

MEASURE

MEsures de perform**AN**ces réelles et de **S**atisfaction des occ**U**pants dans les bâtiments **R**ésidentiels à hautes performances **E**nergétiques

Architecture et Climat – Université catholique de Louvain
Centre Scientifique et Technique de la Construction



Rapport de synthèse I : Climat intérieur

Olivier Dartevelle – U.C.L.
Véronique Vanwelde – CSTC
Janvier 2018

Projet réalisé avec le soutien de la Wallonie



1. Table des matières

2. Présentation et objectifs de l'étude	3
3. Description des méthodes employées.....	4
3.1 Enquête de satisfaction	5
3.2 Mesures sur site	7
4. Résultats de l'enquête de satisfaction.....	9
4.1 Satisfaction générale.....	9
4.2 Profil des occupants et occupation	10
4.3 Caractéristiques des bâtiments des répondants	11
4.4 Ajouts et modifications par rapport aux données connues.....	15
4.5 Appréciation des ambiances thermique et respiratoire	17
4.6 Appréciation des systèmes de chauffage, ventilation et protections solaires	20
4.7 Comportement et interactions des occupants avec le bâtiment et ses systèmes	22
5. Résultats des mesures	25
5.1 Caractéristiques des bâtiments monitorés	25
5.2 Climat sur la période de mesures	29
5.3 Mesures des températures hivernales.....	31
5.4 Mesures des températures estivales	35
5.5 Mesures des concentrations en CO ₂	43
5.6 Mesures acoustiques	51
6. Conclusions.....	54
7. Recommandations générales.....	55
7.1 Gérer les situations de surchauffe estivale	55
7.2 Placer des protections solaires.....	56
7.3 Ouvrir les fenêtres pour dissiper la chaleur	59
7.4 Choisir un système de chauffage adéquat par rapport à l'usage des pièces	61
7.5 Réguler correctement les débits de ventilation	63
7.6 Entretenir le système de ventilation	65
7.7 Améliorer les performances acoustiques du système de ventilation	67
7.8 Changer l'affectation d'un local.....	69
8. Points à approfondir	71
9. Annexes	72
9.1 Caractéristiques des bâtiments analysés	72
10. Références.....	80

2. Présentation et objectifs de l'étude

Le projet MEASURE (*MEsures de performAnces réelles et de Satisfaction des occUpants dans les bâtiments Résidentiels à hautes performances Energétiques*) avait pour objectif d'évaluer :

- dans quelle(s) mesure(s) les techniques constructives (isolation, étanchéité à l'air, ventilation, etc.) actuelles à la base des bâtiments résidentiels à hautes performances énergétiques wallons permettent-elles de donner satisfaction aux occupants en ce qui concerne :
 - les ambiances thermiques ?
 - les ambiances respiratoires ?
 - les consommations du bâtiment ?
 - leurs capacités d'action sur les ambiances ?
- comment se situent ces ambiances par rapport :
 - au ressenti et à la satisfaction ?
 - aux attentes/normes de confort actuelles ?
- comment se situent les performances réelles par rapport aux performances prévues (consommations énergétiques, performances de l'enveloppe et des systèmes) ?

Pour atteindre ces objectifs, l'étude s'est basée sur l'analyse d'un ensemble de bâtiments résidentiels existants (maisons unifamiliales) à hautes performances énergétiques construits en Wallonie dans le cadre de l'action Construire Avec l'Energie (CALE)¹ et occupés depuis plusieurs années (3 à 10 ans environ).



Figure 1: action Construire Avec l'Energie (CALE)

Pour plus d'infos: <http://energie.wallonie.be/fr/construire-avec-l-energie.html?IDC=6143>

Le présent document reprend les principales conclusions de l'étude en ce qui concerne le climat intérieur de ces habitations (ambiance thermique et respiratoire).

¹ Pour plus d'informations sur l'action Construire Avec l'Energie, on pourra notamment consulter les articles suivants:
 Langendries, D., & Gerin, O. (2012). Construire avec l'énergie: 8 ans de "labo" de la PEB. *Les Cahiers nouveaux du CSTC*, 84, 68-70.
 Langendries, D., & Lethé, G. (2010). CALE : précurseur de la PEB. *Les dossiers du CSTC - N° 3/2010 - Cahier n° 18*.

3. Description des méthodes employées

Différents sous-ensembles de bâtiments ont fait l'objet d'analyses selon plusieurs niveaux de détails : d'une analyse générale sur un grand nombre de bâtiments (enquête de satisfaction par questionnaire) jusqu'à une analyse détaillée sur un nombre plus réduit de bâtiments (campagne de mesures).

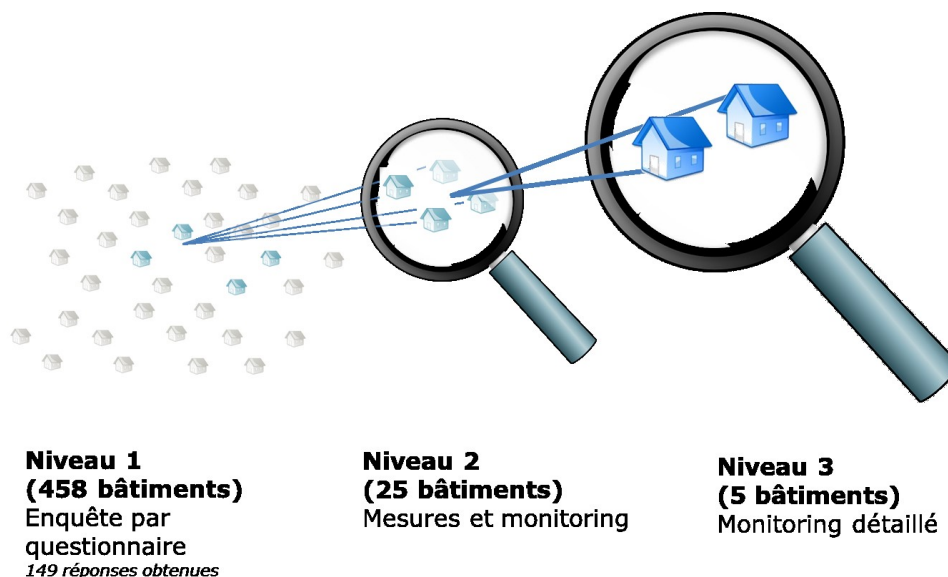


Figure 2 : trois niveaux d'analyse

Les caractéristiques des échantillons de bâtiments sont décrites aux points 4.3 (échantillon de niveau 1) 5.1. (échantillon de niveau 2) et comparées au point 9.1.

3.1 Enquête de satisfaction

L'enquête de satisfaction a été menée entre avril et mai 2015 sur base d'un questionnaire en ligne adressé à l'ensemble des occupants de maisons unifamiliales construites dans le cadre de l'action Construire Avec l'Energie (soit 458 dossiers). Ce questionnaire est accessible en ligne: <https://tools.uclouvain.be/limesurvey200/index.php/129147?lang=fr>

Satisfaction survey

Introduction
C'est la première partie pour tout principal d'identifier ce qui vous a poussé à participer à l'action 'Construire Avec l'Energie'

Depuis quand habitez-vous votre logement ?
Veuillez choisir

Combien de personnes des catégories ci-dessous occupent votre logement ?

	0	1	2	3	4	5	+ de 5
Entants: Etudiants, personnel scolaire	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Travailleurs à temps partiel	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Travailleurs à temps plein	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sans emploi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Personnel	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Selon vous, quelles notions représentent le mieux la qualité d'un logement ?

- ☐ Cadre de vie (lieu, campagne, etc.)
- ☐ Proximité de facilités (école, commerces, transport, etc.)
- ☐ Esthétique (jardins, finitions intérieures, etc.)
- ☐ Caractère patrimonial ou historique
- ☐ Histoire familiale du bâtiment/du terrain
- ☐ Coût d'achat / coût de construction
- ☐ Surface de la maison / nombre et taille des pièces
- ☐ Organisation des pièces
- ☐ Orientation / ouverture vers l'extérieur et lumière naturelle
- ☐ Consommations / performances énergétiques
- ☐ Confort intérieur (température et qualité d'air agréables)

Autre précision:

Figure 3: questionnaire de satisfaction

L'objectif de celui-ci était double : mesurer la satisfaction des occupants par rapport au climat intérieur de leur nouveau logement et vérifier/obtenir les informations nécessaires à la compréhension des facteurs pouvant l'influencer (caractéristiques constructives, types et caractéristiques des systèmes, habitude et sensibilité de l'occupant, etc.).

