

**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 : OQAI-BPE**

**Deuxième état descriptif de la qualité de l'air intérieur et du
confort de bâtiments d'habitation performants en énergie**

Mickaël DERBEZ, Guillaume WYART, Floran DOUCHIN, Olivier RAMALHO,
Jacques RIBERON, Séverine KIRCHNER, Corinne MANDIN

Février 2016

Rapport présenté au Conseil scientifique de l'OQAI le 6 novembre 2015 et approuvé après consultation électronique le 22 février 2016

Ces travaux ont bénéficié du soutien de l'ADEME (conventions n°1462C0005), du ministère en charge de l'Écologie (convention n°2200859747), du ministère en charge du Logement (convention n° Y14.05/2200865423) et du ministère en charge de la Santé (convention pluriannuelle CSTB-DGS 2013-2015, année 2).

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., Ramalho O., Ribéron J., Kirchner S., Mandin C. 2016, Base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants de bâtiments performants en énergie – Deuxième état descriptif de la qualité de l'air intérieur et du confort de bâtiments d'habitation performants en énergie , CSTB-OQAI/2016-010, Février 2016, 100 pages.***

© 2016 CSTB

Synthèse

Dans le contexte de l'entrée en vigueur de la RT 2012 et des objectifs annoncés de 500 000 logements rénovés par an, 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 le confort de bâtiments performants en énergie.

Cette base de référence, alimentée à partir du volontariat, n'a pas vocation à être statistiquement représentative de l'ensemble des bâtiments performants en énergie construits ou rénovés en France. Sa richesse réside dans le détail des informations collectées au fil de l'eau sur des bâtiments investigués de manière volontaire, 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 2014-2015 du programme « Bâtiments Performants en Energie » de l'OQAI, fournit un deuxième état descriptif des données de qualité de l'environnement intérieur de bâtiments d'habitation performants en énergie. Il porte sur les données d'enquête « complètes », insérées en base à la date du mois de mai 2015 et validées, ce qui représente 72 logements répartis dans 43 bâtiments. Pour rappel, le premier état descriptif de la base nationale portait sur 32 logements répartis dans 16 bâtiments.

Ce rapport, structuré en trois parties, présente :

- les caractéristiques des bâtiments, des logements et de leurs occupants ;
- les résultats des mesures de concentration du CO₂, des indicateurs de qualité d'air intérieur, des paramètres de confort thermique et des débits/pressions aux bouches des systèmes de ventilation mécanique ainsi que la mise en perspective de ces résultats avec la population nationale de logements et les réglementations en vigueur non spécifiques à l'habitat ;
- les résultats d'une étude exploratoire sur l'influence de trois variables d'intérêt liées au bâtiment (pièce de mesure, type d'habitat et catégorie de logement) sur la qualité de l'environnement intérieur.

L'échantillon de bâtiments étudié est composé de bâtiments PREBAT (17 maisons individuelles et 26 immeubles collectifs) correspondant à un total de 72 logements (17 individuels et 55 collectifs) construits entre 2008 et 2012 ou bien rénovés entre 2010 et 2013. La majorité des immeubles collectifs est composée de logements sociaux. Ces bâtiments présentent une perméabilité à l'air¹ égale à 0,54 m³/(h.m²) à 4 Pa pour les maisons individuelles et à 0,86 pour les logements collectifs et une consommation moyenne énergétique conventionnelle totale² proche de 55 kWh/m² SHON.an. Sur les 28 bâtiments construits récemment (soumis à la RT 2005) et les 15 bâtiments rénovés (soumis à la RT existante), plus des deux tiers a obtenu ou demandé un label énergétique.

Les 72 logements enquêtés sont quasiment tous ventilés grâce à un système de ventilation mécanique contrôlée, simple ou double flux. Ils sont équipés de menuiseries à double vitrage et de

¹ Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en m³/(h.m²) 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)).

protections solaires extérieures. Au niveau de la perception de la qualité de l'air intérieur et du confort d'ambiance (thermique, acoustique, visuel), les avis sont systématiquement positifs et unanimes en maisons individuelles alors qu'ils sont plus contrastés en logements collectifs. Alors qu'aucune insatisfaction n'est relevée par les occupants des maisons individuelles, 19 % des occupants des logements collectifs sont insatisfaits de leur logement. 13 à 16 % de ces occupants sont insatisfaits de la qualité de l'air intérieur et 24 à 28 % du confort thermique. 19 à 25 % jugent leur logement inconfortable et 10 à 13 % que leur logement est confiné. 22 à 25 % trouvent que l'ambiance sonore est bruyante. 11 à 14 % trouvent que la température de l'air de leur logement est trop froide et 6 à 19 % que l'air est trop humide. 35 à 36 % des occupants des logements collectifs ressentent la présence de courants d'air alors que seulement 6 % des occupants des maisons individuelles s'en plaignent. Les occupants semblent satisfaits des équipements (ventilation, chauffage, production d'eau chaude sanitaire et protections solaires extérieures) de leur logement et ne rapportent pas de difficulté liée à leur utilisation et leur réglage. Ils déclarent ne pas présenter de nouveaux problèmes de santé depuis leur emménagement dans leur logement.

Comparativement aux principales caractéristiques des 2 950 bâtiments d'habitation performants en énergie soutenus par les appels à projets régionaux du PREBAT ou des 760 bâtiments d'habitation récents et rénovés, analysés par l'Observatoire BBC, les 43 bâtiments de cette étude présentent des consommations énergétiques conventionnelles proches. En revanche, dans la présente étude, la proportion de bâtiments individuels et collectifs ventilés par une VMC double flux est plus importante et les maisons individuelles récentes sont davantage construites en ossature bois et chauffées au bois. Des spécificités d'occupation ont été observées selon le type d'habitat :

- Les maisons individuelles (surface moyenne du logement par personne = 42 m²/personne) sont occupées la plupart du temps par des familles propriétaires de leur logement, composées d'un couple et de deux enfants ou plus et déclarant un revenu total annuel de plus de 30 000 euros. Dans la majorité des cas, la personne de référence du ménage interviewée notamment sur le comportement des occupants et la perception du confort d'ambiance du logement est un homme, possédant un diplôme élevé et exerçant une « profession de cadre supérieur ». Les avis relatifs à la perception de la qualité de l'air intérieur et du confort d'ambiance sont systématiquement positifs et unanimes.
- Les logements collectifs (surface moyenne du logement par personne = 37 m²/personne), dont la majorité est à vocation sociale, sont occupés la plupart du temps par des locataires composés de personnes seules, de couples sans enfants ou de familles monoparentales déclarant des revenus plus modestes que ceux des maisons individuelles. La personne de référence du ménage est plutôt une femme employée ou exerçant une « profession intermédiaire ». Les avis relatifs à la perception de la qualité de l'air intérieur et du confort d'ambiance sont plus contrastés. Les occupants sentent souvent, aussi bien en été qu'en hiver, des odeurs désagréables, provenant d'autres logements de l'immeuble, et gênantes. Cette gêne serait la raison qui amènerait les ménages à aérer, en hiver, entre moins d'une demi-heure à plus d'une heure au cours de la journée alors que les ouvrants ne sont jamais ou rarement ouverts au cours de la nuit.

Les mesures effectuées dans les chambres des 72 logements de l'étude en période de chauffe et de hors-chauffe ont été comparées à celles de la population nationale de logements (campagne nationale « Logements » de l'OQAI, 2003-2005). Entre 95 et 100 % des logements sont exposés aux composés organiques volatils cibles mesurés à l'exception du 1,4-dichlorobenzène, du n-hexane, du tétrachloroéthylène et du trichloroéthylène, présents dans 50 % des logements. L'alpha-pinène et le limonène sont les COV présentant les plus fortes concentrations.

Les mesures de CO₂³, l'humidité relative, les concentrations de deux des trois aldéhydes ciblés, de 8 composés organiques volatils (COV) ciblés, du radon, des PM_{2.5} sont soit significativement inférieures, soit identiques à celles de la population nationale de logements. Les pourcentages de logements présentant des traces d'humidité, ayant subi des infiltrations d'eau ou ayant fait l'objet de traitement contre l'excès d'humidité sont plus faibles que ceux de la population nationale de logements. En revanche, le pourcentage de logements présentant un développement fongique actif (47 %) est plus élevé que celui de la population nationale de logements (37 %). La concentration en hexaldéhyde est significativement plus élevée en période de hors-chauffe dans les logements de cette étude, alors qu'aucune différence par rapport au parc français n'est observée en période de chauffe. La température intérieure est significativement plus élevée dans les logements de cette étude que dans la population nationale de logements, en période de chauffe comme hors-chauffe. Enfin, l'alpha-pinène, le limonène et le NO₂ n'ayant pas été mesurés au cours de la campagne « logements », leurs concentrations ont été comparées à l'échantillon de 90 logements enquêtés en 2001 dans le cadre de la phase pilote de cette campagne. Les concentrations des deux terpènes sont plus élevées alors que celle du NO₂ est plus faible.

Les moyennes annuelles des concentrations ont été mises en perspective avec les valeurs guides d'air intérieur disponibles en France, non spécifiques à l'habitat. Les concentrations du CO₂ en période d'occupation ont été comparées aux seuils de 1000 et 1300 ppm indiqués par le règlement sanitaire départemental type pour les bâtiments non résidentiels.

- Par rapport aux valeurs réglementaires applicables aux établissements recevant du public, moins de 8 % des logements de l'étude dépassent les valeurs applicables au 1^{er} janvier 2015 pour le benzène (5 µg/m³) et le formaldéhyde (30 µg/m³). Plus d'un tiers des logements dépasse la valeur du benzène applicable au 1^{er} janvier 2016 (2 µg/m³) et la quasi-totalité des logements celle du formaldéhyde applicable à compter du 1^{er} janvier 2023 (10 µg/m³). Aucun logement ne dépasse les valeurs réglementaires du radon applicable aux établissements d'enseignement, établissements sanitaires et sociaux disposant d'une capacité d'hébergement, établissements thermaux et établissements pénitentiaires.
- Par rapport aux valeurs de gestion du Haut Conseil de la santé publique (HCSP), deux logements au maximum dépassent la valeur d'action rapide des PM_{2.5} (50 µg/m³) ou celle du trichloroéthylène (10 µg/m³). Aucun logement ne dépasse les valeurs d'actions rapides pour le benzène, le formaldéhyde et le tétrachloroéthylène (respectivement égales à 10, 100 et 1250 µg/m³). Près du tiers des logements dépasse la valeur repère des PM_{2.5} applicable au 1^{er} janvier 2015 (20 µg/m³). Cinq logements dépassent la valeur repère du formaldéhyde (30 µg/m³) et 4 logements, la valeur à long terme du radon (100 Bq/m³). Un logement dépasse la valeur repère du benzène (5 µg/m³) et 1 logement celle du trichloroéthylène (2 µg/m³). Aucun dépassement de la valeur repère du tétrachloroéthylène (250 µg/m³) n'a été observée. Les valeurs cibles sont systématiquement dépassées par plus d'un tiers des logements pour le benzène (2 µg/m³), par plus de deux tiers des logements pour les PM_{2.5} (10 µg/m³) et par la quasi-totalité des logements pour le formaldéhyde (10 µg/m³).
- Par rapport aux valeurs sanitaires de l'ANSES, la quasi-totalité des logements dépasse la VGAI long terme du formaldéhyde (10 µg/m³) et celle du benzène (0,2 µg/m³ pour une exposition vie entière avec un excès de risque⁴ de 10⁻⁶). Plus des deux tiers des logements dépasse la

³ toute période, période d'occupation 2h-5h10, 60 valeurs maximales en période d'occupation 2h-5h10

⁴ L'excès de risque de 10⁻⁶ correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 1 million d'individu) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 0,2 µg/m³ de benzène

VGAI long terme des PM_{2.5} proposée par l'OMS (10 µg/m³). Plus d'un tiers des logements dépasse la VGAI long terme du benzène (2 µg/m³ pour une exposition vie entière à un niveau de risque⁵ de 10⁻⁵). Près d'un tiers des logements dépasse la VGAI long terme du NO₂ (20 µg/m³ pour une exposition supérieure à 1 an). Un seul logement dépasse la VGAI long terme du trichloroéthylène (2 µg/m³ pour une exposition vie entière à un niveau de risque de 10⁻⁶). Aucun dépassement des valeurs sanitaires de l'acétaldéhyde n'a été observé.

- Les concentrations en CO₂ mesurées dans les chambres ont été comparées, aux seuils du RSDT. 1 % des logements présentent des concentrations en CO₂ toute période confondue supérieures à ces 2 seuils. 22 % des logements présentent des concentrations en CO₂ en période d'occupation (entre 2h et 5h10) toujours inférieures au seuil de 1000 ppm et 46 % des logements, des concentrations toujours inférieures au seuil de 1300 ppm.

L'inspection visuelle des éléments de ventilation et les mesures de pressions⁶ et de débits⁷ a été réalisée sur une partie seulement des logements de l'étude. L'inspection visuelle des éléments de ventilation qui n'a été réalisée que dans 9 logements montre que la quasi-totalité des entrées d'air, des bouches de soufflage et d'extraction n'est pas obturée, est généralement propre et est peu ou non bruyante. Il apparaît que 45 à 55 % des mesures réalisées aux bouches d'extraction de 16 systèmes VMC simple flux hygroréglables présentent une pression dans les plages de fonctionnement préconisées par les fabricants. Pour les systèmes VMC double flux autoréglables des 8 logements récents dont les débits d'extraction ont été comparés aux débits réglementaires, les débits extraits réduits en cuisine et les débits réduits totaux sont conformes à la réglementation dans tous les cas alors que ce n'est pas le cas pour les débits à atteindre en cuisine (grand débit), en salle de bain et en WC.

L'influence de trois variables d'intérêt liées au bâtiment (pièce de mesure, type d'habitat, catégorie de logement) sur la qualité de l'environnement intérieur a été étudiée. Les résultats sont présentés à titre informatif et aucune interprétation n'est proposée à ce stade notamment du fait de la présence éventuelle de facteurs de confusion.

- La majorité des indicateurs de qualité d'air intérieur et les paramètres de confort thermique ne présentent aucune différence significative entre le séjour et la chambre. Deux exceptions sont toutefois à souligner pour le NO₂ (concentration plus élevée dans le séjour en période de chauffe) et pour le CO₂ occupation + inoccupation (concentration plus élevée dans la chambre en période de hors-chauffe), mais l'intensité de la différence observée est faible dans les deux cas.
- Les différences entre maisons individuelles et logements collectifs ont été étudiées pour le sous-échantillon des logements récents (n = 44 ; construits entre 2008 et 2012). De même, l'influence de la rénovation dans les logements collectifs a été étudiée (n = 55).
 - Aucune différence significative n'a été observée pour ces deux comparaisons, ni en chauffe, ni en hors chauffe, pour le formaldéhyde, pour 6 des 12 COV, pour les PM_{2.5}, le radon et le pourcentage de logements avec un indice de contamination fongique positif ;

⁵ L'excès de risque de 10⁻⁵ correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 100 000 individus) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 0,2 µg/m³ de benzène

⁶ aux bouches d'extraction des systèmes VMC simple flux hygroréglables

⁷ aux bouches d'extraction et de soufflage des systèmes VMC simple ou double flux autoréglables

- Par rapport aux logements collectifs récents, les maisons individuelles récentes présentent en période de chauffe et de hors-chauffe des mesures d'humidité relative plus élevées, mais des concentrations en NO₂ plus faibles. En période de chauffe, les logements collectifs récents présentent des concentrations en benzène et des températures de l'air plus élevées que celles des maisons individuelles récentes. En période de hors chauffe, les maisons individuelles récentes présentent des concentrations plus élevées en éthylbenzène et (m+p)-xylènes que celles des logements collectifs récents ;
- Par rapport aux logements collectifs anciens rénovés, les logements collectifs récents présentent en période de chauffe et de hors-chauffe des concentrations plus élevées en hexaldéhyde et en alpha-pinène. En période de chauffe, les logements collectifs récents présentent des concentrations plus élevées de CO₂ chambre en occupation entre 2h et 5h10, en acétaldéhyde, 1,2,4-triméthylbenzène et o-xylène que celles des logements collectifs rénovés.

Cette exploitation des données de la base nationale OQAI-BPE a permis de confirmer les premières tendances observées lors du premier état descriptif dans 32 logements. L'exploitation approfondie des données de mesures et des caractéristiques des bâtiments et de leurs occupants actuellement en cours aura pour objectif d'identifier dans la mesure du possible les causes à l'origine des différences observées avec la population nationale de logements.

Table des matières

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROGRAMME	14
2. MISE EN ŒUVRE DU PROGRAMME QQAI-BPE.....	15
2.1 Gouvernance du programme	15
2.2 Opérateurs du dispositif	15
2.3 Nombres d'enquêtes visées	16
3. ORGANISATION DE LA COLLECTE DE DONNEES.....	16
4. VALIDATION DES DONNEES INSEREES EN BASE DE DONNEES	16
4.1 Elaboration de règles de validation	16
4.2 Dérogations exceptionnelles de certains critères de validation	17
4.3 Attribution des statuts de validation aux données	17
4.3.1 Statuts de validation des données de mesure/prélèvement	17
4.3.2 Statuts de validation des données recueillies par questionnaire	17
5. DONNEES RETENUES POUR L'EXPLOITATION	18
6. ETAT DESCRIPTIF DES BATIMENTS ET DE LEURS OCCUPANTS	19
6.1 Description de l'échantillon	19
6.2 L'environnement proche des bâtiments	20
6.3 Le bâti.....	21
6.3.1 Mode constructif	21
6.3.2 Isolation thermique	22
6.3.3 Perméabilité à l'air de l'enveloppe	23
6.3.4 Performance énergétique des bâtiments	24
6.4 Le logement.....	26
6.4.1 Situation des logements dans le bâtiment	26
6.4.2 Type et surface.....	26
6.4.3 Menuiserie, vitrages et protections solaires.....	27
6.4.4 Revêtements de surface et mobilier.....	27
6.5 Les systèmes.....	29
6.5.1 Chauffage	29
6.5.2 Ventilation	30
6.5.3 Production d'eau chaude sanitaire et d'électricité.....	31
6.5.4 Energie utilisée pour la cuisson et présence de hotte aspirante	32
6.6 Les occupants	32
6.6.1 Statut d'occupation et composition du ménage.....	32
6.6.2 Caractéristiques socioprofessionnelles de la personne de référence	33
6.6.3 Comportement de la personne de référence des ménages enquêtés	34
6.6.4 Perception du confort d'ambiance du logement	40
6.6.5 Retour d'expérience sur le logement et les équipements	44
6.7 Comparaison de l'échantillon avec les données existantes	46
6.8 Synthèse des caractéristiques des bâtiments et des occupants	50

7. ETAT DESCRIPTIF DE LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR	52
7.1 Préambule	52
7.2 Renouvellement de l'air.....	52
7.2.1 Dioxyde de carbone (CO ₂).....	52
7.2.2 Description des systèmes de ventilation et mesures aérauliques	57
7.3 Qualité de l'air intérieur	63
7.3.1 Préambule.....	63
7.3.2 Concentrations annuelles et mise en perspectives des résultats	65
7.4 Confort thermique.....	77
7.4.1 Préambule.....	77
7.4.2 Résultats	77
7.5 Synthèse	79
8. ETUDE EXPLORATOIRE DE L'INFLUENCE DE QUELQUES CRITERES D'INTERET SUR LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR	81
8.1 Préambule	81
8.2 Méthodes statistiques utilisées	82
8.3 Influence de la pièce de mesure	82
8.4 Influence du type d'habitat pour les constructions récentes	83
8.5 Influence de la catégorie de logement pour l'habitat collectif	83
8.6 Synthèse de l'étude exploratoire	84
9. CONCLUSION	92
10. BIBLIOGRAPHIE	93
11. ANNEXE	95
11.1Annexe 1 : Assurance qualité des prélèvements et des analyses	95
11.1.1 Validité des prélèvements et des analyses réalisées	95
11.1.2 Limites de détection et de quantification pour les prélèvements passifs	96
11.1.3 Evaluation de la contamination des milieux de prélèvements	97
11.1.4 Répétabilité des mesures pour les prélèvements passifs	98
11.2Annexe 2 : Résultats des tests T de student de comparaison entre les mesures des logements de l'étude et celles de la population nationale de logements	100

Liste des tableaux

Tableau 2-1 – Opérateurs du dispositif QQAI-BPE ayant signé la charte de collaboration	15
Tableau 6-1 – Répartition des bâtiments et des logements enquêtés par type d’habitation.....	19
Tableau 6-2 – Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique	19
Tableau 6-3 – Pourcentage de bâtiments à moins de 500 m de voies de circulation	20
Tableau 6-4 – Pourcentage de bâtiments à moins de 500 m d’activités extérieures pouvant avoir un impact sur la qualité de l’air ou générer des nuisances acoustiques.....	21
Tableau 6-5 – Modes constructifs des bâtiments	21
Tableau 6-6 - Type de plancher bas et de toiture des bâtiments.....	22
Tableau 6-7 – Pourcentage des systèmes d’isolation thermique des bâtiments	22
Tableau 6-8 – Pourcentage des différents isolants au niveau de différentes parties du bâtiment	23
Tableau 6-9 – Mesure <i>in situ</i> de la perméabilité à l’air de l’enveloppe des bâtiments	23
Tableau 6-10 – Réglementation thermique utilisée lors de la construction/réhabilitation des bâtiments et labels énergétiques obtenus/demandés	24
Tableau 6-11 – Consommations énergétiques conventionnelles totales des bâtiments	25
Tableau 6-12 – Situation des 72 logements investigués dans le bâtiment	26
Tableau 6-13 – Type et surface habitable des 72 logements investigués	27
Tableau 6-14 – Menuiserie, vitrage et protections solaires des 72 logements investigués (n : nombre de logements)	28
Tableau 6-15 – Type de revêtements de surface et de mobilier des 72 logements investigués	29
Tableau 6-16 – Système de chauffage des 72 logements investigués	30
Tableau 6-17 – Système de ventilation des 72 logements investigués	31
Tableau 6-18 – Système de production d’eau chaude et d’électricité des 72 logements investigués	31
Tableau 6-19 – Energie de cuisine et hotte aspirante des 72 logements investigués.....	32
Tableau 6-20 – Statut d’occupation, composition et revenu des 72 ménages enquêtés	33
Tableau 6-21 – Caractéristiques socioprofessionnelles de la personne de référence des 72 ménages enquêtés	34
Tableau 6-22 – Pratique d’aération par ouverture des fenêtres des ménages des logements enquêtés selon deux saisons	36
Tableau 6-23 - Pratiques d’utilisation du système de ventilation des logements enquêtés selon deux saisons..	37
Tableau 6-24 - Stockage des produits ménagers, de décoration ou de bricolage dans les logements enquêtés selon deux saisons.....	38
Tableau 6-25 – Habitudes des ménages relatives au séchage du linge dans le logement selon deux saisons	38
Tableau 6-26 – Satisfaction d’utilisation et usages des protections solaires extérieures mobiles des logements enquêtés selon deux saisons.....	39
Tableau 6-27 - Principales caractéristiques des personnes de référence ayant exprimé leur perception sur l’ambiance de leur logement	41
Tableau 6-28 – Perception du confort global, de la qualité de l’air intérieur et du confort acoustique des logements enquêtés selon deux saisons	42

Tableau 6-29 – Perception du confort thermique, lumineux et olfactif des logements enquêtés selon deux saisons	43
Tableau 6-30 – Retour d’expérience des ménages des logements enquêtés	45
Tableau 6-31 – Comparaison des principales caractéristiques des 16 maisons individuelles neuves de cette étude avec les données existantes pour les maisons individuelles neuves	47
Tableau 6-32 – Comparaison des principales caractéristiques des 12 immeubles collectifs récents de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs neufs (n=nombre de bâtiments de l’étude) ..	48
Tableau 6-33 – Comparaison des principales caractéristiques des 14 immeubles collectifs réhabilités de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs réhabilités	49
Tableau 7-1 – Moyennes hebdomadaires des mesures de CO ₂ (ppm)	53
Tableau 7-2 – Comparaison de la typologie des systèmes de ventilation des 72 logements investigués dans notre étude avec celle de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l’OQAI)	57
Tableau 7-3 – Comparaison de la typologie des systèmes de ventilation des 72 logements investigués dans notre étude avec celle des logements performants en énergie (données issues de la base de données de l’Observatoire BBC)	58
Tableau 7-4 – Inspection visuelle des éléments de ventilation de 9 logements lors de la seconde enquête.....	58
Tableau 7-5 – Statistiques descriptives des mesures de différence de pression (Pa) aux bouches d’extraction des 16 systèmes de VMC simple flux hygroréglable	59
Tableau 7-6 – Comparaison des mesures de différence de pression aux bouches d’extraction des 16 systèmes de VMC simple flux hygroréglable avec la plage de fonctionnement préconisée par les fabricants (entre 70 et 160 Pa)	60
Tableau 7-7 – Mesures des débits d’air extrait (m ³ /h) de 20 systèmes de ventilation mécanique contrôlée autoréglable (2 VMC simple flux et 18 VMC double flux)	61
Tableau 7-8 - Mesures des débits d’air soufflé (m ³ /h) de 20 systèmes de ventilation mécanique contrôlée autoréglable (2 VMC simple flux et 18 VMC double flux)	61
Tableau 7-9 – Comparaison des débits d’extractions mesurées au cours des deux enquêtes dans les logements récents avec les débits réglementaires selon le nombre de pièces principales	62
Tableau 7-10 – Valeurs limites de concentrations de polluants intérieurs contenues dans la fiche réflexe du dispositif OQAI-BPE (OQAI, 2013)	64
Tableau 7-11 – Concentrations annuelles des aldéhydes (µg/m ³) par logement et par pièce	65
Tableau 7-12 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du formaldéhyde	66
Tableau 7-13 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur de l’acétaldéhyde.....	66
Tableau 7-14 –Concentrations annuelles des COV (µg/m ³) par logement et par pièce	68
Tableau 7-15 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du benzène	70
Tableau 7-16 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du trichloroéthylène	71
Tableau 7-17 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du tétrachloroéthylène.....	71
Tableau 7-18 –Concentrations annuelles du NO ₂ (µg/m ³) par logement et par pièce	71
Tableau 7-19 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur du dioxyde d’azote	72
Tableau 7-20 - Concentrations annuelles des PM _{2,5} (µg/m ³) dans le séjour	72
Tableau 7-21 - Nombre de logements dépassant les valeurs guides d’air intérieur des particules PM _{2,5}	73

Tableau 7-22 – Mesures de l'activité volumique du radon (Bq/m^3) effectuées uniquement en période de chauffe	73
Tableau 7-23 – Nombre de logements dépassant les valeurs guides d'air intérieur du radon.....	74
Tableau 7-24 – Pourcentage des logements ayant connu des problèmes d'humidité et ayant fait l'objet de traitement contre l'humidité	75
Tableau 7-25 – Moyenne de température intérieure ($^{\circ}\text{C}$) et d'humidité relative intérieure (%) dans les logements.....	77
Tableau 8-1 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV par pièces de mesure et période d'enquête des 72 logements et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre la chambre et le séjour	86
Tableau 8-2 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures du radon, du CO_2 et des mesures de température et d'humidité relative de l'air par pièces de mesure et période d'enquête des 72 logements et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures entre la chambre et le séjour.....	87
Tableau 8-3 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les maisons individuelles et les logements collectifs	88
Tableau 8-4 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des $\text{PM}_{2.5}$, du radon, du CO_2 , des mesures de température et d'humidité relative de l'air et des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats des tests de Wilcoxon et de Chi2 (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures/pourcentages entre les maisons individuelles et les logements collectifs	89
Tableau 8-5 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des NO_2 des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les maisons individuelles et les logements collectifs.....	89
Tableau 8-6 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les logements collectifs récents et les logements collectifs rénovés.....	90
Tableau 8-7 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des $\text{PM}_{2.5}$, du radon, du CO_2 , des mesures de température et d'humidité relative de l'air des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats des tests de Wilcoxon et de Chi2 (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures/pourcentages entre les logements collectifs récents et rénovés	91
Tableau 8-8 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des NO_2 des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les logements collectifs récents et les logements collectifs rénovés	91
Tableau 11-1 – Nombre et pourcentage de prélèvements et analyses valides pour les indicateurs de confinement, de confort thermique et de qualité d'air intérieur	95
Tableau 11-2 – Gammes des limites de détection et de quantification ($\mu\text{g/m}^3$), valeurs retenues et pourcentage des mesures égales ou supérieures à la limite de quantification retenue pour les analyses des prélèvements intérieurs (hors témoins) d'aldéhydes, de COV et du NO_2	96
Tableau 11-3 - Statistiques descriptives des prélèvements témoins d'aldéhydes, des COV et du NO_2 (concentrations exprimées en $\mu\text{g/m}^3$)	97
Tableau 11-4 – Résultats de l'étude de répétabilité de prélèvements et d'analyse des aldéhydes, des COV et du NO_2 élaborée à partir des duplicats réalisés au cours de cette étude	98
Tableau 11-5 – Résultats des tests t de Student de comparaison de moyennes des concentrations des polluants et des mesures de CO_2 , de température et d'humidité relative des 72 logements de l'étude (BPE) avec celles de la population nationale de logements (CNL).....	100

Liste des figures

Figure 6-1 - Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique	20
Figure 6-2 – Fréquence de distribution des valeurs de perméabilité à l'air ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$ sous 4 Pa) de l'enveloppe de 10 maisons individuelles et de 16 immeubles collectifs	24
Figure 7-1 – Distribution des valeurs de concentrations moyennes hebdomadaires du CO_2 (ppm) mesurées dans les chambres des logements investigués dans cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données....	54
Figure 7-2 – Pourcentage de dépassement d'au moins une mesure de CO_2 (toutes périodes) par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT	55
Figure 7-3 - – Pourcentage de dépassement d'au moins une mesure de CO_2 (période d'occupation entre 2h et 5h10) par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT	56
Figure 7-4 – Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.	65
Figure 7-5 - Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.	69
Figure 7-6 - Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des $\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les séjours des logements de cette étude et dans ceux de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)) par période d'enquête et résultat du test de test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.	72
Figure 7-7 - Distribution des valeurs de concentrations du radon (Bq/m^3) mesurées en période de chauffe dans les pièces des logements de cette étude et de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données	74
Figure 7-8 – 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 de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI).....	75
Figure 7-9 - Distribution des valeurs hebdomadaires de la température et de l'humidité relative des logements de cette étude et de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données	78
Figure 8-1 - Effectif des logements de l'échantillon selon les deux variables d'intérêt (type d'habitat, catégorie de logement) et indication des deux sous-échantillons utilisés pour l'étude de l'influence de ces deux critères (type d'habitat en orange, catégorie de logement en vert).....	82
Figure 11-1 – Relation entre la moyenne des mesures des duplicats en fonction de la valeur de la différence des mesures pour le limonène, l'alpha-pinène et le n-décane.....	99

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 ont mis 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 démarré en 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 techniques⁸. 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.

Ce rapport rend compte du travail réalisé dans le cadre de la convention de financement 2014-2015 du programme Bâtiments performants en énergie de l'OQAI. Il fournit un deuxième état descriptif des données de la base de référence nationale OQAI-BPE. La première partie présente les principales caractéristiques des bâtiments d'habitation performants en énergie et de leurs occupants. La deuxième partie présente les résultats de mesure de qualité d'air intérieur et du confort thermique et la troisième partie, les résultats d'une étude exploratoire. Pour mémoire, la première exploitation de la base nationale portait sur 32 logements répartis dans 16 bâtiments (Derbez et al., 2015).

⁸ 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 le CEREMA).

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 **31 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 Certifair CEREMA Est CEREMA Centre-Est ¹ – Isle d'Abeau (METAB*) CEREMA Centre-Est – Isle d'Abeau (UPB ⁺) CEREMA Centre-Est - Autun CEREMA Centre-Est - Clermont-Ferrand CEREMA Méditerranée	CEREMA Nord Picardie ¹ CEREMA Normandie Centre CEREMA Ouest CEREMA 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

* Maitrise de l'énergie et des Transferts Aérauliques dans le bâtiment / ⁺ Usages et performances du bâtiment

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, etc.) 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 : guide pour le renseignement du formulaire CNIL, guide d'utilisateur du site extranet permettant la collecte des données, fiche réflexe fournissant les valeurs limites de certains polluants et les recommandations à suivre en cas de dépassement, 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 bureaux.

Depuis la formation des premiers opérateurs du programme OQAI-BPE en décembre 2012, **175 codes-enquêtes ont été générés : 158 pour les bâtiments à usage d'habitation, 9 pour des bâtiments à usage d'enseignement et d'accueil de la petite enfance et 8 pour des bâtiments à usage de bureaux.** 90 % des codes-enquêtes demandés concernent des bâtiments à usage d'habitation.

La majorité des bâtiments d'habitation expérimentés 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 sécurisé.

A la fin de chaque phase d'enquête, les opérateurs renseignent 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, etc.), sont téléchargés sur le site extranet dédié.

Les données téléchargées transmises par les opérateurs 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

Peu de données se sont avérées satisfaire rigoureusement à tous les critères de validation. Aussi, il a été décidé de déroger à certains critères de validation. Ces critères ont été sélectionnés à dire d'experts et **leur dérogation a été jugée sans conséquence trop importante** sur la validité des données. Cela s'est traduit **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, différents statuts de validation ont été attribués aux données. Deux référentiels distincts de statut de validation ont été élaborés pour les données de mesures/enregistrements et les données recueillies par questionnaires.

4.3.1 STATUTS DE VALIDATION DES DONNEES DE MESURE/PRELEVEMENT

Pour les paramètres de qualité d'air intérieur, de confort et de ventilation, 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 ou du croisement de plusieurs variables liées entre elles. 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.

4.3.2 STATUTS DE VALIDATION DES DONNEES RECUEILLIES PAR QUESTIONNAIRE

Pour les données recueillies par questionnaire (bâtiment, logement, usage, accompagnement de la mesure, perceptif), le statut de validation « Valide_A » est attribué aux données satisfaisants à la règle de validation et « Valide_B » aux données satisfaisant à une partie de celle-ci (c'est-à-dire qu'à cause de la présence de données manquantes, une partie seulement des critères de validation a été testée). La modalité de validation « Valide_C » est attribuée aux données ne satisfaisant pas à certains critères de validation pour lesquels l'invalidation ne porte pas préjudice à la validation finale des données du questionnaire.

Comme pour les données de mesures/prélèvement et 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 ou du croisement de plusieurs variables liées entre elles ;
- prise de contact avec les opérateurs pour vérification des données transmises en base et corrections apportées sur les données ;
- invalidation de la donnée. Dans ce cas, le statut de validation est « Invalide ».

