

**Programme d'études et de recherche de
l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur**

**Base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur
et le confort des occupants
de bâtiments performants en énergie**

**Description des premiers résultats de la qualité de l'air
intérieur et du confort de bâtiments d'habitation
performants en énergie**

**Mickaël DERBEZ, Guillaume WYART, Floran DOUCHIN, Jean Paul LUCAS, Olivier RAMALHO,
Jacques RIBERON, Séverine KIRCHNER, Corinne MANDIN**

Février 2015

Rapport CSTB-OQAI/2015-012

Rapport présenté au Conseil scientifique de l'OQAI les 27 novembre 2014 et 28 janvier 2015, et approuvé après consultation électronique le 10 février 2015

Ces travaux ont bénéficié du soutien de l'ADEME (conventions n°1304C0137 et n°1362C0013), du ministère en charge de l'Écologie (convention n°2200779114), du ministère en charge du Logement (convention n° Y13.08/2200756332) et du ministère en charge de la Santé (convention pluriannuelle CSTB-DGS 2013-2015, année 1).

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 : **Derbez M., Wyart G., Douchin F., Lucas JP, Ramalho O., Ribéron J., Kirchner S., Mandin C. 2015. Base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants de bâtiments performants en énergie – Description des premiers résultats de la qualité de l'air intérieur et du confort de bâtiments d'habitation performants en énergie, CSTB-OQAI/2015-012, Février 2015, 56 pages.***

© 2015 CSTB

Programme OQAI-BPE, Convention 2013

Rapport CSTB-OQAI/2015-012. Premier état de la QAI et du confort dans les BPE

Résumé

Dans le contexte de l'entrée en vigueur de la RT 2012 et du vaste chantier de rénovation énergétique des logements, les conclusions de la conférence environnementale de septembre 2012 mettaient en avant une vigilance particulière sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments faisant l'objet d'une rénovation énergétique. Au regard des points critiques identifiés lors d'études préparatoires dans des bâtiments performants en énergie, les pouvoirs publics ont souhaité disposer d'informations détaillées relatives aux environnements intérieurs de ces bâtiments neufs ou rénovés. Ainsi, l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a été missionné pour mener des actions dédiées aux bâtiments performants en énergie. Le travail présenté ici concerne l'exploitation de la base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur et du confort de bâtiments performants en énergie.

Cette base de référence, alimentée sur la base du volontariat, n'a pas vocation à être statistiquement représentative de l'ensemble des bâtiments performants en énergie construits ou rénovés. Sa richesse réside dans le détail des informations collectées sur les bâtiments pris en compte, portant sur l'environnement extérieur, le bâti, les équipements et systèmes, la qualité de l'air intérieur, le confort des occupants et leurs habitudes d'occupation et d'usage du bâtiment.

Le présent travail, réalisé dans le cadre de la convention de financement 2013-2014 du programme « Bâtiments Performants en Energie » de l'OQAI, décrit les premiers résultats de la qualité de l'environnement intérieur de bâtiments d'habitation performants en énergie à partir de la base de référence. L'étude a été réalisée à partir des données validées et complètes d'enquête insérées en base de données à la date du mois de mai 2014. La taille de l'échantillon étant faible à ce stade de l'étude, les observations faites sur cet échantillon ne sont pas extrapolables à l'ensemble des bâtiments performants en énergie construits ou rénovés et doivent être considérées comme des tendances.

L'échantillon de bâtiments étudié est composé de 16 bâtiments PREBAT (Plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment) correspondant à un total de 32 logements (maisons individuelles et logements collectifs) investigués selon deux périodes (chauffe et hors-chauffe). Ces bâtiments présentent une perméabilité à l'air¹ moyenne mesurée à l'achèvement de leur construction de $0,73 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ à 4 Pa et des consommations énergétiques conventionnelles² moyennes de $51 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{an}$. Les principales caractéristiques des 16 bâtiments de cet échantillon ont été comparées aux 2 950 bâtiments sélectionnés et soutenus par les appels à projets régionaux PREBAT. Les 5 maisons individuelles de l'étude se démarquent par l'utilisation de poêle à bois comme système principal de chauffage. Les 11 immeubles collectifs de l'étude présentent notamment une particularité au niveau des systèmes de ventilation : la majorité est équipée de systèmes de ventilation double-flux et une minorité est ventilé naturellement.

¹ Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en $\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$ sous 4 Pa) de la RT2005 est de 0,8 en maison individuelle et 1,2 en collectif ; Les valeurs réglementaires de la RT2012 sont 0,6 en maison individuelle et 1 en collectif.

² La consommation d'énergie conventionnelle est calculée avec certaines hypothèses fixées, notamment de température intérieure, de présence des occupants, des scénarios d'occupation et d'historique des données météorologiques pour cinq usages pris en compte (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)).

Les concentrations médianes des indicateurs de confinement et de qualité d'air intérieur ne dépassent jamais celles des logements français, issues de la campagne nationale « Logements » de l'OQAI réalisée entre 2003 et 2005, à l'exception de l'hexaldéhyde. Ce composé ainsi que l'alpha-pinène et le limonène présentent les concentrations les plus élevées parmi les composés organiques volatils cibles. Comparativement aux logements français, les logements de l'étude présentent en toute saison une température intérieure plus élevée ainsi qu'une humidité relative et une fréquence d'apparition de traces d'humidité plus faibles. Ils présentent les mêmes proportions de problèmes d'infiltration d'eau et de traitement contre un excès d'humidité. Enfin, parmi les 24 logements présentant un indice de contamination fongique valide, 12 (50 % des logements) présentent un développement actif de moisissures.

La comparaison des résultats de l'étude avec les valeurs guides d'air intérieur disponibles (valeurs sanitaires, valeurs de gestion, valeurs réglementaires) montre les éléments suivants :

- Pour les valeurs réglementaires, la quasi-totalité des logements dépasse la valeur applicable pour le formaldéhyde à compter du 1^{er} janvier 2023 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Près de la moitié des logements dépasse la valeur du benzène applicable au 1^{er} janvier 2016 ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Deux logements dépassent la valeur du formaldéhyde au 1^{er} janvier 2015 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Pour les valeurs de gestion du Haut Conseil de la santé publique (HCSP), la quasi-totalité des logements dépasse la valeur cible du formaldéhyde ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Au moins la moitié des logements dépasse la valeur cible du benzène et des $\text{PM}_{2.5}$ (respectivement $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et les valeurs repères des $\text{PM}_{2.5}$ (inférieures ou égales à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Quelques logements (moins de 3) dépassent la valeur repère du formaldéhyde ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et les valeurs d'action rapide et repère du trichloroéthylène (respectivement 10 et $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Pour les valeurs sanitaires de l'ANSES, la quasi-totalité des logements dépasse la VGAI long terme du formaldéhyde ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et du benzène ($0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10^{-6}). Au moins la moitié des logements dépasse la VGAI long terme du benzène ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10^{-5}) et des $\text{PM}_{2.5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Quelques logements dépassent la VGAI long terme du trichloroéthylène ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10^{-6}) et du NO_2 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Les valeurs guides de l'acétaldéhyde (valeur sanitaire ANSES), du tétrachloroéthylène (valeurs sanitaires ANSES et de gestion HCSP) et du radon (valeurs réglementaires et de gestion HCSP) ne sont jamais atteintes.

Le suivi des indicateurs de confinement de l'air intérieur et de qualité de l'air dans le temps et dans l'espace a permis d'étudier l'évolution des concentrations en fonction des périodes de chauffe/hors chauffe et selon les pièces (chambre et séjour). Une variation a été observée pour la majorité des paramètres. Les concentrations sont les plus élevées en période de chauffe pour le CO_2 , 6 COV (limonène, 1,2,4-triméthylbenzène, benzène, (m+p)-xylènes, toluène et n-décane), le NO_2 et les $\text{PM}_{2.5}$. Les concentrations en hexaldéhyde, formaldéhyde et 2-butoxyéthanol sont en revanche plus élevées en période hors-chauffe. Aucune variation spatiale n'a été observée pour les aldéhydes alors que pour d'autres paramètres, des différences de concentration ont été observées. Les niveaux de CO_2 et NO_2 sont plus élevés dans la chambre alors que ceux du limonène et du radon sont plus élevés dans le séjour. Il faut toutefois souligner que même si ces niveaux sont plus élevés, ils restent inférieurs à la valeur réglementaire de $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ pour les établissements recevant du public pour le radon et quasi-systématiquement aux valeurs du RSDT s'appliquant pour les bâtiments autres que d'habitation pour le CO_2 (86 % du temps inférieur à 1 000 ppm et 94 % du temps inférieur à 1 300 ppm). Les moyennes hebdomadaires de la température et de l'humidité relative de l'air montrent une variation saisonnière mais aucune variation spatiale.

La mesure des pressions aux bouches d'extraction des systèmes VMC simple flux hygroréglables montre que seules 40 % des bouches présentent une pression dans les plages de fonctionnement préconisées par les fabricants. La mesure des débits aux bouches d'extraction des systèmes VMC double flux montre que les débits réglementaires sont respectés dans certains cas (débit réduit en cuisine, débit devant pouvoir être atteint dans les WC), alors qu'ils ne sont pas respectés dans d'autres cas [débit total minimal, débits devant pouvoir être atteints en cuisine (grand débit) et en salle de bains].

Le prochain état de la qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments du programme QQAI-BPE sera dressé fin 2015. L'intégration de nouvelles données d'enquêtes permettant de disposer d'un jeu de données plus conséquent permettra de confirmer ou d'infirmer les premières tendances, notamment au moyen de tests statistiques, d'exploiter les données des autres questionnaires (usages, perceptif, accompagnement de la mesure, retour d'expérience) et réaliser des exploitations de données supplémentaires et des croisements des données QAI et des données questionnaires.

Mots clés : bâtiment performant en énergie, logement, qualité d'air intérieur, confort thermique, ventilation, enquête

Table des matières

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROGRAMME	12
2. MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME QQAI-BPE	13
2.1 Gouvernance du programme	13
2.2 Opérateurs du dispositif	13
2.3 Nombres d'enquêtes visées.....	14
3. ORGANISATION DE LA COLLECTE DE DONNEES.....	14
4. VALIDATION DES DONNEES INSEREES EN BASE DE DONNEES	14
4.1 Elaboration de règles de validation	15
4.2 Dérogations exceptionnelles de certains critères de validation	15
4.3 Attribution des statuts de validation aux données	15
5. DONNEES CONSIDEREES.....	16
6. ETAT DESCRIPTIF DES BATIMENTS INVESTIGUES	17
6.1 Description de l'échantillon	17
6.2 Environnement proche des bâtiments	18
6.3 Le bâti.....	18
6.3.1 Mode constructif	18
6.3.2 Isolation	19
6.3.3 Perméabilité à l'air de l'enveloppe	20
6.3.4 Performance énergétique des bâtiments	20
6.4 Les systèmes.....	21
6.4.1 Chauffage	21
6.4.2 Ventilation et rafraichissement d'air	22
6.4.3 Production d'eau chaude sanitaire et d'électricité.....	23
6.5 Le logement.....	23
6.5.1 Type et surface.....	23
6.5.2 Menuiseries et vitrages.....	23
6.5.3 Occupation.....	24
6.6 Comparaison de l'échantillon avec les données existantes	25
7. ETAT DESCRIPTIF DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR	29
7.1 Préambule	29
7.1.1 Gestion des résultats de mesures par prélèvement passif	29
7.1.2 Expression des résultats.....	30
7.1.3 Mise en perspective des résultats	30
7.1.4 Gestion des dépassements des VGAI	31
7.2 Confinement de l'air	32
7.3 Qualité de l'air intérieur	34
7.3.1 Concentrations annuelles	34
7.3.2 Concentrations selon les périodes de chauffe et de hors-chauffe	42
7.3.3 Contamination fongique et présence d'humidité.....	45
7.4 Confort thermique.....	46

7.5 Ventilation.....	48
7.5.1 Typologie des systèmes de ventilation	48
7.5.2 Mesure des pressions aux bouches des systèmes de ventilation mécanique	50
7.5.3 Mesure des débits aux bouches des systèmes de ventilation mécanique	51
8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	53
9. BIBLIOGRAPHIE	55

Liste des tableaux

Tableau 2-1 – Opérateurs du dispositif QQAI-BPE ayant signé la charte de collaboration	13
Tableau 6-1 – Répartition des bâtiments et des logements enquêtés par type d’habitation.....	17
Tableau 6-2 – Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	17
Tableau 6-3 – Nombre de bâtiments à moins de 500m de voies de circulation (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	18
Tableau 6-4 – Nombre de bâtiments à proximité d’activités extérieures pouvant avoir un impact sur la qualité de l’air ou générées des nuisances acoustiques (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	18
Tableau 6-5 – Répartition des modes constructifs des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	19
Tableau 6-6 – Principal système d’isolation thermique des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	19
Tableau 6-7 – Composition de l’isolant au niveau de différentes parties du bâtiment (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	20
Tableau 6-8 – Mesure de la perméabilité à l’air de l’enveloppe des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	20
Tableau 6-9 – Réglementation thermique utilisée lors de la construction/réhabilitation des bâtiments et labels énergétiques obtenus/demandés (NSP : ne sait pas) (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	21
Tableau 6-10 – Consommations énergétiques conventionnelles totales des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	21
Tableau 6-11 – Système de chauffage des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	22
Tableau 6-12 – Système de ventilation et de rafraîchissement d’air dans les bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	22
Tableau 6-13 – Système de production d’eau chaude et d’électricité des bâtiments (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets).....	23
Tableau 6-14 – Type et surface habitable des 32 logements investigués	23
Tableau 6-15 – Menuiseries et vitrage des 32 logements investigués.....	24
Tableau 6-16 – Caractéristiques principales des ménages des 32 logements investigués	24
Tableau 6-17 – Comparaison des principales caractéristiques des 4 maisons individuelles neuves de cette étude avec les données existantes pour les maisons individuelles neuves	26
Tableau 6-18 – Comparaison des principales caractéristiques des 6 immeubles collectifs récents de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs neufs	27
Tableau 6-19 – Comparaison des principales caractéristiques des 5 immeubles collectifs réhabilités de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs réhabilités	28
Tableau 7-1 – Gammes des limites de détection et de quantification ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) et valeurs retenues pour les analyses des prélèvements d’aldéhydes, de COV et du NO_2	29
Tableau 7-2 – Valeurs limites de concentrations de polluants intérieurs contenues dans la fiche réflexe du dispositif QQAI-BPE (QQAI, 2013)	31

Tableau 7-3 – Moyennes hebdomadaires des mesures de CO ₂ (ppm)	32
Tableau 7-4 – Concentrations annuelles (µg/m ³) des aldéhydes selon les pièces	34
Tableau 7-5 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du formaldéhyde.....	35
Tableau 7-6 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur de l'acétaldéhyde.....	35
Tableau 7-7 –Concentrations annuelles (µg/m ³) des COV selon les pièces	36
Tableau 7-8 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du benzène	37
Tableau 7-9 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du trichloroéthylène	38
Tableau 7-10 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du tétrachloroéthylène.....	38
Tableau 7-11 –Concentrations annuelles (µg/m ³) en NO ₂ selon les pièces	39
Tableau 7-12 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du dioxyde d'azote	39
Tableau 7-13 –Concentrations annuelles (µg/m ³) des PM _{2,5} dans le séjour	39
Tableau 7-14 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur des particules PM _{2,5}	40
Tableau 7-15 – Mesures de l'activité volumique du radon (Bq/m ³) effectuées uniquement en période de chauffe	40
Tableau 7-16 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du radon.....	41
Tableau 7-17 – Concentrations moyennes d'aldéhydes (µg/m ³) par logement selon les périodes.....	42
Tableau 7-18 – Concentrations moyennes de COV (µg/m ³) par logement selon les périodes	43
Tableau 7-19 – Concentrations moyennes intérieures (µg/m ³) de NO ₂ selon les périodes.....	44
Tableau 7-20 – Concentrations intérieures (µg/m ³) des PM _{2,5} selon les périodes.....	45
Tableau 7-21 – Pourcentage des logements ayant connu des problèmes d'humidité et ayant fait l'objet de traitement contre l'humidité (n=31)	46
Tableau 7-22 – Moyenne hebdomadaire de température intérieure dans les logements (°C)	47
Tableau 7-23 – Moyenne hebdomadaire d'humidité relative intérieure dans les logements (%).....	47
Tableau 7-24 – Description des différents systèmes de ventilation équipant les 32 logements	48
Tableau 7-25 – Mesures de pression (Pa) des systèmes de VMC hygroréglables selon les pièces de service et les périodes.....	50
Tableau 7-26 – Mesures des débits d'air extrait (m ³ /h) des systèmes VMC double flux réalisées au cours des deux phases d'enquête	51
Tableau 7-27 – Mesures des débits d'air soufflé (m ³ /h) des systèmes VMC double flux réalisées au cours des deux phases d'enquête	51
Tableau 7-28 – Comparaison des débits d'extraction moyens mesurés avec les débits réglementaires selon le nombre de pièces principales des logements équipés de systèmes VMC double flux	52

Liste des figures

Figure 6-1 - Localisation géographique des bâtiments enquêtés par type d'habitation.....	17
Figure 7-1 – Comparaison des médianes des concentrations moyennes hebdomadaires du CO ₂ (ppm) mesurées dans les chambres des logements investigués dans cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).....	32
Figure 7-2 – Pourcentage de dépassement des mesures de CO ₂ par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT (1000 ppm pour la figure du haut, 1300 ppm pour la figure du bas).	33
Figure 7-3 – Comparaison des médianes des concentrations hebdomadaires des aldéhydes (µg/m ³) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).	34
Figure 7-4 – Comparaison des médianes des concentrations hebdomadaires des COV (µg/m ³) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).	37
Figure 7-5 – Comparaison des médianes des concentrations annuelles des PM _{2,5} (µg/m ³) mesurées dans les séjours des logements de cette étude et dans ceux des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).....	39
Figure 7-6 – Comparaison des médianes des concentrations en radon (Bq/m ³) mesurées dans les pièces des logements de cette étude en période de chauffe et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)	41
Figure 7-7 –Médianes des concentrations intérieures (µg/m ³) d'aldéhydes selon les périodes	42
Figure 7-8 – Médianes des concentrations intérieures (µg/m ³) des COV selon les périodes	44
Figure 7-9 – Médianes des concentrations (µg/m ³) de NO ₂ selon les périodes.....	44
Figure 7-10 – Médianes des concentrations intérieures (µg/m ³) des particules (PM _{2,5}) selon les périodes	45
Figure 7-11 – Comparaison du pourcentage de logements ayant subi des problèmes d'humidité ou ayant fait l'objet d'un traitement contre l'humidité dans les 12 derniers mois au depuis l'emménagement des occupants entre cette étude et les logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)	46
Figure 7-12 – Comparaison des médianes des moyennes hebdomadaires de la température intérieure selon les pièces et les périodes des logements de cette étude et celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)	47
Figure 7-13 - Comparaison des médianes des moyennes hebdomadaires de l'humidité relative selon les pièces et les périodes des logements de cette étude et celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).....	47
Figure 7-14 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec celle des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)	48
Figure 7-15 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec celle des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).....	49
Figure 7-16 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec les statistiques de l'Observatoire BBC.....	49
Figure 7-17 – Comparaison de la part des différents types de systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec les statistiques de l'Observatoire BBC	49

Figure 7-18 – Pourcentage des mesures de pression (Pa) selon les pièces de service et les phases d'enquête comprises dans la plage de pression 70-160 Pa pour les systèmes VMC hygroréglables..... 50

Figure 7-19 – Débits d'air extrait moyens (m^3/h) des systèmes VMC double flux mesurés au cours des deux phases d'enquête selon la vitesse du moteur de ventilation..... 52

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROGRAMME

Dans le contexte de l'entrée en vigueur de la RT 2012 et du vaste chantier de rénovation énergétique des logements, les conclusions de la conférence environnementale de septembre 2012 mettaient en avant une vigilance particulière sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments faisant l'objet d'une rénovation énergétique. Des études préparatoires consacrées à l'évaluation de la qualité des environnements intérieurs dans les bâtiments performants en énergie avaient permis d'identifier des points critiques jouant un rôle dans la performance de ces bâtiments comme la mise en œuvre et la réception des systèmes, l'ajustement des comportements, l'appropriation des bâtiments par les occupants du fait de la spécificité de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes généralement plus complexes par rapport à l'existant.