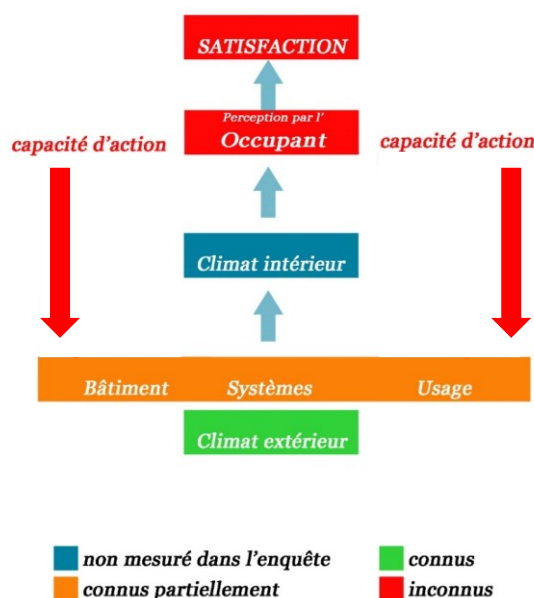


Figure 4: identification des éléments inconnus à mesurer dans l'enquête

Les tableaux suivants reprennent l'ensemble des indicateurs et notions de satisfaction ainsi que les facteurs potentiels d'influence mesurés au travers de l'enquête.

Satisfaction par rapport aux ambiances thermiques	Température ambiante
	Température des parois
	Variation de température dans le temps
	Variation des températures entre pièces
	Température de l'air de ventilation
	Vitesse d'air
	Humidité d'air
	Rayonnement solaire
Satisfaction par rapport aux ambiances respiratoires	Qualité d'air
	Odeur
	Poussières
Facilité d'usage des systèmes	Système de chauffage
	Système de ventilation
	Protections solaires
	Niveau de contrôle sur les ambiances

Tableau 1 : indicateurs de satisfaction mesurés via l'enquête

Bâtiments et systèmes	Caractéristiques géométriques
	Caractéristiques constructives
	Caractéristiques des systèmes
	Performances énergétiques calculées
	Consommations réelles
	Problèmes techniques et défauts constructifs
Occupant	Composition et caractéristiques du ménage
	Propriétaire/locataire
	Connaissance technique et intérêt des occupants
	Santé/Sensibilité
Comportement et occupation	Présence et activité dans le logement
	Action sur les ambiances
	Adaptation et modifications comportementales
	Maintenance et entretien des systèmes

Tableau 2 : facteurs potentiels d'influence connus via la base de données CALE ou mesurés via l'enquête

3.2 Mesures sur site

Durant un an (du 22 décembre 2015 au 21 décembre 2016), des appareils de mesure ont été disposés dans différentes pièces de vie (chambre à coucher, séjour, cuisine, salle de bains) de 25 habitations. Ces véritables "stations météo" ont permis d'y mesurer de manière continue la température, l'humidité relative et la concentration en CO₂.



Figure 5 : exemple d'appareil de mesures

3.2.1 Sélection des bâtiments analysés

Les 25 bâtiments monitorés (échantillon de niveau 2) ont été choisis parmi l'échantillon de bâtiments pour lesquels un accord de participation au monitoring avait été obtenu lors de l'enquête, mais aussi, de manière à garantir autant que possible:

- Une certaine représentativité des différents niveaux de satisfaction identifiés lors de l'enquête de satisfaction.
- Une variance suffisante des variables présentant un potentiel d'influence sur les niveaux de satisfactions.
- Un échantillon visant des objectifs de performances énergétiques élevés (faibles consommations de chauffage).

Les caractéristiques de ces bâtiments sont décrites au point 5.1.

3.2.2 Appareil de mesures

Chaque appareil de mesure permet de caractériser le climat intérieur de la pièce dans laquelle il se situe de manière continue (une mesure toutes les 5 minutes), via un relevé de la température, de l'humidité relative et de la concentration en CO₂.

Les appareils de mesure présentent les caractéristiques suivantes (reprises de la documentation du fabricant) :

	Température	Hygrométrie	Capteur de CO ₂
Intervalle de mesure	0°C à 50°C	0 à 100%	0 à 5000 ppm
Erreur maximale tolérée	± 0.3°C	± 3%	± 50 ppm
Résolution	0.1°C	1%	1 ppm

Tableau 3 : caractéristiques des appareils de mesure

Les appareils de mesure ont fait l'objet de différents tests en laboratoire visant à vérifier les erreurs maximales tolérées annoncées par le fabricant. Pour la mesure de la température et pour des valeurs comprises entre 10°C et 30°C, ces tests se sont révélés positifs pour l'ensemble des appareils testés (c'est-à-dire que l'erreur de mesure était inférieure à l'erreur maximale tolérée).

Pour la mesure de la concentration en CO₂, le fabricant annonce une calibration automatique du capteur de CO₂ à intervalles fixes. Cette calibration est opérée en supposant que le niveau de CO₂ minimum atteint 400 ppm au moins une fois par semaine. Ainsi, les mesures de concentration en CO₂ sont corrigées tous les 7 jours en tenant compte de la valeur la plus basse mesurée par l'instrument sur cet intervalle de temps et en ajoutant ou soustrayant 25ppm afin de réajuster la mesure par rapport à la valeur de référence de 400 ppm (concentration de référence dans l'air extérieur). Le but de cette auto-calibration est de corriger la dérive inhérente aux capteurs CO₂ sur le long terme. Comme pour la mesure de la température, des tests visant à vérifier les erreurs maximales tolérées ont été réalisés pour la mesure de la concentration en CO₂. Ces tests se sont avérés négatifs pour 14% des appareils testés (c'est-à-dire que dans ce cas, l'erreur de mesure était supérieure à l'erreur maximale tolérée). Toutefois, ces tests n'ont pu être effectués que pour une seule concentration en CO₂ de référence équivalant à 4437 ppm et ils ne tenaient pas compte de la calibration automatique citée ci-dessus.

4. Résultats de l'enquête de satisfaction

L'enquête menée a permis de récolter 149 réponses valides, soit un taux de participation de près de 30%.

4.1 Satisfaction générale

Les résultats de l'enquête mettent en lumière un **niveau de satisfaction générale** (Figure 6) **élevé** puisque 99% des répondants recommanderaient ce type de logements à leur entourage. On note des taux de satisfaction vis-à-vis du logement de 98%, de la qualité de l'air intérieur de 96% et du confort thermique de 98%. Toutefois, la satisfaction des répondants par rapport aux systèmes est légèrement moindre puisqu'elle est de 93% pour l'installation de chauffage et pour le système de ventilation et de 91% pour les protections solaires.

Au niveau de l'acoustique, l'isolation entre les pièces (intérieures) donne moins de satisfaction (82%) par rapport à l'isolation des bruits venant de l'extérieur (95%).

L'apport de lumière naturelle fait par contre 100% de satisfaits.

Par ailleurs, 89% des répondants sont satisfaits du coût de construction/prix de location et 98% sont satisfaits de leurs consommations.