5. DONNEES RETENUES POUR L'EXPLOITATION

Du fait de la prédominance des bâtiments d'habitation enquêtés par rapport aux autres types de bâtiments visés dans le programme QQAI-BPE (bâtiments à usage d'enseignement ou d'accueil de la petite enfance et bâtiments à usage de bureaux), il a été décidé d'un commun accord avec le COPIL national de se focaliser sur l'exploitation des données des bâtiments d'habitation.

La transmission des données s'effectuant progressivement et étant encore en cours, il a été décidé de baser la deuxième exploitation sur les logements dont les données ont été **transmises en base de données à la date du 31 mai 2015** ce qui représente 114 codes-enquêtes de bâtiments d'habitation sur les 158. **Parmi ces 114 logements, 72 ont été sélectionnés car ils sont considérés comme « complets »**. Cela signifie que pour chaque logement, on dispose *a minima* : des questionnaires descriptifs du bâtiment, du logement et du ménage et, pour chaque période d'enquête, des mesures du confinement de l'air intérieur, des paramètres de qualité d'air intérieur, des paramètres du confort thermique et des débits d'air/pression aux bouches de ventilation. Du fait de la présence de données manquantes dans les questionnaires, les résultats d'exploitation de certaines questions doivent être considérés avec précaution.

L'intégralité des données transmises pour ces 72 logements ont été validées au moyen du protocole de validation des données de la base QQAI-BPE. Seules les données validées (statut de validation Valide1 à Valide3 et Valide_A à Valide_C) ont été considérées dans cette exploitation.

Les enquêtes ont été réalisées selon deux périodes définies de façon conventionnelle (**période hors chauffe** : entre 15 mai et 15 septembre et **période de chauffe** : entre 1^{er} novembre et 28 février). La concordance des périodes définies conventionnellement et du statut de fonctionnement du système principal de chauffage du logement (enquête en période de chauffe et fonctionnement du système de chauffage durant l'enquête / enquête en période de hors chauffe et arrêt du système de chauffage durant l'enquête) a été vérifiée. Elle a été confirmée pour 64 logements. Pour les 8 logements présentant une incohérence, l'exploitation des données de température extérieure a permis de modifier soit la période d'enquête, soit le statut de fonctionnement du système de chauffage.

6. ETAT DESCRIPTIF DES BATIMENTS ET DE LEURS OCCUPANTS

6.1 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

L'étude est basée sur un échantillon de 43 bâtiments à usage d'habitation ayant répondu aux appels à projets PREBAT (Plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment) (Tableau 6-1). Sur les 43 bâtiments :

- 28 sont récents (construits entre 2008 et 2012) c'est-à-dire qu'ils avaient entre 3 et 7 ans au moment de leurs investigations ;
- 15 sont anciens (construits entre 1876 et 1988) et ont subi des travaux de rénovation énergétique au cours de la période 2010-2013 c'est-à-dire entre 2 et 5 ans avant l'enquête.

Ces 43 bâtiments sont constitués de 17 maisons individuelles et de 26 immeubles collectifs.

Sur un total de 72 logements investigués dans ces 43 bâtiments :

- 55 sont des « logements collectifs » dont la moitié est récente et l'autre moitié, rénovée. Il faut souligner que 91% de ces logements sont des logements sociaux ;
- 17 sont des « logements individuels » dont la quasi-totalité est récente (1 seule maison a été rénovée).

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

	Nombre de bâtiments enquêtés	Nombre de logements enquêtés
Habitat individuel	17 maisons individuelles (16 récents, 1 réhabilité)	17 logements individuels (16 récents, 1 réhabilité)
Habitat collectif	26 immeubles collectifs (12 récents, 14 réhabilités)	55 logements collectifs (28 récents, 27 réhabilités)
Tout type d'habitat	43 bâtiments (28 récents, 15 réhabilités)	72 logements (44 récents, 28 réhabilités)

Les bâtiments enquêtés sont localisés dans 6 des 8 zones climatiques définies par la réglementation thermique 2005 (Tableau 6-2 et Figure 6-1). Les maisons individuelles et les bâtiments collectifs ne sont pas répartis uniformément.

La maîtrise d'ouvrage ayant initié les travaux de construction de ces bâtiments est plutôt privée pour 63 % des cas. Elle est majoritairement privée pour les maisons individuelles (82 %) alors qu'elle est publique ou privée pour les immeubles collectifs (respectivement 54 et 46 %).

Tableau 6-2 – Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H3	Total
Maison individuelle	17	41%	0	23%	12%	6%	18%	100%
Immeuble collectif	26	0	46%	31%	11%	4%	8%	100%
Tout type	43	16%	28%	28%	12%	5%	11%	100%

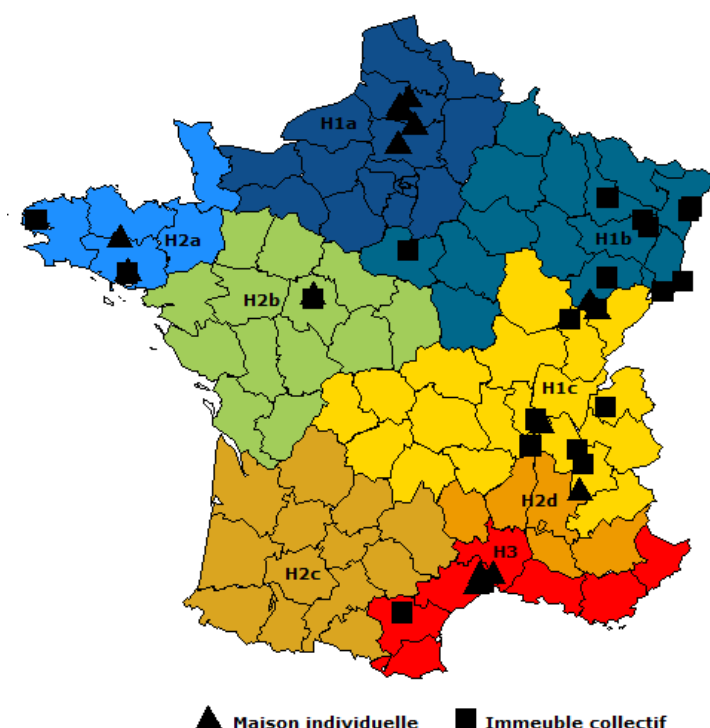


Figure 6-1 - Localisation des bâtiments enquêtés par zone climatique

6.2 L'ENVIRONNEMENT PROCHE DES BÂTIMENTS

Deux tiers des bâtiments d'habitation se situent à moins de 500 m d'une voie de trafic routier (sans distinction du type de route : autoroute/nationale/départementale/...) (Tableau 6-3) dont l'intensité du trafic est estimée, selon les occupants des logements, dans 92 % des cas, de faible à moyenne. L'intensité du trafic routier est plutôt faible à proximité des maisons individuelles (64 %) alors qu'elle est moyenne à proximité des immeubles collectifs (78 %). Plus de 20 % des immeubles collectifs, situés dans les vallées du Doubs, du Rhin ou du Rhône, sont à proximité d'un axe de trafic fluvial (de faible intensité de circulation).

Un tiers des bâtiments d'habitation est situé à moins de 500 m de chantiers de construction ou de démolition mais des disparités existent entre les deux types d'habitat (Tableau 6-4). Les maisons individuelles sont également situées à proximité d'activité d'agricole dans 29 % des cas alors que les immeubles collectifs peuvent être situés à proximité d'installation de combustion (27 %) ou d'activité industrielle (23 %).

Tableau 6-3 – Pourcentage de bâtiments à moins de 500 m de voies de circulation

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Trafic routier	Intensité du trafic routier			Trafic ferroviaire	Trafic aérien	Trafic fluvial
			faible	moyen	fort			
Maison individuelle	17	65%	64%	27%	9%	6%	6%	0%
Immeuble collectif	26	69%	17%	78%	5%	8%	12%	23%
Tout type	43	67%	34%	59%	7%	7%	9%	14%

Tableau 6-4 – Pourcentage de bâtiments à moins de 500 m d'activités extérieures pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air ou générer des nuisances acoustiques

	Effectif	Activité agricole	Activité d'élevage	Activité industrielle	Chantier construction ou démolition	Gare routière	Installation de combustion	Parking à trafic important	Station service	Usine de recyclage / Traitement des déchets	Autre
Maison individuelle	17	29%	0%	0%	29%	0%	0%	0%	0%	12%	12%
Immeuble collectif	26	4%	0%	23%	35%	0%	27%	12%	8%	0%	15%
Tout type	43	14%	0%	14%	33%	0%	16%	7%	5%	5%	14%

6.3 LE BÂTI

Les principales caractéristiques des bâtiments sont présentées pour l'ensemble de l'échantillon et par type d'habitat. Pour les immeubles collectifs, les résultats sont également présentés pour les bâtiments récemment construits et ceux rénovés. Pour les maisons individuelles, aucune distinction constructions récentes/constructions rénovées n'a été faite puisque la quasi-totalité des maisons est récente (16 sur 17 maisons).

6.3.1 MODE CONSTRUCTIF

Les bâtiments sont construits pour moitié en façades porteuses (maçonnerie traditionnelle en béton, brique, parpaing ou monomur) et pour l'autre moitié, en façades légères (ossature bois, métal ou mixte) (Tableau 6-5). Parmi les modes constructifs les plus utilisés figurent l'ossature bois et le béton. Toutefois, des spécificités apparaissent selon le type d'habitat : la quasi-totalité des maisons individuelles présente des façades légères (notamment à ossature bois) dans 94 % des cas alors que les immeubles collectifs présentent des façades porteuses (notamment en béton) dans 81% des cas. Bien que les façades porteuses soient plus fréquentes dans les immeubles collectifs, près d'un quart des immeubles récents présente une façade légère (ossature bois).

Tableau 6-5 – Modes constructifs des bâtiments

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Façades porteuses					Façades légères			
		Total	Béton	Brique	Parpaing	Monomur	Total	Bois	Métal	Mixte*
Maison individuelle	17	6%	0%	0%	100%	0%	94%	75%	6%	19%
Immeuble collectif	26	81%	62%	14%	10%	14%	19%	100%	0%	0%
récent	12	67%	62%	0%	0%	38%	33%	100%	0%	0%
rénové	14	93%	61%	23%	16%	0%	7%	100%	0%	0%
Tout type	43	51%	59%	14%	14%	14%	49%	81%	5%	14%

*Mixte = façades légères avec remplissage de type béton ou brique

Des différences apparaissent entre les deux types d'habitat au niveau du type de plancher bas et du type de toiture des bâtiments (Tableau 6-6). Malgré les données manquantes ("ne sait pas") et les précautions à prendre quant à l'exploitation des données, il semble que la majorité des maisons individuelles est construite sur terre-plein et possède un toit sous comble. Les immeubles collectifs, récents ou rénovés, possèdent majoritairement et à égale proportion un terre-plein ou un sous-sol et une toiture terrasse.

Tableau 6-6 - Type de plancher bas et de toiture des bâtiments

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Type de plancher bas					Type de toiture				
		Total	Sous sol	Terre plein	Vide sanitaire	Ne sait pas	Total	Rampant	Sous comble	Toiture terrasse	Ne sait pas
Maison individuelle	17	100%	12%	76%	12%	0%	100%	30%	41%	29%	0%
Immeuble collectif	26	100%	35%	35%	8%	23%	100%	8%	12%	54%	26%
récent	12	100%	33%	42%	0%	25%	100%	8%	8%	58%	26%
renové	14	100%	36%	29%	14%	21%	100%	7%	14%	50%	29%
Tout type	43	100%	26%	51%	9%	14%	100%	16%	23%	44%	17%

6.3.2 ISOLATION THERMIQUE

Deux types de systèmes d'isolation thermique des façades prédominent : l'isolation rapportée par l'extérieur (42 % des bâtiments) et l'isolation pour ossature bois, métal (37 %) (Tableau 6-7). Comme attendu, l'isolation thermique des maisons individuelles est réalisée conformément au principal mode constructif utilisé (ossature bois). Pour les immeubles collectifs, l'isolation thermique est plutôt réalisée par l'extérieur dans 58 % des cas. Dans le cas d'immeubles rénovés, l'isolation thermique est réalisée majoritairement par l'extérieur alors que pour les immeubles récents, elle peut également être répartie ou spécifique à l'ossature bois.

Tableau 6-7 – Pourcentage des systèmes d'isolation thermique des bâtiments

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Système d'isolation					Total
		Isolation rapportée par l'intérieur	Isolation rapportée par l'extérieur	Isolation répartie	Isolation pour ossature bois, acier	Autre système	
Maison individuelle	17	18%	18%	0%	64%	0%	100%
Immeuble collectif	26	8%	58%	12%	19%	3%	100%
récent	12	0%	33%	26%	33%	8%	100%
renové	14	14%	79%	0%	7%	0%	100%
Tout type	43	12%	42%	7%	37%	2%	100%

Plusieurs matériaux isolants sont utilisés tels que les matériaux minéraux (laine minérale), naturels (fibres de bois, de cellulose, paille) ou synthétiques (polystyrène expansé) (Tableau 6-8). Du fait de données manquantes et de la présence d'autres types d'isolants, il est difficile de décrire les isolants utilisés dans les bâtiments, en particulier au niveau des planchers bas et de la toiture. Les résultats sont présentés à titre informatif.

- L'isolation du plancher bas des bâtiments est souvent réalisée à l'aide d'un autre isolant que ceux listés plus haut mais également avec un isolant naturel ou un isolant synthétique.
- Pour les maisons individuelles, la laine minérale et les isolants naturels sont les principaux isolants des murs extérieurs et de la toiture.
- Pour les logements collectifs, les isolants minéraux ou d'autres types d'isolants sont utilisés pour la toiture. Les isolants synthétiques sont souvent utilisés au niveau du plancher bas mais des différences apparaissent. Ce pourcentage est bien plus élevé pour les immeubles collectifs rénovés que pour les immeubles collectifs neufs pour lesquels des isolants minéraux, naturels ou d'autres isolants peuvent être utilisés.

Tableau 6-8 – Pourcentage des différents isolants au niveau de différentes parties du bâtiment

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Type d'isolant							
		minéral	Naturel				synthétique	autre	Ne sait pas
		Laine minérale	Total	Fibres de cellulose	Fibres de bois	Paille	Polystyrène expansé		
au niveau du plancher bas									
Maison individuelle	17	5%	18%	12%	6%	0%	24%	29%	24%
Immeuble collectif	26	12%	15%	4%	11%	0%	8%	27%	38%
récent	12	8%	25%	0%	25%	0%	8%	25%	34%
rénové	14	14%	7%	7%	0%	0%	7%	29%	43%
Tout type	43	9%	16%	7%	9%	0%	14%	28%	33%
au niveau des murs extérieurs									
Maison individuelle	17	41%	41%	29%	6%	6%	0%	12%	6%
Immeuble collectif	26	12%	16%	8%	8%	0%	42%	15%	15%
récent	12	25%	16%	8%	8%	0%	8%	25%	26%
rénové	14	0%	14%	7%	7%	0%	71%	7%	8%
Tout type	43	23%	25%	16%	7%	2%	26%	14%	12%
au niveau de la toiture du bâtiment									
Maison individuelle	17	28%	42%	24%	18%	0%	6%	18%	6%
Immeuble collectif	26	27%	12%	4%	8%	0%	8%	19%	34%
récent	12	33%	17%	0%	17%	0%	8%	8%	34%
rénové	14	21%	7%	7%	0%	0%	7%	29%	36%
Tout type	43	27%	24%	12%	12%	0%	7%	19%	23%

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 en $\text{m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$ à 4 Pa est présenté dans le Tableau 6-9 et dans la Figure 6-2. Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en $\text{m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$ 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 mesurée dans les maisons individuelles que les immeubles collectifs, en valeur médiane, est légèrement plus faible que l'exigence réglementaire.

Tableau 6-9 – Mesure *in situ* de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments

Bâtiment d'habitation	Valeur de perméabilité à l'air mesurée ($\text{m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$ à 4 Pa				
	Nb bâtiment	min	moyenne	médiane	max
Maison individuelle	10	0,04	0,54 ± 0,34	0,55	1,30
Immeuble collectif	16	0,15	0,86 ± 0,46	0,92	1,70
<i>récent</i>	8	0,17	0,95 ± 0,54	1,00	1,70
<i>rénové</i>	8	0,15	0,76 ± 0,38	0,85	1,44

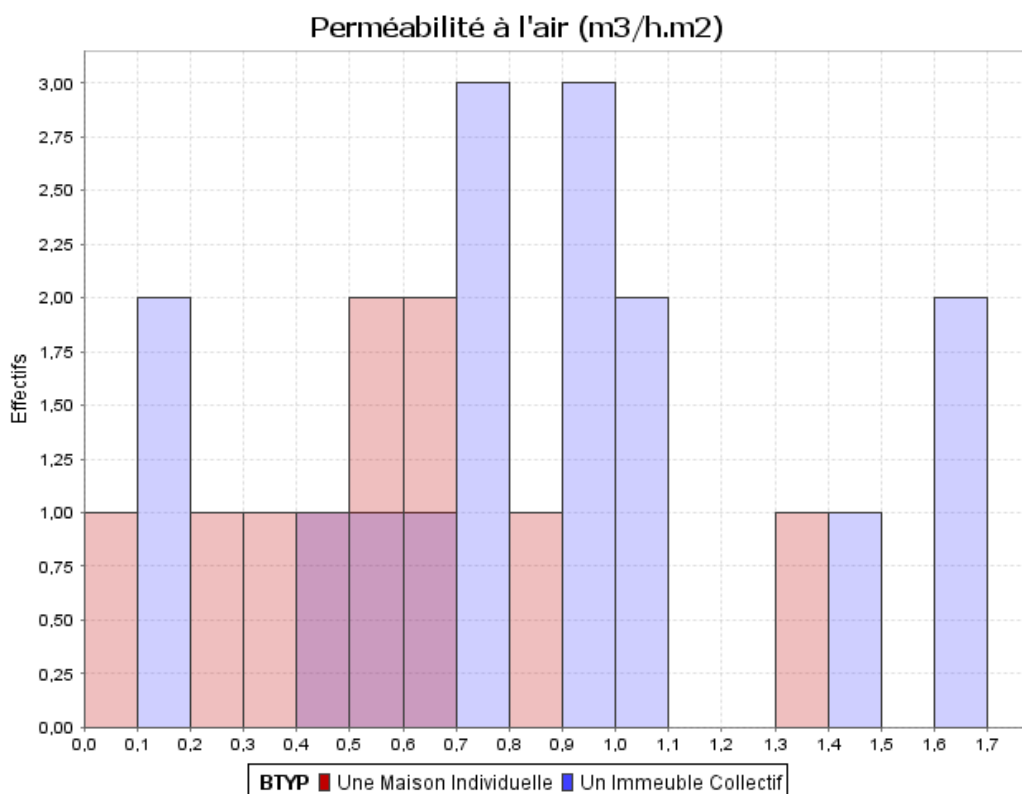


Figure 6-2 – Fréquence de distribution des valeurs de perméabilité à l'air (m³/h.m² sous 4 Pa) de l'enveloppe de 10 maisons individuelles et de 16 immeubles collectifs

6.3.4 PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS

Sur les 43 bâtiments enquêtés, 65 % sont récents et 35 % ont été réhabilités (Tableau 6-10).

Tableau 6-10 – Réglementation thermique utilisée lors de la construction/réhabilitation des bâtiments et labels énergétiques obtenus/demandés

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Réglementation thermique utilisée			Labels obtenus/demandés
		RT 2005	RT 2012	RT existant	
Maison individuelle	17	94%	0%	6%	BBC-Effinergie neuf : 35% Passivhaus : 24% HPE/THPE : 6% BBC-Effinergie rénovation : 6% Aucun : 29%
Immeuble collectif	26	42%	4%	54%	BBC-Effinergie neuf : 27% BBC-Effinergie rénovation : 27% Label rénovation énergétique : 7 % BBC 2005 : 4% Effinergie plus : 4 % Passivhaus : 4% Aucun : 27%
Tout type	43	63 %	2 %	35%	BBC-Effinergie neuf : 30% BBC-Effinergie rénovation : 19% Passivhaus : 12% Label rénovation énergétique : 5 % BBC 2005 : 2% Effinergie plus : 2 % HPE/THPE : 2% Aucun : 28%

Une disparité existe selon le type de bâtiments puisque la quasi-totalité des maisons individuelles est récente (94 %) alors que les immeubles collectifs sont pour moitié récents et pour moitié rénovés. La quasi-totalité des bâtiments récents a été construite selon la réglementation thermique 2005 et les bâtiments réhabilités ont été rénovés selon la réglementation thermique existant. Un immeuble collectif a été construit selon la RT 2012 par anticipation de sa mise en application.

Plus des deux tiers des bâtiments a obtenu ou demandé un label énergétique. Pour les bâtiments récents, les labels énergétiques des plus aux moins demandés sont les suivants : BBC-Effinergie neuf, Passivhaus, BBC 2005, Effinergie plus et HPE/THPE. Pour les bâtiments rénovés, le label BBC-Effinergie rénovation est le plus obtenu/demandé par rapport au label rénovation énergétique.

Le niveau moyen des consommations énergétiques conventionnelles tous usages est proche de 55 kWh/m² SHON.an (Tableau 6-11). 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)). Les maisons individuelles présentent le niveau moyen de consommations énergétiques conventionnelles le plus faible (45 kWh/m² SHON.an) comparativement aux immeubles collectifs (62 kWh/m² SHON.an). Pour ces derniers, le niveau moyen de consommations énergétiques conventionnelles est plus élevé pour les bâtiments rénovés que pour les bâtiments récents.

Au niveau de la répartition par poste, les consommations énergétiques conventionnelles « Chauffage » et « ECS » représentent pratiquement la même contribution (plus de 30 % chacun). Les postes « Ventilation » et « Eclairage » représentent plus de 10 % chacun et le poste « Auxilaire » moins de 5 %.

Tableau 6-11 – Consommations énergétiques conventionnelles totales des bâtiments

Bâtiment d'habitation	Nb bâtiment	Niveau moyen des consommations énergétiques conventionnelles totales (kWh/m ² SHON.an)					
		Tous usages	Chauffage	ECS	Ventilation	Eclairage	Auxiliaire
Maison individuelle	7	44,5	18,5	13,6	6,0	6,4	3,1
Immeuble collectif	10	61,5	25,1	22,7	7,9	8,6	2,0
récent	7	55,3	19,3	21,6	8,9	7,3	2,3
rénové	3	76,1	38,6	25,2	5,4	11,7	1,4
Tout type	17	54,5	22,4	19,0	7,1	7,7	2,5

6.4 LE LOGEMENT

6.4.1 SITUATION DES LOGEMENTS DANS LE BATIMENT

Les caractéristiques au regard de la situation des logements dans le bâtiment sont présentées dans le Tableau 6-12. Il apparaît que :

- la majorité des maisons individuelles se situent au-dessus d'un terre-plein et au-dessous d'un comble/grenier ou de la toiture. Près de 30 % de ces logements est attenant et communicant avec un garage ;
- les logements des immeubles collectifs sont situés à des étages intermédiaires dans plus de 40 % des cas (étage médian égal à 2), au rez-de-chaussée pour plus de 30 % ou au dernier étage pour plus de 25 % (étage maximal égal à 7). Près des deux tiers de ces logements s'intercalent entre d'autres logements (un au-dessus et un au-dessous). La majorité des logements du rez-de-chaussée est située au-dessus de sous-sol. Aucune différence n'est observée entre les logements des immeubles collectifs récents et rénovés.

Tableau 6-12 – Situation des 72 logements investigués dans le bâtiment

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Logement au dessus de...					
Autre logement	0%	64%	64%	63%	49%
Extérieur	0%	2%	4%	0%	1%
Local commercial	0%	2%	4%	0%	1%
Sous-sol	12%	18%	14%	22%	17%
Terre-plein	71%	7%	11%	4%	23%
Vide sanitaire	17%	5%	3%	7%	8%
Autre	0%	2%	0%	4%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Logement en dessous de...					
Autre logement	0%	75%	75%	74%	57%
Combles, greniers	53%	4%	4%	4%	15%
Toiture sans comble	47%	21%	21%	22%	28%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Niveau du logement dans le bâtiment (pour logement collectif uniquement)					
Rez de chaussée	Sans objet	33%	32%	33%	Sans objet
Etage intermédiaire	Sans objet	42%	43%	41%	Sans objet
Dernier étage	Sans objet	25%	25%	26%	Sans objet
Total	Sans objet	100%	100%	100%	Sans objet
Garage attenant et communicant au logement (pour logement individuel uniquement)					
Oui	29%	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet

6.4.2 TYPE ET SURFACE

Les logements investigués sont de type T2 à T6 mais la quasi-totalité des logements individuels est de type T3 à T6 alors que les logements collectifs sont de type T2 à T4 (Tableau 6-13). Cette différence est également mise en évidence par la moyenne de la surface habitable des logements égale à 130 m² pour les logements individuels contre 70 m² pour les logements collectifs. Il semble que les logements des immeubles collectifs récents soient plus grands que ceux des immeubles collectifs rénovés (surface moyenne respectivement de 78 et 63 m²).

La majorité des logements collectifs est traversant puisqu'il y a au moins deux façades différentes équipées d'ouvrants.

Enfin, la majorité des logements est équipée d'une cuisine américaine, ouverte sur le séjour à l'exception des logements collectifs rénovés où les cuisines fermées prédominent.

Tableau 6-13 – Type et surface habitable des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Type de logement					
T2	0%	13%	4%	22%	10%
T3	18%	51%	54%	48%	43%
T4	53%	34%	39%	30%	39%
T5	23%	2%	3%	0%	7%
T6	6%	0%	0%	0%	1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Surface habitable (m²)					
Moyenne (écart-type)	130 ± 38	70 ± 17	78 ± 19	63 ± 10	85 ± 35
Valeur minimale – Valeur maximale	75-190	37-123	37 - 123	46 - 83	37-190
Logement traversant ? (pour logement collectif uniquement)					
Oui	Sans objet	85%	82%	89%	Sans objet
Présence d'une cuisine américaine (cuisine ouverte sur séjour)					
Oui	82%	47%	77%	15%	56%

6.4.3 MENUISERIE, VITRAGES ET PROTECTIONS SOLAIRES

Les principales caractéristiques des menuiseries, des vitrages et des protections solaires extérieures sont présentées dans le Tableau 6-14.

La répartition des menuiseries par rapport aux 4 points cardinaux diffère selon le type d'habitat. Comme attendu, l'orientation des menuiseries est le plus souvent triple voire quadruple pour les maisons individuelles alors qu'elle est majoritairement double pour les logements collectifs qui ont la particularité d'être pour l'essentiel traversant. Le double vitrage est le type de vitrage le plus utilisé, loin devant le triple vitrage. En général, un seul type de vitrage est utilisé par logement. Il faut toutefois noter la présence de simple vitrage dans un logement collectif rénové.

Au regard des protections solaires extérieures, l'intégralité des logements en sont équipés. La quasi-totalité des logements collectifs est équipés d'un seul type de protection, la plupart du temps de volets roulants. Les maisons individuelles peuvent être équipées de un à trois types ou plus de protections solaires. Les volets roulants ou coulissants, les stores extérieurs et les débords de toiture sont les systèmes de protections solaires les plus souvent utilisés dans les maisons individuelles.

6.4.4 REVETEMENTS DE SURFACE ET MOBILIER

Les statistiques descriptives relatives à la présence des différents types de revêtements de surface et de mobilier sont présentées dans le Tableau 6-15.

Comme attendu, la majorité du mobilier des logements est en bois, en particulier en bois aggloméré ou massif et que les plafonds des logements sont peints. Des différences sont néanmoins observées pour les revêtements de sol et de murs.

Dans les maisons individuelles, deux revêtements de sol sont le plus souvent utilisés : parquet et carrelage, alors que dans les logements collectifs, les sols synthétiques prédominent. Pour les revêtements de murs et hormis le carrelage, la peinture semble la plus utilisée pour recouvrir les murs dans les maisons individuelles et les logements collectifs récents. Pour les murs des logements collectifs rénovés, c'est plutôt le papier peint qui est employé.

Tableau 6-14 – Menuiserie, vitrage et protections solaires des 72 logements investigués (n : nombre de logements)

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Présence de menuiseries selon l'orientation	n=16	n=52	n=25	n=27	n=68
Une seule orientation	0%	6%	4%	7%	4%
Orientation Nord (N/NO/NE)	0%	33%	100%	0%	33%
Orientation Sud (S/SO/SE)	0%	34%	0%	50%	34%
Orientation Est	0%	33%	0%	50%	33%
Total	0%	100%	100%	100%	100%
Deux orientations	19%	65%	64%	67%	54%
Orientations Nord et Ouest	0%	6%	6%	6%	5%
Orientations Nord et Sud	100%	47%	63%	33%	52%
Orientations Est et Ouest	0%	29%	6%	50%	27%
Orientations Sud et Ouest	0%	18%	25%	11%	16%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Trois orientations et plus	81%	29%	32%	26%	42%
Orientations Nord et Sud et Est	23%	26%	12%	44%	25%
Orientations Nord et Sud et Ouest	8%	40%	51%	28%	25%
Orientations Sud et Est et Ouest	15%	27%	25%	28%	21%
Orientations Nord et Sud et Est et Ouest	54%	7%	12%	0%	28%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Total (menuiserie selon l'orientation)	100%	100%	100%	100%	100%
Type de vitrage	n=17	n=55	n=28	n=27	n=72
Un seul type	88%	92%	92%	93%	91%
Simple vitrage	0%	2%	0%	4%	2%
Double vitrage	71%	73%	61%	84%	73%
Triple vitrage	29%	25%	39%	12%	25%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Deux types et plus	12%	8%	8%	7%	9%
Double et triple vitrages	50%	100%	100%	100%	83%
Simple, double et triple vitrages	50%	0%	0%	0%	17%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Total (type de vitrage)	100%	100%	100%	100%	100%
Présence de protections solaires extérieures	n=17	n=55	n=28	n=27	n=72
Oui	100%	100%	100%	100%	100%
Combinaison du type de protections solaires	n=17	n=55	n=28	n=27	n=72
Un seul type	38%	87%	79%	96%	76%
Volets battants	0%	6%	0%	11%	5%
Volets roulants	33%	81%	77%	85%	76%
Volets coulissants	17%	0%	0%	0%	1%
Stores extérieures	33%	13%	23%	0%	15%
Débord de toiture, surplomb, auvent	17%	0%	0%	4%	2%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Deux types	31%	13%	21%	4%	17%
Volets roulants + autre type	80%	71%	67%	100%	75%
Stores extérieures + autre type	20%	29%	33%	0%	25%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Trois types et plus	31%	0%	0%	0%	7%
Volets roulants + stores extérieures + autre type	100%	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Total (type de protections solaires)	100%	100%	100%	100%	100%

Tableau 6-15 – Type de revêtements de surface et de mobilier des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Présence de revêtements de sol en ...					
Textile (moquettes, tapis)	0%	5%	3%	7%	4%
Synthétique (plastique, vinylique, ...)	29%	89%	79%	100%	75%
Carrelage, pierre	41%	29%	39%	19%	32%
Peinture de sol, résine	6%	0%	0%	0%	1%
Parquet ou autre revêtement en bois	53%	15%	29%	0%	24%
Autre	18%	0%	0%	0%	4%
Présence de revêtements de mur en ...					
Papier peint, papier vinyl	12%	60%	46%	74%	49%
Carrelage, faïence	53%	33%	25%	41%	38%
Pierre	6%	0%	0%	0%	1%
Peinture	76%	47%	57%	37%	54%
Lambris ou autre revêtement en bois	12%	0%	0%	0%	3%
Plâtre, placoplâtre, béton	12%	7%	14%	0%	8%
Autre	12%	0%	0%	0%	3%
Présence de revêtements de plafond en ...					
Papier peint, papier vinyl	0%	5%	0%	11%	4%
Peinture	88%	86%	78%	93%	86%
Faux plafonds, plafond suspendu ou tendu	6%	4%	4%	4%	4%
Bois	12%	5%	11%	0%	7%
Autre	6%	11%	14%	7%	10%
Présence de mobilier en ...					
Bois massif	65%	55%	57%	52%	57%
Bois aggloméré	65%	58%	50%	67%	60%
Bois verni	24%	27%	29%	26%	26%
Bois mélaminé	41%	22%	32%	11%	26%
Plastique	6%	16%	14%	19%	14%
Métal	12%	7%	11%	4%	8%
Textile	29%	22%	21%	22%	24%
Autre	12%	0%	0%	0%	3%

6.5 LES SYSTEMES

6.5.1 CHAUFFAGE

Les caractéristiques du système principal de chauffage des logements sont présentées dans le Tableau 6-16.

En maisons individuelles, les systèmes de chauffage les plus utilisés sont les pompes à chaleur (fonctionnant à l'électricité) et les poêles à bois (alimentés par des granulés/copeaux et du bois en bûches). En présence d'un système de chauffage par pompes à chaleur, la chaleur est diffusée au moyen de radiateurs avec circulation d'eau chaude.

Les logements collectifs sont chauffés principalement par des chaudières à condensation, des chaudières classiques ou le réseau de chaleur. Les logements collectifs récents sont tous (sauf 2 logements) chauffés par un chauffage collectif alors que ce n'est pas le cas des logements rénovés. Dans les logements collectifs récents, l'utilisation de pompes à chaleur semble se substituer à celle de chaudière classique. L'énergie principale utilisée est le gaz naturel mais l'utilisation de granulés/copeaux est observée dans les logements collectifs rénovés. Les principaux émetteurs de chaleur sont des radiateurs à circulation d'eau chaude et dans une moindre mesure, le réseau aéraulique dans les logements collectifs récents.

Tableau 6-16 – Système de chauffage des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Type de chauffage					
Collectif (commun à plusieurs logements)	6%	84%	93%	74%	65%
Individuel (spécifique au logement)	94%	16%	7%	26%	35%
Total (type de chauffage)	100%	100%	100%	100%	100%
Localisation du système de chauffage dans le volume habitable (pour logement avec chauffage individuel)					
Oui	69%	89%	50%	100%	76%
Système principal de chauffage					
Chaudière à condensation	0%	43%	41%	46%	33%
Chaudière classique	6%	21%	15%	27%	17%
Poêle à bois	41%	0%	0%	0%	10%
Pompe à chaleur (Air-Air ; Air-Eau ; Sol-Eau)	47%	11%	22%	0%	20%
Réseau de chaleur	0%	19%	22%	15%	14%
Autre (chaudière plaquette bois)	6%	6%	0%	12%	6%
Total (système principal chauffage)	100%	100%	100%	100%	100%
Principal énergie ou combustible utilisé pour le chauffage					
Bois (bûches)	24%	2%	0%	4%	7%
Electricité	35%	4%	7%	0%	11%
Fioul	0%	5%	0%	11%	4%
Gaz naturel	0%	64%	75%	52%	49%
Granulés, copeaux (biomasse)	29%	18%	7%	29%	21%
Réseau de chaleur	6%	7%	11%	4%	7%
Autre	6%	0%	0%	0%	1%
Total (principale énergie chauffage)	100%	100%	100%	100%	100%
Emetteurs de chaleur					
Convecteurs électriques	7%	0%	0%	0%	1%
Panneau rayonnant électrique	7%	0%	0%	0%	1%
Plancher chauffant (à eau chaude)	7%	9%	18%	0%	9%
Poêle à bois	32%	0%	0%	0%	7%
Radiateurs (avec circulation de fluides chauds)	40%	71%	53%	89%	64%
Réseau aéraulique	7%	15%	29%	0%	14%
Autre (ventilo-convecteur)	0%	5%	0%	11%	4%
Total (émetteurs de chaleur)	100%	100%	100%	100%	100%

6.5.2 VENTILATION

La majorité des logements est ventilée au moyen de systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) (Tableau 6-17). La proportion de logements équipés de VMC simple flux ou de VMC double flux est pratiquement identique (respectivement 42 et 46 %). Il faut toutefois noter que 12 % des logements sont équipés par un système naturel de ventilation. Il s'agit uniquement de logements collectifs rénovés dont la majorité est ventilée par un système de ventilation naturelle hybride.