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a ainsi intégré, dès 2010, un nouveau programme de recherche sur ces bâtiments : le **programme Bâtiments performants en énergie (BPE)**. Dans ce cadre, l'OQAI met en place un **dispositif de remontée de données et de partage d'information** - dénommé « OQAI- BÂTIMENTS PERFORMANTS EN ENERGIE » ou « OQAI-BPE » (Derbez et al., 2014a). Ce dispositif est ouvert à l'ensemble des acteurs publics et privés intéressés par le suivi de la qualité de l'air et au confort des bâtiments performants en énergie répondant aux réglementations les plus récentes en matière de performance thermique.

L'objectif de ce dispositif est d'accompagner, en temps réel, le déploiement des nouvelles constructions, et d'identifier les éléments d'ajustement éventuels à mettre en œuvre pour optimiser le parc de bâtiments en cours de métamorphose.

Ce dispositif se compose :

- d'un « **protocole harmonisé** » de mesurage, de collecte et de transfert d'informations développé par l'OQAI avec ses partenaires scientifiques et techniques³. Ce protocole, mis en œuvre par les opérateurs, par engagement volontaire, rassemble l'ensemble de la stratégie d'échantillonnage et de collecte des données permettant de caractériser la qualité de l'air intérieur et le confort des bâtiments performants en énergie ;
- d'une **base de référence nationale** (base de données) permettant le recueil centralisé des données collectées sur le territoire français par tous les opérateurs mettant en œuvre le « protocole harmonisé ». La gestion et l'exploitation des données par l'OQAI permet de dresser périodiquement un état de la situation sur la qualité des environnements intérieurs dans des bâtiments performants en énergie, d'identifier les éventuels points défaillants et de proposer des pistes d'amélioration le cas échéant.

Le présent rapport réalisé dans le cadre de la convention de financement 2013-2014 du programme Bâtiments performants en énergie de l'OQAI décrit les premiers résultats de la qualité de l'air intérieur et du confort des bâtiments d'habitation performants en énergie participant à ce dispositif OQAI-BPE. Ce rapport concerne un faible effectif de bâtiments et ne présente donc que les premières tendances. Dans une seconde phase d'exploitation intégrant d'autres bâtiments, des résultats plus détaillés pourront être fournis et des exploitations de données supplémentaires seront réalisées.

³ ADEME, AIR&BIO, Air Normand, Air Rhône-Alpes, ASPA, CETE Nord-Picardie, CETE de l'Ouest, CERTES/Université Paris-Est Créteil, COSTIC, DHUP, EHESP, Ecole des Mines de Douai, HUS/Service pneumologie, INERIS/LCSQA, LCPP, LHVP, PEUTZ, Université Cergy-Pontoise, Université Lyon 1/CNRS écologie microbienne

2. MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME OQAI-BPE

2.1 GOUVERNANCE DU PROGRAMME

Afin de faciliter le suivi régulier du dispositif, un **comité de pilotage national (COPIL national)** a été mis en place dans le but de coordonner l'ensemble des actions. Il est composé de l'ADEME, de la DHUP, de la DGPR, de la DGS, de l'OQAI et des représentants des opérateurs (Air Normand pour les AASQA et le CEREMA délégation territoriale Nord Picardie pour les CEREMA (ex-CETE)).

Un **comité de suivi national**, composé de tous les opérateurs, se réunit une fois par an afin de faire le point sur la mise en œuvre du protocole harmonisé et de présenter les retours d'expérience et les résultats.

2.2 OPERATEURS DU DISPOSITIF

Le programme OQAI-BPE est actuellement mis en œuvre par **29 opérateurs volontaires** qui ont signé une charte de collaboration avec le CSTB, opérateur de l'OQAI (Tableau 2-1). Cette charte a pour objet de définir les conditions d'utilisation du protocole harmonisé, les engagements du CSTB et ceux du signataire.

Tableau 2-1 – Opérateurs du dispositif OQAI-BPE ayant signé la charte de collaboration

Air Breizh Air Efficiencie Air Languedoc Roussillon Air Lorraine Air Normand Air Rhône Alpes Aldes ¹ Allie'Air ¹ ASPA Atchys ventilation	ATMO Auvergne Atmo Franche Comté Atmo Picardie Atmo Poitou-Charentes CETE Est CETE Lyon - Département laboratoire d'Autun CETE Lyon - Laboratoire Clermont-Ferrand CETE Lyon ¹ CETE Méditerranée CETE Nord Picardie ¹	CETE Normandie Centre CETE Ouest CETE Sud-Ouest INERIS CREA (Communauté Agglo Rouen) Lig'air Medieco Conseil & Formation ¹ SGS Multilab ¹ Université La Rochelle ²
---	--	---

¹Projet Via Qualité / ²Projet Ruppela-Reha

Plusieurs binômes/trinômes d'opérateurs ont été constitués afin de mettre en œuvre le protocole harmonisé et se répartir les tâches à accomplir de la façon suivante :

- mesures et prélèvements des indicateurs de pollution, renseignement du questionnaire d'accompagnement de la mesure ;
- renseignement des questionnaires bâtiment/logement/usages/perceptif/retour d'expérience, mesure des débits et pression aux bouches de ventilation et des paramètres de confort.

Les opérateurs sont financés grâce au soutien de l'ADEME et de co-financeurs locaux (Directions régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, Agences régionales de Santé, Conseils Régionaux,...) mais également sur fonds propres.

L'OQAI assure l'aide des opérateurs locaux et leur procure son assistance dans la phase de mise en œuvre du dispositif. En plus du protocole harmonisé, l'OQAI met à disposition plusieurs documents supports facilitant cette mise en œuvre. Il s'agit notamment d'un guide de recommandations pour le renseignement du formulaire CNIL et des formulaires type d'autorisation, d'un guide d'utilisateur du site extranet permettant la collecte des données, d'une fiche réflexe fournissant notamment les valeurs limites de certains polluants et les recommandations à suivre en cas de dépassement ainsi qu'une trame type de rendu des résultats.

2.3 NOMBRES D'ENQUETES VISEES

Avant chaque nouvelle enquête, il est demandé aux opérateurs de contacter l'OQAI afin d'obtenir un code-enquête unique. Ce code-enquête est créé pour chaque logement enquêté, pour chaque bâtiment à usage d'enseignement et d'accueil de la petite enfance et pour chaque bâtiment à usage de bureau.

Depuis le démarrage du programme OQAI-BPE, **149 codes-enquêtes ont été générés** : 132 pour les bâtiments à usage d'habitation, 9 pour les bâtiments à usage d'enseignement et d'accueil de la petite enfance et 8 pour les bâtiments à usage de bureaux. Près de 90 % des codes enquêtes demandés sont pour des bâtiments d'habitations.

La majorité des bâtiments investigués sont des bâtiments démonstrateurs ayant répondu aux appels à projets PREBAT (Plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment).

3. ORGANISATION DE LA COLLECTE DE DONNEES

Un système de flux de données a été élaboré pour faciliter le transfert des données collectées. Ce système est basé sur un site extranet accessible de manière sécurisée.

A la fin de chaque phase d'enquête, il est demandé aux opérateurs de renseigner des masques de saisie au format Excel avec les données collectées par mesure, prélèvement ou questionnaires. Une fois complétés, ces masques ainsi que les fichiers enregistreurs et tous les autres documents (photographies, plans, chromatogrammes,...) sont « téléversés » sur le site extranet dédié dans le dossier correspondant au code-enquête.

Les données « téléversées » transmises par les opérateurs via le site extranet subissent une procédure manuelle de vérification et de contrôle avant d'être insérées automatiquement en base de données. Elle consiste à s'assurer qu'il n'y a aucun document manquant, que les documents ont été sauvegardés dans les bons répertoires et sous-répertoires et que leur nom respecte la procédure de nommage proposée. En cas de documents manquants, les opérateurs sont contactés pour les fournir.

Après ce contrôle, l'extraction des données des masques de saisie et leur structuration dans la base nationale de référence se font automatiquement à l'aide d'un outil développé en C# sous la forme d'une application Web.

4. VALIDATION DES DONNEES INSEREES EN BASE DE DONNEES

Une procédure de validation a été élaborée afin de disposer de données valides pour l'exploitation et d'exclure les données invalides (Derbez et al., 2014b). Par souci de traçabilité, différents statuts de validation ont été définis afin d'identifier les modifications/corrections apportées par rapport aux données transmises.

4.1 ELABORATION DE REGLES DE VALIDATION

Des règles de validation ont été définies par la combinaison de plusieurs critères de validation pour chaque paramètre mesuré et pour chaque questionnaire renseigné. Pour les paramètres de qualité d'air intérieur, de confort et de ventilation, les critères de validation retenus sont issus des protocoles d'enquêtes. Ils concernent notamment le respect de la méthode de prélèvement/mesure, de la méthode et des délais d'analyse ; la cohérence des valeurs mesurées. Pour les questionnaires, les critères de validation ont été définis a posteriori pour chaque questionnaire (validation intra-questionnaire) et par croisement de plusieurs questionnaires (validation inter-questionnaire).

4.2 DEROGATIONS EXCEPTIONNELLES DE CERTAINS CRITERES DE VALIDATION

Dans le premier jeu de données traité, peu de données se sont avérées satisfaire rigoureusement à tous les critères de validation. Il a été décidé d'accorder des dérogations exceptionnelles à certains critères de validation. Ces critères ont été sélectionnés à dire d'experts et **leur dérogation a été jugée sans conséquence majeure** sur la validité des données.

La dérogation exceptionnelle de ces critères à la règle de validation s'est traduite **soit par l'assouplissement du critère, soit par sa suppression**.

4.3 ATTRIBUTION DES STATUTS DE VALIDATION AUX DONNEES

Suite à l'application automatique du protocole de validation, le statut de validation « Valide1 » est attribué aux données satisfaisants à la règle de validation et « Valide3 » aux données satisfaisants à la règle de validation suite à la dérogation de certains critères de validation.

Dans le cas où le statut de validation n'a pas pu être attribué automatiquement (statut de validation « vide »), les critères non respectés sont identifiés et des actions correctives sont engagées :

- autocorrection du ou des critères de validation non respectés sans contacter les opérateurs lorsqu'il s'agit de corrections relevant du bon sens. Dans ce cas et après corrections, le statut de validation est « Valide 2 » ;
- prise de contact avec les opérateurs pour vérification des données transmises en base et corrections apportées sur les données. Dans ce cas et après corrections, le statut de validation est « Valide 3 » ;
- invalidation du prélèvement/mesures si prélèvement invalide, panne d'appareil de mesure, problème sur la chaîne analytique, etc. Dans ce cas, le statut de validation est « Invalide ».

Par application successive du protocole de validation et après corrections des données, un statut de validation est attribué à chacune des données.

5. DONNEES CONSIDEREES

Cette étude a été réalisée à partir des données complètes d'enquêtes transmises par les opérateurs du programme QQAI-Bâtiments performants en énergie à la date du mois de mai 2014 et validées (statut de validation Valide1 à Valide3) au moyen du protocole de validation des données de la base QQAI-BPE.

L'intégralité des données de 33 codes enquêtes (32 bâtiments à usage d'habitation et 1 bâtiment d'enseignement) est ainsi disponible pour deux phases d'enquêtes (t1 et t2) pour les paramètres suivants :

- mesures du confinement de l'air intérieur ;
- prélèvement/mesure des paramètres de qualité d'air intérieur ;
- mesure des débits d'air/pression aux bouches de ventilation ;
- mesure des paramètres du confort thermique ;
- renseignement des questionnaires descriptifs.

Les données n'étant disponibles que pour un unique bâtiment de la typologie « école », il a été décidé de réaliser ce premier état descriptif sur les 32 bâtiments à usage d'habitation.

6. ETAT DESCRIPTIF DES BATIMENTS INVESTIGUES

6.1 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

L'étude est basée sur un échantillon de 16 bâtiments à usage d'habitation résidentiels ayant répondu aux appels à projets PREBAT (Plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment) (Tableau 6-1). Sur les 16 bâtiments, 10 sont récents (construits entre 2008 et 2013) et 6 ont été réhabilités (entre 2010 et 2013). Ces 16 bâtiments sont constitués de 5 maisons individuelles et de 11 immeubles collectifs. Au total, 32 logements ont été investigués :

- 27 sont des appartements (« logements collectifs ») de 11 immeubles collectifs (87% du total des logements enquêtés) ;
- 5 sont des maisons individuelles (« logements individuels ») (16% du total des logements enquêtés).

Tableau 6-1 – Répartition des bâtiments et des logements enquêtés par type d'habitation

	Nombre de bâtiments enquêtés	Nombre de logements enquêtés
Habitat individuel	5 maisons individuelles (4 récents, 1 réhabilité)	5
Habitat collectif	11 immeubles collectifs (6 récents, 5 réhabilités)	27
Tout type d'habitat	16 (10 récents, 6 réhabilités)	32

Les bâtiments enquêtés sont localisés dans 5 des 8 zones climatiques définies par la réglementation thermique 2005 (Tableau 6-2). Une disparité géographique entre les deux types d'habitation existe puisque plus de la moitié des immeubles collectifs sont situés en zone H1b alors que plus de la moitié des maisons individuelles sont situées en zone H3 (Figure 6-1).

Tableau 6-2 – Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	H1b	H1c	H2a	H2b	H3
Maison individuelle		1		1	3
Immeuble collectif	7 [16]		1 [2]	1 [3]	2 [6]
Tout type	7	1	1	2	5

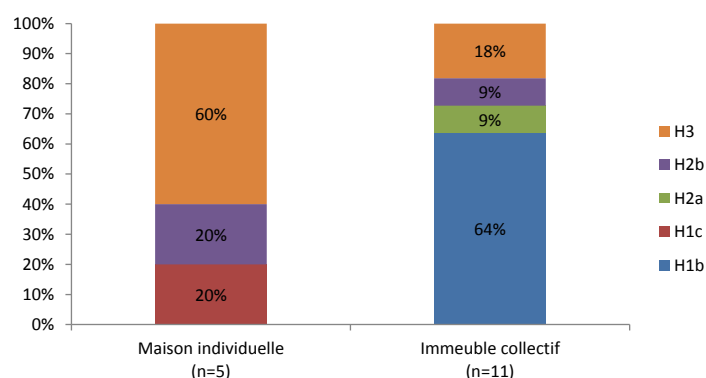


Figure 6-1 - Localisation géographique des bâtiments enquêtés par type d'habitation

6.2 ENVIRONNEMENT PROCHE DES BÂTIMENTS

Trois quart des bâtiments d'habitation (75%) se situent à moins de 500m d'une voie de trafic routier dont l'intensité du trafic est estimée, dans 95% des cas, entre faible et moyenne (Tableau 6-3). Ils sont situés en zone urbaine ou péri urbaine et pour 38% d'entre-deux à proximité d'un chantier de construction/démolition, pour 25% à proximité d'une installation de combustion (chaufferie collective) et pour 12% à proximité d'activités industrielles, de parkings ou d'autres activités extérieures (tramway, station d'épuration) (Tableau 6-4).

