzinha, Viegas, Infante, et Freire. 2019. « Quality of the Indoor Environment in Elderly Care Centers in Two Cities in Central Portugal: Viseu and Covilhã ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (20): 3801. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203801>.
- Plaisance, Hervé, Thierry Leonardis, et Michel Gerboles. 2008. « Assessment of Uncertainty of Benzene Measurements by Radiello Diffusive Sampler ». *Atmospheric Environment* 42 (10) : 2555-68. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.009>.
- Ribéron, Jacques, Olivier Ramalho, Mickaël Derbez, Bruno Berthineau, Guillaume Wyart, Séverine Kirchner, et Corinne Mandin. 1970. « Indice de confinement de l'air intérieur : des écoles aux logements ». *Pollution atmosphérique*, n° N°228. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.5466>.
- Rosenberg, N. 2000. « Asthme professionnel dû aux désinfectants employés en milieu hospitalier ». *Fiche d'allergologie-pneumologie professionnelle Documents pour le médecin du travail N°84* (janvier).
- Su, Feng-Chiao, Melissa C Friesen, Aleksandr B Stefaniak, Paul K Henneberger, Ryan F LeBouf, Marcia L Stanton, Xiaoming Liang, Michael Humann, et M Abbas Virji. 2018. « Exposures to Volatile Organic Compounds among Healthcare Workers: Modeling the Effects of Cleaning Tasks and Product Use ». *Annals of Work Exposures and Health* 62 (7): 852-70. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxy055>.
- Sun, Xiao, Junzhou He, et Xudong Yang. 2017a. « Human Breath as a Source of VOCs in the Built Environment, Part II: Concentration Levels, Emission Rates and Factor Analysis ». *Building and Environment* 123 (October): 437-45. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.009>.
- . 2017b. « Human Breath as a Source of VOCs in the Built Environment, Part I: A Method for Sampling and Detection Species ». *Building and Environment* 125 (November): 565-73. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.038>.
- Svanes, Øistein, Randi J. Bertelsen, Stein H. L. Lygre, Anne E. Carsin, Josep M. Antó, Bertil Forsberg, José M. García-García, et al. 2018. « Cleaning at Home and at Work in Relation to Lung Function Decline and Airway Obstruction ». *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 197 (9): 1157-63. <https://doi.org/10.1164/rccm.201706-1311OC>.
- Tang, Xiaochen, Pawel K. Misztal, William W Nazaroff, et Allen H. Goldstein. 2015. « Siloxanes Are the Most Abundant Volatile Organic Compound Emitted from Engineering Students in a Classroom ». *Environmental Science & Technology Letters* 2 (11): 303-7. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00256>.
- . 2016. « Volatile Organic Compound Emissions from Humans Indoors ». *Environmental Science & Technology* 50 (23) : 12686-94. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04415>.
- Tsuzuki, K, et T Ohfuku. 2002. « Thermal Sensation and Thermoregulation in Elderly Compared to Young People in Japanese Winter Season ». *Indoor Air*, 6.

WHO. 2005. « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre - Mise à jour mondiale 2005 - Synthèse de l'évaluation des risques ». Organisation Mondiale de la Santé. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02.

— — —. 2021. *WHO Global Air Quality Guidelines : Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. Geneva: World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

10. ANNEXES

Annexe I. Trame de l'accord de participation à la campagne ESMS



ACCORD DE PARTICIPATION POUR LA CAMPAGNE NATIONALE DE MESURE DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES ÉTABLISSEMENTS SANITAIRES ET MÉDICO-SOCIAUX

Établissement :

[RAISON SOCIALE] : _____

[Adresse] : _____

[Commune] : _____

[Code postal] : _____

Je soussigné(e), _____, directeur / directrice de l'établissement
[_____ RAISON SOCIALE _____] a été informé(e) des objectifs de la campagne
nationale de mesure de la qualité de l'air intérieur menée par l'Observatoire de la qualité de l'air
intérieur dans les établissements sanitaires et médico-sociaux (EHPAD, USLD et établissements pour
adultes et enfants handicapés).

J'ACCEPTE que les mesures de qualité de l'air intérieur soient réalisées dans mon établissement.

A l'issue de ces mesures, les résultats me seront communiqués par l'Observatoire de la qualité de
l'air intérieur.

Fait à _____, le ____ / ____ / 2020

Signature du Directeur / de la Directrice et cachet de l'établissement

A compléter, signer et envoyer :

- par courrier électronique : ogai.ssms@cstb.fr
- ou par courrier postal à l'adresse suivante :
Monsieur Pierre BONNET
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
Campagne nationale « OQAI-ESMS »
84 Avenue Jean Jaurès
77420 CHAMPS-SUR-MARNE



CSTB
le futur en construction