Parmi les systèmes de VMC, la VMC double flux (notamment celle avec échangeur de chaleur) prédomine dans les maisons individuelles par rapport à la VMC simple flux (hygroréglable B). Pour les logements collectifs récents, cette tendance est inversée. Pour les logements collectifs rénovés, les trois principaux systèmes de ventilation sont la ventilation naturelle hybride, la VMC simple flux hygroréglable B et la VMC double flux avec échangeur de chaleur.

Tableau 6-17 – Système de ventilation des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Système de ventilation					
Ventilation naturelle	0%	16%	0%	33%	12%
<i>Ventilation naturelle par grilles hautes et basses</i>	0%	33%	0%	34%	33%
<i>Ventilation par conduits à tirage naturel assisté (hybride)</i>	0%	67%	0%	66%	67%
Total (ventilation naturelle)	0%	100%	100%	100%	100%
VMC simple flux par extraction	35%	35%	61%	30%	42%
<i>VMC simple flux par extraction autoréglable</i>	0%	11%	6%	20%	10%
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable A</i>	0%	26%	24%	30%	21%
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable B</i>	100%	63%	70%	50%	69%
Total (VMC simple flux)	100%	100%	100%	100%	100%
VMC double flux	65%	49%	39%	37%	46%
<i>VMC double flux avec échangeur thermique</i>	100%	68%	72%	63%	80%
<i>VMC double flux sans échangeur thermique</i>	0%	32%	28%	38%	20%
Total (VMC double flux)	100%	100%	100%	100%	100%
Total (système de ventilation)	100%	100%	100%	100%	100%

6.5.3 PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE ET D'ELECTRICITE

La production d'eau chaude sanitaire est assurée principalement par l'installation de chauffage central principal dans les immeubles collectifs et par des appareils indépendants en maison individuelle (essentiellement chauffe-eau solaire avec appoint par une résistance électrique) (Tableau 6-18). La production d'électricité par panneaux photovoltaïques concerne plus de 20 % des logements.

Tableau 6-18 – Système de production d'eau chaude et d'électricité des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Alimentation en eau chaude sanitaire du logement par...					
Installation de chauffage central principal	12%	78%	75%	82%	62%
Appareils indépendants (chauffe-eau, cumulus,...)	88%	22%	25%	18%	38%
<i>Ballon d'accumulation couplé à la chaudière</i>	7%	17%	29%	0%	12%
<i>Ballon d'eau chaude électrique</i>	0%	8%	0%	20%	4%
<i>Chauffe-eau indépendant à gaz ou autres combustibles fossiles</i>	0%	17%	0%	40%	8%
<i>Chauffe-eau solaire avec appoint (chaudière, PAC, résistance électrique)</i>	57%	41%	71%	0%	50%
<i>Chauffe-eau thermodynamique</i>	36%	0%	0%	0%	18%
<i>Production instantanée par chaudière (sans ballon)</i>	0%	17%	0%	40%	8%
Total (appareils indépendants)	100%	100%	100%	100%	100%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Présence d'un système de production d'électricité par panneaux solaires photovoltaïques					
Oui	24%	20%	29%	11%	21%

6.5.4 ENERGIE UTILISEE POUR LA CUISSON ET PRESENCE DE HOTTE ASPIRANTE

Les deux principales énergies ou combustibles utilisés en cuisine sont, à parts égales, le gaz et l'électricité (Tableau 6-19). L'électricité prédomine dans les logements collectifs récents alors que le gaz est la principale énergie de cuisson dans les logements collectifs rénovés. Les hottes aspirantes de cuisine (principalement à recyclage sans raccordement avec l'extérieur) équipent la moitié des maisons individuelles et moins d'un tiers des logements collectifs.

Tableau 6-19 – Energie de cuisine et hotte aspirante des 72 logements investigués

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de logements	17	55	28	27	72
Principale énergie ou combustible utilisé pour la cuisine					
Au moins un appareil fonctionnant au gaz	53%	48%	29%	69%	49%
Tout électrique	47%	52%	71%	31%	51%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Présence d'une hotte aspirante de cuisine					
Oui	50%	25%	32%	19%	31%
<i>Avec rejet de l'air à l'extérieur (hotte à extraction sans recyclage)</i>	13%	14%	22%	0%	14%
<i>Avec un filtre pour l'air recyclé (hotte à recyclage non raccordé à l'extérieur)</i>	87%	86%	78%	100%	86%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

6.6 LES OCCUPANTS

Les statistiques descriptives de cette partie sont issues de l'exploitation de réponses données à des questions relatives au ménage mais également à la personne de référence du ménage. Cette personne de référence a été identifiée comme la personne la plus âgée, en donnant priorité à l'actif le plus âgé et dont le numéro d'individu «1» lui a été attribué par le technicien enquêteur.

6.6.1 STATUT D'OCCUPATION ET COMPOSITION DU MENAGE

Les principales caractéristiques des ménages occupant les 72 logements investigués sont présentées dans le Tableau 6-20 et montrent que, pour la question relative au montant annuel des revenus du ménage, le pourcentage de réponses manquantes est élevé. Il faut donc considérer cette information avec précaution (en particulier pour les logements collectifs).

Il apparaît que :

- la majorité des ménages des maisons individuelles est propriétaire alors que les ménages des logements collectifs sont quasi-systématiquement locataires ;
- les ménages des maisons individuelles sont majoritairement des familles composées d'un couple avec deux enfants ou plus. Les ménages des logements collectifs, pour la plupart à vocation sociale, se répartissent de manière pratiquement identique entre les personnes seules, les couples avec enfants et les familles monoparentales. Il semble que les logements collectifs récents sont occupés par des couples avec enfants et des familles monoparentales alors que les logements collectifs rénovés sont occupés pour la moitié par des personnes seules ;
- la moyenne de la surface du logement par personne est plus élevée en maisons individuelles qu'en logements collectifs ;

- les ménages des maisons individuelles ont la majorité du temps des revenus de plus de 30 000 euros alors que la majorité des ménages des logements collectifs a des revenus plus faibles. Il semble également qu'en habitat collectif rénové le revenu soit moindre qu'en habitat collectif neuf.

Tableau 6-20 – Statut d'occupation, composition et revenu des 72 ménages enquêtés

	Logement individuel	Logement collectif			Tout type
		total	récent	rénové	
Nombre de ménages	17	55	28	27	72
Statut d'occupation					
Locataire	29%	93%	86%	100%	78%
Propriétaire	71%	7%	14%	0%	22%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Composition du ménage					
Personnes seules	6%	34%	19%	48%	27%
Familles monoparentales	6%	23%	31%	14%	19%
Adulte avec 1 enfant	0%	59%	50%	75%	54%
Adulte avec 2 enfants	100%	33%	37%	25%	38%
Adulte avec 3 enfants et plus	0%	8%	13%	0%	8%
total	100%	100%	100%	100%	100%
Couples sans enfants	12%	13%	8%	19%	13%
Couples avec enfants	76%	30%	42%	19%	41%
Couple avec 1 enfant	23%	19%	18%	20%	21%
Couple avec 2 enfants	46%	50%	54%	40%	48%
Couple avec 3 enfants et plus	31%	31%	28%	40%	31%
total	100%	100%	100%	100%	100%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Surface habitable par personne (m²/personne)					
Moyenne ± écart-type	42 ± 25	37 ± 20	34 ± 20	41 ± 19	38 ± 21
Montant total annuel des ressources perçus par tous les membres du ménage					
Information non disponible	12%	44%	36%	52%	36%
Moins de 5000 euros	0%	16%	11%	22%	13%
De 5000 à 9 999 euros	6%	7%	4%	11%	10%
De 10 000 à 14 999 euros	0%	11%	14%	7%	8%
De 15 000 à 19 999 euros	12%	2%	4%	0%	4%
De 20 000 à 24 999 euros	0%	4%	7%	0%	3%
De 25 000 à 29 999 euros	6%	5%	7%	4%	6%
De 30 000 à 34 999 euros	18%	2%	0%	4%	5%
De 35 000 à 39 999 euros	12%	2%	4%	0%	4%
De 40 000 à 44 999 euros	6%	2%	4%	0%	3%
Plus de 45 000 euros	28%	5%	9%	0%	8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

6.6.2 CARACTERISTIQUES SOCIOPROFESSIONNELLES DE LA PERSONNE DE REFERENCE

Les principales caractéristiques socioprofessionnelles de la personne de référence des ménages enquêtés sont présentées dans le Tableau 6-21. Le pourcentage élevé de réponses manquantes nécessite de considérer ces informations avec précaution en particulier pour les logements collectifs.

La personne de référence du ménage :

- est un homme dans plus de 80 % des maisons individuelles et une femme dans plus de 60% des logements collectifs ;

- possède un niveau de diplôme plus élevé dans les maisons individuelles que dans les logements collectifs. La majorité des personnes occupant les logements collectifs rénovés présente les niveaux de diplôme les plus bas ;
- exerce actuellement une profession de « cadres supérieurs », pour la majorité des ménages des maisons individuelles. Pour les logements collectifs, la personne de référence est actuellement employée ou exerce une « profession intermédiaire ». Dans les logements collectifs rénovés, la proportion de personnes retraitées ou préretraitées est supérieure à celle des personnes en activités.

Tableau 6-21 – Caractéristiques socioprofessionnelles de la personne de référence des 72 ménages enquêtés

		Logement individuel	Logement collectif			Tout type
			total	récent	rénové	
Nombre de personnes de référence interrogées		17	55	28	27	72
Sexe						
Féminin		17%	64%	61%	67%	53%
Masculin		83%	36%	38%	33%	47%
Total		100%	100%	100%	100%	100%
Diplôme le plus élevé obtenu						
Informations manquantes		6%	34%	30%	40%	28%
Niveau V	sorties après l'année terminale de CAP ou BEP ou sorties de 2 nd cycle général et technologique avant l'année terminale (seconde ou première)	29%	33%	14%	52%	32%
Niveau IV	sorties des classes de terminale de l'enseignement secondaire (avec ou sans le baccalauréat)	6%	9%	14%	4%	8%
Niveau III	diplôme obtenu de niveau Bac + 2 ans (DUT, BTS, DEUG, écoles des formations sanitaires ou sociales, etc.)	0%	13%	21%	4%	10%
Niveau II et I	diplôme obtenu supérieur à BAC+2 (licence, maîtrise, master, DEA, DESS, doctorat, diplôme de grande école	59%	11%	21%	0%	22%
Total		100%	100%	100%	100%	100%
Profession et catégories socioprofessionnelles						
Informations manquantes		0%	33%	29%	37%	25%
Artisans, commerçants et chefs d'entreprise		6%	5%	7%	4%	6%
Cadres et professions intellectuelles supérieures		54%	7%	14%	0%	18%
Professions Intermédiaires		11%	11%	18%	4%	11%
Employés		11%	28%	21%	33%	24%
Ouvriers		6%	7%	4%	11%	7%
Retraités		6%	2%	0%	4%	2%
Autres personnes sans activité professionnelle		6%	7%	7%	7%	7%
Total		100%	100%	100%	100%	100%
Occupation actuelle						
Informations manquantes		6%	23%	32%	15%	19%
Exerce une profession		82%	33%	40%	26%	45%
Chômeur		6%	13%	14%	11%	11%
Retraite ou pré-retraite		6%	20%	7%	33%	17%
Femme/homme au foyer		0%	2%	0%	4%	1%
Autre inactif *		0%	9%	7%	11%	7%
Total		100%	100%	100%	100%	100%

*militaires du contingent, étudiants et élèves de 15 ans et plus, personnes sans activité professionnelle de moins de 60 ans (sauf retraités) et personnes sans activité professionnelle de 60 ans et plus (sauf retraités)

6.6.3 COMPORTEMENT DE LA PERSONNE DE REFERENCE DES MENAGES ENQUETES

Afin d'évaluer le comportement des ménages et de le comparer selon deux saisons (été et hiver), la personne de référence a été interrogée à chaque enquête. Sur les 72 logements enquêtés, 4 ont été écartés de cette exploitation pour les raisons suivantes :

- enquête réalisée sur une seule période suite au refus de l'occupant de poursuivre l'étude pour deux logements ;
- changement d'occupant d'un logement entre les deux périodes. Les nouveaux occupants présents depuis 2 semaines dans le logement au moment de la seconde enquête n'ont pas souhaité s'exprimer ;
- questionnaires non renseignés pour un logement.

6.6.3.1 Pratiques d'aération par ouverture des fenêtres

Les pratiques d'aération par ouverture des fenêtres ont été renseignées selon les pièces, le jour et la nuit, par type d'habitat et par saison (Tableau 6-22).

Ces pratiques sont identiques quelle que soit la pièce considérée, à l'exception des salles d'eau. Les salles d'eau des maisons individuelles disposent quasi-systématiquement d'ouvrants donnant sur l'extérieur, alors que seule la moitié de celles des logements collectifs en sont pourvues. Ainsi l'analyse de ces pratiques a été réalisée seulement pour les deux pièces principales (séjour/salon et chambres) et une seule pièce de service (cuisine).

La nuit, en hiver, plus de 80 % des ménages des maisons individuelles et des logements collectifs disent ne pas ouvrir ou ouvrir rarement leurs fenêtres. Les raisons évoquées de ne pas ouvrir sont par ordre d'importance le fait qu'ils n'en éprouvent pas le besoin, qu'ils veulent faire des économies d'énergie et qu'ils considèrent que la température extérieure est trop froide. En été, moins de 60 % des ménages conservent le même comportement alors que plus de 30 % des ménages ouvrent plus d'une heure. Les raisons évoquées pour ouvrir les fenêtres sont différentes selon le type d'habitat. Les ménages des maisons individuelles ouvrent pour renouveler l'air du logement, parce qu'il fait trop chaud, ou pour faire un courant d'air alors que les ménages des logements collectifs ouvrent pour évacuer les odeurs.

Le jour, en hiver, les ménages des logements collectifs ouvrent plus que ceux des maisons individuelles. En effet, environ 50 % des ménages des maisons individuelles n'ouvrent pas ou rarement alors que ce pourcentage est proche de 10 % en logements collectifs. En revanche, 90 % des ménages des logements collectifs ouvrent entre moins d'une demi-heure à plus d'une heure alors que ce pourcentage est proche de 40 % en maisons individuelles. La raison de ne pas ouvrir est la même pour les deux types d'habitat (température extérieure trop froide). Les ménages des logements collectifs ouvrent pour renouveler l'air du logement et pour évacuer des odeurs. En été, environ 60 % des ménages des maisons individuelles et des logements collectifs ouvrent plus d'une heure pour renouveler l'air de la pièce ou du logement. Les ménages des logements collectifs évoquent également le souhait d'évacuer des odeurs.

6.6.3.2 Pratiques d'utilisation du système de ventilation

Les pratiques d'utilisation du système de ventilation sont présentées dans le Tableau 6-23 ; le pourcentage de réponses manquantes est élevé (en particulier pour les logements collectifs) ce qui nécessite de considérer cette information avec précaution.

Tableau 6-22 – Pratique d’aération par ouverture des fenêtres des ménages des logements enquêtés selon deux saisons

		Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
		HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « usage » renseignés		17	17	51	51	68	68
Le jour, fréquence moyenne d'ouverture des fenêtres							
Du séjour/salon	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Rarement ou jamais	53%	18%	6%	2%	18%	5%
	Moins d'une ½ heure	24%	18%	41%	14%	35%	15%
	Entre ½ et 1 heure	17%	6%	20%	17%	21%	15%
	Plus d'1 heure	0%	58%	31%	63%	23%	62%
Des chambres	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Rarement ou jamais	47%	18%	5%	2%	16%	6%
	Moins d'une ½ heure	35%	23%	41%	21%	38%	22%
	Entre ½ et 1 heure	12%	6%	24%	14%	22%	12%
	Plus d'1 heure	0%	53%	28%	59%	21%	57%
De la cuisine	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur	6%	6%	9%	9%	9%	8%
	Rarement ou jamais	53%	18%	8%	10%	19%	12%
	Moins d'une ½ heure	23%	18%	35%	16%	31%	16%
	Entre ½ et 1 heure	12%	6%	26%	18%	23%	15%
	Plus d'1 heure	0%	52%	20%	43%	15%	46%
De la salle d'eau	Informations manquantes	6%	0%	6%	6%	6%	4%
	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur	12%	12%	50%	55%	41%	44%
	Rarement ou jamais	53%	35%	11%	8%	21%	15%
	Moins d'une ½ heure	23%	18%	17%	6%	18%	9%
	Entre ½ et 1 heure	6%	0%	11%	8%	10%	6%
	Plus d'1 heure	0%	35%	5%	17%	4%	22%
La nuit, fréquence moyenne d'ouverture des fenêtres							
Du séjour/salon	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Rarement ou jamais	94%	65%	78%	55%	82%	57%
	Moins d'une ½ heure	0%	0%	4%	4%	3%	3%
	Entre ½ et 1 heure	0%	0%	2%	0%	2%	0%
	Plus d'1 heure	0%	35%	14%	37%	10%	37%
Des chambres	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Rarement ou jamais	94%	53%	79%	53%	84%	53%
	Moins d'une ½ heure	0%	0%	4%	4%	3%	3%
	Entre ½ et 1 heure	0%	0%	2%	0%	1%	0%
	Plus d'1 heure	0%	47%	13%	39%	9%	41%
De la cuisine	Informations manquantes	6%	0%	2%	4%	3%	3%
	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur	6%	6%	6%	6%	6%	9%
	Rarement ou jamais	88%	59%	81%	67%	84%	62%
	Moins d'une ½ heure	0%	0%	2%	0%	1%	0%
	Entre ½ et 1 heure	0%	0%	4%	2%	3%	1%
	Plus d'1 heure	0%	35%	5%	21%	3%	25%
De la salle d'eau	Informations manquantes	6%	0%	2%	6%	3%	4%
	Pas d'ouvrant donnant sur l'extérieur	12%	6%	46%	51%	38%	39%
	Rarement ou jamais	82%	71%	42%	33%	52%	44%
	Moins d'une ½ heure	0%	0%	4%	0%	3%	0%
	Entre ½ et 1 heure	0%	0%	2%	0%	1%	0%
	Plus d'1 heure	0%	23%	4%	10%	3%	13%

Tableau 6-23 - Pratiques d'utilisation du système de ventilation des logements enquêtés selon deux saisons

	Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
	HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « usage » renseignés	17	17	51	51	68	68
Vous arrive-t-il d'arrêter totalement votre système de ventilation ?						
Informations manquantes	5%	6%	24%	23%	19%	18%
Aucune possibilité d'arrêt car non accès au système	18%	23%	39%	54%	35%	44%
Jamais	71%	53%	37%	23%	44%	32%
Souvent	6%	6%	0%	0%	2%	2%
Tout le temps	0%	12%	0%	0%	0%	4%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Avez-vous obturé les entrées d'air ?						
Oui	0%	0%	9%	4%	6%	3%
Avez-vous obturé les bouches d'extraction ?						
Oui	0%	0%	6%	2%	4%	2%

Les systèmes de ventilation ne semblent jamais être arrêtés par les ménages des logements collectifs ni par les ménages des maisons individuelles (sauf pour deux ménages). Il faut noter, pour les maisons individuelles, qu'un ménage arrête la ventilation en hiver et que deux ménages l'arrêtent en été. Cet arrêt est justifié pour des raisons économiques et parce que les occupants pensent que l'aération par ouverture des fenêtres se substitue à la ventilation.

Les entrées d'air et les bouches d'extraction des systèmes de ventilation ne sont jamais obturées dans les maisons individuelles mais peuvent parfois l'être dans les logements collectifs, en particulier en hiver. Les entrées d'air sont bouchées pour des raisons d'économie et à cause de la gêne qu'elles occasionnent (courants d'air).

6.6.3.3 Pratiques de stockage des produits ménagers, de décoration ou bricolage dans le logement

Les habitudes de stockage des produits ménagers, de décoration ou de bricolage sont présentées dans le Tableau 6-24.

Comme attendu, les habitudes ne diffèrent pas selon les deux saisons considérées. Les produits ménagers sont stockés principalement dans les pièces de service (principalement la cuisine et secondairement la salle de bain et les toilettes) mais également dans d'autres pièces (cellier, buanderie, local technique, placard) pour les maisons individuelles. Les produits de décoration et de bricolage sont stockés préférentiellement en dehors du logement pour les maisons individuelles et dans les différentes pièces des logements collectifs.

Tableau 6-24 - Stockage des produits ménagers, de décoration ou de bricolage dans les logements enquêtés selon deux saisons

	Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
	HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « usage » renseignés	17	17	51	51	68	68
Stockez-vous habituellement les produits ménagers dans...						
La cuisine	65%	60%	87%	90%	91%	82%
La salle de bain	30%	24%	35%	37%	34%	34%
Les toilettes	35%	35%	37%	35%	37%	35%
Le séjour/salon	6%	0%	0%	0%	1%	0%
Une des chambres	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Le garage attenant et communiquant	18%	18%	Sans objet			
En dehors du logement	12%	12%	2%	2%	4%	4%
Une autre pièce	47%	47%	17%	12%	25%	21%
Stockez-vous habituellement les produits de décoration et de bricolage dans...						
La cuisine	0%	0%	9%	12%	7%	9%
La salle de bain	0%	0%	2%	2%	1%	2%
Les toilettes	6%	6%	11%	10%	10%	9%
Le séjour/salon	0%	0%	4%	4%	3%	3%
Une des chambres	12%	12%	9%	14%	10%	13%
Le garage attenant et communiquant	12%	18%	Sans objet			
En dehors du logement	59%	53%	9%	8%	22%	19%
Une autre pièce	12%	18%	7%	8%	9%	10%

6.6.3.4 Pratiques de séchage du linge

Les habitudes relatives au séchage du linge à l'intérieur du logement sont présentées dans le Tableau 6-25. Ces habitudes ne semblent pas être différentes selon les deux saisons considérées.

Le séchage du linge est effectué préférentiellement en dehors des pièces de vie des maisons individuelles (cellier ou buanderie) plutôt que dans ces dernières alors que la tendance inverse est observée pour les logements collectifs. Dans ce type d'habitat, le linge sèche préférentiellement dans une des chambres ou le séjour/salon plutôt que dans les autres pièces tels que le cellier ou à l'extérieur du logement (terrasse ou loggia) lorsque cela est possible.

Tableau 6-25 – Habitudes des ménages relatives au séchage du linge dans le logement selon deux saisons

	Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
	HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « usage » renseignés	17	17	51	51	68	68
Faites-vous sécher habituellement votre linge dans...						
La salle d'eau	12%	6%	13%	10%	13%	9%
Une des chambres	0%	6%	37%	33%	28%	27%
Le séjour/salon	35%	24%	31%	37%	34%	34%
Une autre pièce	41%	29%	24%	31%	29%	31%

6.6.3.5 Pratiques d'utilisation des protections solaires extérieures mobiles

La satisfaction d'utilisation et les habitudes d'utilisation des protections solaires extérieures mobiles sont présentées dans le Tableau 6-26.

Tableau 6-26 – Satisfaction d'utilisation et usages des protections solaires extérieures mobiles des logements enquêtés selon deux saisons

		Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
		HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « usage » renseignés		17	17	51	51	68	68
Degré de satisfaction concernant l'efficacité des protections solaires extérieures mobiles							
Informations manquantes		6%	6%	6%	6%	7%	6%
Très insatisfait		6%	6%	2%	6%	3%	6%
Insatisfait		0%	6%	6%	8%	6%	7%
Plutôt insatisfait		0%	6%	6%	4%	4%	6%
Ni insatisfait, ni satisfait		0%	0%	4%	6%	3%	4%
Plutôt satisfait		18%	6%	12%	18%	13%	15%
Satisfait		18%	23%	42%	38%	35%	34%
Très satisfait		52%	47%	22%	16%	29%	24%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fréquence d'utilisation des protections solaires extérieures du séjour/salon							
Le jour, en présence	Informations manquantes	0%	0%	4%	4%	3%	3%
	Jamais	53%	18%	54%	41%	54%	35%
	Rarement	41%	35%	19%	21%	25%	25%
	Souvent	0%	35%	12%	25%	9%	28%
	Toujours	6%	12%	10%	8%	9%	9%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Le jour, en absence	Informations manquantes	0%	0%	8%	8%	7%	6%
	Jamais	47%	18%	50%	38%	50%	32%
	Rarement	35%	29%	12%	12%	18%	16%
	Souvent	12%	24%	9%	18%	9%	19%
	Toujours	6%	29%	21%	25%	16%	27%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
La nuit	Informations manquantes	0%	0%	6%	2%	4%	1%
	Jamais	47%	35%	12%	12%	21%	18%
	Rarement	6%	12%	10%	12%	9%	12%
	Souvent	0%	0%	6%	12%	4%	9%
	Toujours	47%	53%	67%	63%	62%	60%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fréquence d'utilisation des protections solaires extérieures de la chambre principale							
Le jour, en présence	Informations manquantes	0%	0%	4%	0%	3%	0%
	Jamais	47%	18%	51%	47%	52%	40%
	Rarement	35%	47%	21%	23%	25%	29%
	Souvent	6%	29%	12%	22%	10%	24%
	Toujours	6%	6%	12%	8%	10%	7%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Le jour, en absence	Informations manquantes	0%	0%	7%	8%	6%	6%
	Jamais	59%	24%	54%	41%	56%	38%
	Rarement	18%	29%	12%	16%	13%	19%
	Souvent	6%	18%	12%	10%	10%	12%
	Toujours	12%	29%	14%	23%	13%	25%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
La nuit	Informations manquantes	0%	0%	5%	6%	4%	1%
	Jamais	24%	18%	12%	16%	18%	13%
	Rarement	0%	0%	6%	10%	4%	7%
	Souvent	0%	6%	4%	6%	3%	6%
	Toujours	76%	76%	67%	67%	71%	69%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Près de 80 % des ménages disent être « plutôt satisfaits » à « très satisfaits » de l'efficacité des protections solaires extérieures mobiles et aucune différence n'est mise en évidence selon les deux saisons considérées.

La fréquence d'utilisation des protections solaires extérieures semble être similaire pour les deux types de pièces instrumentées (séjour/salon et chambre) mais différente le jour et la nuit. Le jour, que les occupants soient présents ou absents dans leur logement, les protections solaires ne sont pas utilisées ou très rarement dans près de 70 % des cas. En hiver, la fréquence d'utilisation semble être plus forte pour les maisons individuelles. La nuit et quelle que soit la saison et le type d'habitat, la majorité des ménages utilise toujours leurs protections solaires alors qu'une minorité ne les utilisent jamais.

Les ménages maintiennent fermées les protections solaires extérieures, de jour comme de nuit, en premier lieu pour maintenir leur niveau de confort visuel et thermique. En deuxième lieu, des raisons de sécurité sont évoquées le jour, essentiellement en leur absence mais également la nuit.

6.6.4 PERCEPTION DU CONFORT D'AMBIANCE DU LOGEMENT

Afin d'évaluer la perception du confort d'ambiance des occupants et de la comparer selon les deux saisons considérées (été et hiver), il a été décidé de prendre en compte seulement les réponses des personnes de référence s'étant exprimées pour les deux saisons. Ainsi les réponses de 19 logements ont été écartées de cette exploitation pour les raisons suivantes :

- enquête réalisée sur une seule période suite au refus de l'occupant de poursuivre l'étude pour deux logements ;
- changement d'occupant d'un logement entre les deux périodes d'enquête. Les nouveaux occupants présents depuis 2 semaines dans le logement au moment de la seconde enquête n'ont pas souhaité s'exprimer ;
- questionnaires non renseignés pour 16 logements (2 pour les 2 enquêtes, 14 pour la seconde enquête).

Comme montré précédemment pour les personnes de référence des 72 ménages, le sexe ratio est identique à celui des 53 ménages ayant exprimé leur perception du confort d'ambiance de leur logement (Tableau 6-27). La majorité des personnes de référence des ménages occupant les maisons individuelles est de sexe masculin alors que celle des logements collectifs est de sexe féminin. L'âge moyen semble identique ainsi que le nombre d'année de présence dans le logement égal à 2 ans ou à 4 ans et plus pour les deux tiers des occupants.

La perception globale du logement et la satisfaction des occupants par rapport à sa qualité de l'air et à son confort d'ambiance (acoustique, visuel, thermique et olfactif) sont présentées dans les Tableau 6-28 et Tableau 6-29.

De façon générale, les avis exprimés par les occupants des maisons individuelles sont unanimes et systématiquement positifs voir neutres alors que ceux des occupants des logements collectifs sont divisés et forcément plus nuancés. Il n'y a pas de différence entre les deux saisons considérées.

19 à 25% des logements en immeuble collectif sont jugés inconfortable alors qu'aucun inconfort n'est observé en maison individuelle. 19% des occupants des logements collectifs sont insatisfaits de leur logement alors qu'aucune insatisfaction n'est notée pour les occupants des logements en maisons individuelles. 13 à 16% des occupants des logements collectifs considèrent que la qualité de l'air de leur logement est insatisfaisant et 10 à 13% que l'air est confiné. Dans les maisons individuelles, aucune insatisfaction relative à la qualité de l'air et au confinement ne sont exprimées.

L'ambiance sonore est jugée « bruyante » dans 22 à 25% des logements collectifs alors que ce n'est jamais le cas en maisons individuelles.

24 à 28% des occupants des logements collectifs sont insatisfaits du confort thermique de leur logement, 11 à 14% se plaignent d'une température intérieure trop froide, 8 à 16% de variation de la température intérieure, 6 à 19% d'un air trop humide. Aucun occupant des maisons individuelles est insatisfait du confort thermique de son logement, se plaint d'une température trop froide, de la variation de la température ou d'un air trop humide. 35 à 36% des occupants des logements collectifs ressentent la présence de courants d'air alors que seulement 6% des occupants des maisons individuelles se plaignent.

Alors que l'éclairage naturel ne constitue pas de gêne pour les occupants des maisons individuelles, plus de 20 % des occupants des logements collectifs sont gênés.

Bien que la majorité des occupants ne sente jamais d'odeurs dans leur logement, en dehors de leurs activités habituelles, seuls les ménages des logements collectifs en sentent « souvent » (6 % en hiver, 20 % en été). Ces odeurs sont considérées comme « désagréables » dans les maisons individuelles et comme « très désagréables » à « plutôt désagréables » dans les logements collectifs. Alors que ces odeurs gênent légèrement les occupants des maisons individuelles, elles gênent beaucoup voire de façon extrême les occupants des logements collectifs aussi bien en été qu'en hiver. Il semble que ces odeurs proviennent plutôt de l'intérieur des maisons individuelles et plutôt des autres logements de l'immeuble pour les logements collectifs.