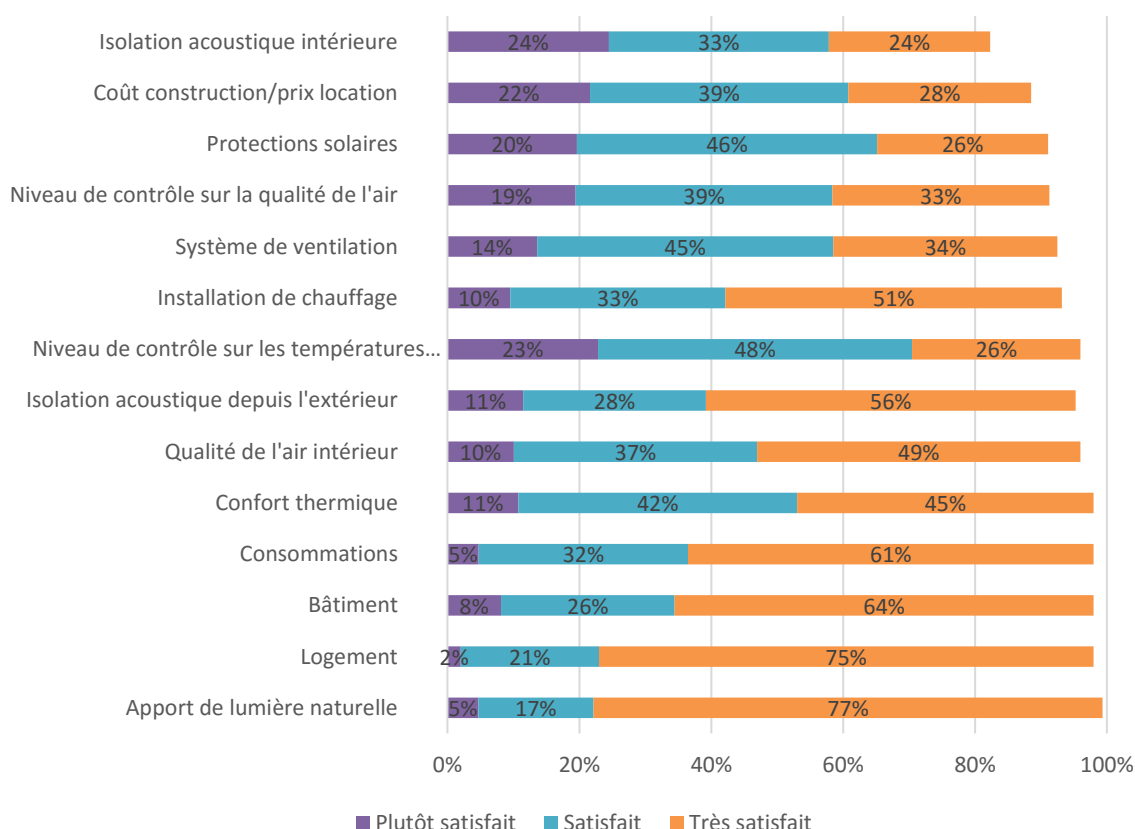


Figure 6 : appréciation générale des logements

4.2 Profil des occupants et occupation

Profil des répondants

Le répondant est dans la majorité des cas un homme (80% des cas) d'âge moyen de 44 ans.

Composition du ménage

Les ménages des répondants sont en moyenne composés de 3,5 personnes avec enfants/étudiants : 43% des occupants ont moins de 24 ans (33% moins de 12 ans) contre 8% de pensionnés seulement.

Moments d'occupation

En termes d'**horaire d'occupation**, on note que la majorité des logements sont occupés en fin de journée et le weekend (61%) contre 33% de logements occupés de manière continue. Les 6% restants correspondent à des taux d'occupation intermédiaires (travail à temps partiel) et/ou très variables en fonction des jours et/ou des semaines.

Par ailleurs, 31% des répondants indiquent exercer une **activité professionnelle** à domicile. Il s'agit généralement d'un travail de bureau (individuel ou collectif) (83%) ou d'accueil de patientèle (13%).

Niveau sociodémographique

La majorité des adultes sont employés à temps plein (75%). 22% sont employés à temps partiel. Seul 1% de l'échantillon est sans emploi. 99% des répondants sont propriétaires de leur logement et 91% des répondants ont fait construire ou ont construit leur maison.

Niveau d'instruction et intérêt par rapport aux questions énergétiques

On notera un **profil de répondants instruits, informés et sensibilisés** aux thématiques concernées par la présente enquête :

- 92% des répondants ont obtenu un diplôme de niveau supérieur (non-universitaire, universitaire ou doctorat).
- 92 à 95% des personnes estiment comprendre ou maîtriser les principes techniques relatifs à leur habitation (chauffage, ventilation, isolation). Seuls 4 à 8% des répondants indiquent ne pas s'intéresser à leurs systèmes.
- 97% des répondants participent à la gestion des aspects techniques de leur logement.
- Les répondants déclarent entretenir une fois par an ou plus souvent leurs systèmes de chauffage dans 47% des cas, de ventilation dans 74% des cas et leurs grilles de ventilation dans 49% des cas. Aucune bouche n'est obstruée (on notera cependant deux absentions à cette question).
- 90% des répondants souhaitent recevoir un feedback.
- 64% des répondants (soit 96 logements) ont accepté de participer à la phase de monitoring.

Par ailleurs, **s'engager à Construire Avec l'Energie** a été dans 70,3% des cas un **engagement volontaire personnel**. Ce sont les raisons économiques qui constituent dans la plupart des cas (60%) les principales motivations à s'engager dans la démarche CALE. Le confort et la santé n'apparaissent que dans 7% des cas.

Sensibilité particulière

65% des répondants indiquent qu'au moins un membre de leur foyer est frileux, 52% qu'un membre est sensible à la chaleur et 39% sont ou habitent avec une personne sensible au niveau respiratoire.

On retiendra donc que :

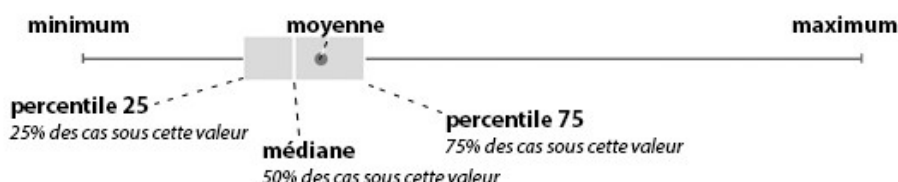
- l'échantillon est assez spécifique : *3,5 occupants en moyenne ; 43% d'occupants de moins de 24 ans ; 61% des logements occupés en soirée et weekend uniquement ; 99% de propriétaires ; 92% des ménages possèdent un diplôme du supérieur ; 1% de demandeurs d'emploi.*
- le public interrogé est bien informé : *92 à 95% des répondants comprennent les principes techniques liés au chauffage, à la ventilation, à l'isolation ; 97% sont impliqués dans la gestion technique de leur habitation.*

Ces constats peuvent amener un certain biais par rapport aux réponses qui seraient données par d'autres publics mais aussi une certaine objectivité par rapport aux réponses reçues et aux problèmes rencontrés (meilleure compréhension des techniques et donc gestion plus adéquate).

4.3 Caractéristiques des bâtiments des répondants

Les caractéristiques constructives des 149 bâtiments pour lesquels une réponse à l'enquête de satisfaction a été obtenue sont décrites au moyen des graphes qui suivent. La plupart de ces caractéristiques sont issues de la base de données Construire Avec l'Energie² et étaient donc connues avant réalisation de l'enquête.

Les caractéristiques « continues » sont présentées sous forme de *box-plot*. Voici comment les lire :



La comparaison des caractéristiques de cet échantillon de bâtiments avec celles des autres échantillons analysés (phase de mesures et base de données complète *Construire Avec l'Energie*) est présentée au point 9.1.

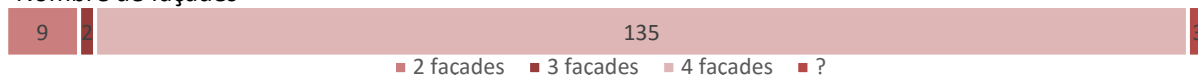
² Les méthodes de calculs utilisées sont basées sur des standards européens. Pour plus d'informations : Langendries, D., & Gerin, O. (2012). Construire avec l'énergie: 8 ans de "labo" de la PEB. *Les Cahiers nouveaux du CSTC*, 84, 68-70. Langendries, D., & Lethé, G. (2010). CALE : précurseur de la PEB. *Les dossiers du CSTC - N° 3/2010 - Cahier n° 18*.