Tableau 6-3 – Nombre de bâtiments à moins de 500m de voies de circulation (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Trafic routier		Trafic ferroviaire		Trafic aérien		Trafic fluvial	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Maison individuelle	5	0	0	5	0	5	0	5
Immeuble collectif	7 [16]	4 [11]	1 [4]	10 [23]	0	11 [27]	0	11 [27]
Tout type	12	4	1	15	0	16	0	16

Tableau 6-4 – Nombre de bâtiments à proximité d'activités extérieures pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air ou générées des nuisances acoustiques (le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Activité agricole		Activité d'élevage		Activité industrielle		Chantier construction ou démolition		Gare routière		Installation de combustion		Parking à trafic important		Station-service		Usine recyclage, déchetterie		Autre	
	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N	O	N
Maison individuelle	1	4	0	5	0	5	1	4	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5
Immeuble collectif	0	11 [27]	0	11 [27]	2 [2]	9 [25]	5 [10]	6 [17]	0	11 [27]	4 [8]	7 [19]	2 [5]	9 [22]	1 [2]	10 [25]	0	11 [27]	2 [5]	9 [22]
Tout type	1	15	0	16	2	14	6	10	0	16	4	12	2	14	1	15	0	16	2	14

6.3 LE BÂTI

6.3.1 MODE CONSTRUCTIF

Bien que plusieurs modes constructifs soient représentés, le béton et l'ossature bois sont utilisés pour la construction de près de la moitié des bâtiments (Tableau 6-5). La brique et le mode constructif mixte (béton + ossature bois) sont utilisés pour près du quart des bâtiments. Plus de la moitié des immeubles collectifs sont construits en maçonnerie traditionnelle (béton, brique) alors que les maisons individuelles sont plutôt construites selon un mode constructif mixte alliant une ossature bois avec un autre matériau (béton, brique, Monomur terre cuite).

Tableau 6-5 – Répartition des modes constructifs des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Béton	Brique	Monomur Béton cellulaire	Monomur Terre cuite	Ossature bois	Ossature métallique	Béton + ossature bois	Brique + ossature bois	Autre Monomur Terre cuite + ossature bois
Maison individuelle	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Immeuble collectif	4 [8]	2 [6]	1 [2]	1 [3]	2 [6]	0	1 [2]	0	0
Tout type	4	2	1	1	3	1	2	1	1

6.3.2 ISOLATION

En termes de système d'isolation thermique, plus de la moitié des bâtiments est isolé par l'extérieur (Tableau 6-6) aussi bien pour les logements collectifs que les maisons individuelles. L'isolation intérieure est présente dans 20% des bâtiments et l'isolation répartie dans 13%.

Tableau 6-6 – Principal système d'isolation thermique des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Système d'isolation				
	Isolation rapportée par l'intérieur	Isolation rapportée par l'extérieur	Isolation répartie	Isolation pour ossature bois, acier	Autre système
Maison individuelle	1	3	0	1	0
Immeuble collectif	2 [6]	6 [13]	2 [5]	0	1 [3]
Tout type	3	9	2	1	1

En termes de composition d'isolant, plusieurs matériaux sont utilisés tels que les matériaux synthétiques (polystyrène expansé), biosourcés (fibres de bois, de cellulose) ou minéraux (laine minérale) ainsi que les blocs Monomur (Tableau 6-7).

- Pour les logements collectifs, l'isolation des murs extérieurs est assurée majoritairement par le polystyrène expansé, la laine minérale et les fibres de cellulose. Le plancher bas est isolé par les fibres de bois et d'autres isolants. Enfin, la laine minérale est l'isolant le plus utilisé pour les toitures des bâtiments.
- Pour les maisons individuelles, la laine minérale est utilisée dans plus de la moitié des cas pour l'isolation des murs extérieurs et de la toiture. Le polystyrène expansé est utilisé uniquement pour l'isolation du plancher bas.

Tableau 6-7 – Composition de l'isolant au niveau de différentes parties du bâtiment
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Composition de l'isolant							
	Laine minérale	Fibres de cellulose	Fibres de bois	Polystyrène expansé	Monomur béton cellulaire	Monomur terre cuite	Autre	Ne sait pas
au niveau du plancher bas								
Maison individuelle	1	0	1	2	0	0	1	0
Immeuble collectif	1 [3]	1 [3]	2 [6]	1 [3]	0	0	4 [7]	2 [5]
Tout type	2	1	3	3	0	0	5	2
au niveau des murs extérieurs								
Maison individuelle	3	0	1	0	0	0	1	0
Immeuble collectif	2 [7]	2 [5]	0	4 [7]	1 [2]	1 [3]		1 [3]
Tout type	5	2	1	4	1	1	1	1
au niveau de la toiture du bâtiment								
Maison individuelle	3	0	2	0	0	0	0	0
Immeuble collectif	5 [15]	1 [3]	1 [2]	1 [3]	0	0	2 [2]	1 [2]
Tout type	8	1	3	1	0	0	2	1

6.3.3 PERMEABILITE A L'AIR DE L'ENVELOPPE

Le niveau moyen de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments mesurée *in situ* à la fin de la construction est de $0.73 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ à 4 Pa (Tableau 6-8). Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en $\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$ sous 4 Pa) de la RT2005 est de 0,8 en maison individuelle et 1,2 en collectif ; Les valeurs réglementaires de la RT2012 sont 0,6 en maison individuelle et 1 en collectif.

La perméabilité à l'air moyenne est plus faible pour les maisons individuelles (valeur moyenne égale à $0.49 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ à 4 Pa) que pour les immeubles collectifs (valeur moyenne égale à $0.82 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ à 4 Pa). L'étendue des mesures (max-min) est plus importante dans les immeubles collectifs que dans les maisons individuelles.

Tableau 6-8 – Mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Valeur de perméabilité à l'air mesurée ($\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$ à 4 Pa				
	nb	min	moyenne	médiane	max
Maison individuelle	3	0.29	0.49	0.35	0.84
Immeuble collectif	9 [22]	0.15	0.82	0.93	1.70
Tout type	12	0.15	0.73	0.87	1.70

6.3.4 PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS

Sur les 16 bâtiments enquêtés, 63% sont récents et 37% ont été réhabilités (Tableau 6-9). Une disparité existe selon le type de bâtiments puisque la majorité des maisons individuelles sont récentes (80%) alors que les immeubles collectifs sont pour moitié récents et pour moitié rénovés. Tous les logements récents ont été construits selon la réglementation thermique 2005 et la majorité a obtenu/demandé le label BBC-Effinergie neuf ou le label BBC 2005. Les bâtiments réhabilités ont été rénovés selon la réglementation thermique existant et ont obtenu/demandé pour la majorité le label BBC-Effinergie rénovation.

Tableau 6-9 – Réglementation thermique utilisée lors de la construction/réhabilitation des bâtiments et labels énergétiques obtenus/demandés (NSP : ne sait pas)
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Bâtiments récents			Bâtiments réhabilités		
	Nb	Réglementation thermique utilisée	Labels obtenus/demandés	Nb	Réglementation thermique utilisée	Labels obtenus/demandés
Maison individuelle	4	RT 2005	BBC-Effinergie neuf	1	NSP	BBC-Effinergie rénovation
Immeuble collectif	6 [16]	RT 2005	BBC-Effinergie neuf : 3 [9] BBC 2005 : 1 [3] Passivhaus : 1 [2] Aucun : 1 [2]	5	RT existant: 4 [6] NSP : 1 [5]	BBC-Effinergie rénovation : 3 [8] Aucun : 2 [3]

Le niveau moyen des consommations énergétiques conventionnelles tous usages est de 51 kWhep/m² SHON.an (Tableau 6-10). Cette consommation d'énergie est calculée avec certaines hypothèses fixées, notamment de température intérieure, de présence des occupants, des scénarios d'occupation et d'historique des données météorologiques pour cinq usages pris en compte (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)).

Tableau 6-10 – Consommations énergétiques conventionnelles totales des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

	Niveau moyen des consommations énergétiques conventionnelles totales (kWhep/m ² SHON.an)	
Bâtiment d'habitation	nb	Tous usages
Maison individuelle	3	39
Immeuble collectif	7 [19]	56
Tout type	10	51

6.4 LES SYSTÈMES

6.4.1 CHAUFFAGE

Le système de chauffage diffère selon le type d'habitation (Tableau 6-11) :

- En maison individuelle, le chauffage est assuré par des dispositifs individuels pouvant être des poêles fonctionnant au bois en bûches ou en granulés/copeaux ou bien des pompes à chaleur. Les émetteurs de chaleur sont soit absents en présence de poêles à bois, soit des radiateurs avec circulation d'eau chaude.
- Les logements collectifs sont chauffés principalement par des chaudières collectives, en particulier des chaudières à condensation, ou des pompes à chaleur. L'énergie principale utilisée est le gaz et les principaux émetteurs de chaleur sont des radiateurs à circulation d'eau chaude.

Tableau 6-11 – Système de chauffage des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Maison individuelle	Immeuble collectif	Tout type
Type de chauffage			
Collectif	0	11 [27]	11
Individuel	5	0	5
Système principal de chauffage			
Chaudière à condensation	0	5 [9]	5
Chaudière classique	0	2 [5]	2
Poêle à bois	3	0	3
Pompe à chaleur (Air-Air ; Air-Eau ; Sol-Eau)	2	2 [5]	4
Réseau de chaleur	0	1 [5]	1
Autre (chaudière plaquette bois)	0	1 [3]	1
Energie principale de chauffage			
Bois (bûches)	2	1 [1]	3
Electricité	1	1 [2]	2
Fioul	0	1 [3]	1
Gaz (naturel)	0	6 [14]	6
Granulés, copeaux (biomasse)	1	2 [7]	3
Réseau de chaleur	1 (PAC Air-Eau)	0	1
Emetteurs de chaleur			
Plancher chauffant (à eau chaude)	1	1 [3]	2
Poêle à bois	2	0	2
Radiateurs (avec circulation de fluides chauds)	2	7 [16]	9
Réseau aéraulique	0	2 [5]	2
Autre	0	1 [3]	1

6.4.2 VENTILATION ET RAFRAÎCHISSEMENT D'AIR

Les systèmes mécaniques de ventilation (VMC) sont les systèmes de ventilation les plus utilisés dans les bâtiments (Tableau 6-12) quel que soit le type d'habitation. La part des systèmes VMC simple flux est identique à celle des systèmes VMC double flux. A noter que 2 immeubles collectifs sont équipés d'une ventilation naturelle par grilles hautes et basses et un immeuble par une ventilation par conduits à tirage naturel assisté (hybride).

Tableau 6-12 – Système de ventilation et de rafraîchissement d'air dans les bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Maison individuelle	Immeuble collectif	Tout type
Système de ventilation			
Ventilation naturelle	0	3 [5]	3
VMC simple flux par extraction hygroréglable A	0	1 [3]	1
VMC simple flux par extraction hygroréglable B	2	3 [8]	5
VMC double flux	3	4 [11]	7
Système de rafraîchissement d'air			
Oui	2	1 [2]	3
Non	3	10 [25]	13

Les systèmes de rafraîchissement d'air sont peu répandus dans les immeubles collectifs mais plus nombreux dans les maisons individuelles, qui sont localisées pour moitié en zone climatique H3.

6.4.3 PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE ET D'ÉLECTRICITÉ

La production d'eau chaude sanitaire est assurée par l'installation de chauffage central principal dans les immeubles collectifs et par des appareils indépendants (chauffes eau solaire avec une résistance électrique) en maison individuelle (Tableau 6-13). La production d'électricité par panneaux photovoltaïques est peu répandue.

Tableau 6-13 – Système de production d'eau chaude et d'électricité des bâtiments
(le nombre de logements collectifs enquêtés figure entre crochets)

Bâtiment d'habitation	Maison individuelle	Immeuble collectif	Tout type
Alimentation des bâtiments en eau chaude sanitaire par...			
Installation de chauffage central principal	0	9 [19]	9
Appareils indépendants (chauffe-eau, cumulus,...)	5	2 [8]	7
Ballon d'accumulation couplé à la chaudière	1		
Chauffe-eau solaire avec appoint par la chaudière		1	
Chauffe-eau solaire avec appoint par une résistance électrique	4		
Production instantanée par chaudière (sans ballon)		1	
Présence d'un système de production d'électricité par panneaux photovoltaïques			
Oui	1	1 [3]	2
Non	4	10 [24]	14

6.5 LE LOGEMENT

6.5.1 TYPE ET SURFACE

Les logements investigués sont majoritairement de type T3 à T5 (Tableau 6-14).

Tableau 6-14 – Type et surface habitable des 32 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif	Tout type
Type de logement			
T1	0	1	1
T2	0	1	1
T3	1	15	16
T4	2	7	9
T5	2	3	5
Surface habitable (m²)			
Moyenne (écart-type) [effectif]	153 (48) [5]	73 (19) [27]	86 (38)
Valeur minimale – Valeur maximale	75-190	46-123	46-190

6.5.2 MENUISERIES ET VITRAGES

Les menuiseries (ouvrants ou baies vitrées) sont orientées pour 70% d'entre-elles au sud et au nord et pour 30% à l'est et à l'ouest (Tableau 6-15). L'exposition sud est toutefois privilégiée par rapport à l'exposition nord.

Les logements individuels sont équipés exclusivement de menuiseries avec double vitrage. Les logements collectifs sont équipés à part quasiment égale de menuiseries en double et en triple vitrage : les doubles vitrages sont plutôt situés sur les façades exposées à l'est (86% des vitrages) et à l'ouest (69% des vitrages) alors que le triple vitrage est plutôt situé sur les façades nord (62% des vitrages).

La surface vitrée moyenne représente 15% de la surface habitable pour l'ensemble des logements. Ce pourcentage atteint 19% dans les logements individuels et 14% dans les logements collectifs.

Tableau 6-15 – Menuiseries et vitrage des 32 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif	Tout type
Répartition des menuiseries selon l'orientation			
Orientation Nord (N/NO/NE)	27 %	33 %	31 %
Orientation Sud (S/SO/SE)	36 %	40 %	39 %
Orientation Ouest	16 %	19 %	18 %
Orientation Est	21 %	8 %	12 %
Type de vitrage			
Simple vitrage	0 %	0 %	0 %
Double vitrage	100 %	55 %	69 %
Triple vitrage	0 %	45 %	31 %
Rapport de la surface vitrée/surface habitable en %			
Rapport moyen (écart-type) [effectif]	19% (3%) [4]	14% (3%) [23]	15% (3%)
Valeur minimale – Valeur maximale	16%-22%	9%-19%	9%-22%

6.5.3 OCCUPATION

Les principales caractéristiques des ménages présentées dans le Tableau 6-16 montrent de profondes disparités entre les logements individuels et les logements collectifs. Les logements individuels sont occupés par des ménages de plus de 3 personnes et leurs occupants sont majoritairement propriétaires de leur habitat et disposent d'un revenu total annuel de plus de 30 000 euros. Les logements collectifs sont occupés par des ménages de 1 à 5 personnes et leurs occupants sont tous locataires. Malgré de nombreuses réponses manquantes, il apparaît que 71% des occupants des logements collectifs disposent d'un revenu total annuel de moins de 15 000 euros.

Tableau 6-16 – Caractéristiques principales des ménages des 32 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif	Tout type
Statut d'occupation			
Locataire	1	27	28
Propriétaire	4	0	4
Taille du ménage			
1 personne	0	9	9
2 personnes	0	7	7
3 personnes	1	2	3
4 personnes	3	6	9
5 personnes	1	3	4
Montant total annuel des ressources du ménage			
Information non disponible		10	10
Moins de 5 000 euros		5	5
De 5 000 euros à 9 999 euros	1	2	3
De 10 000 euros à 14 999 euros		5	5
De 15 000 euros à 19 999 euros		1	1
De 20 000 euros à 29 999 euros		3	3
Plus de 30 000 euros	4	1	5

6.6 COMPARAISON DE L'ÉCHANTILLON AVEC LES DONNÉES EXISTANTES

A titre d'information, les principales caractéristiques de l'échantillon de bâtiments de cette étude ont été comparées avec les données existantes, c'est-à-dire avec les caractéristiques des habitations :

- soutenues par les appels à projets régionaux du PREBAT entre 2007 et 2012 (ADEME, 2013) ;
- référencées par l'Observatoire BBC c'est-à-dire des projets certifiées BBC-Effinergie et les projets lauréats des appels à projets lancés par les Directions Régionales de l'ADEME et les Régions avec un niveau BBC :
 - Habitations neuves (Observatoire BBC, 2013a) ;
 - Habitations réhabilitées (Observatoire BBC, 2013b).

Afin de réaliser cette comparaison, une distinction a été faite entre les bâtiments récents et réhabilités selon le type d'habitation. Les comparaisons sont présentées dans le Tableau 6-17 pour les 4 maisons neuves, le Tableau 6-18 pour les immeubles collectifs récents et le Tableau 6-19 pour les immeubles collectifs réhabilités. L'unique maison individuelle réhabilitée n'a pas fait l'objet de comparaison.

Il apparaît que les bâtiments investigués dans cette étude présentent des perméabilités à l'air et des performances énergétiques égales voire meilleures que celles des deux études précitées. En revanche, sur d'autres critères, des disparités semblent exister :

- Pour les constructions neuves, les bâtiments de la présente étude sont construits davantage en ossature bois et la taille des logements est plus importante. Les maisons individuelles neuves sont davantage chauffées avec des poêles à bois et les immeubles collectifs sont davantage équipés de PAC et de VMC double flux.
- Pour les constructions réhabilitées, les immeubles collectifs de la présente étude sont davantage ventilés par ventilation naturelle ou VMC double flux et ne sont pas équipés de chauffe-eau solaire.