Tableau 6-27 - Principales caractéristiques des personnes de référence ayant exprimé leur perception sur l'ambiance de leur logement

	Logement individuel	Logement collectif	Tout type
Nombre de questionnaires « perceptif » renseignés	16	37	53
Sexe de la personne de référence			
Information manquante	0%	3%	2%
Masculin	81%	28%	44%
Féminin	19%	69%	54%
Total	100%	100%	100%
Age de la personne de référence			
Moyenne $\pm$ écart-type	45,1 $\pm$ 10,6	50,3 $\pm$ 12,3	48,5 $\pm$ 12,0
Nombre d'années de présence de la personne de référence dans le logement en comptant l'année en cours			
Inférieure ou égale à 1 an	6%	17%	14%
2 ans	47%	35%	39%
3 ans	16%	16%	16%
4 ans et plus	31%	32%	31%
Total	100%	100%	100%

Tableau 6-28 – Perception du confort global, de la qualité de l'air intérieur et du confort acoustique des logements enquêtés selon deux saisons

		Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
		HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « perceptif » renseignés		16	16	37	37	53	53
Comment jugez-vous votre logement au niveau							
global	Inconfortable	0%	0%	14%	8%	9%	6%
	Plutôt inconfortable	0%	0%	11%	11%	8%	8%
	Ni inconfortable, ni confortable	0%	6%	3%	5%	2%	6%
	Plutôt confortable	6%	6%	18%	22%	15%	17%
	Confortable	38%	38%	30%	30%	32%	31%
	Très confortable	56%	50%	24%	24%	34%	32%
de votre satisfaction	Insatisfaisante	0%	0%	11%	14%	8%	10%
	Plutôt insatisfaisante	0%	0%	8%	5%	6%	4%
	Ni insatisfaisante, ni satisfaisante	0%	0%	0%	3%	0%	2%
	Plutôt satisfaisante	13%	19%	24%	21%	20%	20%
	Satisfaisante	25%	25%	33%	33%	30%	31%
	Très satisfaisante	62%	56%	24%	24%	36%	33%
Comment jugez-vous la qualité de l'air de votre logement au niveau...							
global	Très insatisfaisante	0%	0%	3%	2%	2%	2%
	Insatisfaisante	0%	0%	5%	11%	4%	8%
	Plutôt insatisfaisante	0%	0%	5%	3%	4%	2%
	Ni insatisfaisante, ni satisfaisante	0%	0%	16%	23%	11%	14%
	Plutôt satisfaisante	13%	13%	22%	11%	18%	11%
	Satisfaisante	50%	50%	33%	33%	38%	39%
	Très satisfaisante	37%	37%	16%	16%	23%	24%
du confinement de l'air	Très confiné	0%	0%	0%	3%	0%	2%
	Confiné	0%	0%	5%	8%	4%	6%
	Légèrement confiné	0%	0%	5%	2%	3%	2%
	Ni confiné, ni renouvelé	25%	31%	38%	38%	34%	34%
	Légèrement renouvelé	0%	0%	16%	14%	11%	9%
	Renouvelé	56%	50%	33%	32%	40%	39%
	Très renouvelé	19%	19%	3%	3%	8%	8%
Comment jugez-vous l'ambiance sonore de votre logement...							
Le jour	Très bruyante	0%	0%	3%	3%	2%	2%
	Bruyante	0%	0%	22%	19%	15%	13%
	Ni bruyante, ni calme	12%	6%	24%	22%	21%	17%
	Calme	38%	44%	30%	38%	32%	39%
	Très calme	50%	50%	21%	18%	30%	29%
La nuit	Très bruyante	0%	0%	3%	0%	2%	2%
	Bruyante	0%	0%	22%	19%	15%	13%
	Ni bruyante, ni calme	6%	6%	16%	25%	13%	19%
	Calme	38%	38%	16%	23%	23%	26%
	Très calme	56%	56%	43%	33%	47%	40%

Tableau 6-29 – Perception du confort thermique, lumineux et olfactif des logements enquêtés selon deux saisons

		Logement individuel		Logement collectif		Tout type	
		HIVER	ETE	HIVER	ETE	HIVER	ETE
Nombre de questionnaires « perceptif » renseignés		16	16	37	37	53	53
Comment jugez-vous le confort thermique de votre logement au niveau...							
de votre satisfaction	Très insatisfaisante	0%	0%	5%	3%	4%	2%
	Insatisfaisante	0%	0%	8%	20%	6%	13%
	Plutôt insatisfaisante	0%	0%	11%	5%	7%	4%
	Ni insatisfaisante, ni satisfaisante	6%	6%	19%	27%	15%	20%
	Plutôt satisfaisante	25%	19%	14%	17%	17%	18%
	Satisfaisante	50%	50%	30%	17%	36%	27%
	Très satisfaisante	19%	25%	13%	11%	15%	16%
de la température de l'air	Froide	0%	0%	3%	3%	2%	2%
	Légèrement froide	0%	0%	11%	8%	7%	7%
	Ni froide, ni chaude	50%	56%	54%	49%	53%	48%
	Légèrement chaude	25%	19%	11%	5%	15%	10%
	Chaude	25%	25%	19%	27%	21%	27%
	Très chaude	0%	0%	2%	8%	2%	6%
du maintien de la température à un niveau stable	Jamais	0%	0%	8%	16%	6%	11%
	Parfois	19%	19%	14%	16%	15%	18%
	Souvent	38%	38%	25%	30%	29%	33%
	Tout le temps	43%	43%	53%	38%	50%	38%
de l'humidité de l'air	Très sec	0%	5%	0%	3%	0%	4%
	Sec	19%	13%	14%	19%	15%	16%
	Légèrement sec	31%	13%	5%	11%	13%	11%
	Ni sec, ni humide	50%	69%	62%	61%	59%	65%
	Légèrement humide	0%	0%	14%	3%	9%	2%
	Humide	0%	0%	5%	3%	4%	2%
de la présence de courants d'air	Jamais	94%	94%	65%	64%	74%	73%
	Parfois	6%	6%	16%	19%	13%	15%
	Souvent	0%	0%	11%	14%	9%	10%
	Tout le temps	0%	0%	8%	3%	4%	2%
Etes-vous gênés par l'éclairage naturel de votre logement ?							
Pas du tout		88%	94%	84%	70%	85%	77%
Légèrement		6%	0%	11%	19%	9%	13%
Moyennement		6%	6%	5%	8%	6%	8%
Beaucoup		0%	0%	0%	3%	0%	2%
En dehors de vos activités habituelles, sentez-vous des odeurs dans votre logement ?							
Jamais		69%	75%	70%	57%	70%	62%
Parfois		31%	25%	24%	24%	26%	25%
Souvent		0%	0%	6%	19%	4%	13%
votre avis au regard de ces odeurs	Très désagréables	0%	0%	36%	36%	25%	28%
	Désagréables	20%	25%	36%	36%	32%	33%
	Plutôt désagréables	40%	25%	18%	21%	25%	22%
	Ni désagréables, ni agréables	20%	50%	10%	7%	12%	17%
	Plutôt agréables	20%	0%	0%	0%	6%	0%
la gêne provoquée par la présence de ces odeurs	Pas du tout	20%	25%	17%	20%	18%	21%
	Légèrement	60%	50%	25%	20%	35%	26%
	Moyennement	20%	25%	8%	14%	12%	16%
	Beaucoup	0%	0%	42%	33%	29%	26%
	Extrêmement	0%	0%	8%	13%	6%	11%

6.6.5 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE LOGEMENT ET LES EQUIPEMENTS

A l'issue de la seconde enquête, un questionnaire « Retour d'expérience » ou RETEX a été présenté à la personne de référence du ménage de chaque logement investigué. Sur les 72 ménages sollicités, 57 ont renseigné le questionnaire. Du fait des effectifs très déséquilibrés par type d'habitat et par période, il a été décidé de ne pas présenter les résultats par saison (Tableau 6-30).

La majorité des personnes de référence des maisons individuelles et des logements collectifs est « plutôt satisfaite » à « très satisfaite » de la commodité d'utilisation du système de ventilation de leur logement ainsi que de la facilité de modulation des débits lorsque celle-ci est possible. Près de 40 % des personnes de référence ont reçu des recommandations sur le fonctionnement et l'entretien du système de ventilation.

La majorité des personnes de référence des maisons individuelles est « plutôt satisfaite » à « très satisfaite » de la commodité d'utilisation du système de chauffage alors que les personnes de référence des logements collectifs sont entre « un peu satisfaits » à « très satisfaits ». Le même constat est effectué pour la facilité de réglage de la température de consigne lorsque celle-ci est possible.

La majorité des personnes de référence des maisons individuelles et des logements collectifs est « plutôt satisfaite » à « très satisfaite » de la commodité d'utilisation du système de production d'eau chaude sanitaire lorsque celui-ci est individuel. En revanche, la facilité de réglage de la température de l'eau chaude sanitaire est jugée entre « peu satisfaisante » et « très satisfaisante » lorsqu'elle est possible.

Plus de 10 % des personnes de référence rencontrent encore aujourd'hui des difficultés à régler le fonctionnement ou à utiliser un ou plusieurs équipements (essentiellement les systèmes de protections solaires ou de chauffage).

Plus de 10 % des personnes de référence déclarent qu'au moins un des occupants présente de nouveaux problèmes particuliers de santé (pour l'essentiel des maux de tête) depuis leur emménagement dans le logement.

Tableau 6-30 – Retour d'expérience des ménages des logements enquêtés

		Logement individuel	Logement collectif	Tout type
Nombre de questionnaires « RETEX » renseignés		13	44	57
Votre retour d'expérience relatif au système de ventilation				
Satisfaction sur la commodité d'utilisation du système	Informations manquantes	8%	9%	9%
	Très satisfait	54%	27%	33%
	Plutôt satisfait	22%	41%	37%
	Un peu satisfait	8%	9%	9%
	Pas du tout satisfait	8%	14%	12%
Satisfaction sur la facilité de modulation des débits d'extraction	Informations manquantes	8%	5%	5%
	Très satisfait	39%	14%	19%
	Plutôt satisfait	31%	18%	21%
	Un peu satisfait	7%	1%	4%
	Pas du tout satisfait	15%	5%	7%
Sans Objet (Pas de modulation possible)		0%	57%	44%
Pourcentage de ménages ayant reçu des recommandations sur le fonctionnement et l'entretien du système		46%	36%	39%
Votre retour d'expérience relatif au système de chauffage				
Satisfaction sur la commodité d'utilisation du système	Non concerné (ex : chaudière collective)	7%	27%	23%
	Informations manquantes	8%	5%	5%
	Très satisfait	54%	16%	25%
	Plutôt satisfait	31%	32%	32%
	Un peu satisfait	0%	18%	13%
	Pas du tout satisfait	0%	2%	2%
Satisfaction sur la facilité de réglage de la température de consigne	Non concerné (ex : chaudière collective)	8%	27%	33%
	Informations manquantes	8%	5%	5%
	Très satisfait	46%	16%	26%
	Plutôt satisfait	31%	32%	23%
	Un peu satisfait	7%	18%	11%
Pas du tout satisfait		0%	2%	2%
Pourcentage de ménages ayant reçu des recommandations sur le fonctionnement et l'entretien du système		39%	23%	26%
Votre retour d'expérience relatif au système de production d'eau chaude sanitaire				
Satisfaction sur la commodité d'utilisation du système	Non concerné (ex : ECS collective)	0%	39%	30%
	Informations manquantes	8%	7%	7%
	Très satisfait	54%	27%	33%
	Plutôt satisfait	23%	18%	19%
	Un peu satisfait	15%	4%	7%
	Pas du tout satisfait	0%	5%	4%
Satisfaction sur la facilité de réglage de la température de l'eau	Non concerné (ex : ECS collective)	0%	50%	39%
	Informations manquantes	8%	7%	7%
	Très satisfait	54%	18%	26%
	Plutôt satisfait	15%	14%	14%
	Un peu satisfait	23%	11%	14%
Pourcentage de ménages ayant toujours des difficultés à régler le fonctionnement ou à utiliser un ou plusieurs équipements (protections solaires, fenêtres, ...)		15%	9%	11%
Pourcentage de ménages présentant de nouveaux problèmes particuliers de santé depuis leur emménagement dans le logement		8%	14%	12%

6.7 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 6-31 pour les 16 maisons neuves, le Tableau 6-32 pour les 12 immeubles collectifs récents et le Tableau 6-33 pour les 14 immeubles collectifs réhabilités. L'unique maison individuelle réhabilitée n'a pas fait l'objet de comparaison.

Les bâtiments investigués dans cette étude présentent des consommations énergétiques conventionnelles similaires à celles des deux études précitées. En revanche, sur d'autres critères, des disparités semblent exister :

- pour les maisons individuelles récentes, les logements de la présente étude sont davantage construits en ossature bois, présentent une perméabilité à l'air de l'enveloppe plus élevée, sont davantage ventilés par une VMC double flux et n'utilisent pas le gaz comme énergie de chauffage ;
- pour les immeubles collectifs récents, les systèmes de ventilation simple flux hygroréglable B ou double flux sont utilisés à proportion égale dans les logements et près d'un tiers est chauffé par un réseau de chaleur ou une chaudière classique ;
- pour les immeubles collectifs réhabilités, les bâtiments collectifs de la présente étude présentent une meilleure perméabilité à l'air de leur enveloppe et ne sont pas équipés de chauffe-eau solaire. Les logements sont davantage ventilés par VMC double flux ou par une ventilation naturelle.

Tableau 6-31 – Comparaison des principales caractéristiques des 16 maisons individuelles neuves de cette étude avec les données existantes pour les maisons individuelles neuves

Maisons individuelles neuves	Cette étude (n=16)	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)		Indicateurs de la construction BBC- Effinergie dans le secteur résidentiel (Observatoire BBC-Effinergie, 2013a)	
Surface habitable (m ²)	126 (n:16)			secteur diffus 135	secteur groupé Entre 80 et 90
Perméabilité à l'air (m ³ /h,m ² sous 4 Pa)	0,54 (n:10)	secteur diffus 0,41 (n:55)	secteur groupé 0,36 (n:310)	0,40	
Consommation énergétique conventionnelle (kWh/m ² ,an)	51,4 (n:14)	49,5 (maisons individuelles et logements collectifs)		secteur diffus 47,8	secteur groupé 46
Mode constructif	Ossature bois : 75% Béton : 6% Parpaings : 6% Briques : 0% Monomur : 0%	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 par l'intérieur : 12% Isolation par l'extérieur : 12% Isolation répartie : 69%			Isolation par l'intérieur : 69% Isolation par l'extérieur : 8% Isolation répartie : 2%	
Mode de chauffage	Poêle à bois : 38% PAC : 50% Chaudière classique : 6%	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	Electricité : 38% Bois : 25% Gaz : 0%			secteur diffus Electricité : 58% Gaz : 30% Bois : 11%	secteur groupé Gaz : 75% à 80%
Systèmes de ventilation	VMC SF hygro B : 38% VMC DF : 62%	VMC SF hygro B : 55% VMC DF : 40%		VMC SF hygro B : 75% VMC DF : 21%	
Production d'eau chaude sanitaire	Chauffe-eau solaire : 57%	Chauffe-eau solaire : 85%		Secteur diffus PAC : 55%	Secteur groupe Chauffe-eau solaire : 82%

Tableau 6-32 – Comparaison des principales caractéristiques des 12 immeubles collectifs récents de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs neufs (n=nombre de bâtiments de l'étude)

Immeubles collectifs neufs	Cette étude	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)	Indicateurs de la construction BBC- Effinergie dans le secteur résidentiel (Observatoire BBC-Effinergie, 2013a)
Surface habitable (m ²)	63 (n:12)	-	66
Perméabilité à l'air (m ³ /h,m ² sous 4 Pa)	0,95 (n:8)	1,06 (n:226)	0,54
Consommation énergétique conventionnelle (kWhep/m ² ,an)	54,4 (n:11)	49,5 (maisons individuelles et logements collectifs)	52,6
Mode constructif	Béton : 42% Ossature bois : 33% Monomur terre cuite : 8%	Béton : 45% Ossature bois : 35% Monomur terre cuite : 20%	Béton : 53% Brique : 23% Parpaings + Ossature bois: 10%
Isolation	Isolation par l'extérieur : 50% Isolation répartie : 17% Isolation répartie : 25%	-	Isolation par l'extérieur : 57% Isolation par l'intérieur : 22% Isolation répartie : 9%
Mode de chauffage	Chaudière condensation : 39% PAC : 21% Réseau de chaleur : 21% Chaudière classique : 14%	Chaudière gaz à condensation : 60% PAC : 15% Chaudière bois : 10%	Chaudière gaz à condensation : 73%
Energie de chauffage	Gaz : 75 % Electricité : 7% Réseau de chaleur : 11% Bois : 0%	-	Gaz : 76 % Electricité : 10% Réseau de chaleur : 7% Bois : 7%
Systèmes de ventilation	VMC SF hygro B : 43% VMC DF : 39%	VMC SF hygro B : 65% VMC DF : 30%	VMC SF hygro B : 79% VMC DF : 15%
Production d'eau chaude sanitaire	Production couplée à chaudière : 28% Chauffe-eau solaire : 72%	Chauffe-eau solaire : 85%	Production couplée à Chaudière gaz : 45% Chauffe-eau solaire : 37%

Tableau 6-33 – Comparaison des principales caractéristiques des 14 immeubles collectifs réhabilités de cette étude avec les données existantes pour les immeubles collectifs réhabilités

Immeubles collectifs réhabilités	Cette étude (n=14)	Bâtiments exemplaires PREBAT (2007-2012) (ADEME, 2013)	Indicateurs de la rénovation BBC- Effinergie (Observatoire BBC-Effinergie, 2013b)
Perméabilité à l'air ($\text{m}^3/\text{h}, \text{m}^2$ sous 4 Pa)	0,76 (n:8)	1,5 (n:156)	-
Consommation énergétique conventionnelle ($\text{kWh}/\text{m}^2, \text{an}$)	77,5 (n:11)	74	76,3
Mode constructif	Béton : 57%	Béton : 75%	-
Isolation	Isolation par l'extérieur : 79% Isolation par l'intérieur : 21% Isolation répartie : 0%	-	Isolation par l'extérieur : 52% Isolation par l'intérieur : 35% Isolation répartie : 8%
Mode de chauffage	Chaudière à condensation : 44 % Réseau de chaleur : 15 % Chaudière Bois : 0%	Chaudière gaz : 60% Réseau de chaleur : 25%	Chaudière gaz à condensation : 49% Réseau de chaleur : 18% Chaudière Bois : 13%
Energie de chauffage	Gaz : 52 % Réseau de chaleur : 4% Bois : 4 %	-	Gaz : 60 % Réseau de chaleur : 23% Bois : 13%
Systèmes de ventilation	VMC SF hygro B : 19% VMC DF : 30%	VMC SF hygro B : 60% VMC DF : 6%	VMC SF hygro B : 62% VMC DF : 10%
Production d'eau chaude sanitaire	Chauffe-eau solaire : 0%	Chauffe-eau solaire : 55%	-

6.8 SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES BATIMENTS ET DES OCCUPANTS

L'exploitation de l'ensemble des questionnaires d'enquête a permis de décrire l'échantillon de bâtiments à usage d'habitation résidentiels sur lequel porte le présent rapport. Du fait de la présence de réponses manquantes à certaines questions, les résultats d'exploitation de ces questions sont à considérer avec précaution.

Pour les 43 bâtiments considérés, la consommation moyenne énergétique conventionnelle totale calculée pour les 5 usages (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaire) est proche de 55 kWh_{ep}/m² SHON.an. Ces bâtiments présentent une perméabilité à l'air⁹ égale à 0,54 m³/(h.m²) à 4 Pa pour les maisons individuelles et à 0,86 pour les logements collectifs. Construits récemment (notamment en étant conforme à la RT 2005) ou récemment rénovés (conformité à la RT existante), plus de trois quart a obtenu ou demandé un label énergétique (BBC-Effinergie neuf, BBC-Effinergie rénovation, Passivhaus, etc.). Localisés principalement en zones H1 et H2, ces bâtiments sont situés pour deux tiers à proximité d'une voie de trafic routier (intensité de trafic faible à moyen) et pour un tiers, à proximité d'un chantier de construction ou de démolition. Ces bâtiments, composés de 17 maisons individuelles et de 26 immeubles collectifs pour la plupart à vocation sociale, présentent des caractéristiques spécifiques selon le type d'habitat (individuel / collectifs). Les maisons individuelles, récemment construites, présentent des façades légères, principalement en ossature bois et une isolation associée. Les immeubles collectifs pour une part récents et pour l'autre part rénovés, présentent des façades porteuses (notamment en béton) et une isolation thermique rapportée par l'extérieur. Il faut souligner que 30 % des maisons individuelles possèdent un garage attenant et communiquant.

Les 72 logements enquêtés (17 maisons individuelles et 55 logements collectifs) sont quasiment tous ventilés grâce à un système de ventilation mécanique contrôlée, simple ou double flux à parts égales. Ils possèdent une cuisine ouverte sur le séjour (cuisine américaine) et sont équipés de menuiseries à double vitrage et de protections solaires extérieures (principalement volets roulants). Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire sont assurés par des appareils indépendants pour les maisons individuelles (poêle à bois ou pompes à chaleur avec chauffe-eau solaire ou thermodynamique) et par des dispositifs collectifs pour les immeubles collectifs (chaudière ou réseau de chaleur). Les émetteurs de chaleur (absents si poêle à bois) sont des radiateurs à circulation d'eau chaude. Au niveau des revêtements de surface, les plafonds sont peints pour les deux types d'habitat alors que les revêtements des sols et des murs diffèrent : parquet/carrelage au sol et peinture au mur pour les maisons individuelles, sols synthétiques et papier peint au mur pour les logements collectifs.

Les ménages ainsi que la personne de référence du ménage des logements enquêtés sont très différents selon le type d'habitat. La majorité des ménages des maisons individuelles sont des familles propriétaires de leur logement, composées d'un couple et de deux enfants ou plus et déclarant un revenu total annuel de plus de 30 000 euros. Les occupants des maisons individuelles disposent d'une surface moyenne de logement par personne plus élevée que ceux des logements collectifs. La personne de référence interrogée sur le comportement du ménage, sur la perception du confort d'ambiance et sur leur retour d'expérience est dans la majorité des cas un homme, possédant un diplôme élevé et exerçant une « profession de cadres supérieurs ». La majorité des ménages des logements collectifs, pour la plupart à vocation sociale, composés de personnes seules, de couples sans enfants ou de familles monoparentales sont des locataires déclarant des revenus plus modestes que ceux des maisons individuelles. Dans les logements collectifs, la personne de référence est plutôt une femme employée ou exerçant une « profession intermédiaire ».

⁹ Pour mémoire, la valeur de référence de la perméabilité à l'air (en m³/(h.m²) 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.

Les pratiques d'aération par ouverture de fenêtres sont similaires en été pour les deux types d'habitat : le ménage aère plus d'une heure par jour en journée et rarement ou jamais au cours de la nuit. En hiver et au cours de la nuit, les ouvrants ne sont jamais ou rarement ouverts. En journée, le comportement d'aération des ménages des maisons individuelles est similaire à celui de la nuit alors que les ménages des logements collectifs aèrent entre moins d'une demi-heure à plus d'une heure. Les ménages évoquent le souhait de renouveler l'air et d'évacuer des odeurs. Au niveau des systèmes de ventilation, les occupants déclarent ne jamais les arrêter et de ne pas obturer les entrées d'air et les bouches d'extraction. La majorité des ménages est satisfaite de l'efficacité de leurs protections solaires extérieures mobiles qui leur permettent, en premier lieu de maintenir leur confort visuel et thermique et en second lieu, pour des raisons de sécurité. La majorité des ménages n'utilise jamais ou rarement les protections solaires extérieures mobiles au cours de la journée alors qu'elle les utilise la nuit. Le stockage des produits ménagers est effectué principalement dans les pièces de service (cuisine, salle de bain et toilettes) des deux types d'habitat mais également dans d'autres pièces pour les maisons individuelles. Le séchage du linge est quant à lui réalisé dans les pièces de vie (séjour/salon et chambres) des logements mais également dans d'autres pièces pour les maisons individuelles. Les ménages sont satisfaits de l'utilisation des systèmes de ventilation, de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire et la majorité ne rencontre plus de difficultés liées à l'utilisation et au réglage des équipements du logement. 90 % des ménages déclarent ne pas présenter de nouveaux problèmes de santé depuis leur emménagement dans leur logement.

Au niveau de la perception de la qualité de l'air intérieur et du confort d'ambiance (thermique, acoustique, visuel), les avis sont systématiquement positifs et unanimes en maisons individuelles alors qu'ils sont plus contrastés en logements collectifs. Alors qu'aucune insatisfaction n'est relevée par les occupants des maisons individuelles, les occupants des logements collectifs sont insatisfaits de leur logement (dans 19% des cas), de la qualité de l'air intérieur (13 à 16%), du confort thermique (24 à 28%). Ils jugent que leur logement est inconfortable (entre 19 et 25% des cas), que l'air de leur logement est confiné (10 à 13%), que l'ambiance sonore est bruyante (22 à 25%), que la température est trop froide (11 à 14%) ou varie (entre 8 et 16%) et que l'air est trop humide (6 à 19%). 35 à 36% des occupants des logements collectifs ressentent la présence de courants d'air alors que seulement 6% des occupants des maisons individuelles se plaignent. Il faut souligner que seuls les occupants des logements collectifs sentent souvent des odeurs désagréables et qu'ils sont « beaucoup » voir « extrêmement » gênés aussi bien en été qu'en hiver. Ces odeurs proviendraient d'autres logements de l'immeuble. Ce résultat est à relier aux comportements spécifiques de ces ménages en hiver vis-à-vis de l'aération par ouverture de fenêtres.

Comparativement aux principales caractéristiques des 2950 bâtiments d'habitations performants en énergie soutenues par les appels à projets régionaux du PREBAT ou des 760 bâtiments d'habitations récents et rénovés analysés par l'Observatoire BBC, les 43 bâtiments de cette étude présentent des consommations énergétiques conventionnelles proches. En revanche, dans la présente étude, la proportion de bâtiments individuels et collectifs ventilés par une VMC double flux est plus importante et les maisons individuelles récentes sont davantage construites en ossature bois et chauffées au bois.

Du fait des spécificités par type d'habitat en matière de bâtiment (mode constructif, isolation, de logement (surface habitable, système de chauffage, revêtements de surface) et d'occupation (statut d'occupation, revenus, composition du ménage, pratique d'aération, perception du confort olfactif), il a été décidé de décrire la qualité de l'environnement intérieur en distinguant les maisons individuelles des logements collectifs.

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

7.1 PREAMBULE

Les résultats relatifs à l'assurance qualité des prélèvements et analyses sont fournis en Annexe 1.

Les résultats des mesures des concentrations en CO₂, des paramètres de qualité d'air intérieur et du confort thermique ont été comparés à ceux de la population nationale de logements issus 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 en France métropolitaine continentale (Kirchner et al., 2006). Cette comparaison entre l'échantillon des 72 logements et le parc national de logements a été effectuée pour chaque période d'enquête, chauffe et hors-chauffe, au moyen du test t de Student de comparaison de moyennes des données préalablement log-transformées.

Un test bilatéral associé à une hypothèse nulle (H_0) selon laquelle les concentrations/mesures de l'échantillon de l'étude sont égales à celles de la population nationale de logements a été systématiquement réalisé. En cas de différence significative, deux tests unilatéraux ont été réalisés pour déterminer le sens de la différence :

- le test unilatéral à gauche associé avec une hypothèse nulle (H_0) pour laquelle les concentrations/mesures de l'échantillon de l'étude sont inférieures à celles de la population nationale de logements ;
- le test unilatéral à droite associé avec une hypothèse nulle (H_0) pour laquelle les concentrations/mesures de l'échantillon de l'étude sont supérieures à celles de la population nationale de logements.

Le seuil de signification de ces tests a été fixé à 5 % (p-value <0,05) ce qui signifie que l'on accepte de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie et donc de se tromper 5 fois sur 100. Les p-values obtenues ont également été comparées aux seuils plus restrictifs de 0,01 (différence significative importante) et 0,001 (différence hautement significative) afin de différencier les résultats des tests. Les résultats de ces tests (valeur de la p_value) sont présentés en Annexe 2.

Cette comparaison a été effectuée pour les composés quantifiés dans plus de 50 % des logements dans les deux échantillons. Ainsi les 1-méthoxy-2-propanol, 1,4-dichlorobenzène, 2-butoxyéthanol, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène sont exclus de la comparaison.

7.2 RENOUVELLEMENT DE L'AIR

Ce chapitre présente les résultats de mesure du CO₂, la description des systèmes de ventilation, ainsi que les résultats des mesures aérauliques des systèmes mécaniques contrôlés.

7.2.1 DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

7.2.1.1 Préambule

Les moyennes hebdomadaires des mesures de concentrations en CO₂, dont les niveaux sont en lien direct avec la présence humaine et le taux de renouvellement d'air, correspondent à la moyenne arithmétique des mesures en continu de ce paramètre (pas de temps de 10 minutes) réalisées pendant une semaine d'enquête dans chaque logement, dans les deux pièces de mesures et pour chaque période (chauffe et hors chauffe). Dans le cas où un logement a fait l'objet d'une seule enquête, les résultats de mesure de ce logement ne sont pas pris en compte.

7.2.1.2 Résultats

Les statistiques des mesures de CO₂ sont présentées dans le Tableau 7-1. Les concentrations en CO₂ ayant été mesurées en continu pendant chaque semaine d'enquête, il a été décidé de présenter les résultats de mesure :

- « toutes périodes confondues », sans discriminer les périodes d'occupation et d'inoccupation ;
- en période d'occupation.

La période d'occupation devait être définie selon les budgets espaces temps (BET) renseignés par les occupants du ménage à chaque période d'enquête. Du fait de BET manquants pour au moins un des occupants du ménage, de BET incomplets (BET renseigné moins de 75 % du temps de la semaine), il s'est avéré très difficile de reconstituer un BET par ménage pour chaque logement enquêté. Il a été décidé de définir, par défaut, une période d'occupation nocturne pour la chambre, entre 2h et 5h10, tranche horaire utilisée lors de la campagne nationale Logements de l'OQAI. Une autre méthode basée sur l'étude rétrospective des distributions des concentrations du CO₂ pourra être utilisée ultérieurement pour définir des périodes d'occupation pour chaque pièce de mesure (chambre et séjour).

Tableau 7-1 – Moyennes hebdomadaires des mesures de CO₂ (ppm)

Période de mesures	Pièce	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Toutes périodes confondues (occupation et inoccupation)	Chambre	63	733 (214)	410	577	681	848	1379
	Séjour	62	643 (146)	444	517	622	726	1036
Occupation (entre 2h et 5h10)	Chambre	63	959 (457)	377	629	831	1214	2799
Occupation (60 plus grandes valeurs entre 2h et 5h10)	Chambre	63	1126 (564)	394	710	965	1446	3207

Les mesures hebdomadaires de CO₂ des chambres des logements de cette étude ont été comparées à celles mesurées au cours de la campagne nationale Logements, pour les deux périodes d'enquêtes (Figure 7-1).

Il apparaît :

- pour les moyennes hebdomadaires du CO₂ toutes périodes confondues, aucune différence significative n'a été mise en évidence en période de chauffe et en période de hors-chauffe ;
- pour les moyennes hebdomadaires des valeurs de CO₂ entre 2h et 5h10, aucune différence significative n'a été mise en évidence en période de hors chauffe alors qu'une différence significative a été observée en période de chauffe (p_value < 0,01). Pour cette période d'enquête, les moyennes hebdomadaires de CO₂ entre 2h et 5h10 des logements de cette étude sont inférieures à ceux de la campagne nationale logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2) ;
- pour les 60 plus grandes moyennes hebdomadaires de CO₂ entre 2h et 5h10, une différence significative a été observée en période de chauffe (p_value < 0,001) et en période de hors-chauffe (p_value < 0,01). Pour cette période d'enquête, les 60 plus grandes moyennes hebdomadaires de CO₂ entre 2h et 5h10 des logements de cette étude sont inférieures à ceux de la campagne nationale logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

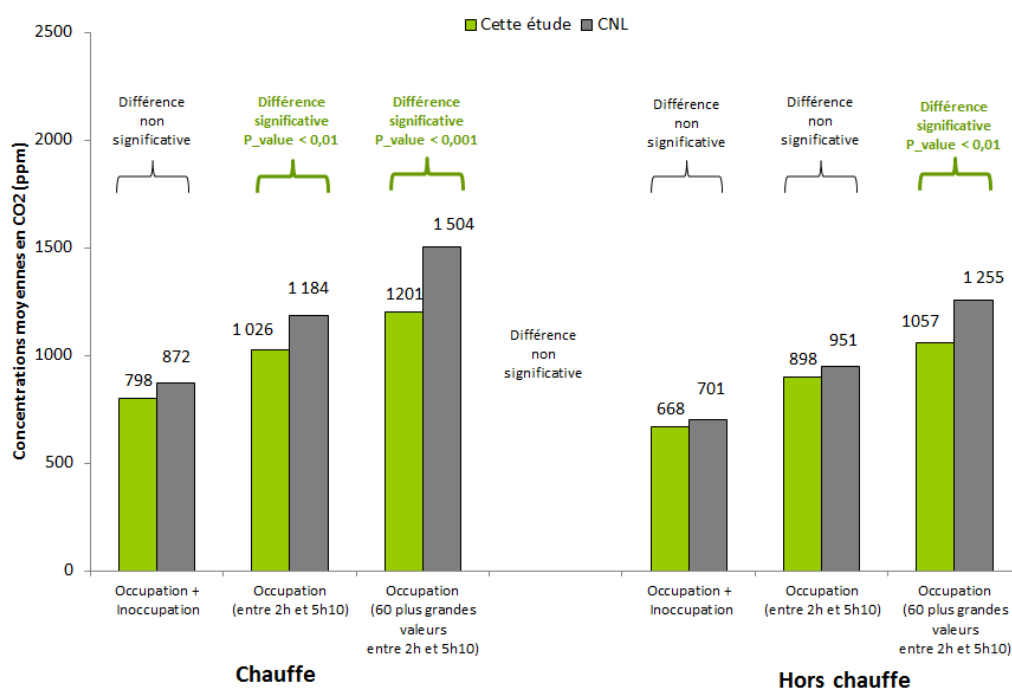


Figure 7-1 – Distribution des valeurs de concentrations moyennes hebdomadaires du CO₂ (ppm) mesurées dans les chambres des logements investigués dans cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.

Les valeurs de CO₂ mesurées toutes les dix minutes dans les chambres de chaque logement, en période de chauffe et de hors chauffe 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 de CO₂ toutes périodes confondues et en période d'occupation (entre 2h et 5h10) au-dessus de 1 000 ppm et de 1 300 ppm (pour les locaux où il est interdit de fumer) est illustré dans la

Figure 7-2 et la Figure 7 3.

Il apparaît que :

- les mesures de CO₂ toutes périodes confondues ne dépassent jamais le seuil de 1000 ppm pour 6 % des logements et celui de 1300 ppm pour 25 %. Pour les logements pour lesquels au moins un dépassement est observé (une mesure de CO₂ supérieure à un des deux seuils), la durée cumulée moyenne de dépassement est de 3h11min sur 344h09min (1 % du temps) pour la valeur de 1000 ppm et de 2h53 min sur 344h09min (moins d'1 % du temps) pour la valeur de 1300 ppm ;
- les mesures de CO₂ en période d'occupation (entre 2h et 5h10) ne dépassent jamais le seuil de 1000 ppm pour 22 % des logements et celui de 1300 ppm pour 46 %. Pour les logements pour lesquels au moins un dépassement est observé (une mesure de CO₂ supérieure à un des deux seuils), la durée cumulée moyenne de dépassement est de 21h30min sur 44h26min (48 % du temps) pour la valeur de 1000 ppm et de 17h30min sur 44h26min (39 % du temps) pour la valeur de 1300 ppm.