4.3.1 Caractéristiques générales

Version CALE



Nombre de façades



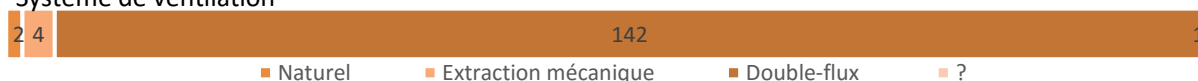
Orientation principale



Inertie



Système de ventilation



Système de chauffage principal (production de chaleur)



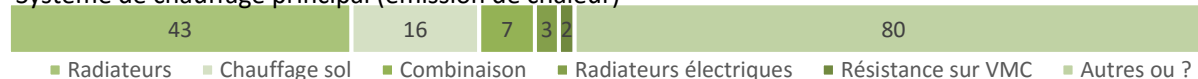
Type de protections solaires



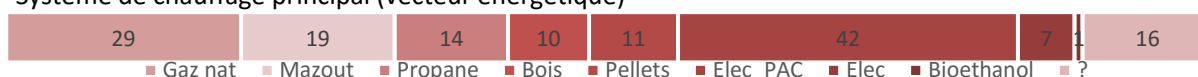
Gestion des protections solaires



Système de chauffage principal (émission de chaleur)



Système de chauffage principal (vecteur énergétique)



Production d'Eau Chaude Sanitaire



Solaire thermique



Photovoltaïque



Figure 7 : caractéristiques générales des bâtiments des répondants à l'enquête

4.3.2 Caractéristiques géométriques

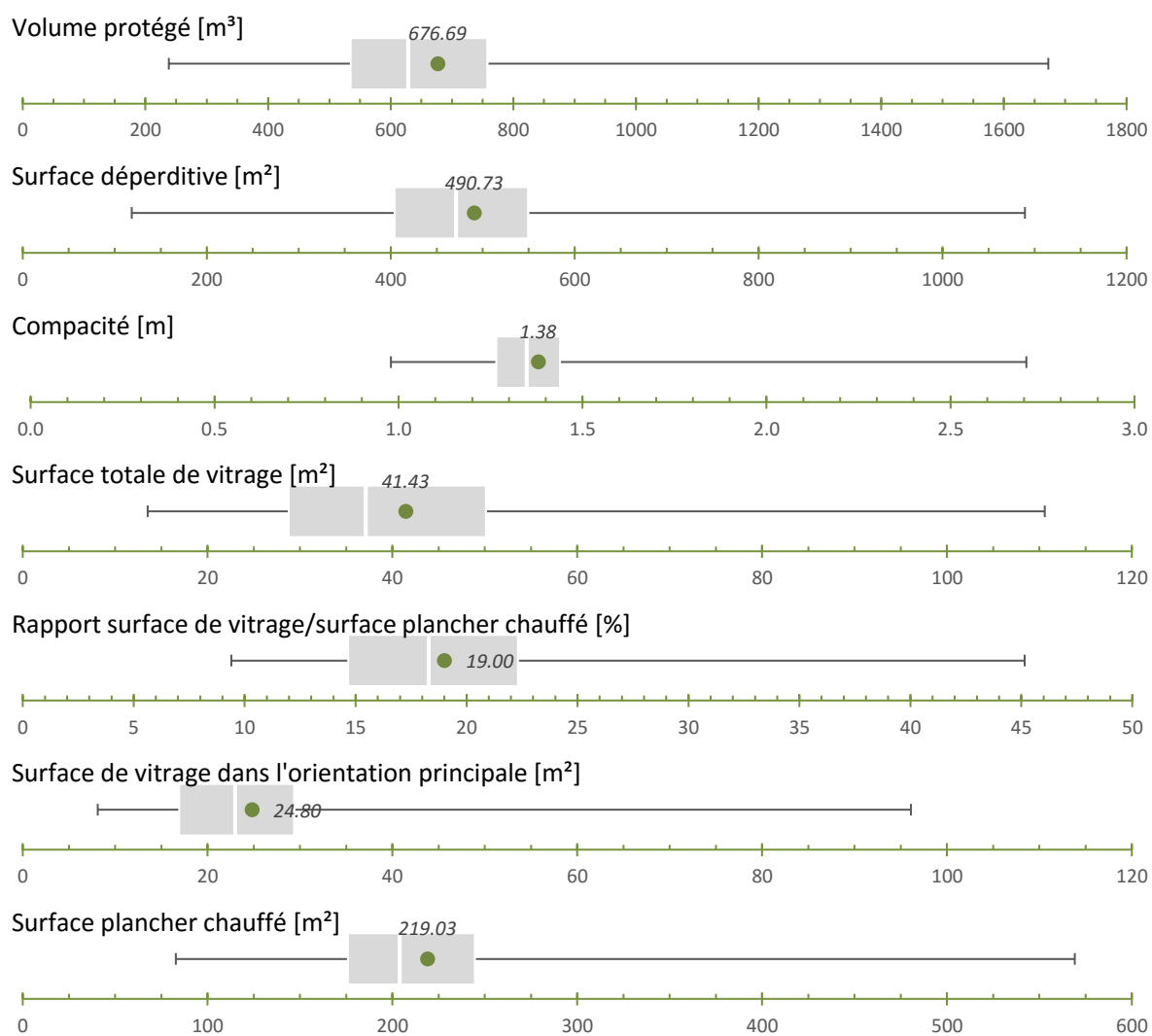


Figure 8 : caractéristiques géométriques des bâtiments des répondants à l'enquête

4.3.3 Performances énergétiques

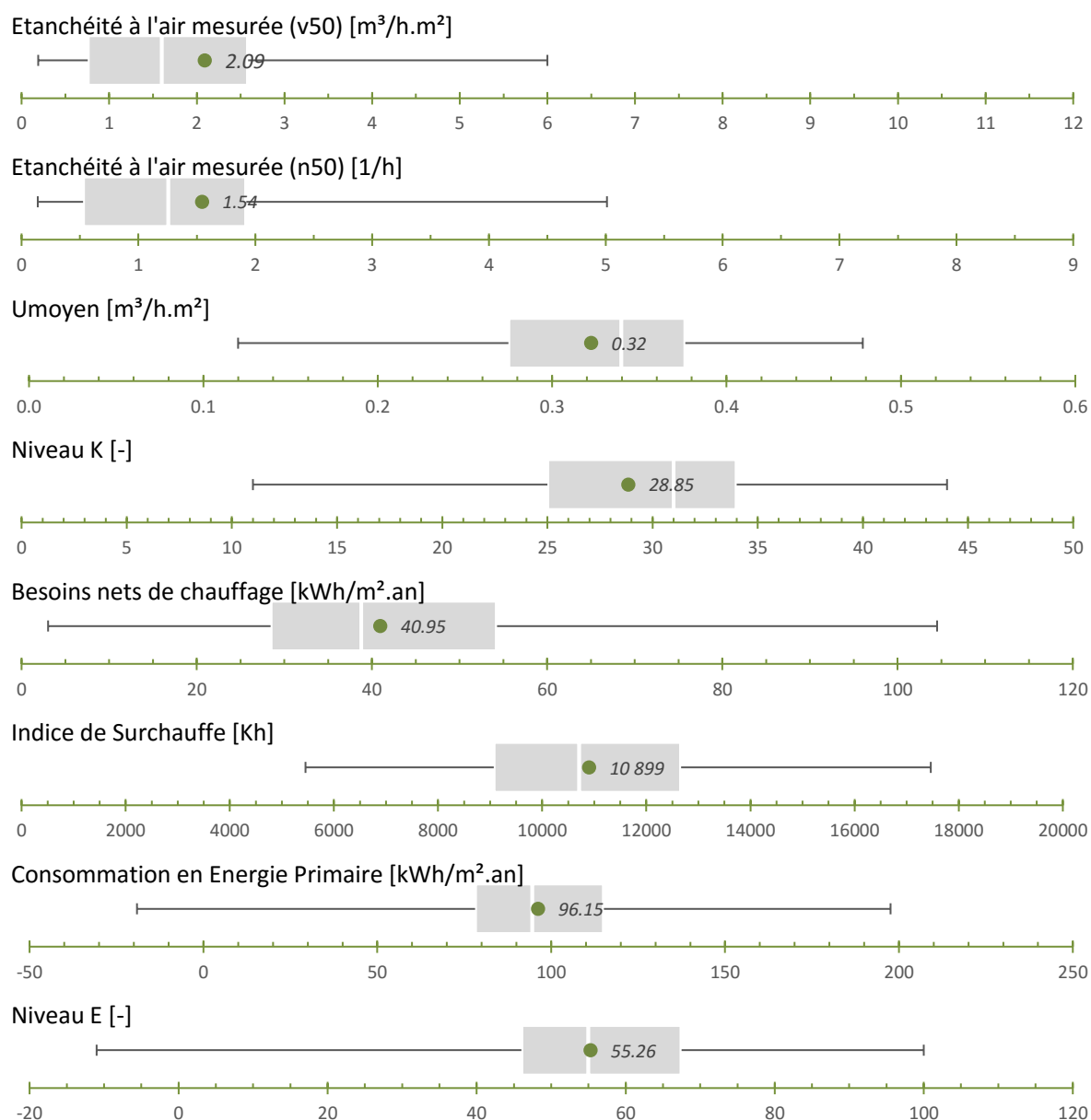


Figure 9 : performances des bâtiments des répondants à l'enquête

De manière générale, il faut donc noter une très grande part de maisons 4 façades (92.5%), qui présentent en moyenne les caractéristiques suivantes : une surface chauffée de 219m^2 , un coefficient de transmission thermique moyen (U_m) de $0.32 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (allant de 0.12 à $0.48 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$), un coefficient d'isolation global K moyen de 28 (allant de 11 à 44), une ventilation double-flux (95% des cas), une demande de chaleur de chauffage de $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{an})$, (allant de 0 à $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{an})$). Globalement toutes ces maisons peuvent être considérées comme « basse énergie » et 11% des cas présentent des caractéristiques proches du « standard passif ». Par ailleurs, ces maisons peuvent être considérées comme représentatives (caractéristiques similaires) des maisons construites dans le cadre de *Construire Avec l'Energie* (voir annexe 9.1 pour plus de détail). Par extension, elles peuvent sans doute être considérées comme représentatives des pratiques courantes actuelles mais, bien entendu, pas du parc immobilier résidentiel existant dans son ensemble.