Tableau 6-17 – Comparaison des principales caractéristiques des 4 maisons individuelles neuves de cette étude avec les données existantes pour les maisons individuelles neuves

Maisons individuelles neuves	Cette étude (n=4)	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)		Indicateurs de la construction BBC-Effinergie dans le secteur résidentiel (Observatoire BBC-Effinergie, 2013a)	
				secteur diffus 135	secteur groupé Entre 80 et 90
Surface habitable (m ²)	155				
Perméabilité à l'air (m ³ /h.m ² sous 4 Pa)	0,494	secteur diffus 0,41 (n:55)	secteur groupé 0,36 (n:310)	0,40	
Consommation énergétique conventionnelle (kWhep/m ² .an)	44,2	49,5 (maisons individuelles et logements collectifs)		secteur diffus 47,8	secteur groupé 46
Mode constructif	Ossature bois + autre : 50% Ossature bois : 25% Ossature métallique : 25%	secteur diffus Ossature bois : 50% Monomur terre cuite : 30%	secteur groupé Ossature bois : 40% Monomur terre cuite : 30% Béton : 25%	Briques : 44% Ossature bois : 30% Parpaings : 25%	
Isolation	Isolation extérieur : 50% Isolation pour ossature bois, acier : 50%			Isolation par l'intérieur : 69% Isolation par l'extérieur : 8% Isolation répartie : 2%	
Rapport surface vitrée/surface habitable	19%			18,4%	
Mode de chauffage	Poêle à bois : 60% PAC : 40%	Secteur diffus Poêles à bois : 35% PAC : 35%	Secteur groupé Chaudière gaz : 65%	Secteur diffus PAC / Chaudière condensation / Poêle bois	Secteur groupé chaudière à condensation ou à basse température
Energie de chauffage	Bois : 60% Réseau de chaleur : 20% Electricité : 20%			secteur diffus Electricité : 58% Gaz : 30% Bois : 11%	secteur groupé Gaz : 75% à 80%
Systèmes de ventilation	VMC SF hygro B : 40% VMC DF : 60%	VMC SF hygro B : 55% VMC DF : 40%		VMC SF hygro B : 75% VMC DF : 21%	
Production d'eau chaude sanitaire	Chauffe-eau solaire : 80%	Chauffe-eau solaire : 85%		Secteur diffus PAC : 55%	Secteur groupe Chauffe-eau solaire : 82%

Tableau 6-18 – Comparaison des principales caractéristiques des 6 immeubles collectifs récents de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs neufs

Immeubles collectifs neufs	Cette étude (n=6)	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)	Indicateurs de la construction BBC- Effinergie dans le secteur résidentiel (Observatoire BBC-Effinergie, 2013a)
Surface habitable (m²)	82	-	66
Perméabilité à l'air (m³/h.m² sous 4 Pa)	0,88	1,06 (n:226)	0,54
Consommation énergétique conventionnelle (kWhep/m².an)	57	49,5 (maisons individuelles et logements collectifs)	52,6
Mode constructif	Ossature bois : 33% Monomur : 33% Béton : 17% Béton + Ossature bois : 17%	Béton : 45% Ossature bois : 35% Monomur terre cuite : 20%	Béton : 53% Brique : 23% Parpaings + Ossature bois : 10%
Isolation	Isolation par l'extérieur et l'intérieur : 50% Isolation répartie : 33% Isolation par l'intérieur : 17%	-	Isolation par l'extérieur : 57% Isolation par l'intérieur : 22% Isolation répartie : 9%
Mode de chauffage	PAC : 31% Chaudière condensation : 25% Chaudière classique : 25% Réseau de chaleur : 19%	Chaudière gaz à condensation : 60% PAC : 15% Chaudière bois : 10%	Chaudière gaz à condensation : 73%
Energie de chauffage	Gaz : 74 % Electricité : 13% Bois : 13%	-	Gaz : 76 % Electricité : 10% Réseau de chaleur : 7% Bois : 7%
Systèmes de ventilation	VMC SF hygro B : 31% VMC DF : 50% VMC SF hygro A : 19%	VMC SF hygro B : 65% VMC DF : 30%	VMC SF hygro B : 79% VMC DF : 15%
Production d'eau chaude sanitaire	Chaudière : 81% Chauffe-eau solaire : 19%	Chauffe-eau solaire : 85%	Chaudière gaz : 45% Chauffe-eau solaire : 37%

Tableau 6-19 – Comparaison des principales caractéristiques des 5 immeubles collectifs réhabilités de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs réhabilités

Immeubles collectifs réhabilités	Cette étude (n=5)	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)	Indicateurs de la rénovation BBC- Effinergie (Observatoire BBC-Effinergie, 2013b)
Perméabilité à l'air ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$ sous 4 Pa)	0,68	1,5 (n:156)	-
Consommation énergétique conventionnelle ($\text{kWh}/\text{m}^2.\text{an}$)	55	74	76,3
Mode constructif	Béton : 60% Brique : 40%	Béton : 75%	-
Isolation	Isolation par l'extérieur : 100%	-	Isolation par l'extérieur : 52% Isolation par l'intérieur : 35% Isolation répartie : 8%
Mode de chauffage	Chaudière à condensation : 46 % Chaudière Bois : 28% Réseau de chaleur : 18 % Chaudière classique : 9%	Chaudière gaz : 60% Réseau de chaleur : 25%	Chaudière gaz à condensation : 49% Réseau de chaleur : 18% Chaudière Bois : 13%
Energie de chauffage	Bois : 55 % Fioul : 27 % Gaz : 18 %	-	Gaz : 60 % Réseau de chaleur : 23% Bois : 13%
Systèmes de ventilation	Ventilation naturelle : 46% VMC SF hygro B : 27% VMC DF : 27%	VMC SF hygro B : 60% VMC DF : 6%	VMC SF hygro B : 62% VMC DF : 10%
Production d'eau chaude sanitaire	Chaudière : 72%	Chauffe-eau solaire : 55%	-

7. ETAT DESCRIPTIF DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR

7.1 PREAMBULE

Les principales statistiques des paramètres de l'environnement intérieur des 32 logements investigués sont présentées ci-après. Compte tenu de la faible taille de l'échantillon, les données sont fournies pour l'ensemble des 16 bâtiments, sans distinction « maison » et « logement collectif ». Aucun test statistique de comparaison de moyennes n'a été réalisé et aucune interprétation des résultats n'a été donnée.

Pour rappel, les prélèvements/mesures ont été réalisés durant une semaine dans les pièces de sommeil (chambre principale du ménage) et dans les autres pièces (séjour, salon, séjour ouvert sur cuisine) durant deux périodes climatiquement contrastées (période hors chauffe : période entre 15 mai et 15 septembre et période de chauffe : période entre 1^{er} novembre et 28 février). A ce stade de l'étude, aucun reclassement d'enquêtes n'a été effectué au regard du fonctionnement du système principal de chauffage pendant chaque semaine d'investigation. Dans la suite de ce rapport, les deux pièces investiguées seront désignées par « Chambre » et « Séjour ».

Selon les données météorologiques recueillies pendant les semaines d'enquêtes, la température extérieure moyenne était de 17,7 °C hors période de chauffe et de 1,9 °C en période de chauffe.

7.1.1 GESTION DES RESULTATS DE MESURES PAR PRELEVEMENT PASSIF

L'analyse des prélèvements passifs (aldéhydes, COV et NO₂) a été réalisée par plusieurs laboratoires selon les méthodes préconisées par le protocole standardisé. Ainsi plusieurs valeurs de limite de détection et de limite de quantification sont disponibles pour chaque composé analysé. Il a été décidé de prendre en compte, pour chaque composé, la valeur limite de détection et la valeur limite de quantification les plus élevées (Tableau 7-1).

Tableau 7-1 – Gammas des limites de détection et de quantification (µg/m³) et valeurs retenues pour les analyses des prélèvements d'aldéhydes, de COV et du NO₂

		Limite de détection			Limite de quantification		
		minimale	maximale	retenue	minimale	maximale	retenue
Aldéhydes	Acétaldéhyde	0,01	0,05	0,05	0,03	0,1	0,1
	Formaldéhyde	0,01	0,05	0,05	0,03	0,1	0,1
	Hexaldéhyde	0,06	0,4	0,4	0,2	1,1	1,1
Composés organiques volatils (COV)	1,2,4-Triméthylbenzène	0,001	0,05	0,05	0,003	0,17	0,17
	1,4-Dichlorobenzène	0,001	0,12	0,12	0,003	0,33	0,33
	1-Méthoxy-2-propanol	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67
	2-Butoxyéthanol	0,001	0,1	0,1	0,003	0,33	0,33
	alpha-Pinène	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67
	Benzène	0,001	0,05	0,05	0,003	0,17	0,17
	n-Décane	0,001	0,11	0,11	0,003	0,33	0,33
	Ethylbenzène	0,001	0,04	0,04	0,003	0,1	0,1
	n-Hexane	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67
	Limonène	0,0006	0,2	0,2	0,0013	0,67	0,67
	Styrène	0,001	0,04	0,04	0,003	0,1	0,1
	Tétrachloroéthylène	0,001	0,08	0,08	0,003	0,24	0,24
	Toluène	0,002	0,03	0,03	0,003	0,1	0,1
	Trichloroéthylène	0,001	0,12	0,12	0,003	0,32	0,32
	(m+p)-Xylènes	0,001	0,04	0,04	0,003	0,1	0,1
	o-Xylène	0,001	0,04	0,04	0,002	0,1	0,1
Dioxyde d'azote (NO₂)		0,04	3,04	3,04	0,1	10,13	10,13

Il a également été décidé de remplacer les valeurs inférieures à la limite de détection la plus élevée par « zéro » et les valeurs comprises entre la limite de détection et la limite de quantification retenue, par « limite de quantification retenue/2 ».

7.1.2 EXPRESSION DES RESULTATS

Les moyennes hebdomadaires des mesures de concentrations en CO₂ et des paramètres de confort (température et humidité relative de l'air) correspondent à la moyenne arithmétique des mesures en continu de ces paramètres (pas de temps de 10 minutes) réalisées pendant une semaine d'enquête dans chaque logement et pour chaque période (chauffe et hors chauffe).

Les concentrations annuelles des indicateurs de pollution (aldéhydes, COV, NO₂, PM_{2,5}) correspondent à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées en période de chauffe et hors période de chauffe pour chaque logement.

Les concentrations selon les périodes de chauffe/hors chauffe des indicateurs de pollution (aldéhydes, COV, NO₂, PM_{2,5}) correspondent à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées dans la chambre et dans le séjour pour chaque logement.

7.1.3 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS

Les résultats ont été comparés avec les médianes du parc de logements établies lors de la campagne Nationale Logements (CNL) de l'OQAI réalisée entre 2003 et 2005 sur un échantillon de 567 logements représentatifs des 24 millions de résidences principales françaises (Kirchner et al., 2006).

Les résultats ont également été comparés avec les valeurs guides d'air intérieur disponibles c'est-à-dire :

- les valeurs dites « réglementaires » fixées par le gouvernement français, publiées par décret et qui sont les seules à devoir être respectées ;
- les valeurs dites « de gestion » du Haut Conseil de la santé publique (HCSP) prenant en compte les critères sanitaires tout en les mettant en perspective avec les concentrations techniquement atteignables actuellement ;
- les valeurs dites « sanitaires » de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) établies sur des critères sanitaires visant à protéger la santé de l'ensemble de la population, y compris les plus sensibles.

Les valeurs « sanitaires » intermédiaires (entre 14 jours et 1 an) pour le benzène, le trichloroéthylène, le tétrachloroéthylène et la valeur « sanitaire » court terme (entre 1 jour et 14 jours) pour le benzène ont été comparées aux concentrations moyennes de chaque logement pour chaque période (chauffe et hors-chauffe). Les concentrations moyennes d'une période (ex : chauffe) sont calculées à partir des 2 valeurs de concentrations mesurées dans les deux pièces du logement (chambre et séjour) au cours de cette période. Seuls les logements où 2 valeurs de concentration sont disponibles pour la période de chauffe et 2 autres pour la période hors-chauffe ont fait l'objet de cette comparaison.

Les valeurs « sanitaires » à long terme (pour une exposition comprise entre 14 jours et une vie entière), les valeurs « de gestion » et les valeurs « réglementaires » ont été comparées aux concentrations moyennes calculées pour chaque logement hormis pour le radon et les particules PM_{2,5}. Ces concentrations moyennes sont calculées à partir de 4 valeurs de concentration correspondant aux mesures réalisées à deux périodes (chauffe et hors-chauffe) dans les deux pièces

du logement (chambre et séjour). Seuls les logements où 4 valeurs de concentration sont disponibles ont fait l'objet de cette comparaison.

Pour le radon, les valeurs « réglementaires » applicables aux établissements recevant du public (ERP) et les valeurs « de gestion » ont été comparées aux concentrations moyennes de chaque logement. Ces concentrations moyennes sont calculées à partir des 2 valeurs de concentrations réalisées en période de chauffe dans les deux pièces du logement (chambre et séjour). Pour les particules PM_{2,5}, les VGAI sont comparées aux concentrations moyennes de chaque logement calculées à partir des 2 valeurs de concentrations mesurées dans le séjour pour les deux périodes (chauffe et hors chauffe).

Certaines VGAI court terme (acétaldéhyde et NO₂ pour une exposition d'1 heure, formaldéhyde pour une exposition de 2 heures et PM_{2,5} pour une exposition de 24 heures) n'ont pas pu être utilisées du fait de prélèvements réalisés sur des durées différentes.

Cette mise en perspective avec les valeurs guides d'air intérieur ne se substitue pas à une évaluation quantitative des risques sanitaires pour les occupants des logements instrumentés. Seule une telle évaluation permettrait de conclure à un risque sanitaire potentiel. Elle nécessiterait alors la prise en compte des temps passés dans le logement, qui n'est pas l'objet du présent travail. La mise en perspective par rapport aux valeurs de référence permet de mettre en avant des substances dont les concentrations dans l'air intérieur de certains logements peuvent mériter une évaluation plus approfondie des expositions et des risques associés.

7.1.4 GESTION DES DÉPASSEMENTS DES VGAI

Dans le cas du dépassement des VGAI par un des logements, une procédure de gestion a été mise en œuvre par les opérateurs locaux du dispositif OQAI-BPE. Cette procédure décrite dans un document intitulé « fiche réflexe » annexé au protocole harmonisé (OQAI, 2013), fournit les valeurs limites de concentrations de certains polluants mesurés dans l'air intérieur dont le dépassement nécessite d'enclencher une information immédiate des propriétaires et/ou des occupants des locaux à réception des résultats de mesure. En cas de dépassement, il est conseillé aux opérateurs locaux de se rapprocher, au besoin, des services de l'Etat en charge de la mise en œuvre de la réglementation ou bien de leur comité de pilotage local, ou à défaut, du Comité de pilotage national OQAI-BPE.

Les valeurs limites de concentrations à ne pas dépasser sont celles fixées par la réglementation si cette dernière existe ou bien, et en cas d'absence de réglementation, les valeurs d'action rapide proposées par le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) (Tableau 7-2).

Tableau 7-2 – Valeurs limites de concentrations de polluants intérieurs contenues dans la fiche réflexe du dispositif OQAI-BPE (OQAI, 2013)

	Polluant	Valeurs limites	Références
Valeurs limites fixées par la réglementation	benzène	10 µg/m ³	JORF (2012)
	formaldéhyde	100 µg/m ³	JORF (2012)
	radon	400 Bq/m ³	JORF (2004)
Valeurs d'action rapide proposées par l'HCSP	PM _{2,5}	50 µg/m ³	HCSP (2013)
	tétrachloroéthylène	1250 µg/m ³	HCSP (2010b)
	trichloroéthylène	10 µg/m ³ (2µg/m ³ pour lieux ouverts au public dans bâtiments neufs)	HCSP (2012)

7.2 CONFINEMENT DE L'AIR

Les indicateurs statistiques des mesures de CO₂ (sans discriminer les périodes d'occupation et d'inoccupation à ce stade des exploitations) sont présentés dans le Tableau 7-3. Les niveaux de CO₂ semblent plus élevés dans les chambres que dans les séjours.

La comparaison des médianes des moyennes hebdomadaires de CO₂ mesurées dans les chambres des logements de cette étude avec celles de la campagne nationale Logements montre que les niveaux sont semblables (Figure 7-1). La médiane des moyennes hebdomadaires des 60 plus grandes valeurs de CO₂ mesurées dans les chambres de cette étude entre 2h et 5h10 (en période d'occupation) est égale à 1078 ppm. Cette valeur est proche de celle mesurée au cours de la campagne nationale Logements (1161 ppm).

Tableau 7-3 – Moyennes hebdomadaires des mesures de CO₂ (ppm)

	Période	Nb. valeurs	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	Chauffe	15	746 (195)	534	563	733	870	1154
	Hors-chauffe	16	714 (217)	440	555	689	808	1154
	Toute période	31	730 (204)	440	560	723	829	1154
Séjour	Chauffe	21	698 (164)	474	568	709	819	995
	Hors-chauffe	17	571 (137)	398	461	536	657	837
	Toute période	38	641 (163)	398	508	615	756	995

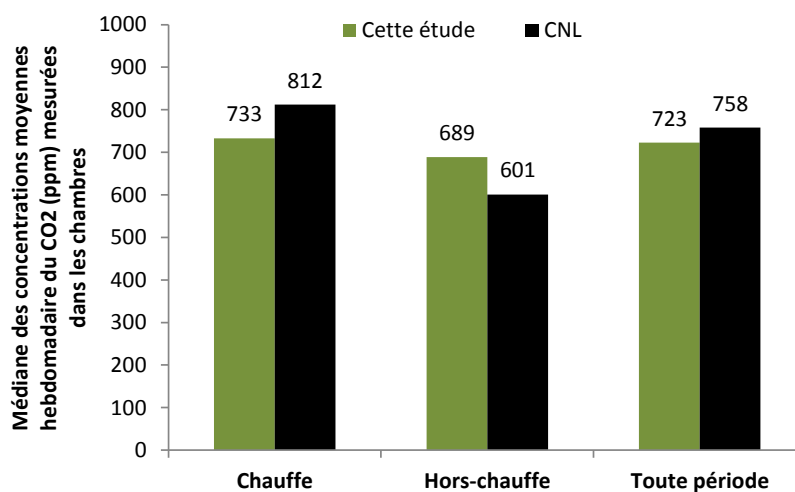


Figure 7-1 – Comparaison des médianes des concentrations moyennes hebdomadaires du CO₂ (ppm) mesurées dans les chambres des logements investigués dans cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).