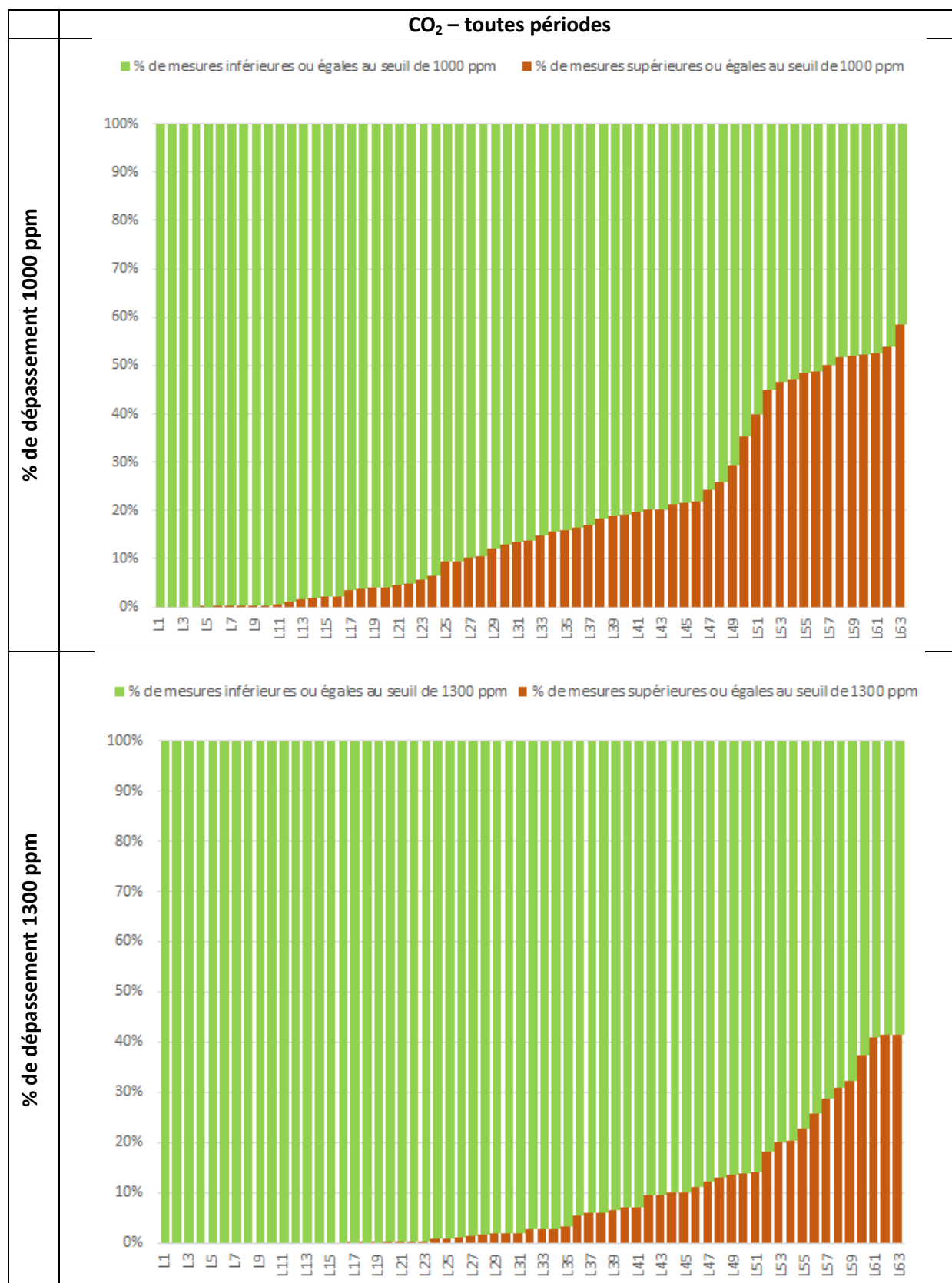


Figure 7-2 – Pourcentage de dépassement d’au moins une mesure de CO₂ (toutes périodes) par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT

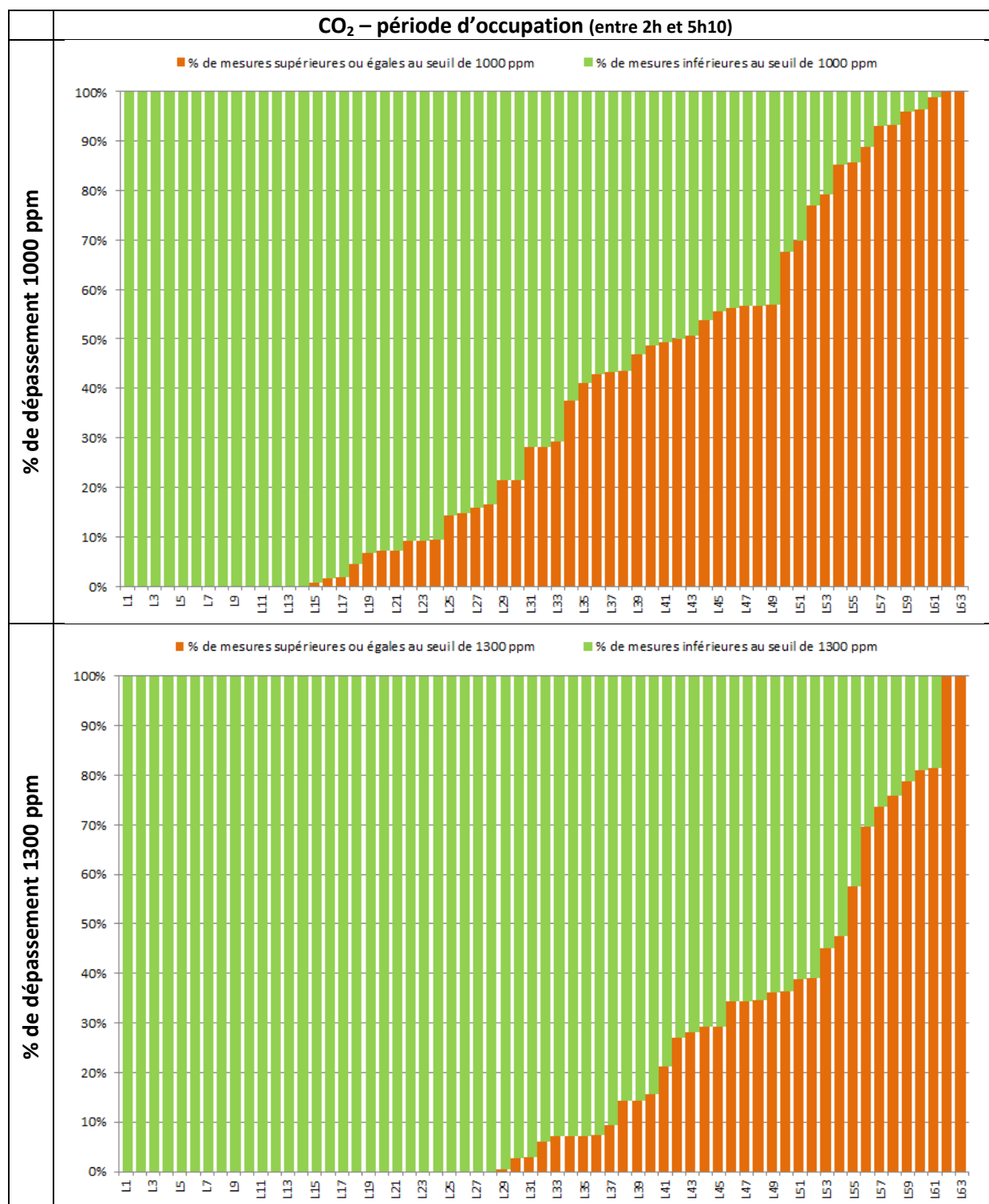


Figure 7-3 - – Pourcentage de dépassement d’au moins une mesure de CO₂ (période d’occupation entre 2h et 5h10) par logement pour les deux seuils préconisés dans les locaux non résidentiels par le RSDT

7.2.2 DESCRIPTION DES SYSTEMES DE VENTILATION ET MESURES AERAULIQUES

7.2.2.1 Typologie des systèmes de ventilation

La typologie des systèmes de ventilation de l'échantillon de bâtiments de cette étude a été comparée à celle de la population nationale de logements (Lucas et al., 2009) et des logements performants en énergie référencés par l'Observatoire BBC (Observatoire BBC, 2013a et 2013b). Cette comparaison a été faite par type d'habitat (maison individuelle/logement collectif) et catégorie de logement (récent/rénové) sauf pour la combinaison maison individuelle/récent (cas d'une seule maison sur 17).

Le Tableau 7-2 montre que tous les bâtiments de l'étude sont équipés d'un système spécifique de ventilation alors que dans la population nationale de logements, 35 % des maisons individuelles et 25 % des logements collectifs en sont dépourvus. La totalité des maisons individuelles et la majorité des logements collectifs (84 %) de l'étude est ventilée mécaniquement alors que ce pourcentage est légèrement supérieur à 33 % dans la population nationale de logements. Il faut noter que la ventilation naturelle équipe aucune maison individuelle et seulement 16 % des immeubles collectifs de l'étude (ce pourcentage est de 41 % dans le parc des logements collectifs français).

Comparativement aux caractéristiques des bâtiments performants en énergie, récents et rénovés, référencés par l'Observatoire BBC (Tableau 7-3), les logements de cette étude se distinguent par :

- la présence de logements collectifs ventilés naturellement. Il s'agit exclusivement de logements collectifs rénovés équipés d'un système de ventilation naturelle hybride ;
- la prédominance des maisons individuelles récentes équipées de systèmes de ventilation mécanique contrôlée double flux par rapport aux systèmes simple flux ;
- la part égale des logements collectifs rénovés équipés des systèmes de ventilation mécanique contrôlée simple et double flux.

Tableau 7-2 – Comparaison de la typologie des systèmes de ventilation des 72 logements investigués dans notre étude avec celle de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

	Maison individuelle		Logement collectif	
	Notre étude	CNL	Notre étude	CNL
Nombre de logements	17	13 977 146	55	10 694 989
Aucun dispositif particulier	0%	25%	0%	17%
Moteurs de ventilation dans quelques pièces	0%	10%	0%	8%
Ventilation naturelle	0%	29%	16%	41%
<i>Ventilation naturelle par grilles hautes et basses</i>	<i>0%</i>	<i>-</i>	<i>33%</i>	<i>-</i>
<i>Ventilation par conduits à tirage naturel assisté (hybride)</i>	<i>0%</i>	<i>-</i>	<i>67%</i>	<i>-</i>
Total (ventilation naturelle)	0%	-	100%	-
VMC	100%	36%	84%	34%
VMC simple flux par extraction	35%	-	35%	-
<i>VMC simple flux par extraction autoréglable</i>	<i>0%</i>	<i>-</i>	<i>11%</i>	<i>-</i>
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable A</i>	<i>0%</i>	<i>-</i>	<i>26%</i>	<i>-</i>
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable B</i>	<i>100%</i>	<i>-</i>	<i>63%</i>	<i>-</i>
Total (VMC simple flux)	100%	-	100%	-
VMC double flux	65%	-	49%	-
Total (système de ventilation)	100%	100%	100%	100%

Tableau 7-3 – Comparaison de la typologie des systèmes de ventilation des 72 logements investigués dans notre étude avec celle des logements performants en énergie (données issues de la base de données de l'Observatoire BBC)

	Maison individuelle récente		Logement collectif			
	Notre étude	Observatoire BBC	récent		rénové	
			Notre étude	Observatoire BBC	Notre étude	Observatoire BBC
Nombre de logements	16	423	28	193	27	112
Ventilation naturelle	0%	0%	0%	0%	33%	0%
<i>Ventilation naturelle par grilles hautes et basses</i>	0%	0%	0%	0%	33%	0%
<i>Ventilation par conduits à tirage naturel assisté (hybride)</i>	0%	0%	0%	0%	67%	0%
Total (ventilation naturelle)	0%	0%	0%	0%	100%	0%
VMC	100%	100%	100%	100%	67%	100%
VMC simple flux par extraction	37%	79%	61%	85%	37%	90%
<i>VMC simple flux par extraction autoréglable</i>	0%	0%	6%	0%	20%	0%
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable A</i>	0%	5%	23%	7%	30%	31%
<i>VMC simple flux par extraction hygroréglable B</i>	100%	95%	71%	93%	50%	69%
Total (VMC simple flux)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
VMC double flux	63%	21%	39%	15%	30%	10%
Total (système de ventilation)	100%	100%	100%	100%	100%	100%

7.2.2.2 Inspection visuelle des éléments de ventilation

L'inspection visuelle des éléments de ventilation est disponible pour 9 logements (3 maisons individuelles neuves, 1 logement collectif récent et 5 logements collectifs rénovés) sur 72 et uniquement lors de la seconde enquête. Six systèmes de ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglable A ou B et 3 systèmes de ventilation mécanique contrôlée double flux ont été inspectés.

Les résultats de l'inspection visuelle des éléments de ventilation (Tableau 7-4) montrent que la quasi-totalité des entrées d'air, des bouches de soufflage et d'extraction n'est pas obturée, est généralement propre et est peu ou non bruyante.

Tableau 7-4 – Inspection visuelle des éléments de ventilation de 9 logements lors de la seconde enquête

Système de ventilation mécanique	Type de bouches	Nombre de...			Etat d'obturation et d'encrassement des bouches	Niveau sonore généré par la bouche
		logements inspectés	pièces inspectées	bouches inspectées		
VMC simple flux par extraction hygroréglable A ou B	entrées d'air	6	23	28	27 non obturées (1 obturée) 28 propres	28 peu ou non bruyantes
	extraction	6	21	21	21 non obturées 21 propres	21 peu ou non bruyantes
VMC double flux	soufflage	3	14	16	15 non obturées (1 obturée) 15 propres (1 encrassée)	16 peu ou non bruyantes
	extraction	2	6	6	6 non obturées 2 propres (4 encrassées)	6 peu ou non bruyantes

Concernant spécifiquement les entrées d'air, le montage du capuchon en façade extérieur et du régulateur en intérieur est systématiquement correct et la présence d'une mortaise a été confirmée à chaque observation.

Concernant le transfert de l'air entre les pièces sèches et humides, il s'effectue essentiellement grâce au détalonnage des portes intérieures. Ce détalonnage a été confirmé pour 8 logements sur 9. Un logement ne présente pas de détalonnage aux niveaux des portes des pièces humides où sont situées les bouches d'extraction d'air.

7.2.2.3 Mesure des pressions aux bouches des systèmes de ventilation mécanique

Les mesures de différence de pression ont été réalisées aux bouches d'extraction des systèmes de ventilation mécanique contrôlée simple flux hygroréglable (type A ou B) au cours des deux périodes d'enquête. Sur les 28 systèmes de VMC simple flux hygroréglable de l'échantillon de logements, les mesures de différence de pression ont été collectées et validées pour 22 systèmes (5 VMC hygro A et 17 VMC hygro B) équipant 2 maisons individuelles récentes et 20 logements collectifs (14 récents et 6 rénovés). Au total, 150 mesures de pressions ont été effectuées.

Parmi ces 22 systèmes de ventilation, 18 ont fait l'objet de mesures dupliquées (selon les deux périodes d'enquête) dans au moins une pièce du logement (2 systèmes ont fait l'objet de mesures de pression au cours d'une seule période d'enquête, 2 systèmes ont fait l'objet de mesures dupliquées dans des pièces différentes). Parmi les 18 systèmes ayant fait l'objet de mesures dupliquées, seuls 16 systèmes ont été retenus pour l'exploitation car les mesures ont été réalisées pour la cuisine et une autre pièce humide (salle de bain ou WC).

L'exploitation des données des mesures de différence de pression a ainsi été réalisée sur un total de 94 mesures (47 par période d'enquête) impliquant 16 systèmes VMC simple flux hygroréglable (3 VMC hygro A et 13 VMC hygro B) équipant 2 maisons individuelles récentes et 14 logements collectifs (11 récents et 3 rénovés). Ces systèmes de ventilation étaient tous en fonctionnement lors des mesures et les bouches d'extraction n'étaient pas obstruées.

Les statistiques descriptives des mesures de différences de pression aux bouches d'extraction des 16 systèmes de VMC simple flux hygroréglable sont présentées dans le Tableau 7-5. Les résultats de mesure sont voisins entre la première et la seconde enquête.

Tableau 7-5 – Statistiques descriptives des mesures de différence de pression (Pa) aux bouches d'extraction des 16 systèmes de VMC simple flux hygroréglable

	Pièce	Nb. mesures	Moyenne en Pa (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Première enquête	Toutes pièces confondues	47	80 (48)	15	40	80	100	180
	Cuisine ouverte ou fermée	15	86 (55)	15	20	85	131	180
	Salle de bain	17	76 (45)	16	47	85	93	170
	WC	15	78 (48)	20	40	75	100	180
Seconde enquête	Toutes pièces confondues	47	73 (41)	0	42	75	106	149
	Cuisine ouverte ou fermée	15	84 (42)	13	60	88	123	137
	Salle de bain	17	71 (39)	8	46	85	101	120
	WC	15	65 (41)	0	35	65	97	149

Ces valeurs ont été comparées à la plage de fonctionnement préconisée par les fabricants (entre 70 et 160 Pa) (Tableau 7-6). Il apparaît que 45 % des mesures de pression de la première enquête et 55% de la seconde enquête sont dans cette plage de fonctionnement et que ce pourcentage varie selon les pièces. Dans 43 à 45 % des cas, les mesures de pression sont inférieures à la limite basse de la plage fonctionnement (70Pa). 13 % des mesures de la première enquête sont supérieures à la limite haute (160 Pa) alors qu'aucune mesure de la seconde enquête ne dépasse cette valeur.

Tableau 7-6 – Comparaison des mesures de différence de pression aux bouches d'extraction des 16 systèmes de VMC simple flux hygroréglable avec la plage de fonctionnement préconisée par les fabricants (entre 70 et 160 Pa)

	Pièce	Nb de mesures totales	Nombre de mesures			Pourcentage de mesures		
			comprises entre 70-160 Pa	inférieures à 70 Pa	supérieures à 160 Pa	comprises entre 70-160 Pa	inférieures à 70 Pa	supérieures à 160 Pa
Première enquête	Toutes pièces confondues	47	21	20	6	45%	43%	13%
	Cuisine ouverte ou fermée	15	8	5	2	50%	36%	14%
	Salle de bain	17	7	9	2	39%	50%	11%
	WC	15	7	6	2	47%	40%	13%
Deuxième enquête	Toutes pièces confondues	47	26	21	0	55%	45%	0%
	Cuisine ouverte ou fermée	14	10	4	0	71%	29%	0%
	Salle de bain	18	10	8	0	56%	44%	0%
	WC	15	6	9	0	40%	60%	0%

Cette comparaison a également été réalisée pour chaque série des mesures de pression de chaque logement. Sur les 16 logements considérés, 6 (soit 38% de l'ensemble des logements) présentent des mesures de pression respectant systématiquement la plage de fonctionnement préconisée par les fabricants aussi bien lors de la première enquête que de la seconde. Sur les 10 logements restants, 6 logements lors de la première enquête et 5 lors de la seconde présentent des mesures de pression systématiquement inférieures à la limite basse de cette plage de fonctionnement (70Pa).

7.2.2.4 Mesure des débits aux bouches des systèmes de ventilation mécanique

Les mesures de débits aux bouches sont réalisées aux bouches d'extraction et de soufflage des systèmes de ventilation mécanique contrôlée autoréglable (simple flux ou double flux) au cours des deux périodes d'enquête et pour trois modes de fonctionnement du système (vitesse minimale, médiane et maximale). Sur les 35 systèmes de VMC autoréglables, les mesures des débits ont été collectées et validées pour 27 systèmes (2 VMC simple flux et 25 VMC double flux) équipant 9 maisons individuelles (8 récentes et 1 rénovée) et 18 logements collectifs (11 récents et 7 rénovés). Au total, 340 mesures ont été réalisées.

Sur les 27 systèmes de ventilation, 21 ont fait l'objet de mesures dupliquées c'est-à-dire que pour au moins une pièce donnée et pour une vitesse de fonctionnement du ventilateur, deux mesures de débits ont été réalisées. Sur les 21 systèmes mesurés, 20 étaient en fonctionnement lors des mesures et les bouches d'extraction ou de soufflage n'étaient pas obstruées. Un seul système de ventilation était à l'arrêt, l'occupant l'ayant arrêté pour des raisons économiques. Les mesures réalisées pour cette maison individuelle récente ont été écartées de la suite de l'exploitation.

Au final, 218 mesures de débits de 20 systèmes ventilation mécanique contrôlée autoréglable (2 VMC simple flux et 18 VMC double flux) équipant 6 maisons individuelles (5 récentes et 1 rénovée) et 14 logements collectifs (8 récents et 6 rénovés) ont été retenues. Les statistiques descriptives des mesures de débits aux bouches d'extraction et de soufflage pour chaque période d'enquête, pour chaque pièce selon les modes de fonctionnement du ventilateur, sont présentés respectivement dans les Tableau 7-7 et Tableau 7-8. Il semble que les mesures de débits sont proches entre la première et la seconde enquête. Comme attendu, les valeurs des débits augmentent entre la vitesse minimale et la vitesse maximale pour toutes les pièces. Il faut toutefois noter que les valeurs de débits entre la vitesse minimale et la vitesse médiane peuvent être proches voire même inférieures (cas des débits mesurés en cuisine et dans le séjour). Cette particularité n'a pas pu être expliquée.

Tableau 7-7 – Mesures des débits d'air extrait (m^3/h) de 20 systèmes de ventilation mécanique contrôlée autoréglable (2 VMC simple flux et 18 VMC double flux)

Vitesse	Pièce	Enquête	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Minimale	Cuisine ouverte ou fermée	Première enquête	11	62 (21)	30	45	55	80	93
		Deuxième enquête	11	62 (18)	34	48	63	80	86
	Salle de bain	Première enquête	7	24 (10)	11	11	28	30	37
		Deuxième enquête	7	21 (5)	14	16	21	25	30
	WC	Première enquête	7	17 (7)	10	11	16	21	30
		Deuxième enquête	7	18 (5)	13	13	16	22	26
Médiane	Cuisine ouverte ou fermée	Première enquête	6	34 (38)	2	9	24	40	106
		Deuxième enquête	6	33 (38)	2	8	20	45	104
	Salle de bain	Première enquête	5	22 (6)	16	17	21	26	29
		Deuxième enquête	5	21 (6)	16	17	18	26	30
	WC	Première enquête	3	18 (9)	10	10	16	28	28
		Deuxième enquête	3	18 (7)	11	11	18	24	24
Maximale	Cuisine ouverte ou fermée	Première enquête	5	71 (51)	31	48	55	60	160
		Deuxième enquête	5	62 (42)	35	36	43	61	135
	Salle de bain	Première enquête	4	27 (15)	11	17	26	37	46
		Deuxième enquête	4	31 (18)	8	17	34	45	47
	WC	Première enquête	4	26 (11)	10	19	28	33	37
		Deuxième enquête	4	29 (18)	6	15	33	43	43

Tableau 7-8 - Mesures des débits d'air soufflé (m^3/h) de 20 systèmes de ventilation mécanique contrôlée autoréglable (2 VMC simple flux et 18 VMC double flux)

Vitesse	Pièce	Enquête	Nb. mesures	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Minimale	Chambre	Première enquête	9	15 (5)	9	11	14	18	23
		Deuxième enquête	9	20 (7)	9	14	19	24	31
	Séjour	Première enquête	7	40 (6)	28	38	41	44	45
		Deuxième enquête	7	37 (5)	28	33	37	39	45
Médiane	Chambre	Première enquête	14	17 (12)	6	8	15	24	43
		Deuxième enquête	14	21 (16)	5	7	18	33	47
	Séjour	Première enquête	10	25 (17)	5	16	22	29	65
		Deuxième enquête	10	23 (14)	4	16	21	33	45
Maximale	Chambre	Première enquête	13	31 (21)	9	14	31	43	80
		Deuxième enquête	13	34 (20)	11	11	43	49	61
	Séjour	Première enquête	4	54 (48)	9	18	45	90	117
		Deuxième enquête	4	44 (30)	9	19	49	70	70

Les débits d'extraction mesurés dans les logements récents ont été comparés avec les débits réglementaires (réduits et à atteindre) définis selon le nombre de pièces principales des logements. Sur les 13 logements récents (5 maisons individuelles et 8 logements collectifs) ayant fait l'objet de mesures de débits d'air extrait, les mesures de 8 logements au total ont été prises en compte (6 logements pour la comparaison avec le débit réduit en cuisine, 3 pour le débit réduit total, 3 pour le débit à atteindre en cuisine ou en salle de bain, 2 pour le débit à atteindre en WC). Cette comparaison est donnée seulement à titre d'information du fait du nombre limité de mesure. Il apparaît que :

- les débits extraits réduits en cuisine et les débits réduits totaux sont respectés dans tous les cas ;
- les débits à atteindre en cuisine (grand débit), en salle de bain et en WC ne sont pas respectés dans tous les cas.

Tableau 7-9 – Comparaison des débits d'extractions mesurées au cours des deux enquêtes dans les logements récents avec les débits réglementaires selon le nombre de pièces principales

	Code Logement	Nb. Pièces principales	Débit mesuré (m ³ /h)		Débit réglementaire (m ³ /h)	Conformité du débit mesuré	
			Première enquête	Seconde enquête		Première enquête	Seconde enquête
Débit réduit en cuisine	A	3	64	63	45	oui	oui
	C		45	48		oui	oui
	D		45	52		oui	oui
	E		50	60		oui	oui
	F	4	93	75	45	oui	oui
	G		55	68		oui	oui
Débit réduit total¹	A	3	86	90	75	oui	oui
	F	4	139	107	90	oui	oui
	G		113	115		oui	oui
Débit à atteindre en cuisine (grand débit)	A	3	160	135	105	oui	oui
	H		60	61		non	non
	B	4	48	43	120	non	non
Débit à atteindre en salle de bain	A	3	28	25	30	non	non
	H		46	47		oui	oui
	B	4	11	8	30	non	non
Débit à atteindre en WC	A	3	28	24	15	oui	oui
	B	4	10	6	30	non	non

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.

7.3 QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

7.3.1 PREAMBULE

7.3.1.1 Expression des résultats

Les concentrations annuelles des indicateurs de pollution (aldéhydes, COV, NO₂) correspondent à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées en période de chauffe et hors période de chauffe pour chaque pièce (séjour et chambre) de chaque logement. Dans le cas où un logement a fait l'objet d'une seule enquête sur une des deux périodes, les résultats de mesure ne sont pas pris en compte. Dans le cas où un logement a fait l'objet de deux enquêtes (chauffe et hors-chauffe) mais qu'une seule pièce a été instrumentée (cas des studios), ce logement est pris en compte.

Les concentrations annuelles des PM_{2,5} correspondent à la moyenne arithmétique des concentrations mesurées dans le séjour en période de chauffe et hors période de chauffe pour chaque logement. Dans le cas où un logement a fait l'objet d'une seule enquête sur une des deux périodes, les résultats de mesure de ce logement ne sont pas pris en compte.

7.3.1.2 Mise en perspective des résultats

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

- les valeurs dites « **réglementaires** », publiées par décret et les seules à devoir être respectées : pour le benzène et le formaldéhyde, dans les établissements recevant du public et pour le radon, dans les établissements d'enseignement y compris les bâtiments d'internat, les établissements sanitaires et sociaux disposant d'une capacité d'hébergement, les établissements thermaux et les établissements pénitentiaires. Bien que ces valeurs réglementaires ne s'appliquent pas aux bâtiments d'habitation, il est jugé intéressant de comparer les résultats avec ces valeurs ;
- 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) existant 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) respectivement. Les concentrations moyennes d'une période 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 (exposition supérieure à 1 an), 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 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 indique le nombre total de logements de l'échantillon étudié dépassant les valeurs guides d'air intérieur. Elle 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 de certains logements peuvent mériter une évaluation plus approfondie des expositions et des risques associés.

7.3.1.3 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 7-10).

Tableau 7-10 – 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)

7.3.2 CONCENTRATIONS ANNUELLES ET MISE EN PERSPECTIVES DES RESULTATS

7.3.2.1 Aldéhydes

Les statistiques des mesures des 3 aldéhydes par logement et par pièce sont présentées dans le Tableau 7-11. L'hexaldéhyde est l'aldéhyde présentant la plus forte concentration devant le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

Tableau 7-11 – Concentrations annuelles des aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par logement et par pièce

	Polluants	Nb. Logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Logement	Acétaldéhyde	63	12,3 (5,6)	2,7	7,8	11,5	15,0	26,9
	Formaldéhyde	63	18,3 (6,9)	6,7	13,5	17,2	20,8	38,4
	Hexaldéhyde	65	26,6 (17,7)	3,1	15,1	21,3	34,8	80,4
Chambre	Acétaldéhyde	59	11,4 (5,4)	2,7	7,3	10,5	14,5	27,1
	Formaldéhyde	59	18,3 (7,6)	5,3	13,2	17,0	21,3	41,9
	Hexaldéhyde	61	26,1 (18,4)	3,0	13,7	20,2	35,1	78,2
Séjour	Acétaldéhyde	60	12,9 (6,0)	2,8	7,6	12,4	16,3	30,3
	Formaldéhyde	60	18,4 (6,7)	8,0	13,3	18,1	20,9	37,5
	Hexaldéhyde	64	26,4 (16,7)	3,2	14,6	21,4	33,9	80,4

Les concentrations d'aldéhydes mesurées dans les chambres des logements de cette étude ont été comparées à celles mesurées au cours de la campagne nationale Logements, pour les deux périodes d'enquêtes Figure 7-4).

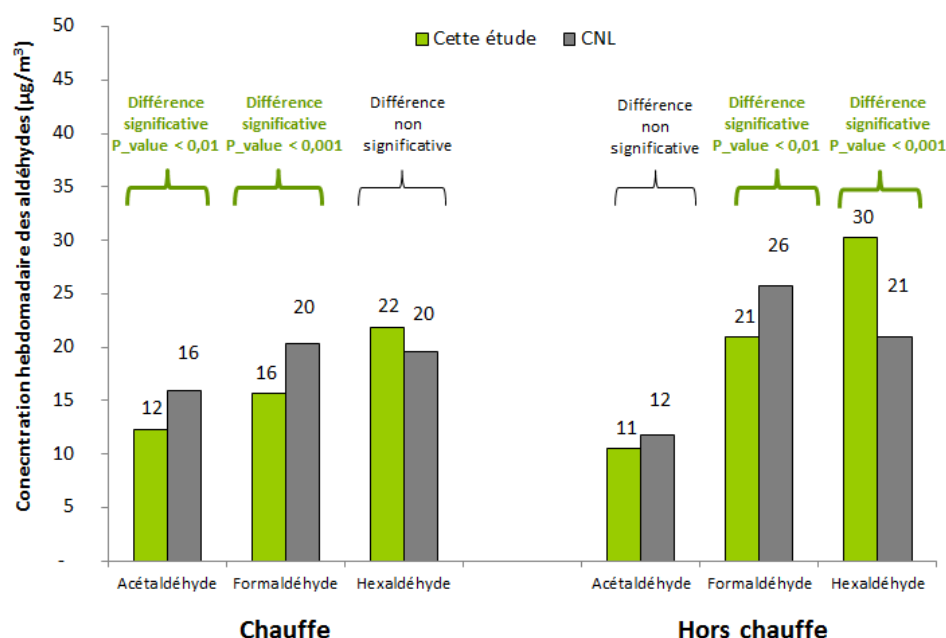


Figure 7-4 – Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.

Il apparaît que :

- les concentrations en acétaldéhyde sont identiques en période de hors-chauffe mais différentes en période de chauffe ($p < 0,01$). Pour cette période d'enquête, la concentration moyenne en acétaldéhyde des logements de cette étude est inférieure à celle de la campagne nationale logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2) ;
- les concentrations du formaldéhyde sont différentes en période de chauffe ($p < 0,001$) et de hors-chauffe ($p < 0,01$). Pour ces deux périodes d'enquête, les concentrations moyennes en formaldéhyde des logements de cette étude sont inférieures à celles de la campagne nationale logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2) ;
- les concentrations de l'hexaldéhyde sont identiques en période de chauffe, mais différentes en hors-chauffe ($p < 0,001$). Pour cette période, la concentration moyenne en hexaldéhyde des logements de cette étude est supérieure à celle de la population nationale de logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

Les concentrations moyennes du formaldéhyde de chaque logement ont été mises en perspective des valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-12). Il apparaît que :

- 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 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- un faible nombre de logements dépasse le seuil de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur repère et réglementaire) ;
- la quasi-totalité des logements dépasse le seuil de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme, valeur cible et valeur réglementaire).

Tableau 7-12 – 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>	5 logements sur 63	
<i>10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée à compter du 1^{er} janvier 2023</i>	58 logements sur 63	
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>	5 logements sur 63	
<i>Valeur cible = 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	58 logements sur 63	
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 > à 1 an) = 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	58 logements sur 63	

Les concentrations moyennes de l'acétaldéhyde de chaque logement ont été mises en perspective des valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-13) et aucun dépassement n'a été constaté.

Tableau 7-13 – 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 > à 1 an) = 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	Aucun logement	

7.3.2.2 Composés organiques volatils

Les indicateurs statistiques des mesures des 16 COV sont présentés dans le Tableau 7-14.

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 57 et $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Quatre COV (1,4-dichlorobenzène, n-hexane, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène) présentent des concentrations inférieures à la limite de quantification dans plus de 50 % des logements (Annexe 1).

Parmi les 12 COV restants, les concentrations des 8 composés mesurés dans les chambres des logements et dont la fréquence de quantification est supérieure à 50 % sont comparées à celles de la population nationale de logements, pour les deux périodes d'enquêtes (Figure 7-5). Quatre composés n'ont pas pu faire l'objet de cette comparaison :

- le 2-butoxyéthanol et le 1-méthoxy-2-propanol car ces composés ont été quantifiés dans moins de 50 % des cas dans la population nationale de logements ;
- l'alpha-pinène et le limonène n'ont pas été mesurés lors de la campagne nationale « Logements ».

Il apparaît que :

- la concentration moyenne du styrène mesurée dans les chambres des logements de cette étude pour chacune des deux périodes d'enquête n'est pas statistiquement différente de celle de la population nationale de logements ;
- les concentrations moyennes des 7 autres COV (1,2,4-triméthylbenzène, benzène, éthylbenzène, (m+p)-xylènes, n-décane, o-xylène, toluène) mesurées dans les chambres des logements de cette étude pour chaque période d'enquête sont statistiquement différentes de celles de la population nationale de logements ($p < 0,001$ sauf pour le 1,2,4-triméthylbenzène en période de chauffe avec $p < 0,05$ et le benzène en période de chauffe avec $p < 0,01$). Les concentrations moyennes mesurées dans les logements de cette étude pour ces 7 COV sont inférieures à celles de la population nationale de logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

A titre d'information, l'alpha-pinène et le limonène, ont été comparés (sans test statistique) aux résultats de la phase pilote de la campagne nationale Logements (2001) car ces deux composés ont ensuite été écartés de la liste des COV de la campagne nationale. Les concentrations médianes mesurées dans les chambres des logements de cette étude sont supérieures à celles des 63 logements de l'étude pilote de la CNL (23 contre $5,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'alpha-pinène mesuré dans 56 logements ; 20 contre $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le limonène mesuré dans 52 logements) (Kirchner et al., 2011).