4.4 Ajouts et modifications par rapport aux données connues

La figure suivante présente pour différents équipements la part prévue d'origine et celle finalement placée.

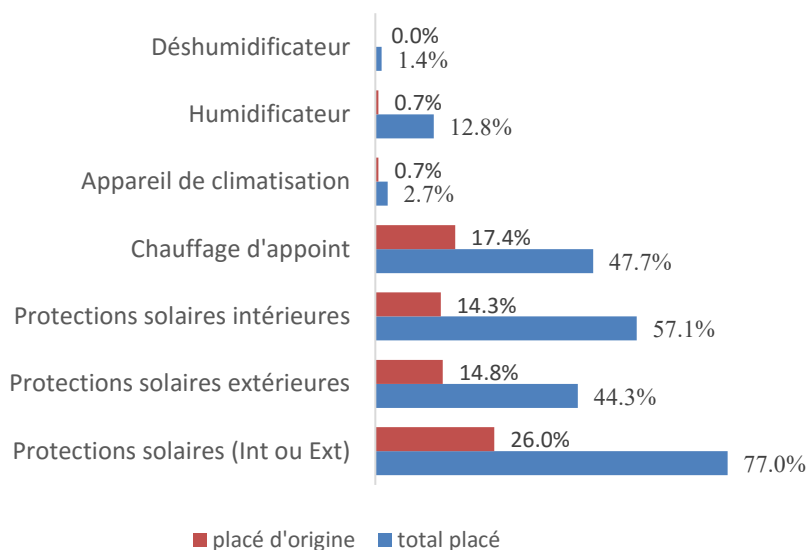


Figure 10 : comparaison de la fréquence des équipements prévus d'origine et ceux finalement placés

Protection solaires

Les répondants déclarent que des protections solaires sont prévues d'origine dans seulement 26% des cas même si 51,5% des cas annonçaient en placer lors de l'introduction du dossier CALE (soit intérieures, soit extérieures, soit les deux). 77% des cas en sont finalement équipés de manière à pallier un inconfort ou à améliorer le confort : 44% de protections solaires extérieures, 57% d'intérieures et 24% des dossiers comprennent les deux. Parmi les logements équipés de protections solaires, 18% comprennent des protections automatisées contre 8,1% parmi les cas de la BDD. Comme illustré par la Figure 11, c'est la lutte contre la chaleur du soleil qui représente la principale motivation pour l'ajout d'une protection solaire (83,5% de 85 cas d'ajout de protections solaires).

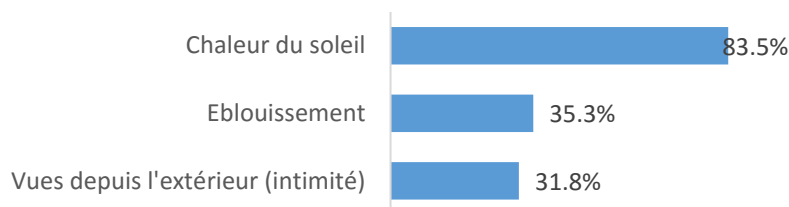


Figure 11 : protection recherchée par l'ajout de protections solaires

Chauffage d'appoint

Au total, 47% des logements analysés possèdent un chauffage d'appoint (Figure 12). Ils ont été prévus d'origine dans 17% des cas et ajoutés pour améliorer le confort dans 30% des cas.

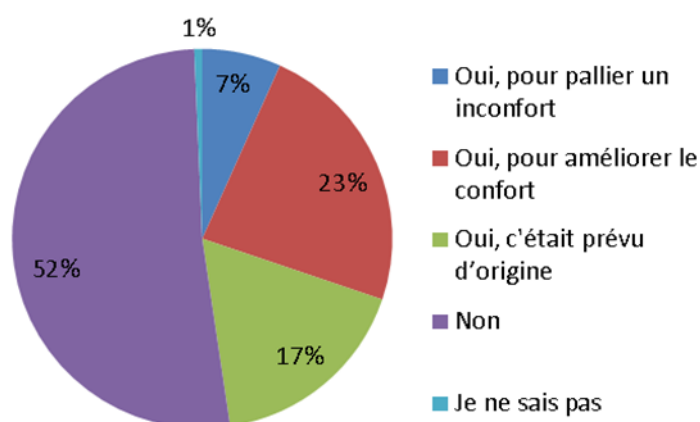


Figure 12 : fréquence et raisons de la mise en place d'un chauffage d'appoint

D'après les commentaires libres laissés par les répondants, il s'agit souvent d'un appoint électrique situé dans la salle de bain. Des analyses complémentaires ont permis de montrer que les chauffages d'appoint étaient plus fréquemment présents en cas de performance de l'enveloppe (isolation) élevée et en cas d'absence de chauffage central dans toute ou une partie de l'habitation.

Energie renouvelable

On constate une proportion beaucoup plus grande de logements équipés de panneaux solaires photovoltaïques que ce qui est renseigné dans la base de données (47% en possèdent soit 42% en plus des prévisions de la BDD). Pour les panneaux solaires thermiques, la différence est moins grande puisque 39% des logements en possèdent, ce qui correspond à 5% de plus par rapport à la BDD.

Systèmes de chauffage

Une dizaine de répondants (soit environ 10%) nous ont signalé quelques divergences entre les systèmes de chauffage employés en réalité et ce qui était annoncé dans la base de données (changement ou absence de système).

Autres

Le placement d'un déshumidificateur et d'une climatisation semble marginal (respectivement 1 et 2%). Placer un humidificateur est par contre plus fréquent (13% des cas).

4.5 Appréciation des ambiances thermique et respiratoire

En hiver, une **sensation thermique (légèrement) trop froide** est rencontrée essentiellement dans la **salle de bain** (36%) et dans la chambre (20%). Le séjour et la cuisine apparaissent par contre unanimement agréables (Figure 13 - haut). **En été**, les répondants indiquent ressentir une sensation **légèrement trop chaude à trop chaude** principalement dans les **pièces de vie** : chambre (63%), séjour (54%) et cuisine (48%) (Figure 13 - bas). De manière générale, on peut, assez logiquement, noter une certaine sensibilité à la chaleur dans la chambre en été et une sensibilité au froid dans la salle de bains en hiver.