Les valeurs de CO₂ mesurées toutes les dix minutes dans chaque logement et sans discriminer les périodes (occupation et inoccupation) et les pièces ont été comparées, à titre d'information, aux seuils indiqués par le règlement sanitaire départemental type (RSDT, 1985) pour les locaux non résidentiels en conditions habituelles d'occupation. Le pourcentage de dépassement des valeurs au-dessus de 1000 ppm et de 1300 ppm (pour les locaux où il est interdit de fumer) est illustré dans la Figure 7-2. Il apparaît que 21% des logements ne dépassent jamais le seuil de 1000 ppm et 45% le seuil de 1300 ppm. Pour les logements dépassant au moins une fois les valeurs, la durée cumulée moyenne de dépassement de la valeur de 1000 ppm est de 24 heures sur 7 jours (14% du temps) et de 10 heures sur 7 jours pour la valeur de 1300 ppm (6% du temps).

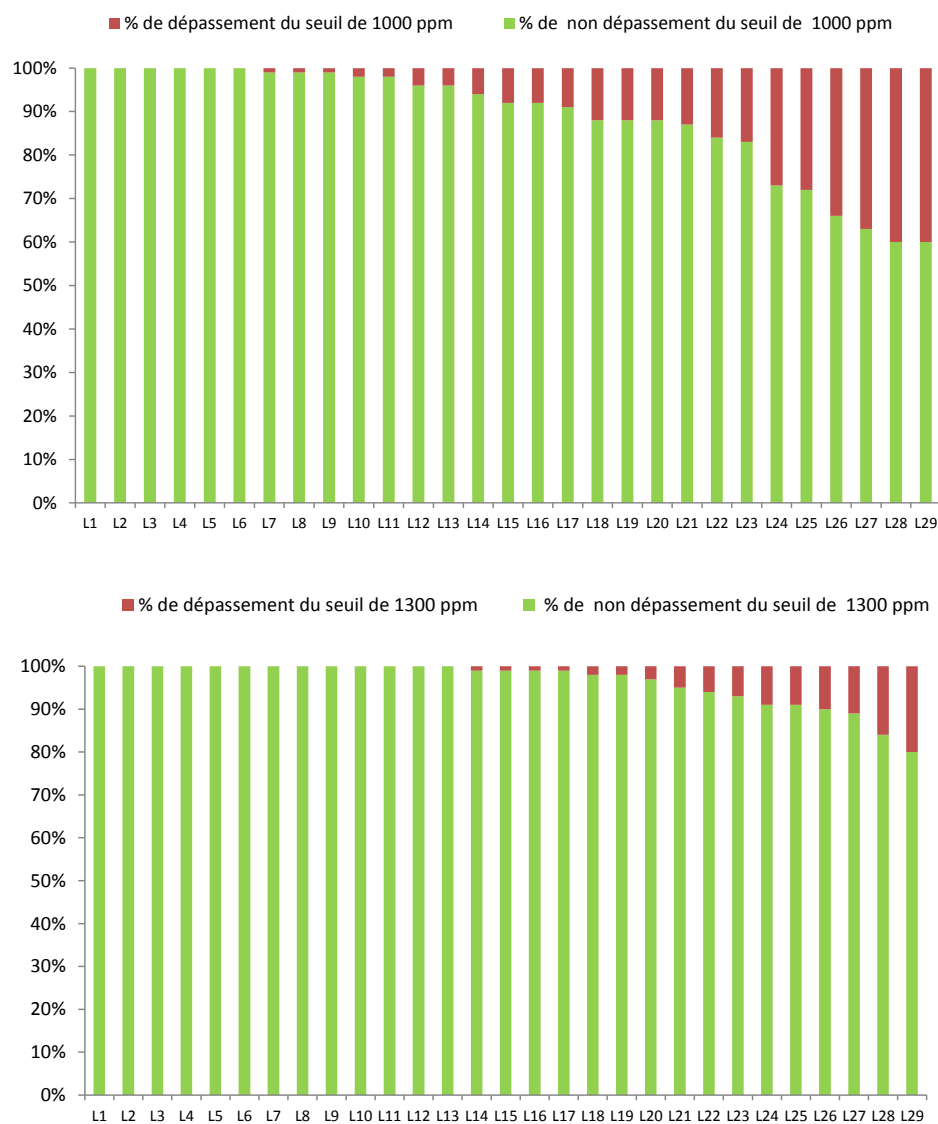


Figure 7-2 – Pourcentage de dépassement des mesures de CO2 par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT (1000 ppm pour la figure du haut, 1300 ppm pour la figure du bas).

7.3 QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

7.3.1 CONCENTRATIONS ANNUELLES

Dans la suite du document,

- la moyenne annuelle correspond à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées à chacune des deux périodes (t1 et t2) ;
- les différences de concentration observées entre les pièces ne sont qu'indicatives puisqu'aucun test statique de comparaison de moyennes avec d'autres données n'a été réalisé à ce stade des exploitations.

7.3.1.1 Aldéhydes

Les indicateurs statistiques des mesures de 3 aldéhydes sont présentés dans le Tableau 7-4. Il semble que les concentrations ne diffèrent pas d'une pièce à l'autre. L'hexaldéhyde est l'aldéhyde présentant la plus forte concentration devant le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

Tableau 7-4 – Concentrations annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) des aldéhydes selon les pièces

	Polluants	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	Acétaldéhyde	24	10,7 (5,5)	3,5	6,5	9,6	13,3	24,0
	Formaldéhyde	24	17,6 (7,9)	5,3	13,0	15,2	20,1	41,9
	Hexaldéhyde	24	23,8 (17,0)	5,2	12,5	19,0	26,7	67,8
Séjour	Acétaldéhyde	26	12,6 (6,1)	5,6	7,3	12,2	15,4	30,3
	Formaldéhyde	26	17,8 (7,3)	8,0	12,6	16,5	21,2	37,5
	Hexaldéhyde	26	23,8 (13,5)	7,5	14,3	20,7	27,9	55,1
Moyenne des logements	Acétaldéhyde	50	11,7 (5,9)	3,5	6,9	10,1	15,1	30,3
	Formaldéhyde	50	17,7 (7,5)	5,3	12,8	16,0	20,4	41,9
	Hexaldéhyde	50	23,8 (15,2)	5,2	12,7	20,2	17,4	67,8

Les médianes des concentrations annuelles d'aldéhydes mesurées dans les chambres des logements de cette étude sont inférieures à celles mesurées au cours de la campagne nationale Logements pour le formaldéhyde et en moindre mesure pour l'acétaldéhyde. En revanche, elles sont supérieures pour l'hexaldéhyde (Figure 7-3).

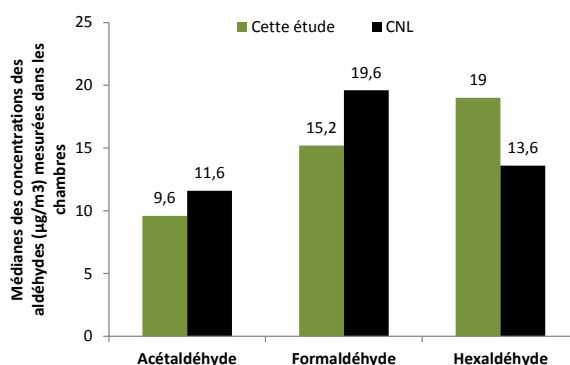


Figure 7-3 – Comparaison des médianes des concentrations hebdomadaires des aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).

Les concentrations moyennes du formaldéhyde de chaque logement ont été comparées avec les valeurs guides d'air intérieur en vigueur (Tableau 7-5). Il apparaît :

- Qu'aucun logement ne dépasse la valeur de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur d'information et de recommandations) et a fortiori la valeur d'action rapide de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Qu'un faible nombre de logements dépasse le seuil de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur repère et valeur réglementaire) ;
- Que la quasi-totalité des logements dépasse le seuil de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme, valeur cible et valeur réglementaire).

Les concentrations moyennes de l'acétaldéhyde de chaque logement ont été comparées avec les valeurs guides d'air intérieur en vigueur (Tableau 7-6) et aucun dépassement n'a été constaté.

Tableau 7-5 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du formaldéhyde

Valeurs guides d'air intérieur du formaldéhyde (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs réglementaires		JORF, 2011
<i>30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2015</i>	2 logements sur 24	
<i>10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2023</i>	23 logements sur 24	
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2009
<i>Valeur action rapide = 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Aucun logement	
<i>Valeur information et recommandations = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Aucun logement	
<i>Valeur repère = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	2 logements sur 24	
<i>Valeur cible = 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	23 logements sur 24	
Valeurs sanitaires de l'ANSES		AFSSET, 2007
<i>VGAI court terme (pour une exposition de 2 heures) = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Sans objet (comparaison impossible)	
<i>VGAI long terme (pour une exposition > 1 an) = 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	23 logements sur 24	

Tableau 7-6 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur de l'acétaldéhyde

Valeurs guides d'air intérieur de l'acétaldéhyde (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs sanitaires de l'ANSES		ANSES, 2014
<i>VGAI court terme (pour une exposition de 1 heure) = 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Sans objet (comparaison impossible)	
<i>VGAI long terme (pour une exposition > 1 an) = 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Aucun logement	

7.3.1.2 Composés organiques volatils (COV)

Les indicateurs statistiques des mesures des 16 COV sont présentés dans le Tableau 7-7. Parmi les 16 COV mesurés, la majorité présente en moyenne des concentrations annuelles inférieures à $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'alpha-pinène et le limonène sont les composés présentant les concentrations moyennes annuelles les plus élevées (respectivement 92 et $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les concentrations des COV ne semblent pas différer d'une pièce à l'autre hormis pour deux composés : l'alpha-pinène présente des concentrations plus élevées dans les chambres que dans les séjours alors que la tendance inverse est observée pour le limonène.

Tableau 7-7 –Concentrations annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) des COV selon les pièces

	Polluants	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	1,2,4-Triméthylbenzène	25	1,7 (2,4)	0,2	0,6	0,9	1,4	9,0
	1,4-Dichlorobenzène	25	1,8 (7,7)	0,0	0,0	0,3	0,3	38,6
	1-Méthoxy-2-propanol	26	2,9 (5,9)	0,2	0,3	0,9	2,3	28,1
	2-Butoxyéthanol	25	2,5 (2,0)	0,3	0,9	1,8	3,7	7,1
	alpha-Pinène	25	92,0 (215,2)	2,6	9,5	17,5	37,2	959,1
	Benzène	26	1,5 (0,9)	0,3	0,7	1,5	2,1	3,5
	n-Décane	25	3,6 (4,3)	0,5	1,3	1,7	3,7	17,1
	Ethylbenzène	26	1,0 (0,6)	0,3	0,3	0,9	1,5	2,1
	n-Hexane	22	1,1 (2,3)	0,3	0,3	0,3	0,8	11,1
	Limonène	26	37,2 (32,9)	6,8	14,2	19,3	67,1	126,8
	Styrène	26	1,0 (0,6)	0,3	0,3	0,9	1,5	2,2
	Tétrachloroéthylène	26	0,3 (0,1)	0,0	0,2	0,3	0,3	0,7
	Toluène	26	5,4 (5,2)	1,4	2,9	3,9	5,8	27,1
	Trichloroéthylène	25	0,4 (1,2)	0,0	0,0	0,0	0,3	6,0
	(m+p)-Xylènes	26	2,4 (1,5)	0,6	1,2	2,4	2,8	7,5
	o-Xylène	26	1,0 (0,6)	0,3	0,6	0,8	1,1	2,7
Séjour	1,2,4-Triméthylbenzène	27	1,6 (1,9)	0,3	0,6	1,1	1,7	9,5
	1,4-Dichlorobenzène	27	1,2 (5,0)	0,0	0,0	0,2	0,3	26,1
	1-Méthoxy-2-propanol	28	2,7 (4,9)	0,2	0,5	0,9	1,7	23,6
	2-Butoxyéthanol	27	2,4 (2,3)	0,3	0,7	1,7	2,9	8,7
	alpha-Pinène	27	78,7 (170,6)	2,1	8,9	16,8	52,7	727,5
	Benzène	28	1,8 (1,2)	0,6	0,9	1,7	2,4	5,2
	n-Décane	27	3,8 (4,0)	0,3	1,3	2,1	5,6	17,5
	Ethylbenzène	28	1,0 (0,6)	0,3	0,5	0,9	1,4	2,3
	n-Hexane	24	0,9 (1,8)	0,3	0,3	0,6	0,7	8,6
	Limonène	28	42,3 (30,1)	6,0	20,6	30,1	57,2	112,7
	Styrène	28	1,2 (0,7)	0,3	0,6	0,9	1,8	2,8
	Tétrachloroéthylène	28	0,4 (0,7)	0,0	0,2	0,3	0,3	3,6
	Toluène	28	6,4 (4,8)	1,7	3,5	5,5	7,5	24,9
	Trichloroéthylène	26	1,3 (6,1)	0,0	0,0	0,0	0,3	31,4
	(m+p)-Xylènes	28	2,7 (1,7)	0,6	1,5	2,2	3,7	8,4
	o-Xylène	28	1,1 (0,8)	0,3	0,7	0,9	1,3	3,5
Moyennes des logements	1,2,4-Triméthylbenzène	52	1,7 (2,1)	0,2	0,6	1,0	1,6	9,5
	1,4-Dichlorobenzène	52	1,5 (6,4)	0,0	0,0	0,2	0,3	38,6
	1-Méthoxy-2-propanol	54	2,8 (5,4)	0,2	0,3	0,9	1,7	28,1
	2-Butoxyéthanol	52	2,5 (2,1)	0,3	0,9	1,7	3,1	8,7
	alpha-Pinène	52	85,1 (191,5)	2,1	9,0	17,1	44,6	959,1
	Benzène	54	1,7 (1,0)	0,3	0,7	1,6	2,3	5,2
	n-Décane	52	3,7 (4,1)	0,3	1,3	2,0	4,6	17,5
	Ethylbenzène	54	1,0 (0,6)	0,3	0,5	0,9	1,6	2,3
	n-Hexane	46	1,0 (2,0)	0,3	0,3	0,3	0,7	11,1
	Limonène	54	39,8 (31,3)	6,0	15,8	24,8	59,8	126,8
	Styrène	54	1,1 (0,7)	0,3	0,6	0,9	1,7	2,8
	Tétrachloroéthylène	54	0,4 (0,5)	0,0	0,2	0,3	0,3	3,6
	Toluène	54	5,9 (4,9)	1,4	3,1	4,4	7,1	27,1
	Trichloroéthylène	50	0,9 (4,5)	0,0	0,0	0,0	0,3	31,4
	(m+p)-Xylènes	54	2,5 (1,6)	0,6	1,3	2,2	3,2	8,4
	o-Xylène	54	1,1 (0,7)	0,3	0,7	0,9	1,2	3,5

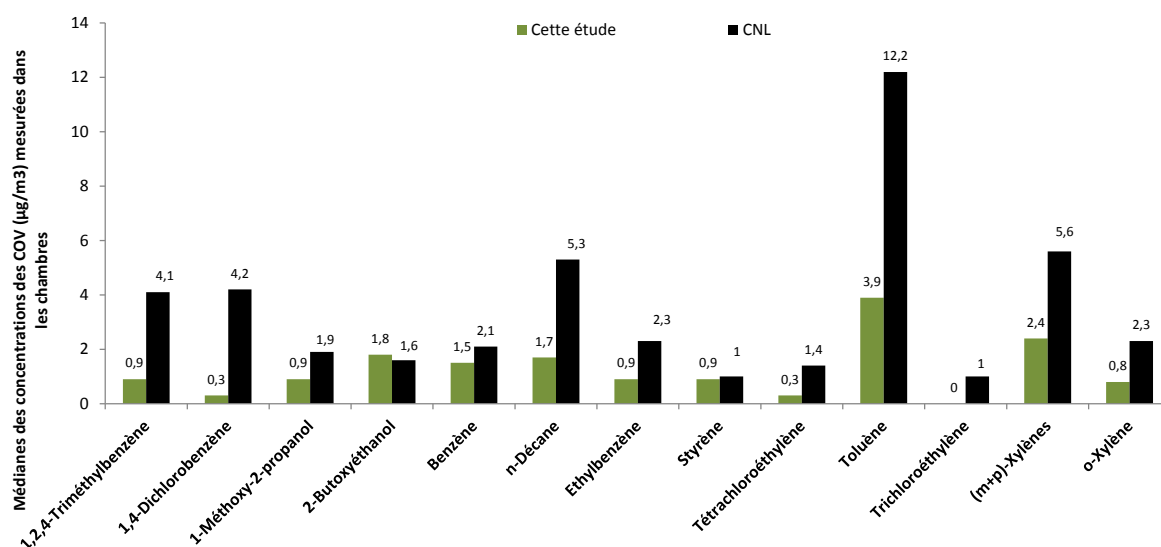


Figure 7-4 – Comparaison des médianes des concentrations hebdomadaires des COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).

Les médianes des concentrations annuelles des COV mesurées dans les chambres des logements de cette étude ne dépassent jamais celles mesurées au cours de la campagne nationale Logements (Figure 7-4). En revanche, deux composés (2-butoxyéthanol et styrène) présentent des concentrations similaires.

Les concentrations moyennes du benzène de chaque logement ont été comparées avec les valeurs guides d'air intérieur en vigueur (Tableau 7-8).

Tableau 7-8 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du benzène

Valeurs guides d'air intérieur du benzène (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs réglementaires		JORF, 2011
5 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2015	Aucun logement	
2 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2016	11 logements sur 26	
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2010a
Valeur action rapide = 10 µg/m³	Aucun logement	
Valeur repère = 5 µg/m³	Aucun logement	
Valeur cible = 2 µg/m³	11 logements sur 26	
Valeurs sanitaires de l'ANSES*		AFSSET, 2008
VGAI court terme (pour une exposition de 1 à 14 jours) = 30 µg/m³	Aucun logement	
VGAI intermédiaire (pour une exposition de 14 jours à 1 an) = 20 µg/m³	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition > à 1 an) = 10 µg/m³	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10 ⁻⁵) = 2 µg/m³	11 logements sur 26	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10 ⁻⁶) = 0,2 µg/m³	26 logements sur 26	

Il apparaît :

- qu’aucun logement ne dépasse la valeur de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur repère, valeur réglementaire) et à fortiori les valeurs de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme, valeur d’action rapide), de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI intermédiaire) et de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI court terme) ;
- que près de la moitié des logements dépasse le seuil de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme avec niveau de risque 10^{-5} , valeur cible, valeur réglementaire) ;
- que la totalité des logements dépasse le seuil de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme avec niveau de risque 10^{-6}).