Tableau 7-14 –Concentrations annuelles des COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) par logement et par pièce

	Polluants	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Logement	1,2,4-Triméthylbenzène	61	1,8 (1,7)	0,2	0,8	1,1	2,2	9
	1,4-Dichlorobenzène	60	0,8 (4,2)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	32
	1-Méthoxy-2-propanol	62	2 (3,7)	< LOD	< LOQ	0,9	1,8	26
	2-Butoxyéthanol	61	2,2 (2,1)	< LOD	0,7	1,4	2,6	9
	alpha-Pinène	68	56,6 (122,6)	3	9,9	22,6	52,9	843
	Benzène	68	1,8 (1)	0,5	1	1,5	2,2	7
	n-Décane	68	4,2 (4,8)	0,5	1,4	2,3	5,7	29
	Ethylbenzène	69	1,6 (1,8)	0,3	0,7	1,2	2	14
	n-Hexane	65	1 (1,5)	< LOD	< LOD	< LOD	1	10
	Limonène	69	35,9 (27,4)	3,6	15,1	24,2	59,8	119
	Styrène	69	1,3 (0,9)	0,3	0,8	1,1	1,6	6
	Tétrachloroéthylène	69	0,6 (2,5)	< LOD	< LOD	< LOD	0,3	21
	Toluène	69	5,8 (4,1)	1,6	3,5	4,8	6,6	26
	Trichloroéthylène	55	0,4 (2,5)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	19
	(m+p)-Xylènes	69	4 (4,5)	0,7	1,6	2,7	4,9	32
	o-Xylène	69	1,7 (1,9)	0,3	0,7	1,2	1,9	14
Chambre	1,2,4-Triméthylbenzène	60	2,2 (1,9)	0,2	0,7	1,2	2,3	9
	1,4-Dichlorobenzène	59	0,9 (5)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	39
	1-Méthoxy-2-propanol	61	2,1 (4)	< LOD	< LOQ	0,9	2,2	28
	2-Butoxyéthanol	60	2,2 (2)	< LOQ	0,7	1,5	2,9	9
	alpha-Pinène	67	60,2 (136)	2,0	9,5	23,3	55,6	959
	Benzène	67	1,7 (1)	0,4	1,0	1,4	2,1	7
	n-Décane	66	4,2 (5)	0,4	1,4	2,2	5,0	31
	Ethylbenzène	68	1,6 (1,7)	0,3	0,7	1,2	1,8	13
	n-Hexane	64	1 (1,5)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1,0	11
	Limonène	68	33,8 (29)	3,5	13,1	19,6	54,0	127
	Styrène	68	1,3 (1)	0,3	0,7	1,1	1,6	6
	Tétrachloroéthylène	68	0,7 (3,6)	< LOD	< LOQ	< LOQ	0,3	29
	Toluène	68	5,5 (4,3)	1,4	3,1	4,1	6,4	27
	Trichloroéthylène	54	0,2 (0,8)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	6
	(m+p)-Xylènes	68	3,8 (4,2)	0,7	1,5	2,6	4,9	29
	o-Xylène	68	1,6 (1,8)	0,3	0,7	1,1	1,9	12
Séjour	1,2,4-Triméthylbenzène	58	1,8 (1,8)	0,4	0,8	1,2	2,0	9
	1,4-Dichlorobenzène	53	0,7 (3,6)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	26
	1-Méthoxy-2-propanol	62	1,9 (3,5)	< LOD	< LOQ	0,8	1,7	24
	2-Butoxyéthanol	56	2,4 (2,5)	< LOQ	0,7	1,5	2,6	13
	alpha-Pinène	68	53,7 (111,4)	2,1	10,4	21,3	52,9	728
	Benzène	67	1,8 (1,1)	0,4	1,1	1,6	2,3	6
	n-Décane	67	4,3 (4,7)	< LOQ	1,3	2,5	6,8	28
	Ethylbenzène	69	1,6 (1,9)	0,3	0,7	1,2	2,1	15
	n-Hexane	62	1 (1,6)	< LOQ	< LOQ	< LOQ	1,0	9
	Limonène	68	37,3 (27,8)	3,6	16,5	25,1	52,6	113
	Styrène	69	1,4 (0,9)	0,3	0,8	1,2	1,8	6
	Tétrachloroéthylène	60	0,5 (1,7)	< LOD	< LOD	< LOD	0,3	12
	Toluène	68	6,1 (4,2)	1,7	3,6	5,5	7,1	25
	Trichloroéthylène	53	0,7 (4,3)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	31
	(m+p)-Xylènes	69	4,2 (4,8)	0,7	1,6	2,7	4,7	34
	o-Xylène	69	1,7 (2,1)	0,3	0,8	1,2	1,8	15

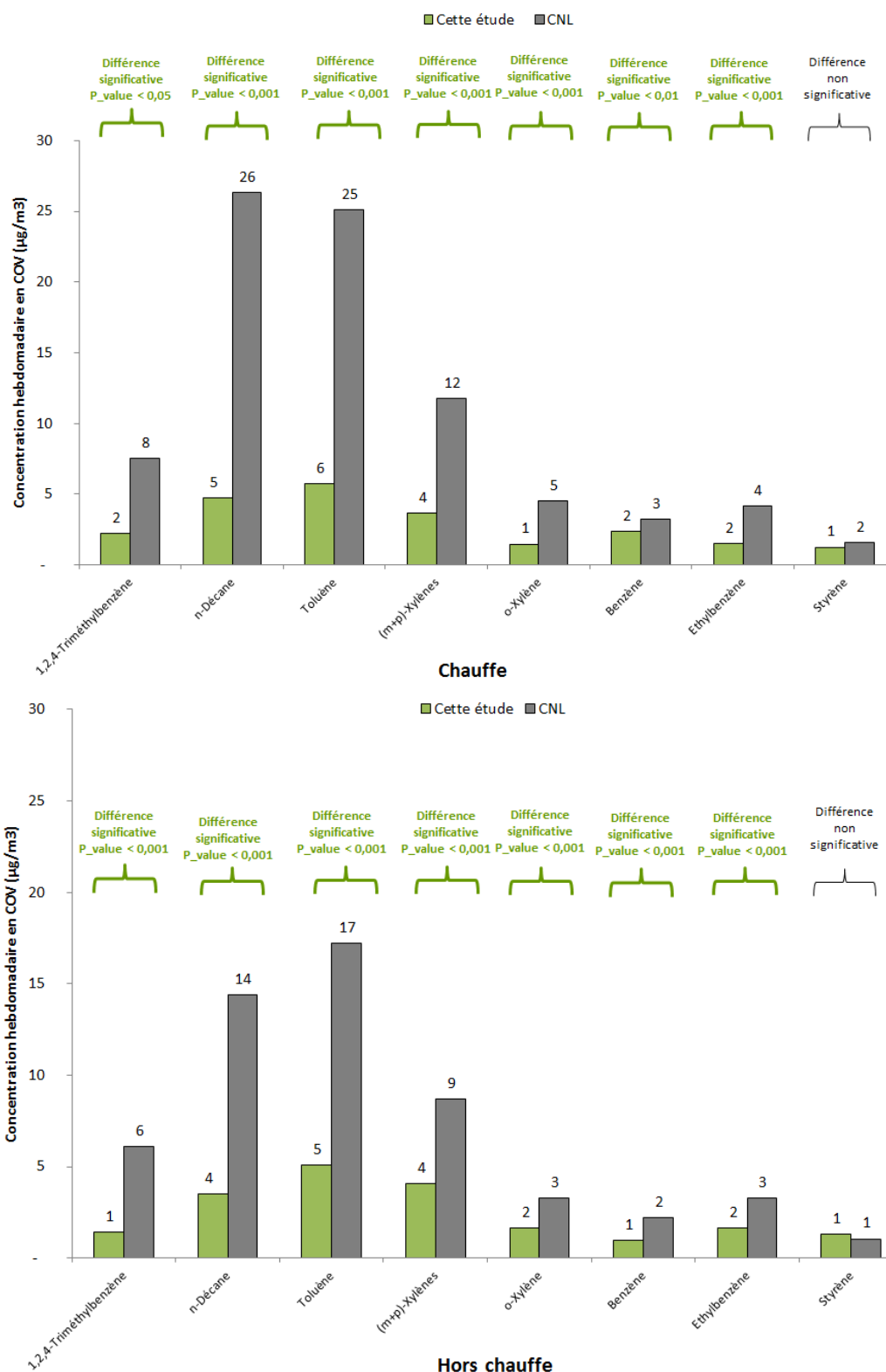


Figure 7-5 - Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesurées dans les chambres des logements de cette étude et dans celles de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.

Les concentrations moyennes du benzène de chaque logement ont été mises en perspectives avec les valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-15).

Il apparaît que :

- aucun logement ne dépasse la valeur de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme, valeur d'action rapide) et à fortiori celles de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI intermédiaire) et de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI court terme) ;
- un seul logement dépasse la valeur de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur repère, valeur réglementaire), Ce logement présente une concentration annuelle de $6,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ qui serait liée au dysfonctionnement simultané du système de ventilation et d'un appareil de combustion selon l'opérateur en charge de l'enquête (Air Rhône-Alpes, 2014) ;
- plus du tiers 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) ;
- la totalité des logements dépasse le seuil de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGAI long terme excès risque 10^{-6}).

Tableau 7-15 - 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
$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2015	1 logement sur 68	
$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2016	25 logements sur 68	
Valeurs de gestion du HCSP		HCSP, 2010a
Valeur action rapide = $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
Valeur repère = $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 logement sur 68	
Valeur cible = $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 logements sur 68	
Valeurs sanitaires de l'ANSES*		AFSSET, 2008
VGAI court terme (pour une exposition de 1 à 14 jours) = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
VGAI intermédiaire (pour une exposition de 14 jours à 1 an) = $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
VGAI long terme [§] (pour une exposition > à 1 an) = $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque [*] de 10^{-5}) = $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	25 logements sur 68	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque [£] de 10^{-6}) = $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	68 logements sur 68	

[§] pour des effets hématologiques non cancérogènes

* L'excès de risque de 10^{-5} correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 100 000 individus) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène

[£] L'excès de risque de 10^{-6} correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 1 million d'individus) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène

Les concentrations moyennes du trichloroéthylène de chaque logement ont été mises en perspective avec les valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-16). Il apparaît que :

- 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) ;
- 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}). Ce logement présente une concentration annuelle de $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ engendrée par de fortes concentrations mesurées uniquement lors de la première enquête, liées vraisemblablement à une pollution ponctuelle non identifiée selon l'opérateur en charge de l'enquête (Air Lorraine, 2015).

Tableau 7-16 - 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 µg/m ³	1 logement sur 55	
Valeur repère = 2 µg/m ³	1 logement sur 55	
Valeurs sanitaires de l'ANSES		AFSSET, 2009
VGAI intermédiaire ^S (pour une exposition de 14 jours à 1 an) = 800 µg/m ³	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque* de 10 ⁻⁶) = 2 µg/m ³	1 logement sur 55	
VGAI long terme (pour une exposition vie entière correspondant à un niveau de risque ^E de 10 ⁻⁵) = 20 µg/m ³	Aucun logement	

^S pour des effets non cancérogènes

* L'excès de risque de 10⁻⁶ correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 1 million d'individus) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 2 µg/m³ de trichloroéthylène

^E L'excès de risque de 10⁻⁵ correspond est un excès attendu de cas de cancer (1 cas sur 100 000 individus) consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 20 µg/m³ de trichloroéthylène

Les concentrations moyennes du tétrachloroéthylène de chaque logement ont été mises en perspective avec les valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-17) et aucun dépassement n'a été constaté.

Tableau 7-17 - 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 µg/m ³	Aucun logement	
Valeur repère = 250 µg/m ³	Aucun logement	
Valeurs sanitaires de l'ANSES		AFSSET, 2010a
VGAI court terme (pour une exposition de 1 à 14 jours) = 1380 µg/m ³	Aucun logement	
VGAI long terme (pour une exposition > 1 an) = 250 µg/m ³	Aucun logement	

7.3.2.3 Dioxyde d'azote

Les statistiques des mesures de dioxyde d'azote (NO₂) sont présentées dans le Tableau 7-18.

Tableau 7-18 –Concentrations annuelles du NO₂ (µg/m³) par logement et par pièce

	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Moyennes des logements	62	16,6 (9,0)	< LOQ	< LOQ	16,2	20,9	52
Chambre	66	15,9 (9,9)	< LOD	< LOQ	15,5	20,7	59
Séjour	64	17,6 (9,0)	< LOQ	12,4	17,0	21,4	46

A titre d'information, les résultats de cette étude ont été comparés (sans test statistique) à ceux de la phase pilote de la campagne nationale Logements (ce composé non retenu ensuite lors de la campagne nationale). La concentration médiane mesurée dans les chambres des logements de cette étude est inférieure à celle mesurée dans les 88 logements de la phase pilote de la CNL (15,5 contre 26 µg/m³) (Kirchner et al. 2011).

La mise en perspective des mesures de NO₂ avec les valeurs guides (Tableau 7-19) montre que près d'un tiers des logements dépasse la VGAI long terme (20 µg/m³).

Tableau 7-19 - 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
VGAI court terme (pour une exposition de 1 heure) = 200 µg/m ³	Sans objet (comparaison impossible)	
VGAI long terme (pour une exposition > à 1 an) = 20 µg/m ³	19 logements sur 62	

7.3.2.4 Particules

Les indicateurs statistiques des mesures de particules PM_{2,5} sont présentés dans le Tableau 7-20.

Tableau 7-20 - Concentrations annuelles des PM_{2,5} (µg/m³) dans le séjour

	Nb. logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Séjour	33	19,9 (25,1)	2,5	8,8	13,2	19,6	168

Les concentrations des PM_{2,5} mesurées dans le séjour des logements ont été comparées à celles mesurées de la population nationale de logements, pour les deux périodes d'enquête. Il apparaît sur la Figure 7-6 que les concentrations en PM_{2,5} sont significativement inférieures ($p < 0,001$) à celles de la population nationale de logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

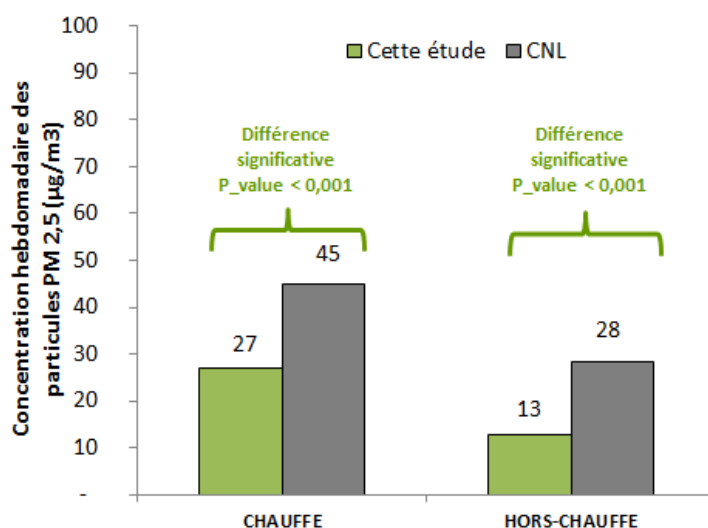


Figure 7-6 - Distribution des valeurs des concentrations hebdomadaires des PM_{2,5} (µg/m³) mesurées dans les séjours des logements de cette étude et dans ceux de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) par période d'enquête et résultat du test de test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données.

La mise en perspective des concentrations annuelles des particules PM_{2,5} de chaque logement avec les valeurs guides en vigueur a été réalisée (Tableau 7-21). Il apparaît que :

- deux logements dépassent la valeur d'action rapide (50 µg/m³). Pour un des deux logements, pour lequel la concentration annuelle est égale à 61,6 µg/m³, l'activité tabagique des occupants semble la cause principale selon l'opérateur en charge de l'enquête (Air Lorraine, 2014) ;
- moins d'un tiers des logements dépasse la valeur repère de 20 µg/m³ applicable depuis le 1^{er} janvier 2015 ;
- plus d'un tiers des logements dépasse les valeurs repère de 18 et 16 µg/m³ applicables respectivement au 1^{er} janvier 2017 et au 1^{er} janvier 2019 ;
- moins de la moitié des logements dépasse la valeur repère de 14 µg/m³ applicable respectivement au 1^{er} janvier 2021 ;
- plus de la moitié des logements dépasse les autres valeurs repères comprises entre 12 et 10 µg/m³ applicables respectivement au 1^{er} janvier 2023 et au 1^{er} janvier 2025.

Tableau 7-21 - 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
<i>Valeur d'action rapide</i> = 50 µg/m ³	2 logements sur 33	
<i>Valeur repère</i> = 20 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2015	9 logements sur 33	
<i>Valeur repère</i> = 18 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2017	11 logements sur 33	
<i>Valeur repère</i> = 16 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2019	13 logements sur 33	
<i>Valeur repère</i> = 14 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2021	15 logements sur 33	
<i>Valeur repère</i> = 12 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2023	21 logements sur 33	
<i>Valeur cible</i> = 10 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2025	23 logements sur 33	
Valeurs sanitaires de l'OMS		AFSSET, 2010b
<i>VGAI court terme (pour une exposition 24 heures)</i> = 25 µg/m ³	Sans objet (comparaison impossible)	
<i>VGAI long terme</i> = 10 µg/m ³	23 logements sur 33	

7.3.2.5 Radon

Les indicateurs statistiques des mesures de l'activité volumique du radon réalisées en période de chauffe sont présentés dans le Tableau 7-22. Les mesures ont été réalisées systématiquement dans toutes les zones géographiques et pas seulement dans celles déclarées « à risque radon ». Pour les immeubles collectifs, les mesures de radon ont été réalisées quel que soit l'étage du logement et pas seulement pour ceux situés en rez-de-chaussée.

Tableau 7-22 – Mesures de l'activité volumique du radon (Bq/m³) effectuées uniquement en période de chauffe

	Nb, logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Logement	45	47,0 (52,6)	8,0	20,0	31,5	54,0	265,5
Chambre	40	43,3 (47,7)	7,0	18,5	28,8	41,0	240,0
Séjour	44	51,8 (61,0)	8,0	21,0	34,0	55,0	343,0

Les concentrations du radon mesurées en période de chauffe dans les chambres et séjours des logements de cette étude ont été comparées à celles de la période de chauffe de la population nationale de logements. Il apparaît sur la Figure 7-7 que les concentrations de radon sont identiques dans le séjour mais significativement différentes dans la chambre. Pour cette pièce, la concentration moyenne mesurée dans cette étude est inférieure à celle de la population nationale de logements comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

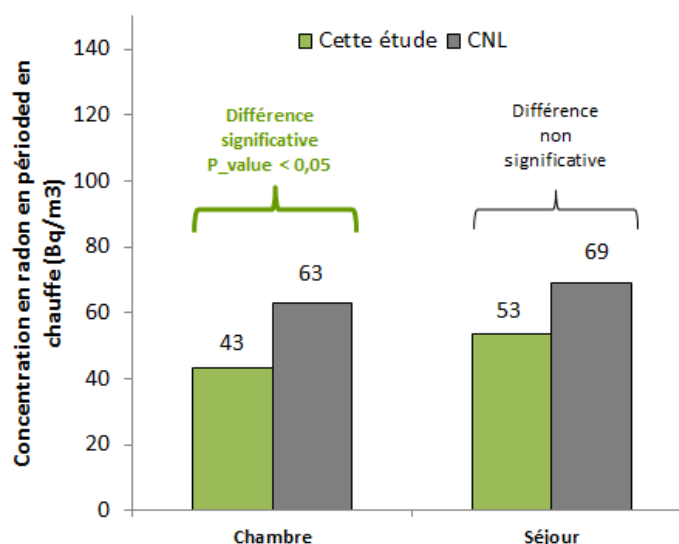


Figure 7-7 - Distribution des valeurs de concentrations du radon (Bq/m³) mesurées en période de chauffe dans les pièces des logements de cette étude et de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données

Les concentrations moyennes de chaque logement ont été mises en perspective avec les valeurs guides d'air intérieur (Tableau 7-23) et aucun dépassement des valeurs réglementaires n'a été constaté. En revanche, 4 logements dépassent la valeur à long terme de 100 Bq/m³ et un logement neuf celle de 200 Bq/m³.

Tableau 7-23 – 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>En dessous de 200 Bq/m³ pour l'habitat neuf</i>	1 logement sur 25 neufs*	
<i>Objectif à long terme = 100 Bq/m³</i>	4 logements sur 45	

* pour information, dépassement de la valeur de 200 Bq/m³ pour 2 logements sur 45 (neufs et rénovés)

7.3.2.6 Problème d'humidité et contamination fongique

L'exploitation des données des questionnaires (Tableau 7-24) montre qu'au cours des 12 derniers mois ou depuis l'emménagement des occupants, il a été observé, selon les périodes d'enquête et dans au moins une pièce du logement, des :

- traces d'humidité dans 8 à 11 % des logements ;
- infiltrations d'eau dans 7 à 10 % ;
- dégâts des eaux dans 3 %.

Un faible pourcentage des logements (1 %) a fait l'objet d'un traitement contre un excès d'humidité.

Tableau 7-24 – Pourcentage des logements ayant connu des problèmes d'humidité et ayant fait l'objet de traitement contre l'humidité

	Chauffe	Hors chauffe
Nombre de logements investigués	72	72
Pourcentage de logements présentant, au cours des 12 derniers mois ou depuis l'emménagement des occupants, des...		
Traces d'humidité ?	11%	8%
Infiltrations d'eau ?	7%	10%
Dégâts des eaux ?	3%	3%
Pourcentage de logements ayant fait l'objet d'un traitement contre un excès d'humidité au cours des 12 derniers mois ou depuis l'emménagement des occupants	1%	1%

La comparaison des résultats de cette étude avec ceux de la campagne nationale Logements a été réalisée en prenant la valeur maximale de chaque pourcentage. Comparativement à la population nationale de logement (Figure 7-8), le pourcentage de logement présentant des traces d'humidité, ayant subi des infiltrations d'eau ou ayant fait l'objet de traitement contre l'excès d'humidité semble plus faible.

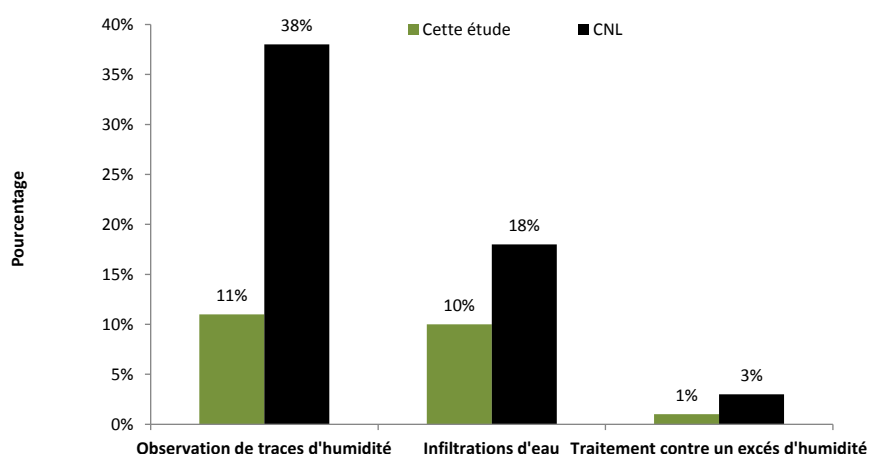


Figure 7-8 – Comparaison du pourcentage de logements ayant subi des problèmes d'humidité ou ayant fait l'objet d'un traitement contre l'humidité dans les 12 derniers mois au depuis l'emménagement des occupants entre cette étude et de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI)

Parmi les 852 pièces de vie investiguées par les opérateurs en charge des enquêtes (470 en chauffe, 382 en hors chauffe), 6 pièces (4 logements) présentaient des problèmes d'humidité en période de chauffe et 6 pièces (5 logements) en période de hors chauffe, 5 des 6 logements étaient communs aux deux périodes.

Parmi les problèmes d'humidités observées :

- 5 pièces (4 logements) présentaient des tâches d'humidité en période de chauffe et 6 pièces (5 logements) en période de hors chauffe, 4 des 5 logements sont communs aux deux périodes ;
- 2 pièces (2 logements) présentaient du salpêtre en période de chauffe et 3 pièces (3 logements) en période de hors chauffe, 2 des 3 logements sont communs aux deux périodes ;
- 1 pièce d'1 logement présentait de la condensation en période de chauffe et de hors chauffe ;
- 1 pièce d'1 logement présentait une odeur de moisi en période de chauffe et de hors chauffe ;
- un logement présentait des traces de moisissures et/ou champignons (d'une surface inférieure à 1 m²) dans 3 pièces en période de chauffe et dans 1 pièce en période de hors chauffe.

L'indice de contamination fongique (ICF) a été calculé pour l'enquête la plus récente dans chaque logement qu'il s'agisse d'une enquête en période de chauffe ou hors chauffe à partir des chromatogrammes des prélèvements COV de la pièce de séjour.

L'ICF a été calculé pour 70 des 72 logements enquêtés, le calcul n'ayant pas été fait pour 2 logements enquêtés une seule fois. Sur les 70 ICF calculés, 66 sont valides (2 ont été déclarés invalides et 2 sont incertains). Ainsi sur les 66 ICF calculés, 31 sont positifs (47 %) ce qui implique que 31 logements présentent un développement fongique actif. Pour mémoire, le pourcentage de logements de la campagne nationale Logements présentant un développement fongique (ICF positif) était de 37 %.

7.4 CONFORT THERMIQUE

7.4.1 PREAMBULE

Les moyennes hebdomadaires des mesures de température et d'humidité relative correspondent à la moyenne arithmétique des mesures en continu de ce paramètre (pas de temps de 10 minutes) réalisées pendant une semaine d'enquête dans chaque logement, dans les deux pièces de mesure et pour chaque période (chauffe et hors chauffe). Dans le cas où un logement a fait l'objet d'une seule enquête, les résultats de mesure de ce logement ne sont pas pris en compte.

7.4.2 RESULTATS

Les statistiques descriptives de la température intérieure et de l'humidité relative intérieure sont présentées, par pièce et quelle que soit la période d'enquête, dans le Tableau 7-25. La température moyenne est égale à 22°C et l'humidité relative entre 46 et 47 %.

Tableau 7-25 – Moyenne de température intérieure (°C) et d'humidité relative intérieure (%) dans les logements

	Pièce	Nb. Logements	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Température	Chambre	56	22 (2,6)	17	19	22	24	28
	Séjour	56	22 (2,3)	18	21	22	24	29
Humidité relative	Chambre	54	47 (9,3)	28	40	48	54	67
	Séjour	54	46 (9,4)	25	39	50	53	68

Les valeurs moyennes hebdomadaires de température et d'humidité relative mesurées dans les deux pièces de mesures des logements de cette étude ont été comparées à celles de la population nationale de logements, pour les deux périodes d'enquête. Il apparaît sur la Figure 7-9 que :

- une différence significative de température a été mise en évidence en période de chauffe et en période de hors-chauffe pour les deux pièces ($p < 0,001$, sauf pour la chambre en période de chauffe où $p < 0,01$). Les températures moyennes dans les deux pièces des logements de cette étude sont supérieures à celles de la population nationale de logements pour les deux périodes d'enquête comme l'ont confirmé les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2) ;
- une différence significative d'humidité relative ($p < 0,001$) a été mise en évidence pour le séjour en période de chauffe et en période de hors-chauffe, et pour la chambre uniquement en période de chauffe. L'humidité relative moyenne dans les logements de cette étude est inférieure à celle de la population nationale de logements hormis pour la chambre en période de hors-chauffe. Ces observations ont été confirmées par les résultats des tests unilatéraux (Annexe 2).

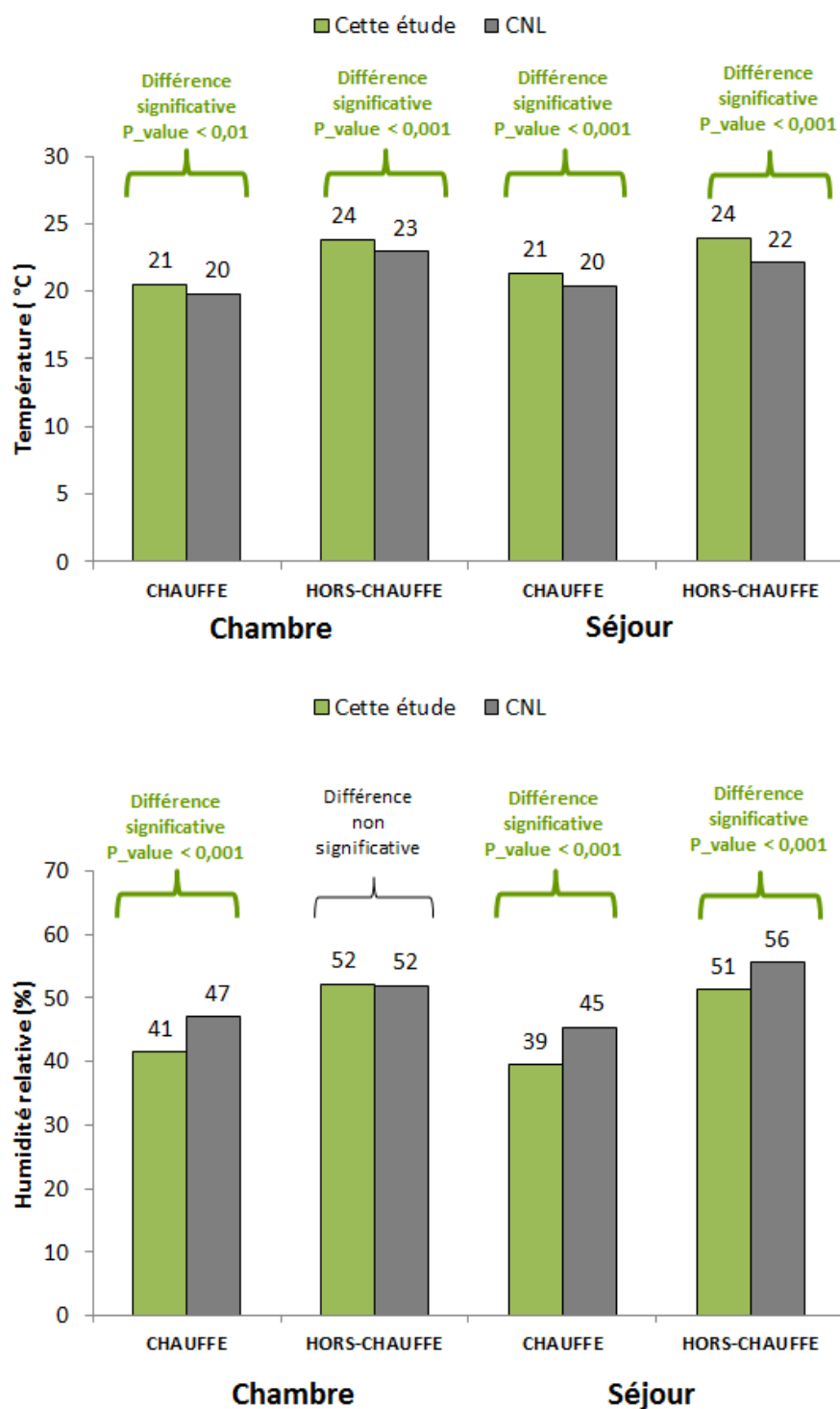


Figure 7-9 - Distribution des valeurs hebdomadaires de la température et de l'humidité relative des logements de cette étude et de la population nationale de logements (données issues de la campagne nationale Logements (CNL) de l'OQAI) et résultat du test t de Student (p-value) bilatéral de comparaison des moyennes des deux séries de données

7.5 SYNTHÈSE

Au niveau de la qualité des prélèvements et analyses des indicateurs de qualité d'air intérieur, l'étude des milieux de prélèvements témoins (tube passif, filtre) a montré l'absence de contamination pour l'intégralité des mesures des aldéhydes et des PM_{2,5} et une grande partie des prélèvements NO₂ et COV. L'étude de répétabilité des mesures réalisée par duplicat a montré une bonne qualité du prélèvement et de l'analyse pour les aldéhydes, le NO₂ et la quasi-totalité des COV (13 COV sur 16). En revanche, il convient de rester prudent pour l'interprétation des mesures du n-décane, de l'alpha-pinène et du limonène.

La quasi-totalité (plus de 90 %) des prélèvements et analyses des indicateurs de qualité d'air intérieur, des mesures du CO₂ et des paramètres de confort thermique réalisés est valide à l'exception des prélèvements des PM_{2,5}. Pour cet indicateur et du fait du bruit généré par le système de prélèvement (pompe à air) qui engendre une gêne sonore pour les occupants, le nombre de prélèvement réalisé est le plus faible et 70 % des mesures intérieures sont valides.

Les résultats des mesures effectuées dans les 72 logements de l'étude ont été comparés avec ceux de la population nationale de logements (campagne nationale Logements de l'OQAI réalisée entre 2003 et 2005). Aucune différence significative de concentrations n'a été observée pour les deux périodes d'enquête pour le CO₂ (occupation+inoccupation) et le styrène. Les concentrations du CO₂ (60 valeurs maximales en période d'occupation 2h-5h10), des PM_{2,5}, du formaldéhyde et de 7 COV (1,2,4-triméthylbenzène, benzène, éthylbenzène, (m+p)-xylènes, n-décane, o-xylène, toluène) sont significativement inférieures, pour chaque période d'enquête, à celles de la population nationale de logements. Les concentrations du CO₂ (période d'occupation 2h-5h10), de l'acétaldéhyde et du radon sont selon la période d'enquêtes (la pièce pour le radon), identiques ou significativement inférieures à celles de la population nationale de logements. Le pourcentage des logements présentant des traces d'humidité, ayant subi des infiltrations d'eau ou ayant fait l'objet de traitement contre l'excès d'humidité est plus faible que celui de la population nationale de logements. En revanche, le pourcentage de logements présentant un développement fongique actif (47 %) est plus élevé que celui de la population nationale de logements (37 %). La concentration en hexaldéhyde est significativement plus élevée en période de hors-chauffe dans les logements de cette étude alors qu'aucune différence n'est observée en période de chauffe. La température intérieure est significativement plus élevée en période de chauffe et de hors-chauffe dans les logements de cette étude que dans la population nationale de logements.

Enfin, l'alpha-pinène, le limonène et le NO₂ n'ayant pas été mesurés au cours de la campagne « logements », leurs concentrations ont été comparées à celles des logements enquêtés dans le cadre de la phase pilote de cette campagne (2001). Comparativement aux concentrations mesurées dans les logements de cette phase pilote, les concentrations de l'échantillon des 72 logements de l'étude sont plus élevées pour les deux terpènes et plus faibles pour le NO₂. L'alpha-pinène et le limonène sont les COV présentant les plus fortes concentrations dans l'échantillon des 72 logements de l'étude.

La comparaison des concentrations du CO₂ mesurées dans les chambres en période de chauffe et de hors chauffe ont été comparées, aux seuils (1000 et 1300 ppm) indiqués par le règlement sanitaire départemental type (RSDT, 1985) pour les locaux non résidentiels en conditions habituelles d'occupation. 1 % des logements présentent des concentrations en CO₂ toute période confondue supérieures à ces deux seuils. 22 % des logements présentent des mesures de CO₂ en période d'occupation (entre 2h et 5h10) inférieures au seuil de 1000 ppm et 46 % des logements, des mesures inférieures au seuil de 1300 ppm.

La comparaison des concentrations médianes des indicateurs de qualité de l'air intérieur avec les valeurs guides d'air intérieur disponibles, mais non spécifiques aux logements, 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 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Plus d'un tiers des logements dépasse la valeur du benzène applicable au 1^{er} janvier 2016 ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Quelques logements dépassent les valeurs du benzène ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et du formaldéhyde ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) applicable au 1^{er} janvier 2015 (respectivement 1 et 5 logements). Aucun logement ne dépasse les valeurs réglementaires du radon ;
- pour les valeurs de gestion du Haut Conseil de la santé publique, deux logements dépassent la valeur d'action rapide des $\text{PM}_{2.5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et un logement celle du trichloroéthylène ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Aucun logement ne dépasse les valeurs d'actions rapides du formaldéhyde et du benzène (respectivement 100 et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Près du tiers des logements dépasse la valeur repère des $\text{PM}_{2.5}$ applicable au 1^{er} janvier 2015 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cinq logements dépassent la valeur repère du formaldéhyde ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et 4 logements, la valeur à long terme du radon ($100 \text{ Bq}/\text{m}^3$). Un logement dépasse la valeur repère du benzène ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et 1 logement celle du trichloroéthylène ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La quasi-totalité des logements dépasse la valeur cible du formaldéhyde ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Plus de deux tiers des logements dépasse la valeur cible des $\text{PM}_{2.5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et plus d'un tiers celle du benzène ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Aucun dépassement des valeurs d'action rapide ou repère du tétrachloroéthylène n'a été observé ;
- 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}). Plus des deux tiers des logements dépasse la VGAI long terme des $\text{PM}_{2.5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Plus d'un tiers 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}). Près d'un tiers des logements dépasse la VGAI long terme du NO_2 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition supérieure à 1 an). Un logement dépasse 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}). Aucun dépassement des valeurs sanitaires de l'acétaldéhyde n'a été observé.