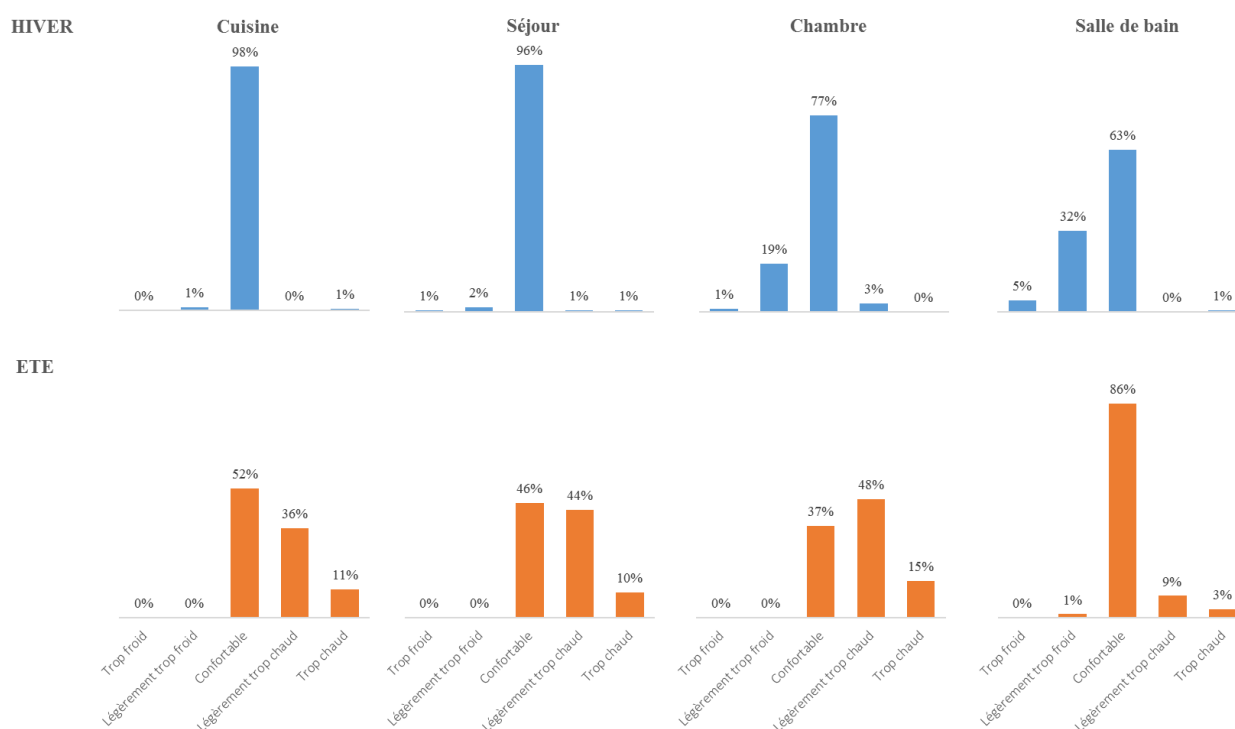


Figure 13 : appréciation du confort thermique dans les différentes pièces selon la saison

Parmi les inconforts rencontrés liés aux ambiances thermiques et respiratoires (Figure 14), les plaintes relatives à la **surchauffe** sont, par ailleurs, les plus fréquentes (73% des répondants indiquent rencontrer des problèmes de surchauffe). Ceux-ci sont principalement liés à la période estivale et localisés dans les pièces de vie (chambre (60%), séjour (62%), cuisine (51%)) (Figure 15).

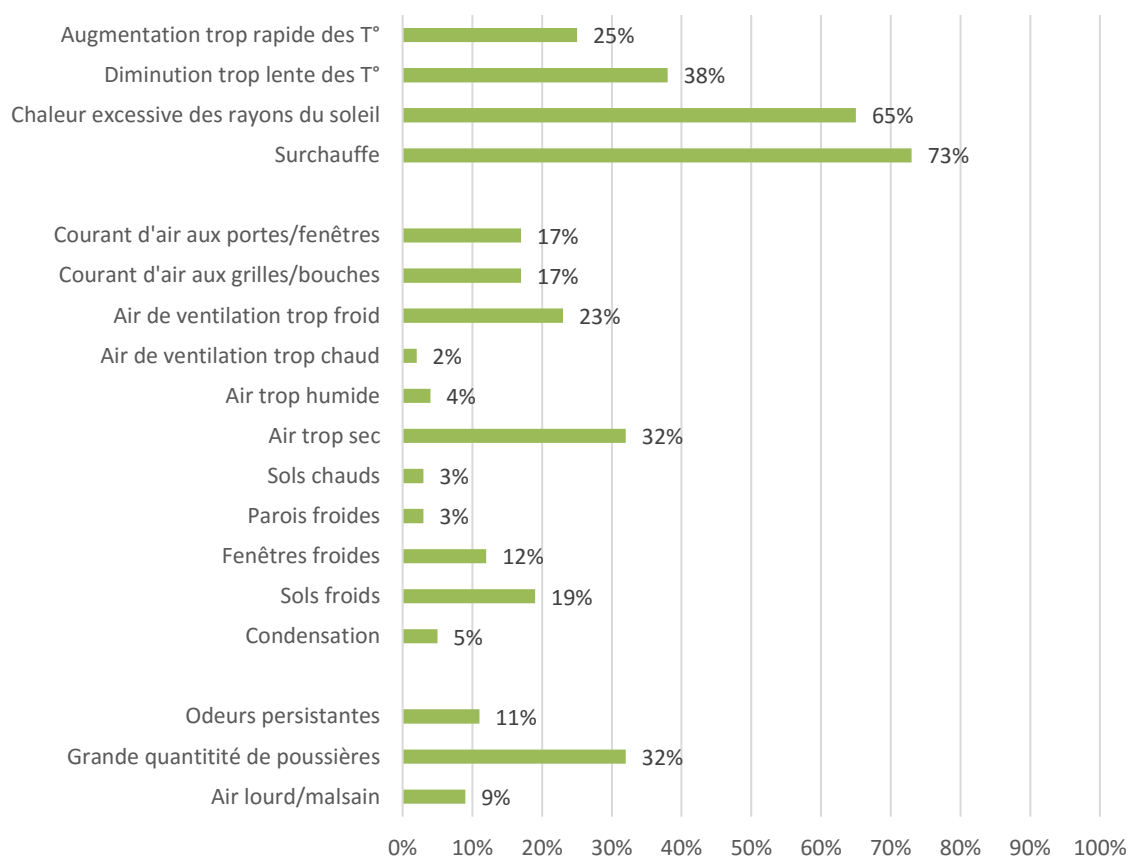


Figure 14 : inconforts rencontrés liés aux ambiances thermiques et respiratoires

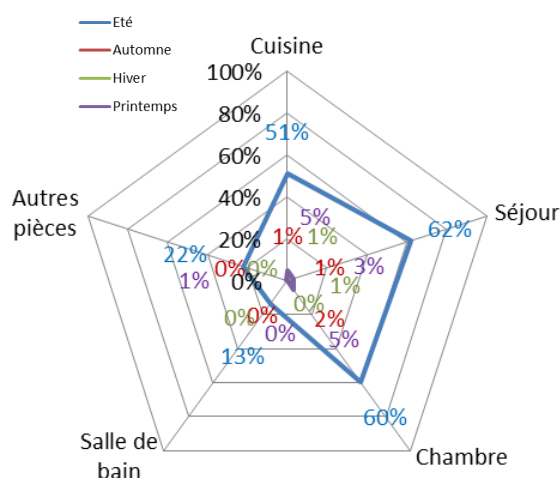


Figure 15 : localisation et moments des inconforts liés à la surchauffe

Les problèmes d'inconfort liés à une **chaleur excessive due au rayonnement solaire** sont très fréquents (Figure 14) : 65% des cas. Par ailleurs, une **diminution trop lente des températures** est notée dans 38% des cas et **une augmentation trop rapide de la température** dans 25% des logements.

Des analyses statistiques complémentaires ont montré que les plaintes relatives à la surchauffe sont **en relation avec la sensibilité à la chaleur des occupants, avec la gestion des gains solaires** (présence de protections solaires) et **de la ventilation** (ouverture des fenêtres en cas d'inconfort notamment) et avec la **modification de l'habillement en été**.

Les problèmes d'inconfort (Figure 14) **liés aux sols froids** (19% des cas), aux **fenêtres froides** (12% des cas) et à **de l'air de ventilation trop froid** (23% des cas) sont **présents** mais dans une moindre mesure. 17% des répondants notent des problèmes de courant d'air aux menuiseries (portes/fenêtres) et 17 autres % aux grilles et bouches de ventilation.

On note des problèmes d'**air sec** dans 32% des cas. En toute logique, ces problèmes sont liés aux pièces de vie sèches (chambre et séjour) et sont plus marqués en période hivernale. Par contre, très **peu de problèmes d'air trop humide** sont constatés.

Au niveau de la **qualité de l'air** toujours, on note que les problèmes les plus fréquemment rencontrés par les répondants sont la présence de grandes quantités de poussières (32%), la présence d'odeurs persistantes (11%) et des problèmes d'air malsain (9%), principalement dans les chambres et le séjour toute l'année et dans la cuisine en été.

Une grande majorité des répondants sont par ailleurs **satisfaits de leur niveau de contrôle sur les ambiances intérieures** (qualité d'air et température) (Figure 6).