Les concentrations moyennes du trichloroéthylène de chaque logement ont été comparées avec les valeurs guides d’air intérieur en vigueur (Tableau 7-9). Il apparaît :

- qu’aucun logement ne dépasse la valeur de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme avec un niveau de risque 10^{-5}) et *a fortiori* celle de $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI intermédiaire) ;
- qu’un seul logement dépasse les valeurs de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur d’action rapide) et de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur repère, VGAI long terme avec niveau de risque 10^{-6}).

Tableau 7-9 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du trichloroéthylène

Valeurs guides d’air intérieur du trichloroéthylène (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2012
Valeur action rapide = $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 logement sur 24	
Valeur repère = $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 logement sur 24	
Valeurs sanitaires de l’ANSES		AFSSET, 2009
VGAI intermédiaire (pour une exposition de 14 jours à 1 an) = $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10^{-6}) = $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 logement sur 24	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque de 10^{-5}) = $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	

Les concentrations moyennes du tétrachloroéthylène de chaque logement ont été comparées avec les valeurs guides d’air intérieur en vigueur (Tableau 7-10) et aucun dépassement n’a été constaté.

Tableau 7-10 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du tétrachloroéthylène

Valeurs guides d’air intérieur du tétrachloroéthylène (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2010b
Valeur d’action rapide = $1250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
Valeur repère = $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
Valeurs sanitaires de l’ANSES		AFSSET, 2010a
VGAI court terme (pour une exposition de 1 à 14 jours) = $1380 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition > 1 an) = $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	

7.3.1.3 Dioxyde d’azote

Les indicateurs statistiques des mesures de dioxyde d’azote (NO_2) sont présentés dans le Tableau 7-11. Les concentrations mesurées dans les chambres semblent plus élevées que celles mesurées dans les séjours.

La comparaison des mesures de NO_2 avec les valeurs guides (Tableau 7-12) montre quelques logements dépassent la VGAI long terme ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tableau 7-11 –Concentrations annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en NO_2 selon les pièces

	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	26	16,1 (12,1)	2,5	7,7	14,1	20,1	58,8
Séjour	21	10,1 (7,4)	2,4	4,5	8,1	16,3	25,8
Moyennes des logements	47	13,4 (10,6)	2,4	5,1	12,7	17,3	58,8

Tableau 7-12 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du dioxyde d'azote

Valeurs guides d'air intérieur de dioxyde d'azote (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs sanitaires de l'ANSES		ANSES, 2013
<i>VGAI court terme (pour une exposition de 1 heure) = $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Sans objet (comparaison impossible)	
<i>VGAI long terme (pour une exposition > à 1 an) = $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	3 logements sur 19	

7.3.1.4 Particules $\text{PM}_{2,5}$

Les indicateurs statistiques des mesures de particules ($\text{PM}_{2,5}$) sont présentés dans le Tableau 7-13. Ce paramètre est difficile à mesurer du fait du bruit généré par le système de prélèvement (pompe à air) qui engendre une gêne sonore pour les occupants. De nombreuses pompes ont été débranchées par les occupants au cours de la semaine de mesure et de nombreux occupants ont refusé que ce prélèvement soit réalisé au cours de la seconde enquête.

Tableau 7-13 –Concentrations annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) des $\text{PM}_{2,5}$ dans le séjour

	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Particules ($\text{PM}_{2,5}$)	15	17,4 (10,9)	5,6	7,6	13,4	25,8	37,8

La médiane des concentrations annuelles des $\text{PM}_{2,5}$ mesurées dans les séjours des logements de cette étude est inférieure à celle mesurée dans les logements de la campagne nationale Logements (Figure 7-5).

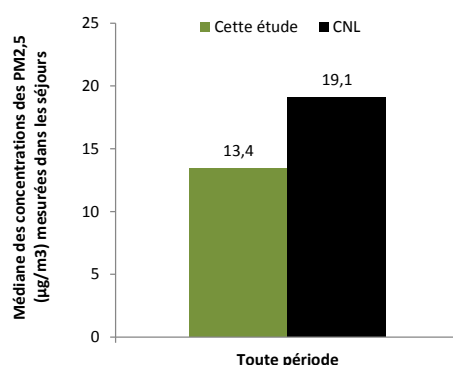


Figure 7-5 – Comparaison des médianes des concentrations annuelles des $\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les séjours des logements de cette étude et dans ceux des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

La comparaison des concentrations annuelles des particules PM_{2,5} de chaque logement avec les valeurs guides en vigueur a été réalisée (Tableau 7-14). Il apparaît :

- qu’aucun logement ne dépasse la valeur d’action rapide (50 µg/m³) ;
- que 5 logements sur 15 dépasse la valeur repère de 20 µg/m³ ;
- que plus de la moitié des logements dépassent les autres valeurs repères comprises entre 10 et 18 µg/m³.

Tableau 7-14 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur des particules PM_{2,5}

Valeurs guides d'air intérieur des particules PM _{2,5} (VGAI)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2013
Valeur d'action rapide = 50 µg/m ³	Aucun logement	
Valeur repère = 20 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2015	5 logements sur 15	
Valeur repère = 18 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2017	7 logements sur 15	
Valeur repère = 16 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2019	7 logements sur 15	
Valeur repère = 14 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2021	7 logements sur 15	
Valeur repère = 12 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2023	9 logements sur 15	
Valeur cible = 10 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2025	9 logements sur 15	
Valeurs sanitaires de l'OMS		AFSSET, 2010b
VGAI court terme (pour une exposition 24 heures) = 25 µg/m ³	Sans objet (comparaison impossible)	
VGAI long terme = 10 µg/m ³	9 logements sur 15	

7.3.1.5 Radon

Les indicateurs statistiques des mesures de l’activité volumique du radon réalisées en période de chauffe sont présentés dans la Tableau 7-15. Les mesures du radon ont été réalisées systématiquement dans tous les bâtiments et pas seulement dans les zones à risque radon. Les activités volumiques semblent plus faibles dans les chambres que dans les séjours.

Tableau 7-15 – Mesures de l’activité volumique du radon (Bq/m³) effectuées uniquement en période de chauffe

	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	13	33,2 (28,3)	8,0	9,0	29,6	14,0	105,0
Séjour	13	37,8 (20,3)	8,0	21,0	42,0	47,0	83,0
Moyennes des logements	26	35,5 (24,2)	8,0	17,0	31,7	45,1	105,0

La médiane des concentrations en radon mesurées dans les logements de cette étude, en période de chauffe, a été comparée à celle, mesurées dans les logements de la campagne nationale Logements, en période de chauffe également (Figure 7-6). Les concentrations de cette étude sont identiques dans le séjour et plus faibles dans les chambres.



Figure 7-6 – Comparaison des médianes des concentrations en radon (Bq/m^3) mesurées dans les pièces des logements de cette étude en période de chauffe et dans celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

Les concentrations moyennes de chaque logement ont été comparées aux valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-16) et aucun dépassement n'a été constaté.

Tableau 7-16 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du radon

Valeurs guides d'air intérieur du radon (VGAi)	Nombre de logements avec au moins un dépassement	Références
Valeurs réglementaires		JORF, 2004
<i>En dessous de 400 Bq/m³ : pas d'action corrective</i>	Aucun logement	
<i>Entre 400 et 1000 Bq/m³, mise en œuvre souhaitable d'actions correctives simples</i>	Aucun logement	
<i>Au-delà de 1 000 Bq/m³, actions correctives impérativement à mettre en œuvre</i>	Aucun logement	
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2010c
<i>En dessous de 300 Bq/m³ : pas d'action corrective</i>	Aucun logement	
<i>Entre 200 Bq/m³ pour l'habitat neuf</i>	Aucun logement	
<i>Objectif à long terme = 100 Bq/m³</i>	Aucun logement	

7.3.2 CONCENTRATIONS SELON LES PERIODES DE CHAUFFE ET DE HORS-CHAUFFE

Pour une période donnée, les concentrations étudiées correspondent à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées dans la chambre et dans le séjour (moyenne spatiale des concentrations).

Les différences de concentration observées entre les périodes ne sont qu'indicatives puisqu'aucun test statique de comparaison de moyennes n'a été réalisé.

7.3.2.1 Aldéhydes

Les indicateurs statistiques des mesures d'aldéhydes selon les périodes sont présentés dans le Tableau 7-17.

La médiane des concentrations intérieures d'aldéhydes est plus élevée en période hors-chauffe qu'en période de chauffe pour l'hexaldéhyde et pour le formaldéhyde (Figure 7-7). L'acétaldéhyde présente la tendance inverse (concentration plus élevée en période de chauffe).

Tableau 7-17 – Concentrations moyennes d'aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par logement selon les périodes

Période	Polluants	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Hors chauffe	Acétaldéhyde	59	10,6 (5,8)	3,1	6,0	9,3	13,7	30,0
	Formaldéhyde	59	19,0 (8,3)	4,9	12,8	16,8	25,1	45,8
	Hexaldéhyde	59	26,8 (15,6)	5,4	15,2	23,2	34,6	88,5
Chauffe	Acétaldéhyde	55	13,1 (6,6)	3,5	7,7	11,4	17,8	30,7
	Formaldéhyde	55	15,7 (7,4)	5,7	11,2	13,5	18,7	38,0
	Hexaldéhyde	55	24,5 (23,3)	5,0	9,8	14,2	30,3	127,1

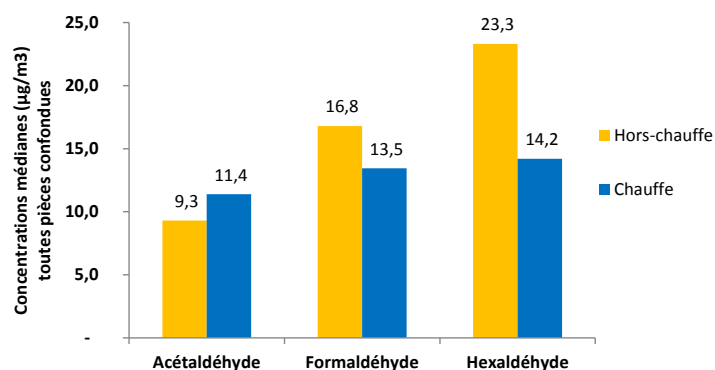


Figure 7-7 –Médianes des concentrations intérieures ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) d'aldéhydes selon les périodes

7.3.2.2 Composés organiques volatils

Les indicateurs statistiques des mesures des COV selon les périodes sont présentés dans le Tableau 7-18.

Les médianes des concentrations intérieures des COV sont plus élevées en période de chauffe qu'en période hors-chauffe en particulier pour le limonène mais également pour le 1,2,4-triméthylbenzène, le benzène, le n-décane, le toluène et les (m+p)-xylènes(Figure 7-8). Le 2-butoxyéthanol présente des concentrations plus élevées période hors-chauffe.

Tableau 7-18 – Concentrations moyennes de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par logement selon les périodes

	Polluants	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Hors chauffe	1,2,4-Triméthylbenzène	59	1,2 (1,7)	0,3	0,3	0,7	1,3	7,9
	1,4-Dichlorobenzène	59	2,0 (10,1)	0,0	0,0	0,0	0,3	63,6
	1-Méthoxy-2-propanol	59	1,8 (3,7)	0,0	0,3	0,8	1,7	24,7
	2-Butoxyéthanol	59	3,4 (3,3)	0,3	1,0	2,2	4,7	12,8
	alpha-Pinène	59	77,4 (169,4)	2,5	8,0	17,3	41,3	900,9
	Benzène	59	1,2 (1,2)	0,3	0,3	0,8	1,3	5,7
	n-Décane	59	3,8 (5,9)	0,3	1,0	1,5	4,3	30,7
	Ethylbenzène	59	0,8 (0,5)	0,3	0,3	0,8	1,2	2,1
	n-Hexane	57	1,2 (3,5)	0,3	0,3	0,3	0,7	21,8
	Limonène	59	25,6 (33,0)	1,8	6,4	12,6	21,8	127,4
	Styrène	59	1,1 (0,7)	0,3	0,3	1,0	1,5	3,5
	Tétrachloroéthylène	59	0,3 (0,6)	0,0	0,3	0,3	0,3	4,4
	Toluène	59	6,0 (8,8)	1,0	2,2	3,8	6,3	52,9
	Trichloroéthylène	59	0,1 (0,2)	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
	(m+p)-Xylènes	59	2,1 (1,5)	0,3	0,9	1,8	2,7	7,3
	o-Xylène	59	0,9 (0,7)	0,3	0,3	0,8	1,1	4,3
Chauffe	1,2,4-Triméthylbenzène	57	2,0 (2,9)	0,0	0,7	1,3	1,9	16,4
	1,4-Dichlorobenzène	57	0,6 (2,0)	0,0	0,0	0,3	0,3	13,6
	1-Méthoxy-2-propanol	59	4,6 (8,5)	0,0	0,3	0,8	4,0	35,1
	2-Butoxyéthanol	57	2,0 (2,4)	0,3	0,3	1,2	2,6	11,2
	alpha-Pinène	57	84,8 (197,5)	0,3	9,3	16,3	42,1	1017,4
	Benzène	59	2,2 (1,4)	0,3	1,1	1,9	3,2	5,5
	n-Décane	57	3,2 (3,2)	0,3	1,6	2,1	3,7	16,1
	Ethylbenzène	59	1,3 (1,1)	0,3	0,3	0,9	1,8	5,2
	n-Hexane	53	0,7 (0,6)	0,3	0,3	0,3	1,0	3,6
	Limonène	59	52,8 (38,9)	6,2	21,4	42,8	79,2	170,0
	Styrène	59	1,2 (0,9)	0,3	0,3	0,9	1,7	4,0
	Tétrachloroéthylène	59	0,4 (0,4)	0,0	0,3	0,3	0,3	2,8
	Toluène	59	5,8 (3,5)	1,3	3,4	4,7	7,5	17,3
	Trichloroéthylène	55	2,1 (9,0)	0,0	0,0	0,1	0,3	62,4
	(m+p)-Xylènes	59	3,0 (2,1)	0,8	1,7	2,5	3,6	9,6
	o-Xylène	59	1,2 (0,9)	0,3	0,7	1,0	1,3	4,6

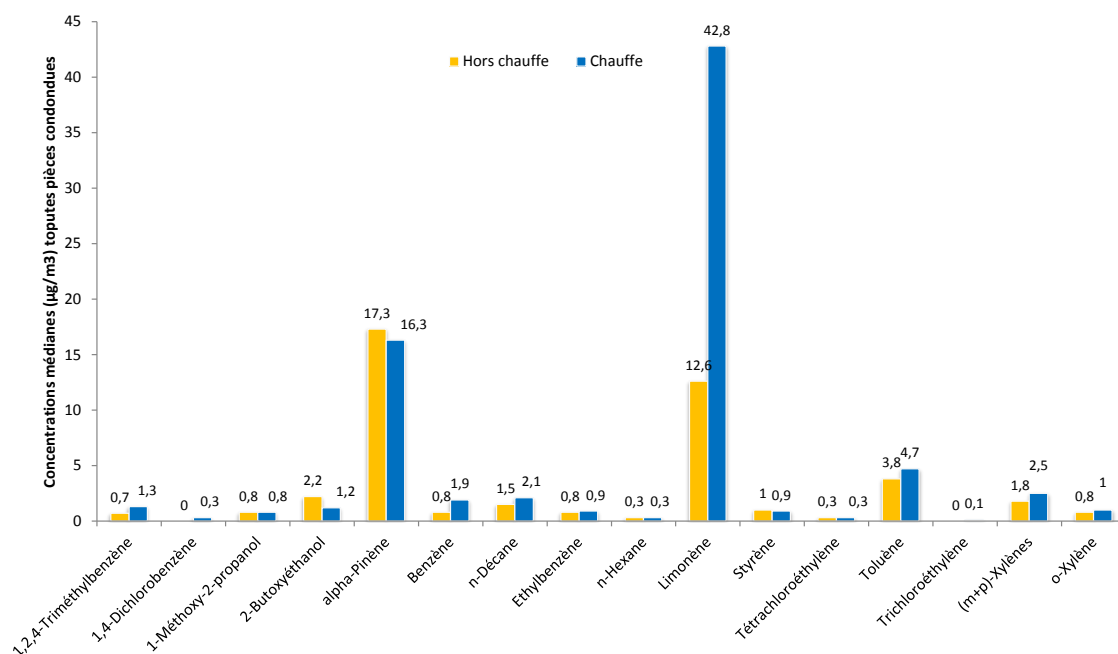


Figure 7-8 – Médianes des concentrations intérieures (µg/m³) des COV selon les périodes

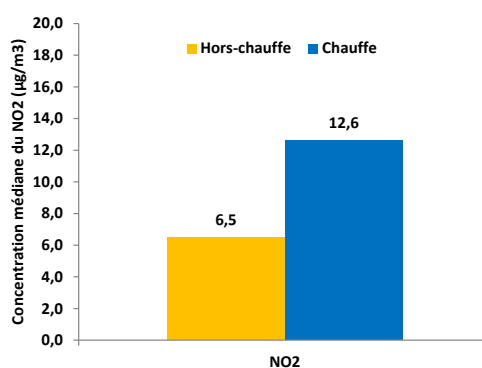
7.3.2.3 Dioxyde d'azote

Les indicateurs statistiques des mesures de NO₂ selon les périodes sont présentés dans le Tableau 7-19.