Les bâtiments sont équipés majoritairement de systèmes de ventilation mécanique contrôlée et pour une minorité de systèmes de ventilation naturelle hybride. 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 autoréglables. L'inspection visuelle des éléments de ventilation dans 9 logements montre que la quasi-totalité des entrées d'air, des bouches de soufflage et d'extraction n'est pas obturée, est généralement propre et est peu ou non bruyante. 45 à 55 % des mesures réalisées aux bouches d'extraction de 16 systèmes VMC simple flux hygroréglables présentent une pression dans les plages de fonctionnement préconisées par les fabricants. Sur ces 16 logements, 6 présentent l'intégralité de leurs mesures de pression dans cette plage de fonctionnement. Pour les systèmes VMC double flux autoréglables des 8 logements récents dont les débits d'extraction ont été comparés aux débits réglementaires, les débits extraits réduits en cuisine et les débits réduits totaux sont conformes à la réglementation dans tous les cas alors que ce n'est pas le cas pour les débits à atteindre en cuisine (grand débit), en salle de bain et en WC.

8. ETUDE EXPLORATOIRE DE L'INFLUENCE DE QUELQUES CRITERES D'INTERET SUR LA QUALITE DE L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR

8.1 PREAMBULE

En amont d'une exploitation approfondie des données de mesures et des caractéristiques des bâtiments et de leurs occupants, une étude exploratoire a été menée sur quelques critères d'intérêt.

Ces critères d'intérêt spécifiques au logement et les raisons qui ont mené à les sélectionner sont les suivants :

- **pièces de mesure du logement (chambre et séjour)** qui ont fait l'objet de mesures d'indicateurs de qualité d'air intérieur et de confort en simultanée et qui permettent d'étudier la variation spatiale dans le logement de ces paramètres ;
- **type d'habitat (maison individuelle et logement collectif)** car des spécificités marquées en matière de bâtiment, de logement et d'occupation ont été identifiées selon ce critère dans la partie descriptive des bâtiments et de leurs occupants ;
- **catégorie de logement (récent et rénové)** qui constitue un critère de sélection des bâtiments ciblés par cette étude.

Du fait de la réalisation des enquêtes en période de chauffe et de hors chauffe pour chaque logement, il a été décidé d'étudier l'influence des 3 critères pour chaque période d'enquête respectivement, et non sur les moyennes annuelles.

L'étude de l'influence de la pièce de mesure a été menée sur l'intégralité des 72 logements de cette étude et permet d'étudier la variation spatiale dans le logement des indicateurs de qualité d'air et des paramètres de confort. En cas d'absence de différence significative de niveaux entre le séjour et la chambre des logements, la moyenne des mesures des logements a été utilisée pour la suite de l'exploitation exploratoire. En cas de différence significative, la suite de l'exploitation est réalisée pour chaque pièce de mesure des logements.

L'étude de l'influence du type d'habitat et de la catégorie de logement n'a pas pu être réalisée sur l'intégralité des 72 logements de cette étude. En effet, la Figure 8-1 illustre l'effectif de logements de l'échantillon pour ces deux variables d'intérêt et montre un déséquilibre des effectifs en particulier entre les maisons individuelles récentes et rénovées. Du fait de ce déséquilibre, il a été décidé de constituer deux sous-échantillons :

- Logement collectif/récent (n=28) et Maison individuelle/récent (n=16) afin d'étudier l'influence du type d'habitat ;
- Logement collectif/récent (n=28) et Logement collectif/rénové (n=27) afin d'étudier l'influence de la catégorie de logement.

Cette étude est menée à titre exploratoire. Seule l'étude approfondie des données de mesures avec l'ensemble des caractéristiques des bâtiments et de leurs occupants, actuellement en cours, pourra permettre de conclure sur la réelle influence des facteurs étudiés ici.

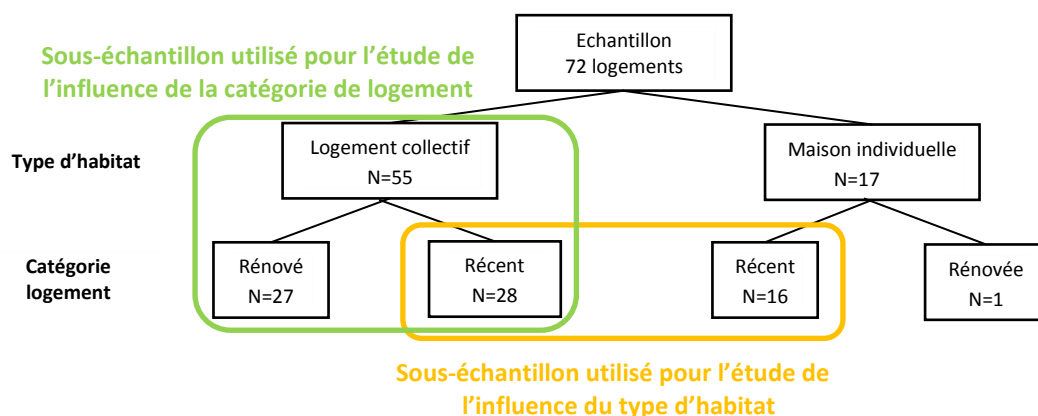


Figure 8-1 - Effectif des logements de l'échantillon selon les deux variables d'intérêt (type d'habitat, catégorie de logement) et indication des deux sous-échantillons utilisés pour l'étude de l'influence de ces deux critères (type d'habitat en orange, catégorie de logement en vert)

8.2 METHODES STATISTIQUES UTILISEES

Afin d'étudier l'influence des 3 critères d'intérêt sur les niveaux de qualité d'air intérieur et les paramètres de confort thermique, deux tests statistiques ont été utilisés :

- Le test des rangs signés de Wilcoxon sur séries appariées a été utilisé pour la comparaison des moyennes des variables quantitatives (aldéhydes, COV, NO₂, radon, CO₂, température et humidité relative de l'air) car les mesures sont appariées (pour chaque logement, les mesures ont été réalisées au cours de deux périodes d'enquête : chauffe et hors chauffe). En respect de ses conditions d'application, ce test n'a pas été utilisé pour les effectifs inférieurs à 8.
- Le test du Chi² a été utilisé pour la comparaison des fréquences des logements présentant un indice de contamination fongique (ICF) positif.

Le seuil de significativité des tests a été fixé à 5 % ($p_value < 0,05$).

Dans le cas où une différence significative est mise en évidence, l'intensité de cette différence est estimée en tenant compte des niveaux de concentrations des indicateurs et des incertitudes de prélèvement et d'analyses.

8.3 INFLUENCE DE LA PIECE DE MESURE

L'étude de l'influence de la pièce de mesure (séjour et chambre) a été conduite, pour chaque période d'enquête (chauffe et hors chauffe) des 72 logements de l'étude, pour les indicateurs de qualité d'air intérieur mesurés dans ces deux pièces (aldéhydes, COV, NO₂ et radon), le dioxyde de carbone et les paramètres de confort thermique (température et humidité relative de l'air). L'étude de l'influence de la pièce de mesure n'a pas été réalisée pour les PM_{2.5} car ce paramètre a été seulement mesuré dans une seule pièce (séjour).

Les statistiques descriptives des résultats de mesures de ces indicateurs et paramètres, par pièce et période d'enquête ainsi que les valeurs des p-value du test de Wilcoxon permettant de comparer les mesures entre les deux pièces sont présentés dans les Tableau 8-1 et Tableau 8-2.

Aucune différence significative entre la chambre et le séjour n'a été mise en évidence, ni en chauffe, ni en hors chauffe, pour les mesures des aldéhydes, des 12 COV, du radon, de la température et de l'humidité relative de l'air. Les concentrations mesurées dans ces deux pièces n'étant pas

statistiquement différentes, il a été décidé de calculer la moyenne par logement et de ne plus tenir compte des pièces de mesures pour la suite de l'étude exploratoire.

Des différences statistiquement significatives ont été observées en période de chauffe, pour le NO₂ (concentration plus élevée dans le séjour) et en période de hors-chauffe pour le CO₂ occupation+inoccupation (concentration plus élevée dans la chambre). L'intensité de ces différences est faible car les différences des concentrations médianes sont de l'ordre de 3 µg/m³ pour le NO₂ et de 70 ppm pour le CO₂.

8.4 INFLUENCE DU TYPE D'HABITAT POUR LES CONSTRUCTIONS RECENTES

L'étude de l'influence de type d'habitat (maison individuelle et logement collectif) a été conduite pour les 44 logements récents, pour chaque période d'enquête (chauffe et hors chauffe) et pour les indicateurs de qualité d'air intérieur (aldéhydes, COV, NO₂, PM_{2,5} et radon), le dioxyde de carbone et les paramètres de confort thermique (température et humidité relative de l'air) et le pourcentage de logements avec un ICF positif.

Les statistiques descriptives de ces indicateurs et paramètres ainsi que les valeurs des p-value du test de Wilcoxon et du test de Chi2 sont présentés dans les Tableau 8-3, Tableau 8-4 et Tableau 8-5.

Aucune différence significative de concentration entre la maison individuelle récente et le logement collectif récent n'a été mise en évidence, ni en chauffe, ni en hors chauffe, pour les aldéhydes, les PM_{2,5}, le radon, le CO₂ et le pourcentage de logements avec un ICF positif.

Des différences statistiquement significatives ont été observées :

- sur les deux périodes d'enquêtes pour le NO₂ et l'humidité relative ;
- sur la période de chauffe pour la température ;
- sur la période de hors-chauffe pour 3 des 12 COV (benzène, éthylbenzène, (m+p)-xylènes). L'intensité de la différence de concentration observée pour le benzène et l'éthylbenzène est faible.

Les logements collectifs récents présentent les concentrations les plus élevées en NO₂ quelle que soit la période, les concentrations en benzène en période hors-chauffe et les mesures de température les plus fortes en période de chauffe. Les maisons individuelles récentes présentent les valeurs d'humidité relative les plus fortes quelle que soit la période et les concentrations les plus élevées en éthylbenzène et en (m+p)-xylènes en période de hors-chauffe.

8.5 INFLUENCE DE LA CATEGORIE DE LOGEMENT POUR L'HABITAT COLLECTIF

L'étude de l'influence de la catégorie de logement (récent et rénové) a été conduite pour les 55 logements collectifs, pour chaque période d'enquête (chauffe et hors chauffe) et pour les indicateurs de qualité d'air intérieur (aldéhydes, COV, NO₂, PM_{2,5} et radon), le dioxyde de carbone et les paramètres de confort thermique (température et humidité relative de l'air) et le pourcentage de logements avec un ICF positif.

Les statistiques descriptives de ces indicateurs et paramètres ainsi que les valeurs des p-value du test de Wilcoxon et du test de Chi2 sont présentés dans les Tableau 8-6, Tableau 8-7 et Tableau 8-8.

Aucune différence significative de concentration entre le logement collectif récent et le logement collectif rénové n'a été mise en évidence, ni en chauffe, ni en hors chauffe, pour les PM_{2,5}, le radon, la température et le pourcentage de logements avec un ICF positif.

Des différences statistiquement significatives ont été observées :

- sur les deux périodes d'enquêtes pour l'hexaldéhyde et l'alpha-pinène ;

- sur la période de chauffe pour l'acétaldéhyde, le 1,2,4-triméthylbenzène, le o-xylène, le CO₂ mesuré dans la chambre en occupation (entre 2h et 5h10). L'intensité de la différence de concentration observée pour le 1,2,4-triméthylbenzène et le o-xylène est faible ;
- sur la période de hors chauffe pour l'humidité relative.

Les logements collectifs récents présentent les concentrations les plus élevées en hexaldéhyde et alpha-pinène quelle que soit la période, les concentrations en acétaldéhyde, en 1,2,4-triméthylbenzène, en o-xylène, en CO₂ mesuré dans la chambre en occupation (entre 2h et 5h10) en période chauffe. Les logements collectifs rénovés présentent les valeurs les plus fortes d'humidité relative en période de hors-chauffe.

8.6 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE EXPLORATOIRE

L'ensemble des facteurs de confusion n'ayant pas été considéré dans cette approche bivariée, les conclusions formulées ici le sont à titre provisoire.

L'étude exploratoire a permis de montrer **l'absence de différence entre le séjour et la chambre** des 72 logements pour la majorité des indicateurs de qualité d'air intérieur et les paramètres de confort thermique. Deux exceptions sont toutefois à souligner pour le NO₂ (concentration plus élevée dans le séjour en période de chauffe) et pour le CO₂ occupation + inoccupation (concentration plus élevée dans la chambre en période de hors-chauffe) bien que l'intensité de la différence soit faible dans les deux cas.

En considérant deux sous-échantillons parmi les 72 logements, il a été possible d'étudier les différences entre maisons individuelles et logements collectifs pour les 44 logements récents, et les différences entre logements récents et logements rénovés pour les 55 logements collectifs. Les **différences observées** sont les suivantes :

- Des différences hautement significatives ($p < 0,001$) ont été observées pour chaque période d'enquête selon le type d'habitat (humidité relative et NO₂) et selon la catégorie de logement (hexaldéhyde). Les maisons individuelles récentes présentent des mesures d'humidité relative plus élevées que celles des logements collectifs récents. Ces derniers présentent des concentrations en NO₂ plus élevées que celles des maisons individuelles récentes. Les logements collectifs récents présentent des concentrations plus élevées en hexaldéhyde que celles des logements collectifs rénovés.
- Des différences significatives importantes ($p < 0,01$) ont été observées selon la catégorie de logement, pour chaque période d'enquête (alpha-pinène), en période de chauffe (1,2,4-triméthylbenzène, o-xylène) et en période de hors chauffe (humidité relative). Des différences significatives ont également été observées selon le type d'habitat en période de hors-chauffe pour le benzène mais l'intensité de la différence est faible. Les logements collectifs récents présentent en période de chauffe des concentrations en benzène plus élevées que celles des maisons individuelles récentes. Les logements collectifs récents présentent pour chaque période d'enquête des concentrations plus élevées en alpha-pinène que celles des logements collectifs rénovés. Les logements collectifs récents présentent en période de chauffe des concentrations plus élevées en 1,2,4-triméthylbenzène et en o-xylène que celles des logements collectifs rénovés bien que l'intensité des différences soit faible.
- Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées selon le type d'habitat en période de chauffe (température) et de hors-chauffe (éthylbenzène, (m+p)-xylènes) et selon la catégorie de logement uniquement en période de chauffe (acétaldéhyde et CO₂ chambre en occupation entre 2h et 5h10). Les maisons individuelles récentes présentent des concentrations plus élevées en éthylbenzène et (m+p)-xylènes que celles des logements collectifs récents. Ces derniers présentent des températures de l'air plus fortes que celles des maisons individuelles récentes.

Les logements collectifs récents présentent des concentrations plus élevées en acétaldéhyde et en CO₂ en occupation entre 2h et 5h10 plus élevées que celles des logements collectifs rénovés.

Aucune différence significative n'a été observée pour ces deux sous-échantillons, ni en chauffe, ni en hors chauffe, pour le formaldéhyde, pour 6 COV (1-méthoxy-2-propanol, 2-butoxyéthanol, n-décane, limonène, styrène, toluène) sur 12, pour les PM_{2.5}, le radon et le pourcentage de logements avec un ICF positif.

Il convient de rappeler que les résultats de l'étude exploratoire doivent être considérés avec prudence pour les raisons énoncées en début de paragraphe, mais également du fait qu'ils concernent des sous-échantillons de l'échantillon des 72 logements qui ne sont par ailleurs pas représentatifs de l'ensemble des bâtiments performants en énergie.

Tableau 8-1 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV par pièces de mesure et période d'enquête des 72 logements et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre la chambre et le séjour

		Pièces	CHAUFFE							HORS-CHAUFFE								
			Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence chambre/séjour	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence chambre/séjour
Aldéhydes (µg/m³)	Acétaldéhyde	Chambre	59	12,3 (6,9)	1,6	7,4	10,8	15,6	33,7	Pas de différence significative	59	10,5 (5,2)	3,1	6,0	9,9	13,7	28,6	Pas de différence significative
		Séjour	60	14,6 (8,5)	1,4	7,9	12,6	18,4	45,2		60	11,3 (5,5)	3,9	6,4	10,8	14,2	30,0	
	Formaldéhyde	Chambre	59	15,6 (7,8)	5,5	9,8	13,8	19,6	42,9	Pas de différence significative	59	21,0 (8,7)	4,9	15,1	19,6	26,1	45,8	Pas de différence significative
		Séjour	60	16,8 (6,9)	7,1	11,9	16,3	20,0	40,0		60	20,1 (8,5)	5,0	13,0	19,4	25,3	40,8	
	Hexaldéhyde	Chambre	61	21,9 (19,9)	0,6	8,9	15,6	28,3	98,0	Pas de différence significative	61	30,2 (20,8)	5,4	16,3	23,0	38,3	95,3	Pas de différence significative
		Séjour	64	24,6 (20,8)	0,3	10,3	20,0	29,2	106,2		64	28,2 (17,7)	4,6	16,2	23,1	36,6	82,0	
Composés organiques volatils (µg/m³)	1,2,4-Triméthylbenzène	Chambre	60	2,2 (2,8)	0	0,8	1,3	2,2	16,4	Pas de différence significative	60	1,4 (1,9)	0,1	0,5	0,7	1,4	8,9	Pas de différence significative
		Séjour	58	2,1 (2,2)	0,3	0,9	1,5	2,3	11,9		58	1,5 (1,9)	0,1	0,5	0,8	1,7	10,6	
	1-Méthoxy-2-propanol	Chambre	61	2,2 (4,9)	0	0,3	0,7	1,8	31,5	Pas de différence significative	61	1,9 (3,5)	0	0,3	0,8	2,1	24,7	Pas de différence significative
		Séjour	62	2,5 (5,6)	0	0,3	0,8	1,7	35,1		62	1,4 (2,2)	0	0,3	0,7	1,2	12,2	
	2-Butoxyéthanol	Chambre	60	1,3 (1,5)	0,2	0,4	0,8	1,6	8,8	Pas de différence significative	60	3,1 (3,0)	0,2	1,0	2,1	4,3	13,5	Pas de différence significative
		Séjour	56	1,8 (3,3)	0,2	0,5	1,1	1,8	23,7		56	2,9 (3,0)	0,2	0,9	1,8	3,7	12,8	
	alpha-Pinène	Chambre	68	58,5 (140,5)	0,3	9,4	15,9	42,8	1017,4	Pas de différence significative	68	62,7 (134,7)	1,6	8,4	23,1	49,9	900,9	Pas de différence significative
		Séjour	68	55,2 (128,0)	1,6	10,4	20,6	41,9	831,8		68	52,2 (98,9)	1,7	7,3	20,5	55,4	623,2	
	Benzène	Chambre	68	2,4 (1,9)	0,4	1,2	1,9	3,1	14,4	Pas de différence significative	68	0,9 (0,7)	0,2	0,5	0,7	1,1	3,5	Pas de différence significative
		Séjour	67	2,6 (1,9)	0,3	1,3	1,9	3,2	11,5		67	1,1 (1,0)	0,1	0,5	0,9	1,2	5,7	
	n-Décane	Chambre	67	4,7 (6,6)	0,2	1,2	2,1	4,6	33,5	Pas de différence significative	67	3,5 (5,7)	0,2	0,9	1,4	3,9	33,5	Pas de différence significative
		Séjour	67	4,8 (5,9)	0,2	1,1	2,1	6,7	27,2		67	3,8 (5,7)	0,2	0,9	1,5	4,3	30,7	
	Ethylbenzène	Chambre	69	1,5 (1,0)	0,4	0,7	1,1	2,0	5,2	Pas de différence significative	69	1,7 (2,9)	0,2	0,5	0,9	1,6	23,1	Pas de différence significative
		Séjour	69	1,6 (1,0)	0,4	0,8	1,2	2,4	4,3		69	1,7 (3,2)	0,2	0,6	0,8	1,6	26,0	
	Limonène	Chambre	69	47,5 (49,1)	1,9	15,5	23,1	71,3	195,3	Pas de différence significative	69	19,4 (23,3)	1,4	6,1	11,9	19,5	118,8	Pas de différence significative
		Séjour	68	53,0 (42,5)	4,5	18,9	40,6	74,7	178,6		68	21,6 (26,8)	1,8	7,1	12,0	22,0	127,4	
	Styrène	Chambre	69	1,3 (0,8)	0,2	0,6	0,9	1,7	4,0	Pas de différence significative	69	1,3 (1,4)	0,2	0,6	0,8	1,5	8,8	Pas de différence significative
		Séjour	69	1,4 (1,0)	0,2	0,7	1,1	1,9	4,8		69	1,3 (1,3)	0,2	0,6	1,0	1,6	7,3	
	Toluène	Chambre	69	5,8 (3,7)	1,3	3,2	4,5	8,0	18,4	Pas de différence significative	69	5,1 (7,0)	0,7	2,0	3,2	5,0	52,9	Pas de différence significative
		Séjour	68	6,5 (3,7)	1,8	4,0	5,8	8,9	19,7		68	5,7 (6,6)	1,1	2,4	4,1	6,5	47,3	
	(m+p)-Xylènes	Chambre	69	3,7 (2,7)	0,8	2,0	2,7	4,5	12,7	Pas de différence significative	69	4,1 (7,1)	0,5	1,1	2,0	4,2	53,3	Pas de différence significative
		Séjour	69	4,0 (2,9)	0,8	1,9	3,0	5,2	13,1		69	4,4 (8,0)	0,6	1,2	2,0	4,5	60,8	
	o-Xylène	Chambre	69	1,5 (1,1)	0,3	0,8	1,1	1,8	5,2	Pas de différence significative	69	1,6 (3,0)	0,2	0,5	0,8	1,6	23,1	Pas de différence significative
		Séjour	69	1,7 (1,3)	0,4	0,8	1,2	2,0	5,6		69	1,8 (3,5)	0,3	0,5	0,9	1,8	27,3	
NO ₂		Chambre	66	15,2 (8,9)	0,0	5,1	15,8	22,0	37,3	P _{value} < 0,05	66	16,6 (16,4)	5,1	5,1	12,3	17,1	96,4	Pas de différence significative
		Séjour	65	19,8 (10,3)	5,1	13,0	19,2	24,2	57,3		65	15,7 (11,1)	5,1	5,1	14,2	18,9	65,7	

Tableau 8-2 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures du radon, du CO₂ et des mesures de température et d'humidité relative de l'air par pièces de mesure et période d'enquête des 72 logements et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures entre la chambre et le séjour

	Pièces	CHAUFFE								HORS-CHAUFFE							
		Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence chambre/séjour	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence chambre/séjour
Radon (Bq/m³)	Chambre	40	43 (48)	7	19	29	41	240	Pas de différence significative	Aucune mesure de radon en période hors-chauffe							
	Séjour	45	53 (62)	8	21	34	55	343									
CO₂ (ppm) occupation + inoccupation	Chambre	63	798 (267)	386	571	743	930	1633	Pas de différence significative	63	668 (217)	391	472	622	787	1248	P value < 0,05
	Séjour	62	718 (209)	385	549	700	836	1253		62	567 (123)	392	454	552	647	838	
Température (°C)	Chambre	52	20,6 (1,9)	16,5	19,2	20,4	21,9	23,7	Pas de différence significative	52	23,8 (2,0)	18,6	22,5	23,9	25,0	28,3	Pas de différence significative
	Séjour	51	21,3 (1,6)	17,8	20,4	21,2	21,9	25,5		51	24,0 (2,0)	20,0	22,3	24,1	25,1	29,3	
Humidité relative (%)	Chambre	51	41,5 (10,5)	21,4	34,7	40,5	49,9	65,4	Pas de différence significative	51	52,1 (7,0)	39,5	46,3	51,5	57,2	68,5	Pas de différence significative
	Séjour	49	39,4 (8,8)	21,1	33,5	39,4	45,9	56,6		49	51,3 (7,7)	37,8	45,2	51,0	55,9	68,5	

Tableau 8-3 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les maisons individuelles et les logements collectifs

		Type d'habitat	CHAUFFE								HORS-CHAUFFE							
			Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement
Aldéhydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Acétaldéhyde	Maison	14	13,7 (7,8)	4,7	7,2	12,4	16,8	30,0	Pas de différence significative	14	12,3 (5,7)	4,9	8,3	11,0	14,8	25,3	Pas de différence significative
		Logement	22	15,5 (7,0)	4,7	11,1	14,9	20,1	34,1		22	11,6 (4,6)	4,5	8,3	11,8	14,2	21,6	
	Formaldéhyde	Maison	14	17,6 (7,7)	7,6	11,3	16,3	23,1	36,2	Pas de différence significative	14	21,4 (9,1)	8,7	13,5	20,8	24,3	38,6	Pas de différence significative
		Logement	22	15,5 (7,3)	8,1	11,2	13,1	17,6	41,4		22	19,0 (6,7)	8,5	13,7	17,3	22,9	35,5	
	Hexaldéhyde	Maison	14	37,0 (24,2)	5,8	27,0	28,7	45,9	87,5	Pas de différence significative	14	42,1 (19,4)	17,9	22,7	44,9	56,1	77,0	Pas de différence significative
		Logement	24	29,5 (23,9)	4,7	14,8	22,8	34,7	106,2		24	35,7 (18,9)	12,6	22,3	31,0	42,4	88,7	
Composés organiques volatils ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,2,4-Triméthylbenzène	Maison	8	2,2 (3,6)	0,4	0,7	1,0	1,5	11,0	Pas de différence significative	8	2,2 (2,4)	0,5	0,6	1,2	3,2	7,5	Pas de différence significative
		Logement	26	2,8 (2,3)	0	1,5	1,9	4,0	10,8		26	1,2 (1,3)	0,2	0,5	0,7	1,4	5,5	
	1-Méthoxy-2-propanol	Maison	10	3,1 (5,6)	0,2	0,3	1,0	1,3	17,7	Pas de différence significative	10	1,2 (1,4)	0,3	0,3	0,9	1,2	4,9	Pas de différence significative
		Logement	25	2,9 (7,3)	0	0,3	0,5	1,5	33,3		25	1,9 (3,8)	0,2	0,3	0,5	1,6	18,5	
	2-Butoxyéthanol	Maison	8	1,3 (1,2)	0,2	0,2	1,1	2,1	3,5	Pas de différence significative	8	1,7 (1,5)	0,2	0,6	1,1	2,8	4,6	Pas de différence significative
		Logement	26	1,4 (1,8)	0,2	0,4	0,9	1,6	8,9		26	3,6 (2,9)	0,5	1,4	2,7	5,3	10,3	
	alpha-Pinène	Maison	15	48,6 (47,6)	6,3	19,1	25,8	49,7	148,1	Pas de différence significative	15	59,8 (33,6)	7,5	30,1	59,6	90,4	115,8	Pas de différence significative
		Logement	26	103,1 (203,3)	4,8	12,8	29,5	77,4	924,6		26	96,2 (177,2)	5,0	12,8	28,3	78,5	762,0	
	Benzène	Maison	16	2,8 (3,0)	0,7	1,0	1,6	3,4	13,0	Pas de différence significative	16	0,7 (0,7)	0,1	0,3	0,4	0,7	3,1	P value < 0,01
		Logement	25	2,6 (1,3)	0,3	1,8	2,6	3,4	5,1		25	1,0 (0,4)	0,4	0,6	0,9	1,1	2,1	
	n-Décane	Maison	15	4,1 (7,0)	0,3	1,1	1,7	4,1	28,1	Pas de différence significative	15	4,9 (7,6)	0,6	1,0	1,5	7,2	30,0	Pas de différence significative
		Logement	26	4,8 (5,7)	0,5	1,6	2,3	5,1	20,0		26	2,5 (2,4)	0,2	1,0	1,4	3,8	8,7	
	Ethylbenzène	Maison	16	1,6 (1,0)	0,6	0,9	1,2	2,1	3,8	Pas de différence significative	16	2,2 (1,7)	0,4	0,7	1,7	3,5	5,4	P value < 0,05
		Logement	26	1,7 (1,1)	0,4	0,8	1,6	2,6	4,7		26	1,0 (0,7)	0,2	0,4	0,8	1,2	2,9	
	Limonène	Maison	16	51,6 (47,8)	4,2	17,3	31,3	85,4	177,8	Pas de différence significative	16	18,7 (11,9)	2,7	9,8	17,2	23,4	41,9	Pas de différence significative
		Logement	26	51,6 (44,8)	9,5	17,4	33,6	73,3	164,2		26	27,0 (34,0)	2,3	7,6	15,4	19,6	123,1	
	Styrène	Maison	16	1,3 (0,8)	0,7	0,8	1,0	1,6	3,5	Pas de différence significative	16	1,3 (0,9)	0,3	0,4	0,8	2,4	2,7	Pas de différence significative
		Logement	26	1,3 (0,9)	0,3	0,7	1,1	1,8	4,4		26	1,0 (0,5)	0,2	0,6	1,0	1,4	2,0	
	Toluène	Maison	16	5,8 (4,1)	1,9	3,7	4,2	7,1	19,1	Pas de différence significative	16	8,4 (12,8)	0,9	1,8	3,3	8,2	50,1	Pas de différence significative
		Logement	26	7,0 (3,9)	1,8	4,2	5,8	8,7	17,2		26	4,7 (2,9)	1,1	2,7	3,6	6,6	11,6	
	(m+p)-Xylènes	Maison	16	3,6 (2,6)	1,3	2,0	3,2	4,3	12,2	Pas de différence significative	16	5,6 (4,6)	0,9	2,1	3,9	8,8	18,3	P value < 0,05
		Logement	26	4,6 (3,2)	1,1	2,2	2,8	7,6	12,9		26	2,6 (2,3)	0,5	1,0	2,0	2,5	9,8	
	o-Xylène	Maison	16	1,5 (1,2)	0,4	0,8	0,9	1,6	4,1	Pas de différence significative	16	1,9 (1,5)	0,4	0,9	1,3	2,9	5,9	Pas de différence significative
		Logement	26	2,0 (1,2)	0,5	1,0	1,6	3,0	4,8		26	1,2 (1,0)	0,2	0,5	0,8	1,9	3,6	

Tableau 8-4 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des PM_{2,5}, du radon, du CO₂, des mesures de température et d'humidité relative de l'air et des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats des tests de Wilcoxon et de Chi2 (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures/pourcentages entre les maisons individuelles et les logements collectifs

	Type d'habitat	CHAUFFE								HORS-CHAUFFE							
		Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement	Nb log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement
PM _{2,5} (µg/m ³)	Maison	3	9,9 (4,1)	6,1	6,1	9,4	14,2	14,2	Test non réalisé (effectif < 8)	3	8,5 (1,2)	7,1	7,1	8,8	9,4	9,4	Test non réalisé (effectif < 8)
	Logement	12	33,7 (29,4)	7,8	14,8	21,8	46,9	104,5		12	12,0 (4,9)	2,5	8,5	12,6	15,6	18,8	
Radon (Bq/m ³)	Maison	12	45 (33)	17	23	25	68	118	Pas de différence significative	Aucune mesure de radon en période hors-chauffe							
	Logement	13	48 (68)	8	15	30	43	266									
CO ₂ chambre (ppm) occupation + inoccupation	Maison	14	881 (294)	531	635	857	909	1509	Pas de différence significative	14	663 (250)	420	459	602	795	1248	Pas de différence significative
	Logement	23	823 (233)	534	632	743	1002	1298		23	683 (216)	392	472	675	864	1057	
CO ₂ chambre (ppm) occupation (entre 2 et 5h10)	Maison	14	1059 (362)	454	822	1125	1315	1754	Pas de différence significative	14	849 (392)	371	556	840	1012	1620	Pas de différence significative
	Logement	23	1145 (541)	437	650	1055	1479	2358		23	939 (484)	363	532	846	1260	2091	
Température (°C)	Maison	14	20,2 (1,4)	17,6	19,3	20,0	21,0	24,8	P _{value} < 0,05	14	23,2 (1,8)	18,6	22,2	23,4	24,5	26,8	Pas de différence significative
	Logement	15	21,0 (1,3)	17,5	20,4	21,3	21,7	23,7		15	24,5 (2,3)	20,7	22,5	24,4	26,0	29,3	
Humidité relative (%)	Maison	13	46,6 (7,8)	33,2	39,3	47,6	53,2	60,1	P _{value} < 0,001	13	55,8 (6,6)	45,5	51,4	55,9	60,8	68,5	P _{value} < 0,001
	Logement	15	37,9 (6,7)	25,1	32,1	37,9	42,4	50,4		15	47,3 (6,4)	37,8	42,3	45,9	52,5	60,3	
ICF (%)	Maison	9 logements sur 16 (56%)															Pas de différence significative
	Logement	11 logements sur 24 (46%)															

Tableau 8-5 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des NO₂ des 44 logements récents par type d'habitat et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les maisons individuelles et les logements collectifs

		Type d'habitat	Pièces	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement
NO ₂ (µg/m ³)	CHAUFFE	Maison	Chambre	16	9,7 (8,3)	0,0	5,1	5,1	17,3	29,0	P _{value} < 0,001
		Logement	Chambre	25	17,8 (8,4)	5,1	12,8	15,4	22,6	37,3	
		Maison	Séjour	16	11,9 (6,8)	5,1	5,1	10,6	18,8	22,8	P _{value} < 0,001
		Logement	Séjour	25	22,4 (11,1)	5,1	16,5	20,7	25,5	57,3	
	HORS-CHAUFFE	Maison	Sans objet	16	8,9 (5,2)	5,1	5,1	5,1	14,8	19,4	P _{value} < 0,001
		Logement	objet	26	20,2 (16,7)	5,1	11,1	15,9	22,5	96,4	

Tableau 8-6 – Statistiques descriptives des concentrations intérieures des aldéhydes et des COV des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les logements collectifs récents et les logements collectifs rénovés