4.6 Appréciation des systèmes de chauffage, ventilation et protections solaires

Globalement, les **systèmes ont tendance à donner satisfaction à leurs usagers en termes d'efficacité** (Figure 6) : 99% de satisfaits par rapport au chauffage, 96% par rapport à la ventilation et 100% par rapport aux protections solaires automatisées. Ils nécessitent cependant un **réglage à posteriori** dans environ 1 cas sur 4 (24%) pour la ventilation et les protections solaires et plus d'1 cas sur 3 dans le cas du chauffage (35%) (Figure 16).

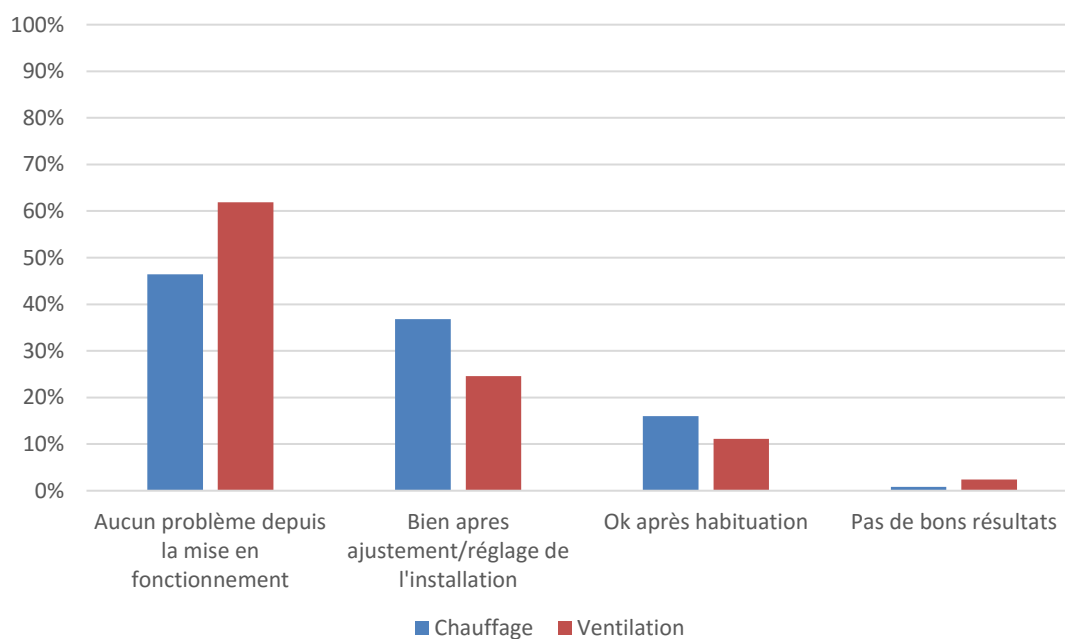


Figure 16 : appréciation du fonctionnement des systèmes de chauffage et de ventilation

Par rapport à la **facilité de compréhension** (Figure 17), c'est le chauffage qui fait le plus d'insatisfaits (13% contre 5,5% pour la ventilation et 0% pour les protections solaires automatisées).

La **documentation disponible** (Figure 17) suscite aussi une certaine insatisfaction de la part des répondants : on observe un taux d'insatisfaction de 19% pour le système de chauffage, 18% pour la ventilation et 10% pour les protections solaires.

Par rapport à la **capacité de réglage** (Figure 17), 15% des répondants se déclarent insatisfaits du chauffage et 17% de la ventilation (aucun pour les protections solaires).

Le **bruit généré** par le système de ventilation (Figure 17) mécontente quant à lui 16,6% des répondants contre 8% dans le cas de l'installation de chauffage.

La **fréquence et la durée des entretiens** (Figure 17) semblent satisfaisantes avec un léger bémol pour le système de ventilation (82,8% de satisfaits pour le système de ventilation et 93,9% pour le système de chauffage).

Par contre, le **coût des entretiens** (Figure 17) de la ventilation est moins satisfaisant (63% de satisfaits contre 80% pour le chauffage).

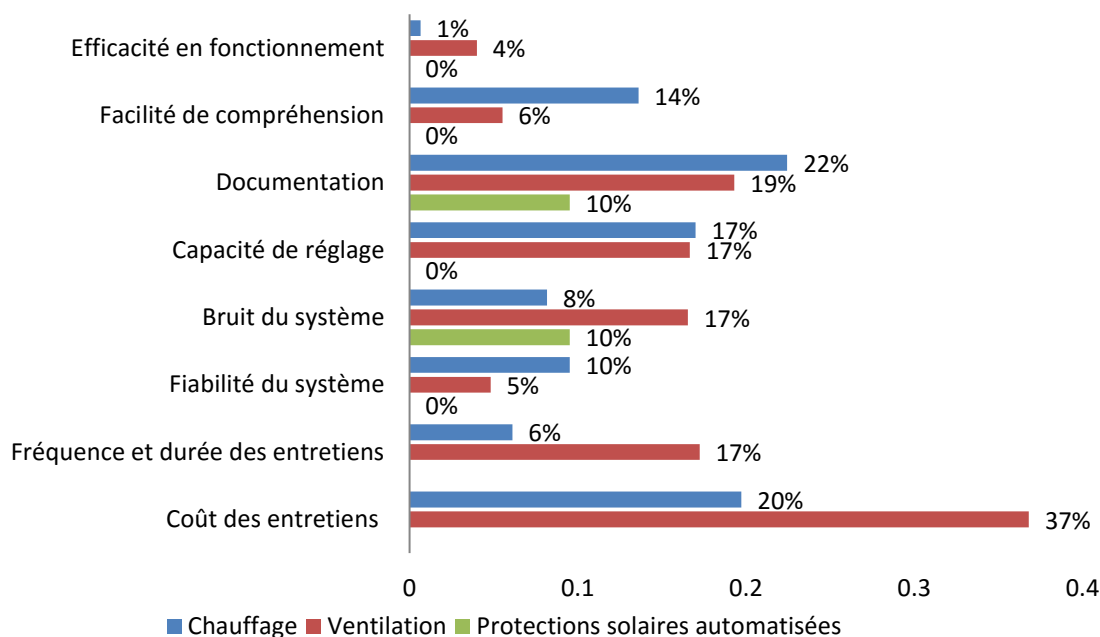


Figure 17 : fréquence d'insatisfaction liée aux systèmes

4.7 Comportement et interactions des occupants avec le bâtiment et ses systèmes

4.7.1 Entretien des systèmes

81% des répondants déclarent entretenir au moins une fois par an leur système de ventilation, contre 60% pour le chauffage et 45% pour les grilles de ventilation. Seuls 19% des répondants déclarent entretenir plus d'une fois par an les bouches de ventilation (Figure 18).

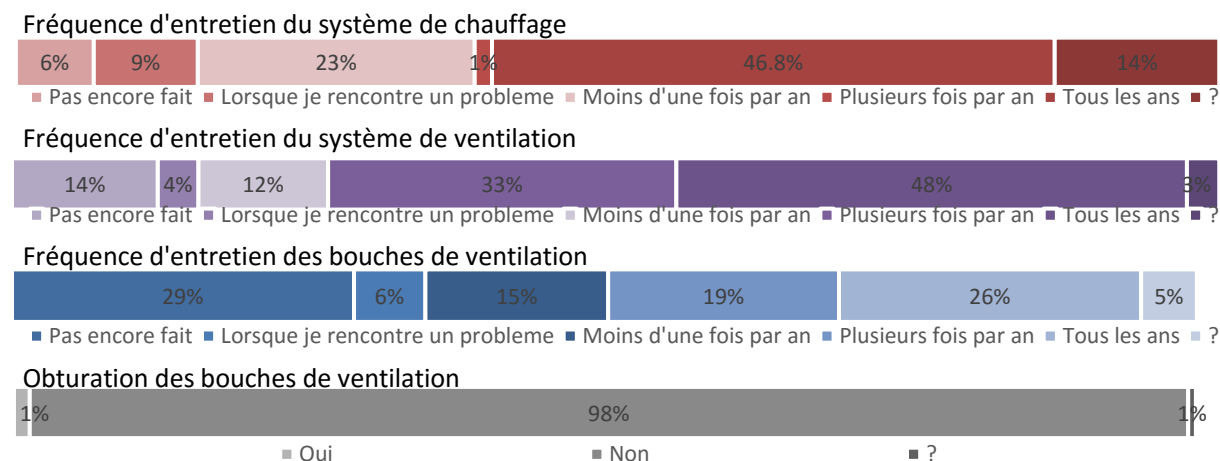


Figure 18: fréquence d'entretien des systèmes

4.7.2 Intermittence

L'intermittence (variation des consignes en cas d'absence, la nuit ou en cas d'activité particulière) est une pratique courante rencontrée dans 67% des cas pour la ventilation et dans 50% pour le chauffage. Pour ce dernier, l'intermittence est réalisée dans 62% des cas la nuit et dans 53% en période d'absence. Des analyses complémentaires ont montré que l'intermittence était par contre beaucoup moins pratiquée avec des systèmes de chauffage de type pompe à chaleur et chauffage sol. Plus de 50% des répondants affirment aussi avoir modifié leurs habitudes de chauffage par rapport à leur ancien logement : 27% font d'avantage d'intermittence, 30% en font moins (lien probable avec le type de système de chauffage).