Les concentrations médianes du NO₂ semblent plus élevées en période de chauffe qu'en période hors-chauffe (Figure 7-9).

Tableau 7-19 – Concentrations moyennes intérieures (µg/m³) de NO₂ selon les périodes

Période	Polluant	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Hors chauffe	NO ₂	55	13,3 (17,3)	1,1	5,1	6,5	15,6	96,4
Chauffe	NO ₂	50	12,5 (7,4)	0,0	5,1	12,6	18,6	27,2

Figure 7-9 – Médianes des concentrations (µg/m³) de NO₂ selon les périodes

7.3.2.4 Particules PM_{2,5}

Les indicateurs statistiques des mesures des particules (PM_{2,5}) selon les périodes sont présentés dans le Tableau 7-20.

Les médianes des concentrations intérieures de particules (PM_{2,5}) sont plus élevées en période de chauffe qu'en période de hors-chauffe (Figure 7-10).

Tableau 7-20 – Concentrations intérieures (µg/m³) des PM_{2,5} selon les périodes

Période	Polluant	Nb. mesures	Moyenne (écart-tye)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Hors chauffe	PM _{2,5}	20	13,8 (9,7)	4,5	8,3	11,2	15,0	43,2
Chauffe	PM _{2,5}	18	26,8 (25,8)	3,0	9,4	19,6	38,3	104,5

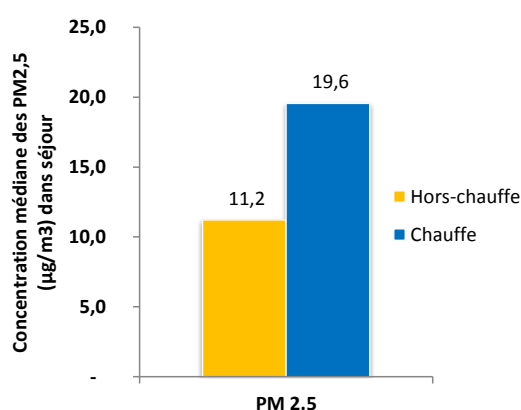


Figure 7-10 – Médianes des concentrations intérieures (µg/m³) des particules (PM_{2,5}) selon les périodes

7.3.3 CONTAMINATION FONGIQUE ET PRESENCE D'HUMIDITE

L'indice de contamination fongique (ICF) a été calculé pour la dernière enquête (phase t2) de chaque logement à partir des chromatogrammes des prélèvements COV de la pièce de séjour. L'ICF a été calculé pour 28 des 32 logements enquêtés, le calcul étant impossible pour un logement et non encore réalisé pour 3 logements.

Sur les 24 logements présentant un ICF valide, 12 (50% des logements) présentent un ICF positif traduisant le développement actif de moisissures. Pour mémoire, le pourcentage de logements de la campagne nationale Logements présentant un développement fongique était de 37%.

L'exploitation des données des questionnaires (Tableau 7-21) montre qu'au cours des 12 derniers mois ou depuis l'emménagement des occupants, il a été observé des :

- traces d'humidité dans 13% des logements ;
- infiltrations d'eau dans 15% ;
- dégâts des eaux dans 3%.

Un faible pourcentage des logements (3%) a fait l'objet d'un traitement contre un excès d'humidité.

Comparativement à la campagne nationale Logements (Figure 7-11), le pourcentage de logement présentant des traces d'humidité semble plus faible. En revanche, les mêmes pourcentages sont observés pour la présence d'infiltration d'eau et de traitement contre l'excès d'humidité.

Tableau 7-21 – Pourcentage des logements ayant connu des problèmes d’humidité et ayant fait l’objet de traitement contre l’humidité (n=31)

		Toute phase	Phase t1	Phase t2
Au cours des 12 derniers mois ou depuis votre emménagement, avez-vous observé dans votre logement des...				
Traces d’humidité ?	Oui	13%	13%	13%
	Non	87%	87 %	87 %
Infiltrations d’eau ?	Oui	15%	16%	13%
	Non	85%	84%	87 %
Dégâts des eaux ?	Oui	3%	3%	3%
	Non	97%	97%	97%
Au cours des 12 derniers mois ou depuis votre emménagement, votre logement a-t-il fait l’objet d’un traitement contre un excès d’humidité				
Oui		3%	3%	3%
Non		97%	97%	97%

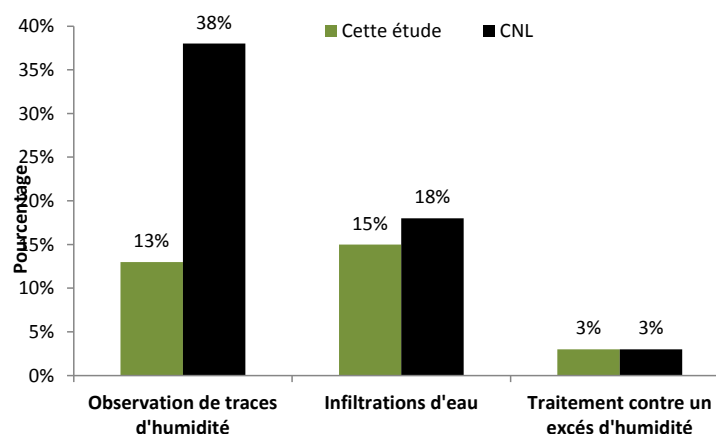


Figure 7-11 – Comparaison du pourcentage de logements ayant subi des problèmes d’humidité ou ayant fait l’objet d’un traitement contre l’humidité dans les 12 derniers mois au depuis l’emménagement des occupants entre cette étude et les logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l’OQAI)

7.4 CONFORT THERMIQUE

Les indicateurs statistiques de la température intérieure et de l’humidité relative intérieure sont présentés respectivement dans les Tableau 7-22 et Tableau 7-23. Pour chaque période, les températures intérieures moyennes sont pratiquement identiques quelle que soit la pièce traduisant probablement une répartition homogène de la température dans les pièces des logements. Pour les valeurs d’humidité relative, la même tendance est observée.

Les médianes des moyennes hebdomadaires de la température intérieure des logements de cette étude sont supérieures à celles des logements de la campagne nationale Logements à l’exception de celles mesurées dans les chambres en période hors-chauffe (Figure 7-12). L’humidité relative mesurée dans les logements de cette étude est moins élevée que celle mesurée lors de la campagne nationale Logements (Figure 7-13).

Tableau 7-22 – Moyenne hebdomadaire de température intérieure dans les logements (°C)

	Période	Nb. logement	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	Chauffe	25	21,1 (1,7)	16,5	19,6	21,4	22,4	23,7
	Hors-chauffe	27	24 (1,9)	20,4	22,8	23,6	25,2	28,3
Séjour	Chauffe	26	21,8 (1,1)	19,1	21,1	21,5	22,9	23,8
	Hors-chauffe	25	24,3 (2,1)	20,8	22,3	24,5	25,7	29,3

Tableau 7-23 – Moyenne hebdomadaire d'humidité relative intérieure dans les logements (%)

	Période	Nb. logement	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Chambre	Chauffe	25	37,3 (10,2)	21,4	30,2	37,1	43,3	60,1
	Hors-chauffe	27	49,4 (7,0)	39,5	44,1	47,9	55,1	68,5
Séjour	Chauffe	26	35,7 (8,5)	21,1	29,9	36,4	41,9	53,8
	Hors-chauffe	25	48 (7,8)	37,3	43,2	46,0	51,0	67,9

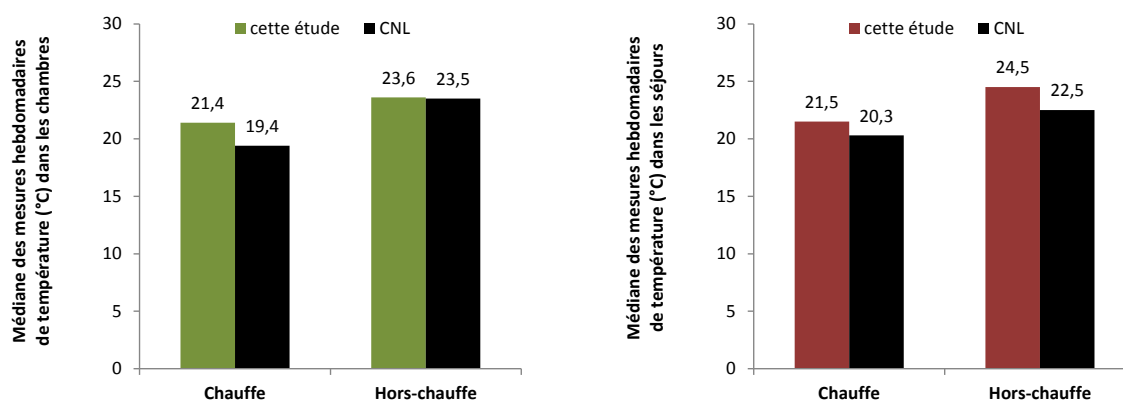


Figure 7-12 – Comparaison des médianes des moyennes hebdomadaires de la température intérieure selon les pièces et les périodes des logements de cette étude et celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

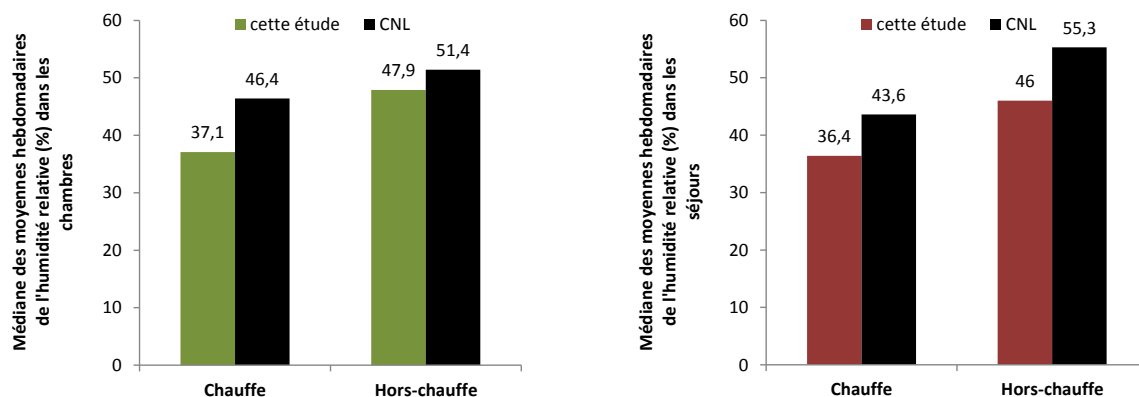


Figure 7-13 - Comparaison des médianes des moyennes hebdomadaires de l'humidité relative selon les pièces et les périodes des logements de cette étude et celles des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

7.5 VENTILATION

7.5.1 TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE VENTILATION

Les différents systèmes de ventilation décrits dans les 32 logements sont présentés dans le Tableau 7-24. La majorité des logements (84%) est équipée de systèmes de ventilation mécanique contrôlée. Les logements restants (16%) sont équipés de systèmes de ventilation naturelle.

Tableau 7-24 – Description des différents systèmes de ventilation équipant les 32 logements

	Nb de logements
Ventilation naturelle (VN)	5
Ventilation naturelle par grilles hautes et basses	2
Ventilation par conduits à tirage naturel assisté (hybride)	3
Ventilation mécanique contrôlée (VMC)	27
VMC simple flux	13
VMC simple flux par extraction hygroréglable A	3
VMC simple flux par extraction hygroréglable B	10
VMC double flux	14
VMC double flux avec échangeur de chaleur	13
VMC double flux sans échangeur de chaleur	1

Comparativement au parc de logements français décrits au cours de la campagne nationale Logements (Figure 7-14 et Figure 7-15), l'échantillon de logements étudié dans cette étude se distingue par :

- la présence systématique d'un système de ventilation (naturelle ou mécanique) ;
- la prédominance des systèmes VMC (4/5 des logements) sur les systèmes de ventilation naturelle ;
- la répartition à parts égales des logements équipés de systèmes VMC double flux et de systèmes VMC simple flux.

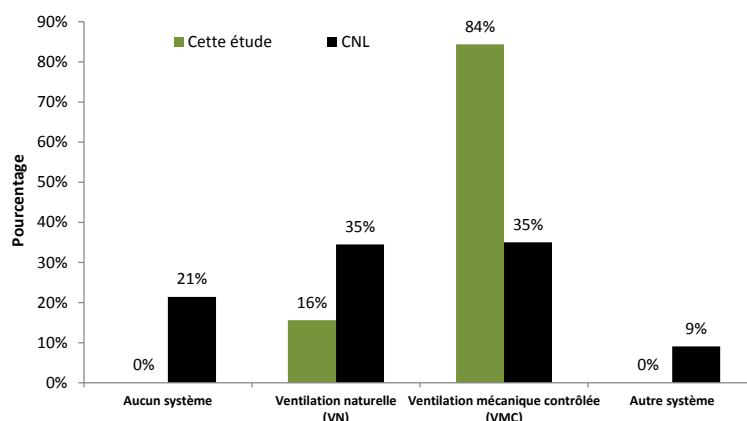


Figure 7-14 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec celle des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

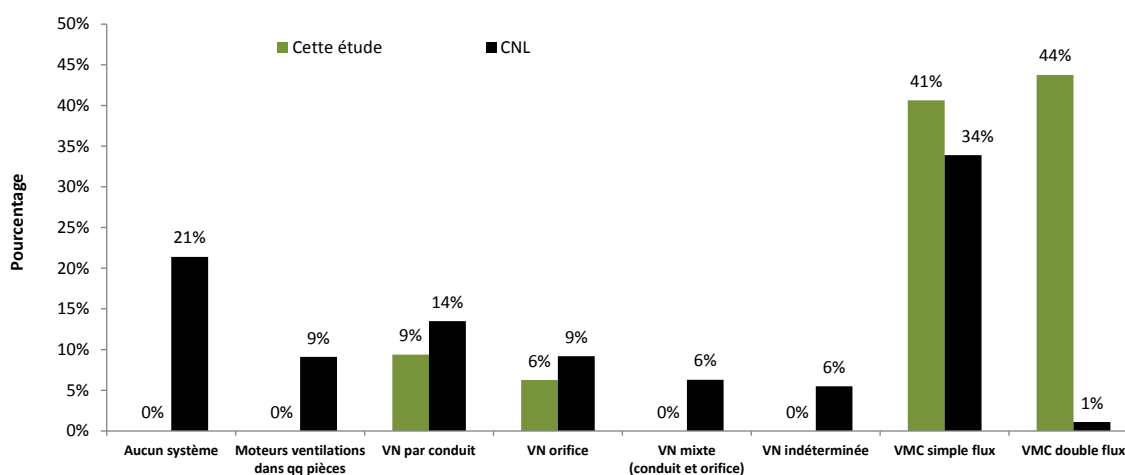


Figure 7-15 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec celle des logements français (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).

Comparativement aux statistiques de l'Observatoire BBC sur les bâtiments résidentiel BBC-Effinergie (Observatoire BBC, 2013a) (Figure 7-16 et Figure 7-17), l'échantillon de logements étudié dans cette étude se distingue par :

- la présence de système de ventilation naturelle (par conduit ou par orifice) ;
- la répartition à parts égales des logements équipés de systèmes VMC double flux et de systèmes VMC simple flux.

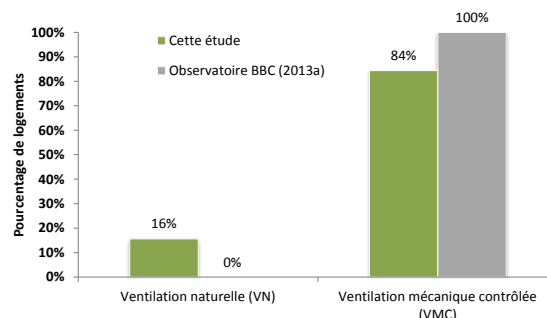


Figure 7-16 – Comparaison de la part des différents systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec les statistiques de l'Observatoire BBC

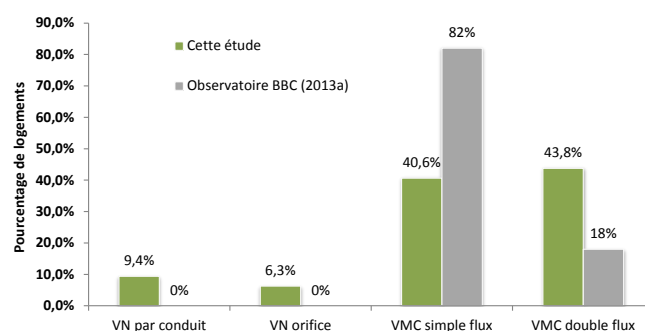


Figure 7-17 – Comparaison de la part des différents types de systèmes de ventilation observés dans les logements de cette étude avec les statistiques de l'Observatoire BBC

7.5.2 MESURE DES PRESSIONS AUX BOUCHES DES SYSTEMES DE VENTILATION MECANIQUE

Les résultats des mesures de pression aux bouches des systèmes de ventilation mécanique sont issus de mesures réalisées dans 11 logements (3 équipés d'une VMC simple flux hygroréglable A et 8 d'une VMC simple flux hygroréglable B). Lors des mesures, les systèmes de ventilation étaient en fonctionnement et les bouches d'extractions n'étaient pas obstruées.

Les indicateurs statistiques des mesures de pression sont présentés dans le Tableau 7-25. Les pressions sont les plus élevées pour les bouches situées dans les salles de bains. Les valeurs de pression sont semblables d'une enquête à l'autre hormis lors de la première enquête où des valeurs basses ont été mesurées pour les bouches situées en cuisine.