		Catégorie Logement collectif	CHAUFFE								HORS-CHAUFFE							
			Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence récent/rénové	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence récent/rénové
Aldéhydes (µg/m³)	Acétaldéhyde	Récent	22	15,5 (7,0)	4,7	11,1	14,9	20,1	34,1	<0,05	22	11,6 (4,6)	4,5	8,3	11,8	14,2	21,6	Pas de différence significative
		Rénové	26	12,0 (7,6)	1,5	7,5	10,0	11,5	34,5		26	9,9 (5,2)	4,0	5,7	8,7	12,7	24,8	
	Formaldéhyde	Récent	22	15,5 (7,3)	8,1	11,2	13,1	17,6	41,4	Pas de différence significative	22	19,0 (6,7)	8,5	13,7	17,3	22,9	35,5	Pas de différence significative
		Rénové	26	16,3 (6,8)	7,7	11,8	13,8	20,8	35,1		26	20,8 (8,9)	5,5	14,3	20,0	25,8	37,0	
	Hexaldéhyde	Récent	24	29,5 (23,9)	4,7	14,8	22,8	34,7	106,2	P value <0,001	24	35,7 (18,9)	12,6	22,3	31,0	42,4	88,7	P value <0,001
		Rénové	26	11,9 (6,8)	0,4	7,2	10,7	16,1	28,2		26	17,1 (8,5)	5,8	9,8	17,2	21,1	37,8	
Composés organiques volatils (µg/m³)	1,2,4- Triméthylbenzène	Récent	26	2,8 (2,3)	0	1,5	1,9	4,0	10,8	P value <0,01	26	1,2 (1,3)	0,2	0,5	0,7	1,4	5,5	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,4 (1,7)	0,5	0,8	1,0	1,4	9,3		26	1,3 (1,8)	0,2	0,5	0,7	1,4	9,8	
	1-Méthoxy-2- propanol	Récent	25	2,9 (7,3)	0	0,3	0,5	1,5	33,3	Pas de différence significative	25	1,9 (3,8)	0,2	0,3	0,5	1,6	18,5	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,6 (2,0)	0,3	0,3	0,9	2,2	9,3		26	1,6 (1,8)	0,2	0,3	0,7	2,4	7,6	
	2-Butoxyéthanol	Récent	26	1,4 (1,8)	0,2	0,4	0,9	1,6	8,9	Pas de différence significative	26	3,6 (2,9)	0,5	1,4	2,7	5,3	10,3	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,7 (2,9)	0,2	0,3	0,9	1,7	14,6		26	2,7 (3,0)	0,3	0,9	1,5	3,3	11,7	
	alpha-Pinène	Récent	26	103,1 (203,3)	4,8	12,8	29,5	77,4	924,6	P value <0,01	26	96,2 (177,2)	5,0	12,8	28,3	78,5	762,0	P value <0,01
		Rénové	26	15,1 (12,4)	2,1	6,2	12,2	17,1	49,5		26	17,3 (24,1)	1,6	5,7	8,6	16,3	100,9	
	Benzène	Récent	25	2,6 (1,3)	0,3	1,8	2,6	3,4	5,1	Pas de différence significative	25	1,0 (0,4)	0,4	0,6	0,9	1,1	2,1	Pas de différence significative
		Rénové	26	2,2 (1,2)	0,7	1,4	1,9	2,7	5,6		26	1,3 (1,1)	0,3	0,6	0,9	1,7	4,6	
	n-Décane	Récent	26	4,8 (5,7)	0,5	1,6	2,3	5,1	20,0	Pas de différence significative	26	2,5 (2,4)	0,2	1,0	1,4	3,8	8,7	Pas de différence significative
		Rénové	26	5,1 (6,4)	0,5	1,1	2,1	6,6	27,4		26	3,6 (6,4)	0,5	0,7	1,4	3,2	31,2	
	Ethylbenzène	Récent	26	1,7 (1,1)	0,4	0,8	1,6	2,6	4,7	Pas de différence significative	26	1,0 (0,7)	0,2	0,4	0,8	1,2	2,9	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,3 (0,9)	0,4	0,7	1,1	1,8	3,5		26	2,1 (4,8)	0,3	0,6	0,8	1,2	24,6	
	Limonène	Récent	26	51,6 (44,8)	9,5	17,4	33,6	73,3	164,2	Pas de différence significative	26	27,0 (34,0)	2,3	7,6	15,4	19,6	123,1	Pas de différence significative
		Rénové	26	49,7 (39,8)	4,4	19,6	36,0	72,6	133,0		26	16,9 (19,7)	2,7	4,8	9,2	20,2	91,7	
	Styrène	Récent	26	1,3 (0,9)	0,3	0,7	1,1	1,8	4,4	Pas de différence significative	26	1,0 (0,5)	0,2	0,6	1,0	1,4	2,0	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,3 (0,9)	0,2	0,7	1,2	1,6	3,9		26	1,7 (2,0)	0,3	0,6	1,1	1,7	8,0	
	Toluène	Récent	26	7,0 (3,9)	1,8	4,2	5,8	8,7	17,2	Pas de différence significative	26	4,7 (2,9)	1,1	2,7	3,6	6,6	11,6	Pas de différence significative
		Rénové	26	5,6 (3,0)	1,9	2,9	4,9	7,7	11,5		26	4,3 (2,8)	1,1	2,1	3,9	4,7	12,2	
	(m+p)-Xylènes	Récent	26	4,6 (3,2)	1,1	2,2	2,8	7,6	12,9	Pas de différence significative	26	2,6 (2,3)	0,5	1,0	2,0	2,5	9,8	Pas de différence significative
		Rénové	26	3,2 (2,2)	0,8	1,6	2,5	4,1	9,4		26	4,9 (11,4)	0,6	1,0	1,7	3,3	57,0	
	o-Xylène	Récent	26	2,0 (1,2)	0,5	1,0	1,6	3,0	4,8	P value <0,01	26	1,2 (1,0)	0,2	0,5	0,8	1,9	3,6	Pas de différence significative
		Rénové	26	1,2 (1,0)	0,4	0,7	1,0	1,6	5,4		26	2,1 (5,1)	0,3	0,5	0,7	1,2	25,2	

Tableau 8-7 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des PM_{2,5}, du radon, du CO₂, des mesures de température et d'humidité relative de l'air des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats des tests de Wilcoxon et de Chi2 (p-value) permettant de comparer les concentrations/mesures/pourcentages entre les logements collectifs récents et rénovés

	Catégorie Logement collectif	CHAUFFE								HORS-CHAUFFE							
		Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence récent/rénové	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence récent/rénové
PM _{2,5} (µg/m³)	Récent	12	33,7 (29,4)	7,8	14,8	21,8	46,9	104,5	Pas de différence significative	12	12,0 (4,9)	2,5	8,5	12,6	15,6	18,8	Pas de différence significative
	Rénové	17	25,4 (39,5)	3,0	9,6	13,2	19,6	168,3		17	14,7 (9,2)	4,5	8,3	11,9	16,4	43,2	
Radon (Bq/m³)	Récent	13	48 (68)	8	15	30	43	266	Pas de différence significative	Aucune mesure de radon en période hors-chauffe							
	Rénové	19	48 (55)	8	19	32	54	245									
CO ₂ chambre (ppm) occupation + inoccupation	Récent	23	823 (233)	534	632	743	1002	1298	Pas de différence significative	23	683 (216)	392	472	675	864	1057	Pas de différence significative
	Rénové	25	741 (276)	386	550	677	897	1633		25	663 (209)	391	546	622	735	1154	
CO ₂ chambre (ppm) occupation (entre 2 et 5h10)	Récent	23	1145 (541)	437	650	1055	1479	2358	P _{value} <0,05	23	939 (484)	363	532	846	1260	2091	Pas de différence significative
	Rénové	25	772 (375)	357	509	709	901	1980		25	839 (477)	365	551	619	984	2391	
Température (°C)	Récent	26	21,0 (1,3)	17,5	20,4	21,3	21,7	23,7	Pas de différence significative	26	24,5 (2,3)	20,7	22,5	24,4	26,0	29,3	Pas de différence significative
	Rénové	26	21,3 (2,2)	16,5	19,3	21,7	23,1	25,5		26	23,8 (1,7)	20,3	22,3	24,0	24,9	27,1	
Humidité relative (%)	Récent	15	37,9 (6,7)	25,1	32,1	37,9	42,4	50,4	Pas de différence significative	15	47,3 (6,4)	37,8	42,3	45,9	52,5	60,3	P _{value} <0,01
	Rénové	23	38,9 (10,9)	21,1	32,0	38,8	43,8	65,4		23	52,5 (6,7)	42,2	46,8	51,9	56,2	68,5	
ICF positif (%)	Récent	11 logements sur 24 (46%)															Pas de différence significative
	Rénové	11 logements sur 25 (44%)															

Tableau 8-8 - Statistiques descriptives des concentrations intérieures des NO₂ des 55 logements collectifs par catégorie de logements et période d'enquête et résultats du test de Wilcoxon (p-value) permettant de comparer les concentrations entre les logements collectifs récents et les logements collectifs rénovés

		Catégorie Logement collectif	Pièces	Nb Log.	Moy. (ET)	Min	P25	Méd.	P75	Max	Différence maison/logement
NO ₂ (µg/m ³)	CHAUFFE	Récent	Chambre	25	17,8 (8,4)	5,1	12,8	15,4	22,6	37,3	Pas de différence significative
		Rénové	Chambre	24	16,6 (8,5)	0,0	7,7	18,7	22,6	28,1	
		Récent	Séjour	25	22,4 (11,1)	5,1	16,5	20,7	25,5	57,3	Pas de différence significative
		Rénové	Séjour	23	22,9 (8,7)	5,1	18,3	22,7	29,6	41,5	
	HORS-CHAUFFE	Récent	Sans objet	26	20,2 (16,7)	5,1	11,1	15,9	22,5	96,4	Pas de différence significative
		Rénové		26	17,2 (13,1)	5,1	10,9	14,0	19,7	66,2	

9. CONCLUSION

Cette étude dresse le **deuxième 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 dans la base nationale de référence OQAI-BPE depuis le démarrage de la campagne jusqu'à mai 2015. Les données de 72 logements répartis dans 43 bâtiments construits (entre 2008 et 2012) ou rénovés (entre 2010 et 2013) ont ainsi été sélectionnés puis validées au moyen du protocole de validation des données de la base OQAI-BPE. 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 règle du volontariat.

Cette deuxième exploitation des données de la base nationale OQAI-BPE a permis de confirmer les premières tendances observées lors de la première exploitation établie sur les 32 premiers logements investigués, à savoir une qualité de l'air intérieur globalement comparable dans les logements performants en énergie étudiés par rapport à la population nationale de logements, avec néanmoins quelques différences mises en évidence. Ainsi, dans les logements performants en énergie, on observe un indice de contamination fongique plus élevé en proportion, des concentrations en hexaldéhyde, alpha-pinène et limonène plus élevées, et des températures intérieures plus élevées.

La suite de l'exploitation de la base OQAI-BPE vise à l'analyse approfondie des données de mesures en fonction des caractéristiques des bâtiments et de leurs occupants, avec notamment pour objectif :

- d'identifier les déterminants des trois composés qui dépassent les niveaux de la CNL (hexaldéhyde, alpha-pinène et limonène) et d'évaluer la contribution relative associée à la pollution extérieure, aux composants du bâtiment (matériaux de construction et d'isolation à base de bois ?), aux occupants (utilisation de produits ménagers ?) et au renouvellement de l'air. Parmi les déterminants mis en évidence, il s'agira d'identifier ceux qui sont propres aux BPE. Cette analyse permettra de déterminer si certaines différences observées entre les BPE et le parc national de logements sont en réalité liées à l'évolution temporelle des concentrations entre la campagne nationale de 2003-2005 et les enquêtes BPE, et non pas au caractère « performant en énergie » des bâtiments nouvellement construits et rénovés ;
- d'identifier les déterminants d'une température intérieure plus élevée dans l'échantillon des BPE que dans la population nationale de logements en intégrant la localisation des bâtiments selon les zones climatiques, les pratiques d'aération, de chauffage et d'utilisation des protections solaires des occupants, etc. Le lien avec la perception du confort thermique par les occupants, notamment en période hors chauffe, sera étudié.

10. 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.

Air Lorraine (2014). Evaluation de la qualité de l'air intérieur dans des bâtiments lorrains performants en énergie, Programme Bâtiments performants en énergie (OQAI-BPE), 61 pages. http://www.air-lorraine.org/images/publications/Rapports_complets/20122013_CAI_Prébat_VF.pdf

Air Rhône-Alpes (2014). Qualité de l'air intérieur, confort et consommations énergétiques des bâtiments performants en énergie, Mesures réalisées dans 23 logements de la région Rhône-Alpes – années 2013-2014, Programme Bâtiments performants en énergie (OQAI-BPE), 47 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.

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, (rapport téléchargeable sur le site internet de l'OQAI : http://www.oqai.fr/userdata/documents/493_OQAI_BPE_2015_1er_Etat_QAI_Confort_Web.pdf)

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., Jédor 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.

Kirchner S., Mandin C., Derbez M., Ramalho O., Ribéron J., Dassonville C., Lucas J.P., Outarra M. (2011). Qualité d'air intérieur, qualité de vie. 10 ans de recherche pour mieux respirer. Ouvrage collectif, CSTB Editions, ISBN 978-2-86891-505-4.

Lucas JP, Ramalho O, Kirchner K, Ribéron J (2009). Etat de la ventilation dans le parc de logements français, Rapport DESE/SB – 2009-037, Juin 2009, 84 pages (http://www.oqai.fr/userdata/documents/296_OQAI_CNL_Etat_de_la_ventilation_2009_037.pdf)

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.

11. ANNEXE

11.1 ANNEXE 1 : ASSURANCE QUALITE DES PRELEVEMENTS ET DES ANALYSES

Parmi les prélèvements intérieurs réalisés, des prélèvements « témoins » et « duplicats » ont été effectués pour les aldéhydes, les COV, le NO₂ et les PM_{2,5}. Les premiers servent à évaluer la contamination potentielle liée à la manipulation et au transport des milieux de prélèvements et les seconds à évaluer la répétabilité du prélèvement. En complément des prélèvements intérieurs, des prélèvements ont été réalisés à l'extérieur hormis pour les aldéhydes afin d'appréhender le transfert de la pollution ambiante à l'intérieur des logements.

11.1.1 VALIDITE DES PRELEVEMENTS ET DES ANALYSES REALISEES

La qualité des résultats de prélèvements et des analyses est essentielle afin d'évaluer précisément la qualité de l'environnement intérieur. Le Tableau 11-1 présente le pourcentage de prélèvements et d'analyses valides (selon le protocole de validation de données) par rapport à ceux réalisés pour les indicateurs de confinement (CO₂), de confort thermique (température et humidité relative) et de qualité d'air intérieur (aldéhydes, COV, NO₂, PM_{2,5}, radon).

Tableau 11-1 – Nombre et pourcentage de prélèvements et analyses valides pour les indicateurs de confinement, de confort thermique et de qualité d'air intérieur

Indicateur QAI	Lieu et type de prélèvements ou mesures	Nb de prélèvement ou analyse réalisées	Nb de prélèvement ou analyse valides	Pourcentage de prélèvements ou analyse valides/réalisées
CO ₂	Intérieur	284	268	94%
Température/ Humidité relative	Intérieur	247	237	96%
ALD	Intérieur	274	263	96%
	Intérieur - témoin	105	94	90%
	Intérieur - duplicat	41	39	95%
COV	Intérieur	285	283	99%
	Intérieur - témoin	109	107	98%
	Intérieur - duplicat	39	37	95%
	Extérieur	119	118	99%
NO ₂	Intérieur	284	281	99%
	Intérieur - témoin	92	92	100%
	Intérieur - duplicat	42	42	100%
	Extérieur	118	118	100%
PM _{2,5}	Intérieur	128	89	70%
	Intérieur - témoin	38	38	100%
	Extérieur	33	30	91%
Radon	Intérieur	95	91	96%

Le pourcentage de prélèvements ou d'analyses valides est rarement égal à 100 % compte tenu des difficultés techniques et humaines rencontrées lors du prélèvement et/ou de l'analyse. Ce pourcentage est compris entre 95 % et 100 % pour toutes les mesures de température et d'humidité relative et les prélèvements et analyses des COV, du NO₂ et du radon. Il est inférieur à 95 % pour la mesure du CO₂ et pour au moins un prélèvement ou une analyse des aldéhydes et des PM_{2,5}. Les raisons sont les suivantes :

- mesure de CO₂ : durée d'enregistrement minimale non respectée suite au débranchement de l'appareil de mesure, à une coupure de courant ou à un problème technique ;

- mesure des aldéhydes : durée minimale de prélèvement non respectée et analyse effectuée en dehors du délai limite à respecter entre la date d'élution et la date d'analyse ;
- mesure des PM_{2,5} : durée minimale de prélèvement non respectée suite à l'interruption du dispositif de prélèvement ou à une erreur de programmation. Le nombre de prélèvements PM_{2,5} réalisés est le plus faible par rapport aux autres indicateurs de qualité d'air intérieur. 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.

11.1.2 LIMITES DE DETECTION ET DE QUANTIFICATION POUR LES PRELEVEMENTS PASSIFS

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 11-2).

Tableau 11-2 – Gammes des limites de détection et de quantification (µg/m³), valeurs retenues et pourcentage des mesures égales ou supérieures à la limite de quantification retenue pour les analyses des prélèvements intérieurs (hors témoins) d'aldéhydes, de COV et du NO₂

		Limite de détection (LD)			Limite de quantification (LQ)			% mesures ≥ LQ retenue
		minimale	maximale	retenue	minimale	maximale	retenue	
Aldéhydes	Acétaldéhyde	0,01	0,05	0,05	0,03	0,15	0,15	100%
	Formaldéhyde	0,01	0,30	0,30	0,03	0,8	0,8	100%
	Hexaldéhyde	0,05	0,4	0,4	0,15	1,11	1,11	100%
Composés organiques volatils (COV)	1,2,4-Triméthylbenzène	0,001	0,05	0,05	0,003	0,17	0,17	98%
	1,4-Dichlorobenzène	0,001	0,12	0,12	0,003	0,33	0,33	18%
	1-Méthoxy-2-propanol	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67	52%
	2-Butoxyéthanol	0,001	0,1	0,1	0,1	0,33	0,33	88%
	alpha-Pinène	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67	99,7%
	Benzène	0,001	0,05	0,05	0,003	0,17	0,17	99%
	n-Décane	0,001	0,11	0,11	0,003	0,33	0,33	94%
	Ethylbenzène	0,001	0,04	0,04	0,003	0,12	0,12	100%
	n-Hexane	0,001	0,2	0,2	0,003	0,67	0,67	44%
	Limonène	0,0006	0,2	0,2	0,0013	0,67	0,67	99,7%
	Styrène	0,001	0,04	0,04	0,003	0,11	0,11	100%
	Tétrachloroéthylène	0,001	0,08	0,08	0,003	0,24	0,24	32%
	Toluène	0,002	0,03	0,03	0,003	0,1	0,1	100%
	Trichloroéthylène	0,001	0,12	0,12	0,003	0,32	0,32	3,2%
	(m+p)-Xylènes	0,001	0,04	0,04	0,003	0,11	0,11	100%
	o-Xylène	0,001	0,04	0,04	0,002	0,12	0,12	100%
Dioxyde d'azote (NO₂)		0,04	3,04	3,04	0,4	10,13	10,13	82%

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 ».

Le pourcentage des mesures égales ou dépassant la limite de quantification retenue est comprise entre 95 % et 100 % pour la majorité des indicateurs mesurés. Il est en revanche inférieur à 50 % pour 4 COV : 1,4-dichlorobenzène, n-hexane, tétrachloroéthylène et trichloroéthylène. Les statistiques descriptives de ces composés sont présentées et leurs concentrations sont mises en perspective mais ils sont ensuite écartés de l'exploitation des données.

11.1.3 EVALUATION DE LA CONTAMINATION DES MILIEUX DE PRELEVEMENTS

Les statistiques descriptives des prélèvements témoins d'aldéhydes, des COV et du NO₂ sont présentées dans le Tableau 11-3. Les résultats des prélèvements témoins des PM_{2,5} ne sont pas présentés dans ce tableau du fait de l'absence de contamination des filtres de prélèvement (masses de particules déposées nulles).

Tableau 11-3 - Statistiques descriptives des prélèvements témoins d'aldéhydes, des COV et du NO₂ (concentrations exprimées en µg/m³)

Polluants (concentrations en µg/m ³)		Nb. mesures valides	Moyenne (écart-type)	Min	P25	Médiane	P75	Max
Aldéhydes	Acétaldéhyde	95	0,06 (0,08)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	0,50
	Formaldéhyde	95	0,14 (0,14)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ
	Hexaldéhyde	95	0,14 (0,21)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ
Composés organiques volatils (COV)	1,2,4-Triméthylbenzène	93	0,06 (0,16)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,68
	1,4-Dichlorobenzène	93	0,03 (0,04)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
	1-Méthoxy-2-propanol	107	0,04 (0,07)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
	2-Butoxyéthanol	93	0,04 (0,06)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ
	alpha-Pinène	106	0,05 (0,07)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
	Benzène	107	0,05 (0,05)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ	0,32
	n-Décane	106	0,03 (0,04)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ
	Ethylbenzène	107	0,01 (0,04)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,36
	n-Hexane	103	0,03 (0,13)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,78
	Limonène	107	0,05 (0,09)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOQ
	Styrène	107	0,01 (0,02)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,15
	Tétrachloroéthylène	107	0,01 (0,02)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
	Toluène	107	0,09 (0,71)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	7,36
	Trichloroéthylène	93	0,01 (0,02)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
	(m+p)-Xylènes	107	0,02 (0,07)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,69
	o-Xylène	107	0,01 (0,04)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	0,42
Dioxyde d'azote (NO ₂)		92	1,13 (2,10)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	11,23

Pour chaque composé quantifié, les concentrations des prélèvements témoins ont été comparées à celles du prélèvement réalisé simultanément dans la même pièce. Si la différence de concentration est supérieure ou égale à 25 %, le milieu de prélèvement est considéré contaminé, ce qui invalide le prélèvement.

Alors qu'aucune contamination des prélèvements témoins d'aldéhydes et de PM_{2,5} n'a été détectée, quelques prélèvements NO₂ et COV sont invalidés à cause d'une contamination du milieu de prélèvement. Le pourcentage de prélèvements invalidés est très limité et représente :

- moins d'1 % pour le benzène, le toluène, le n-hexane et le n-décane ;
- entre 1 et 2 % pour le NO₂ et le 1,2,4-triméthylbenzène ;

- entre 2 et 3 % pour le 2-butoxyéthanol, le tétrachloroéthylène, le trichloroéthylène et le 1-méthoxy-2-propanol ;
- 5 % pour le 1,4-dichlorobenzène.

11.1.4 REPETABILITE DES MESURES POUR LES PRELEVEMENTS PASSIFS

Des duplicats (deux prélèvements côte-à-côte, dans la même pièce d'un logement) ont été réalisés au cours des enquêtes afin d'évaluer la répétabilité des prélèvements et de l'analyse des aldéhydes, des COV et du NO₂. Du fait de la réalisation, pour des raisons budgétaires, de duplicats au lieu de répliqués (impliquant 3 à 6 mesures réalisées côte-à-côte), les conclusions de cette étude de répétabilité sont données à titre d'information.

Les résultats des mesures issues de ces duplicats (mesure A et mesure B) ont été comparées et les résultats sont présentés dans le Tableau 11-4.

Tableau 11-4 – Résultats de l'étude de répétabilité de prélèvements et d'analyse des aldéhydes, des COV et du NO₂ élaborée à partir des duplicats réalisés au cours de cette étude

Polluants		Nombre de duplicats (mesures A et B)					Gamme de concentration moyenne (µg/m ³)	Ecart absolu des mesures (µg/m ³)	
		réalisés et valides	avec les 2 mesures strictement identiques	avec 1 mesure ≤ LQ	avec les 2 mesures ≤ LQ	retenus pour l'étude de répétabilité		moyen	maximum
Aldéhydes	Acétaldéhyde	39	1	0	0	38	1 à 35	0,4	1,9
	Formaldéhyde	39	0	0	0	39	7 à 40	0,9	3,2
	Hexaldéhyde	39	3	1	0	35	7 à 84	1,4	5,2
Composés organiques volatils (COV)	1,2,4-Triméthylbenzène	23	4	0	0	19	0,4 à 11	0,2	0,9
	1,4-Dichlorobenzène	13	3	4	0	6	0,2 à 2	0,07	0,1
	1-Méthoxy-2-propanol	25	1	3	10	11	1 à 7	0,7	4,9
	2-Butoxyéthanol	19	2	2	0	15	0,5 à 24	0,4	1,4
	alpha-Pinène	37	2	0	0	35	2 à 112	7,3	56,5
	Benzène	37	5	2	1	29	0,3 à 6	0,3	1,1
	n-Décane	36	2	4	1	29	0,4 à 29	2,2	17,9
	Ethylbenzène	37	2	0	0	35	1 à 26	0,3	1,9
	n-Hexane	37	0	6	14	17	1 à 17	0,2	0,9
	Limonène	34	0	1	0	33	3 à 178	13,4	91,0
	Styrène	37	2	0	0	35	0,2 à 7	0,2	1,0
	Tétrachloroéthylène	36	2	3	24	7	0,3 à 1	0,08	0,12
	Toluène	37	2	0	0	35	2 à 47	0,8	2,7
	Trichloroéthylène	15	0	1	14	0	Impossible à déterminer		
	(m+p)-Xylènes	37	0	0	0	37	1 à 61	0,8	6,3
	o-Xylène	37	6	0	0	31	1 à 27	0,4	1,7
Dioxyde d'azote (NO ₂)		42	5	1	10	26	11 à 41	1,0	2,8

Sur le nombre de duplicats réalisés et validés, la majorité a été retenue pour l'analyse de la répétabilité des mesures. Une partie a été écartée pour les raisons suivantes :

- mesures A et B strictement identiques : après vérification, il est vraisemblable que les informations relatives au prélèvement A ont été dupliquées par erreur pour le prélèvement B bien que les codes d'identification des mesures soient différents. Etant donné que les informations ont été reportées manuellement dans les masques de saisie Excel pour être transmises en base de données, le risque d'erreur de saisie est plus élevé ;

- une des mesures est inférieure ou égale à la limite de quantification : dans ce cas, l'écart moyen de concentration de ces duplicats est en général inférieur ou proche de la limite de quantification. Il faut toutefois noter qu'il est supérieur à cette limite pour le benzène, le n-décane et bien supérieur pour le limonène.

Il faut noter qu'une autre petite partie des réplicats, non retenus pour cette analyse, constitue un argument pour attester de la bonne répétabilité des mesures. Il s'agit des duplicats pour lesquels les deux mesures (A et B) sont inférieures ou égales à la limite de quantification ce qui entraîne un écart de concentration nul. C'est en particulier le cas pour 7 polluants (1-méthoxy-2-propanol, n-hexane, tétrachloroéthylène, trichloroéthylène, dioxyde d'azote, benzène et n-décane).

L'écart moyen absolu des mesures A et B est quasiment systématiquement inférieur à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une gamme de concentration moyenne variant entre 1 et $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sauf pour 3 composés. Cet écart est supérieur à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le n-décane, à 7 pour l'alpha-pinène et à 13 pour le limonène.

La Figure 11-1 illustre la relation entre la moyenne des mesures A et B et l'écart absolu entre les mesures A et B pour ces trois composés. Il apparaît clairement que deux à trois duplicats présentent des écarts très importants par rapport à l'ensemble des autres duplicats.

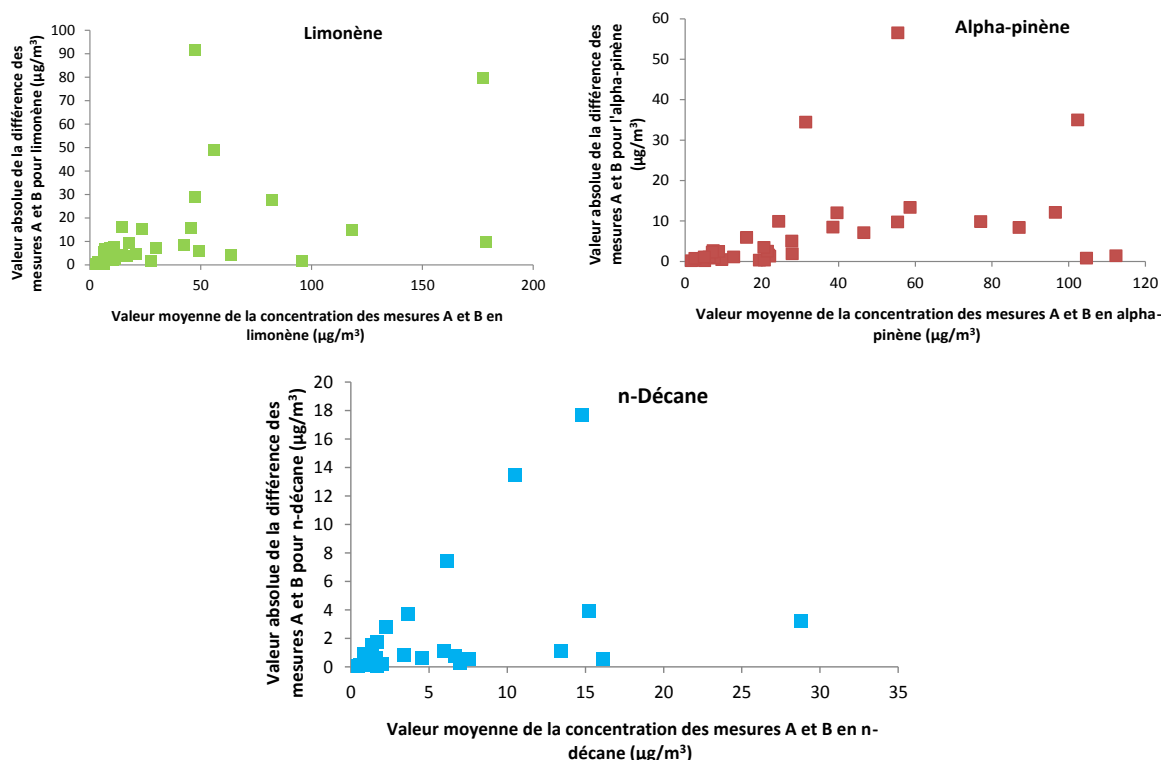


Figure 11-1 – Relation entre la moyenne des mesures des duplicats en fonction de la valeur de la différence des mesures pour le limonène, l'alpha-pinène et le n-décane

L'étude de répétabilité montre une bonne qualité du prélèvement et de l'analyse pour les aldéhydes, le NO_2 et la quasi-totalité des COV (13 COV sur 16). Par conséquent, il a été décidé de moyenner les mesures des duplicats plutôt que de conserver soit l'une soit l'autre des deux mesures. En revanche, une certaine vigilance est de mise quant à l'interprétation des mesures du n-décane, de l'alpha-pinène et du limonène au regard des informations apportées par cette étude.

11.2 ANNEXE 2 : RESULTATS DES TESTS T DE STUDENT DE COMPARAISON ENTRE LES MESURES DES LOGEMENTS DE L'ETUDE ET CELLES DE LA POPULATION NATIONALE DE LOGEMENTS

Tableau 11-5 – Résultats des tests t de Student de comparaison de moyennes des concentrations des polluants et des mesures de CO₂, de température et d'humidité relative des 72 logements de l'étude (BPE) avec celles de la population nationale de logements (CNL)

Paramètres	Unité	Pièce	Chauffe					Hors-chauffe				
			Valeurs moyennes		Test bilatéral (H ₀ : BPE=CNL)	Test unilatéral G (H ₀ : BPE<CNL)	Test unilatéral D (H ₀ : BPE>CNL)	Valeurs moyennes		Test bilatéral (H ₀ : BPE=CNL)	Test unilatéral G (H ₀ : BPE<CNL)	Test unilatéral D (H ₀ : BPE>CNL)
			BPE	CNL				BPE	CNL			
CO ₂ toutes périodes	ppm	CHB	798	872	non sign.	ss objet	ss objet	668	701	non sign.	ss objet	ss objet
CO ₂ (entre 2h à 5h10)	ppm	CHB	1026	1184	< 0,01	< 0,001	non sign.	898	951	non sign.	ss objet	ss objet
CO ₂ (60 valeurs max entre 2h et 5h10)	ppm	CHB	1201	1504	< 0,001	< 0,001	non sign.	1057	1255	< 0,01	< 0,001	non sign.
acétaldéhyde	µg/m ³	CHB	12	16	< 0,01	< 0,001	non sign.	11	12	non sign.	ss objet	ss objet
formaldéhyde	µg/m ³	CHB	16	20	< 0,001	< 0,001	non sign.	21	26	< 0,01	< 0,001	non sign.
hexaldéhyde	µg/m ³	CHB	22	20	non sign.	ss objet	ss objet	30	21	< 0,001	non sign.	< 0,05
(m+p)-xylènes	µg/m ³	CHB	4	12	< 0,001	< 0,001	non sign.	4	9	< 0,001	< 0,001	non sign.
1,2,4-triméthylbenzène	µg/m ³	CHB	2	8	< 0,05	< 0,001	non sign.	1	6	< 0,001	< 0,001	non sign.
benzène	µg/m ³	CHB	2	3	< 0,01	< 0,001	non sign.	1	2	< 0,001	< 0,001	non sign.
ethylbenzène	µg/m ³	CHB	2	4	< 0,001	< 0,001	non sign.	2	3	< 0,001	< 0,001	non sign.
n-décane	µg/m ³	CHB	5	26	< 0,001	< 0,001	non sign.	4	14	< 0,001	< 0,001	non sign.
o-xylènes	µg/m ³	CHB	1	5	< 0,001	< 0,001	non sign.	2	3	< 0,001	< 0,001	non sign.
styrène	µg/m ³	CHB	1	2	non sign.	ss objet	ss objet	1	1	non sign.	ss objet	ss objet
toluène	µg/m ³	CHB	6	25	< 0,001	< 0,001	non sign.	5	17	< 0,001	< 0,001	non sign.
PM _{2,5}	µg/m ³	SEJ	27	45	< 0,001	< 0,001	non sign.	13	28	< 0,001	< 0,001	non sign.
Radon	Bq/m ³	CHB	43	63	< 0,05	< 0,001	non sign.	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet
Radon	Bq/m ³	SEJ	53	69	non sign.	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet	ss objet
Température	°C	CHB	21	20	< 0,01	non sign.	< 0,05	24	23	< 0,001	non sign.	< 0,001
Température	°C	SEJ	21	20	< 0,001	non sign.	< 0,05	24	22	< 0,001	non sign.	< 0,001
Humidité relative	%	CHB	41	47	< 0,001	< 0,001	non sign.	52	52	non sign.	ss objet	ss objet
Humidité relative	%	SEJ	39	45	< 0,001	< 0,001	non sign.	51	56	< 0,001	< 0,001	non sign.

CHB : chambre, SEJ : séjour, G : gauche, D : droit, non sign. : non significatif, ss objet : sans objet