Tableau 7-25 – Mesures de pression (Pa) des systèmes de VMC hygroréglables selon les pièces de service et les périodes

		Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Toutes périodes confondues	WC	23	48 (29)	0	19	50	67	95
	Salle de bains	27	58 (30)	11	22	75	83	101
	Cuisine	26	49 (34)	0	18	47	85	106
	Toutes pièces	76	52 (31)	0	19	59	84	106
Première enquête	WC	11	53 (25)	16	38	53	75	89
	Salle de bains	17	60 (27)	17	34	75	83	90
	Cuisine	11	39 (32)	0	16	20	65	85
	Toutes pièces	39	52 (29)	0	20	59	79	90
Seconde enquête	WC	12	43 (32)	0	18	43	64	95
	Salle de bains	10	55 (37)	11	15	70	86	101
	Cuisine	15	56 (35)	15	19	65	86	106
	Toutes pièces	37	52 (34)	0	18	50	85	106

Le nombre de mesures de pression compris dans la plage de fonctionnement préconisée par les fabricants (entre 70 et 160 Pa) a été calculé pour chaque enquête et chaque pièce. Selon la Figure 7-18, il apparaît que près de 40% des bouches des logements atteignent les pressions de cette plage de fonctionnement. Ce pourcentage varie entre 20% dans les WC jusqu'à 50% dans les salles de bains.

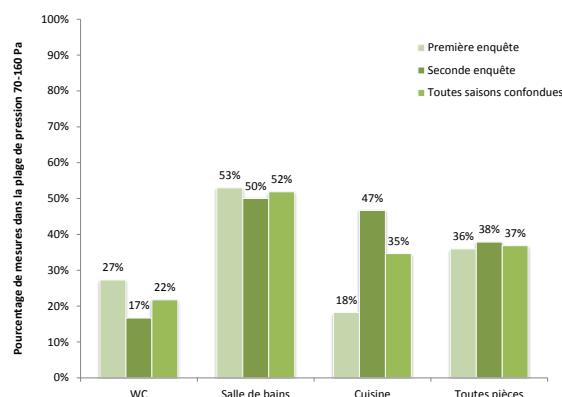


Figure 7-18 – Pourcentage des mesures de pression (Pa) selon les pièces de service et les phases d'enquête comprises dans la plage de pression 70-160 Pa pour les systèmes VMC hygroréglables

7.5.3 MESURE DES DÉBITS AUX BOUCHES DES SYSTÈMES DE VENTILATION MÉCANIQUE

Les résultats des mesures de débits aux bouches des systèmes de ventilation mécanique sont issus de mesures réalisées dans 10 logements (9 équipés d'une VMC double flux avec échangeur et 1 avec une VMC double flux sans échangeur). Lors des mesures, les systèmes de ventilation étaient en fonctionnement et les bouches d'extractions/de soufflage n'étaient pas obstruées.

Les résultats sont présentés dans les Tableau 7-26 et Tableau 7-27 respectivement pour les mesures de débits d'air extrait et les mesures de débits d'air soufflé. Ils sont présentés par pièce et par vitesse du moteur de ventilation et regroupent les mesures réalisées lors des deux phases d'enquête. Du fait de nombre limité de données, il n'a pas été possible de scinder les résultats par enquête.

Tableau 7-26 – Mesures des débits d'air extrait (m^3/h) des systèmes VMC double flux réalisées au cours des deux phases d'enquête

Vitesse VMC	Pièces	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Minimale	WC	14	18 (7)	9	13	16	22	30
	Salle de bains	15	24 (10)	11	16	23	30	44
	Cuisine	9	57 (24)	20	49	63	68	93
Médiane	WC	6	19 (9)	8	12	17	26	30
	Salle de bains	5	20 (7)	13	15	18	26	29
	Cuisine	4	64 (47)	23	24	64	105	106
Maximale	WC	11	24 (15)	6	9	27	36	43
	Salle de bains	11	28 (17)	8	12	25	45	55
	Cuisine	9	71 (45)	37	44	50	61	160

Tableau 7-27 – Mesures des débits d'air soufflé (m^3/h) des systèmes VMC double flux réalisées au cours des deux phases d'enquête

Vitesse VMC	Pièces	Nb. Mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Minimale	Chambre	29	18 (8)	9	14	18	23	36
	Séjour	16	37 (10)	9	35	39	44	52
Médiane	Chambre	10	30 (14)	10	16	32	42	47
	Séjour	Aucune mesure						
Maximale	Chambre	25	32 (20)	9	14	31	45	80
	Séjour	8	47 (39)	9	10	47	69	117

La Figure 7-19 présente les débits moyens d'air extraits selon les vitesses du moteur de ventilation. L'augmentation progressive des valeurs de débit en fonction de la vitesse est observée uniquement pour les bouches d'extraction en cuisine. Les débits moyens des bouches situées dans les WC sont égaux pour les vitesses minimale et médiane alors que ceux des bouches situées dans les salles de bains sont les plus faibles pour la vitesse médiane.

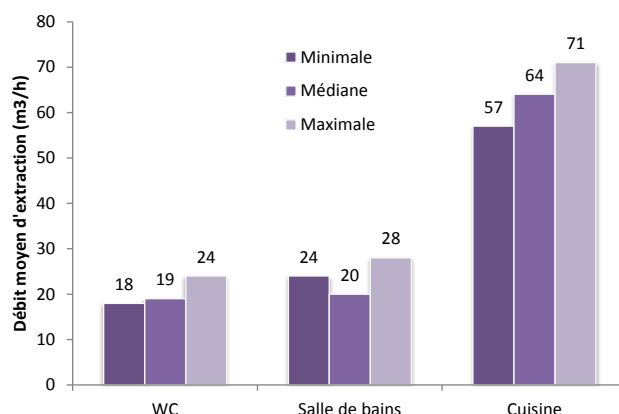


Figure 7-19 – Débits d'air extrait moyens (m³/h) des systèmes VMC double flux mesurés au cours des deux phases d'enquête selon la vitesse du moteur de ventilation

Il n'a pas été possible de vérifier le réglage des systèmes de ventilation en comparant, pour chaque logement, la somme des débits d'air extrait et la somme des débits d'air insufflé. Les mesures des débits d'air insufflé n'ont pas été réalisées systématiquement dans toutes les pièces équipées des bouches d'insufflation.

Les résultats de mesure des débits d'extraction des logements neufs ont été comparés avec les débits réglementaires (réduits et à atteindre) définis selon le nombre de pièces principales des logements (Tableau 7-28). Cette comparaison est donnée seulement à titre d'information du fait du nombre limité de mesure. Il semble que :

- les débits extraits réduits en cuisine et les débits à atteindre dans les WC sont respectés dans la majorité des cas ;
- le débit réduit total, les débits à atteindre en cuisine (grand débit) et en salle de bain ne sont pas respectés dans la majorité des cas.

Tableau 7-28 – Comparaison des débits d'extraction moyens mesurés avec les débits réglementaires selon le nombre de pièces principales des logements équipés de systèmes VMC double flux

	Nb. Pièces principales	Nb logements	Nb. mesures	Débit moyen (m ³ /h)	Débit réglementaire	Nb mesures conformes réglementation / nb mesures
Débit réduit en cuisine	3	2	3	59	45	3 / 3
	4	3	5	62	45	4 / 5
Débit réduit total¹	3	1	6	29	75	0 / 6
	4	3	15	35	90	1 / 15
Débit à atteindre en cuisine (grand débit)	3	4	6	83	105	2 / 6
	4	1	2	46	120	0 / 2
Débit à atteindre en salle de bain	3	4	6	28	30	2 / 6
	4	1	2	10	30	0 / 2
Débit à atteindre en WC	3	3	4	16	15	2 / 4
	4	1	2	8	30	0 / 2

¹ débit réduit total calculé seulement pour les logements ayant au moins une mesure de débit en cuisine, en salle de bain et en WC.

8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude dresse le premier état de la qualité de l'environnement intérieur de bâtiments d'habitation performants en énergie investigués dans le cadre du programme « Bâtiments Performants en Energie » de l'OQAI. L'étude a été réalisée à partir des données complètes d'enquête insérées en base de données à la date du mois de mai 2014 et validées. Pour rappel, l'échantillon de logements considéré dans cette étude n'a pas vocation à être statistiquement représentatif de l'ensemble des bâtiments performants en énergie construits ou rénovés en France, étant constitué sur la base du volontariat.

L'échantillon de bâtiments étudié est composé de 16 bâtiments PREBAT (5 maisons individuelles et de 11 immeubles d'habitation) et correspond à un total de 32 logements investigués selon deux périodes (chauffe et hors-chauffe). Sur les 16 bâtiments, 10 sont récents (construits selon la RT2005 entre 2008 et 2013) et 6 ont été réhabilités (travaux réalisés entre 2010 et 2013). Ces bâtiments présentent une perméabilité à l'air⁴ moyenne de leur enveloppe de $0,73 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ à 4 Pa et des consommations énergétiques conventionnelles⁵ moyennes de $51 \text{ kWhep/m}^2.\text{an}$. Ils ont pour similarité d'être situés en zone urbaine/périurbaine, d'être majoritairement isolés par l'extérieur et ventilés mécaniquement. Les principales caractéristiques des bâtiments de cet échantillon ont été comparées aux 2 950 bâtiments sélectionnés et soutenus par les appels à projets régionaux PREBAT. Les 5 maisons individuelles de l'étude se démarquent par l'utilisation de poêle à bois comme système principal de chauffage. Les 11 immeubles collectifs de l'étude présentent notamment une particularité au niveau des systèmes de ventilation : la majorité est équipée de systèmes de ventilation double-flux et une minorité est ventilé naturellement.

Les concentrations médianes des indicateurs de confinement et de qualité d'air intérieur ne dépassent jamais celles des logements français issues de la campagne nationale Logements de l'OQAI réalisée entre 2003 et 2005, à l'exception de l'hexaldéhyde. Ce composé ainsi que l'alpha-pinène et le limonène présentent les concentrations les plus élevées parmi les composés organiques volatils cibles. Comparativement aux logements français, les logements de l'étude présentent une température intérieure plus élevée ainsi qu'une humidité relative et une fréquence d'apparition de traces d'humidité plus faibles. Ils présentent les mêmes proportions de problèmes d'infiltration d'eau et de traitement contre un excès d'humidité. Enfin, parmi les 24 logements présentant un indice de contamination fongique valide, 12 (50 % des logements) présentent un développement actif de moisissures.

La comparaison des concentrations médianes des indicateurs de qualité de l'air intérieur avec les valeurs guides d'air intérieur disponibles montre les éléments suivants :

- Pour les valeurs réglementaires, la quasi-totalité des logements dépasse la valeur applicable pour le formaldéhyde à compter du 1^{er} janvier 2023 ($10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). Près de la moitié des logements dépasse la valeur du benzène applicable au 1^{er} janvier 2016 ($2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). Deux logements dépassent la valeur du formaldéhyde au 1^{er} janvier 2015 ($30 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- Pour les valeurs de gestion du Haut Conseil de la santé publique (HCSP), la quasi-totalité des logements dépasse la valeur cible du formaldéhyde ($10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$). Au moins la moitié des logements dépasse la valeur cible du benzène et des $\text{PM}_{2,5}$ (respectivement $2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$)

⁴ Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en $\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$ sous 4 Pa) de la RT2005 est de 0,8 en maison individuelle et 1,2 en collectif ; Les valeurs réglementaires de la RT2012 sont 0,6 en maison individuelle et 1 en collectif.

⁵ La consommation d'énergie conventionnelle est calculée avec certaines hypothèses fixées, notamment de température intérieure, de présence des occupants, des scénarios d'occupation et d'historique des données météorologiques pour cinq usages pris en compte (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)).

et les valeurs repères des PM_{2.5} (inférieures ou égales à 20 µg/m³). Quelques logements (moins de 3) dépassent la valeur repère du formaldéhyde (30 µg/m³) et les valeurs d'action rapide et repère du trichloroéthylène (respectivement 10 et 2 µg/m³) ;

- Pour les valeurs sanitaires de l'ANSES, la quasi-totalité des logements dépasse la VGI long terme du formaldéhyde (10 µg/m³) et du benzène (0,2 µg/m³ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10⁻⁶). Au moins la moitié des logements dépasse la VGI long terme du benzène (2 µg/m³ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10⁻⁵) et des PM_{2.5} (10 µg/m³). Quelques logements dépassent la VGI long terme du trichloroéthylène (2 µg/m³ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10⁻⁶) et du NO₂ (20 µg/m³) ;
- Les valeurs guides de l'acétaldéhyde (valeur sanitaire ANSES), du tétrachloroéthylène (valeurs sanitaires ANSES et de gestion HCSP) et du radon (valeurs réglementaires et de gestion HCSP) ne sont jamais atteintes.

Le suivi des indicateurs de confinement d'air intérieur et de qualité de l'air dans le temps et dans l'espace a permis d'étudier l'évolution des concentrations en fonction des périodes de chauffe/hors chauffe et selon les pièces (chambre et séjour). Une variation a été observée pour la majorité des paramètres. Les concentrations sont les plus élevées en période de chauffe pour le CO₂, 6 COV (limonène, 1,2,4-triméthylbenzène, benzène, (m+p)-xylènes, toluène et n-décane), le NO₂ et les PM_{2.5}. Les concentrations en hexaldéhyde, formaldéhyde et 2-butoxyéthanol sont en revanche plus élevées en période hors-chauffe. Aucune variation spatiale n'a été observée pour les aldéhydes alors que pour d'autres paramètres, des différences de concentration ont été observées. Les niveaux de CO₂ et NO₂ sont plus élevés dans la chambre alors que ceux du limonène et du radon sont plus élevés dans le séjour. Même si ces niveaux sont plus élevés, ils restent inférieurs à la valeur réglementaire des établissements recevant du public de 400 Bq/m³ pour le radon et quasi-systématiquement aux valeurs du RSDT s'appliquant pour les bâtiments autres que d'habitation pour le CO₂ (86% du temps inférieur à 1000 ppm et 94% du temps inférieur à 1300 ppm). Les moyennes hebdomadaires de la température et de l'humidité relative de l'air montrent une variation saisonnière mais aucune variation spatiale.

Les bâtiments sont équipés majoritairement de systèmes de ventilation mécanique contrôlée et pour une minorité de systèmes de ventilation naturelle (par conduit ou par orifice). La mesure des pressions a été réalisée aux bouches d'extraction des systèmes VMC simple flux hygroréglables et la mesure des débits aux bouches d'extraction et de soufflage des systèmes VMC double flux. Il apparaît que 40 % seulement des bouches des systèmes VMC simple flux hygroréglables présentent une pression dans les plages de fonctionnement préconisées par les fabricants. Pour les systèmes VMC double flux, les débits réglementaires sont respectés dans certains cas (débit réduit en cuisine, débit à atteindre dans les WC) alors qu'ils ne sont pas respectés dans d'autres cas [débit total minimal, débits devant pouvant être atteint en cuisine (grand débit) et en salle de bains].

Le prochain état de la qualité de l'environnement intérieur sera dressé fin 2015 sur un jeu de données plus conséquent permettant de confirmer ou d'infirmer les premières tendances, notamment au moyen de tests statistiques, d'exploiter les données des autres questionnaires (usages, perceptif, accompagnement de la mesure, retour d'expérience) et de réaliser des exploitations de données supplémentaires et des mises en perspective sur la qualité des ambiances intérieures et les éléments descriptifs des bâtiments.

9. BIBLIOGRAPHIE

ADEME (2013), Les bâtiments Basse Consommation en France – Bilan 2007-2012 des appels à projets régionaux du PREBAT. 28 pages.

AFSSET (2007). Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde, 83 pages.

AFSSET (2008). Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le benzène, 95 pages.

AFSSET (2009). Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le trichloroéthylène, 85 pages.

AFSSET (2010a). Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le tétrachloroéthylène. 112 pages.

AFSSET (2010b). Valeurs guides de qualité d'air intérieur Particules. 97 pages.

ANSES (2013). Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur Le dioxyde d'azote. 150 pages.

ANSES (2014). Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur L'acétaldéhyde. 154 pages.

Derbez M., Lucas JP, Ramalho O, Ribéron J, Mandin C, Kirchner S (2014a). French national system of data collection on indoor air quality and comfort in energy-efficient buildings. Proceeding of the 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, July 7-12, Hong Kong (China), paper HP0279.

Derbez M., Ramalho O., Wyart G., Mandin C. (2014b). Base de référence sur la qualité de l'air intérieur, le confort et les consommations énergétiques des bâtiments performants en énergie – Procédure de validation des données collectées dans les habitations, Rapport final CSTB-OQAI/2014-089, novembre 2014, 82 p.

HCSP (2009). Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos, Le formaldéhyde. Octobre 2009, 41 pages.

HCSP (2010a). Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le benzène dans l'air des espaces clos. 3 pages

HCSP (2010b). Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos. 2 pages

HCSP (2010c). Avis sur les projets de décret et d'arrêtés relatif à la protection des personnes contre le risque lié au radon dans les bâtiments. 5 pages.

HCSP (2012). Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos. 3 pages

HCSP (2013). Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour les particules dans l'air des espaces clos. 2 pages

JORF (2004). Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public paru au Journal Officiel du 11 août 2004.

JORF (2011). Décret n°2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène paru au Journal Officiel du 4 décembre 2011.

JORF (2012). Décret n°2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public paru au Journal Officiel du 6 janvier 2012.

Kirchner S., Arènes J.F., Cocher C., Derbez M., Duboudin C., Elias P., Gregoire A., Jédoir B., Lucas J.P., Pasquier N., Pigneret M., Ramalho O. (2006). Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Campagne nationale logements : état de la qualité de l'air dans les logements français – Rapport final. DDD/SB – 2006-57. 183 pages.

Observatoire BBC (2013a). Les indicateurs de la construction BBC-Effinergie dans le secteur résidentiel, Février 2013, 20 pages;

Observatoire BBC (2013b). Les indicateurs de la rénovation BBC-Effinergie, Octobre 2013, 20 pages.

OQAI (2013). Base de référence sur la qualité de l'air intérieur et le confort des bâtiments performants en énergie – Annexe 21 - Fiche réflexe BPE-OQAI, Décembre 2013, 19 pages.

RSDT (1985). Titre 3 : Dispositions applicables aux bâtiments autres que ceux à usage d'habitation. Hygiène et Santé Publique. Journal officiel de la République Française. Edition 1985.