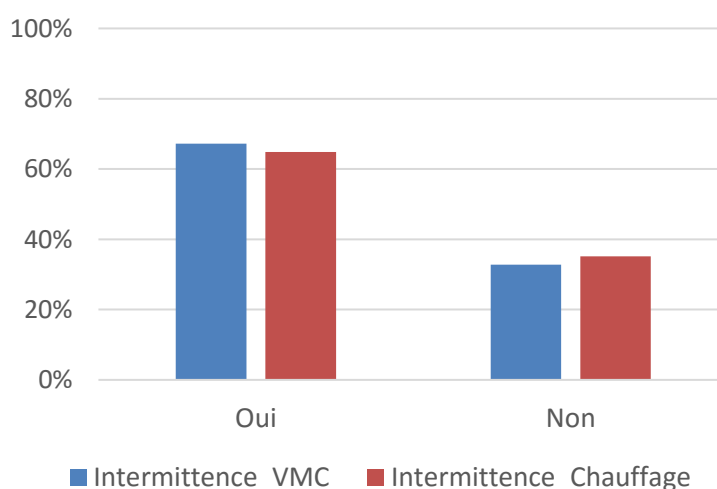


Figure 19 : % des cas où une intermittence est pratiquée

Concernant la ventilation, les motivations qui conduisent à la modification des débits (désignée ci-dessus par intermittence) sont illustrées par la figure suivante :

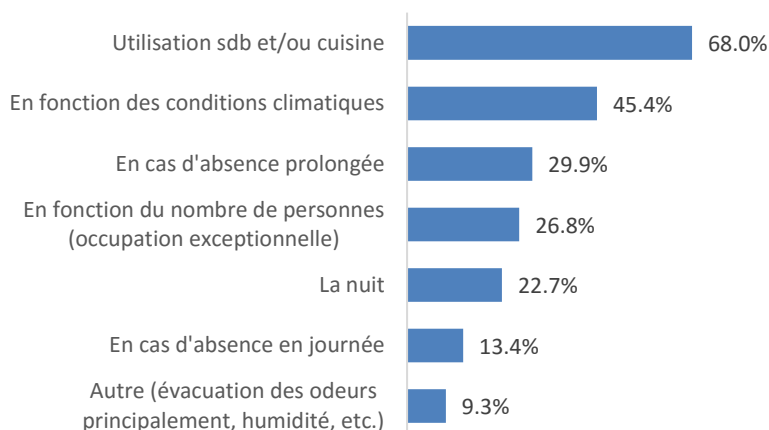


Figure 20 : motivations entraînant la modification des débits de ventilation

4.7.3 Ouverture des fenêtres

En ce qui concerne l'ouverture des fenêtres (Figure 21), si 90,6% des répondants indiquent ne jamais ouvrir les fenêtres dans le séjour en hiver, la tendance s'inverse le reste de l'année avec 71,2% des répondants qui ouvrent les fenêtres (en journée, la nuit ou les deux). Cette même tendance s'observe dans la chambre avec 72,3% de fenêtres continuellement fermées en hiver contre 74,8% d'ouverture le reste de l'année. Seuls 15,4% des répondants n'ouvrent jamais leurs fenêtres (rappelons cependant qu'une grande majorité des cas sont équipés d'un système double flux avec récupérateur de chaleur).

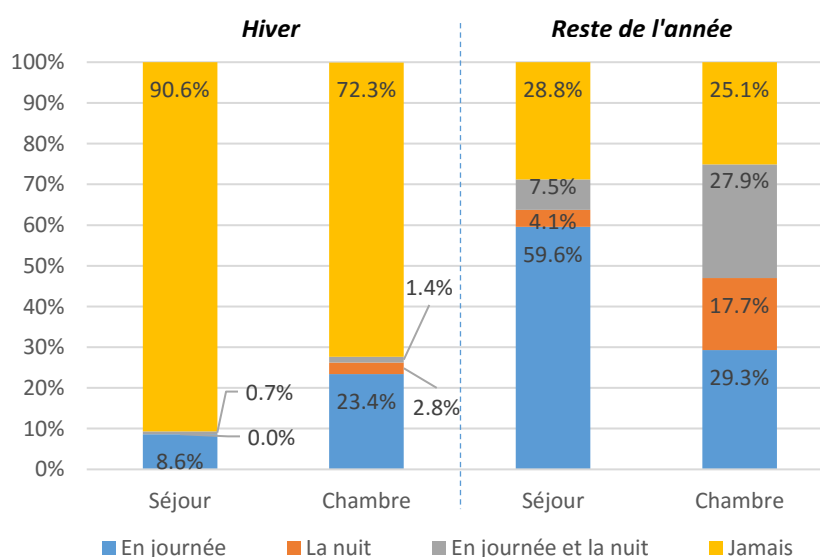


Figure 21 : moments d'ouverture des fenêtres en fonction des pièces et du moment de l'année

La principale motivation pour l'ouverture des fenêtres est le refroidissement des locaux, suivie par l'ouverture vers l'extérieur, la garantie d'une bonne qualité d'air et l'évacuation des odeurs (Figure 22).

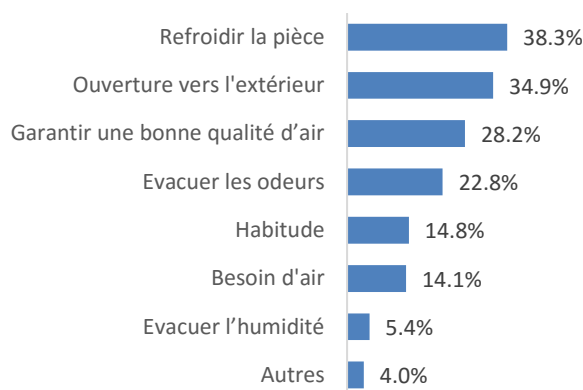


Figure 22 : motivations entraînant l'ouverture des fenêtres

4.7.4 Modification des habitudes vestimentaires

Globalement, les répondants semblent avoir **adapté leurs habitudes vestimentaires** depuis qu'ils habitent dans leur logement à hautes performances énergétiques, principalement en période hivernale. Ils indiquent s'habiller généralement moins (ou beaucoup moins) chaudement en hiver (dans 56% des cas) et plus (ou beaucoup plus) légèrement le reste de l'année (dans 34% des cas).

4.7.5 Attitude face aux consommations énergétiques

Une majorité indique faire plus **attention aux consommations** depuis qu'ils habitent leur maison « Construire avec l'Energie ». Ils optent dans 84% des cas pour une **température de consigne moins élevée ou identique** (36%). 86,1% des répondants indiquent ainsi une température de consigne (séjour en hiver) comprise entre 20°C et 22°C (69,4% entre 20°C et 21°C).

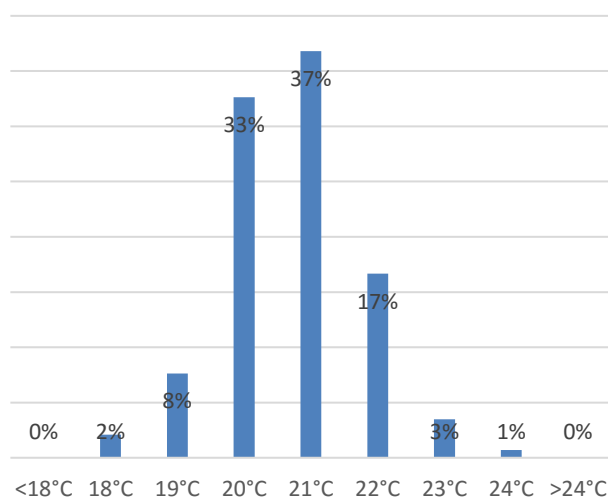


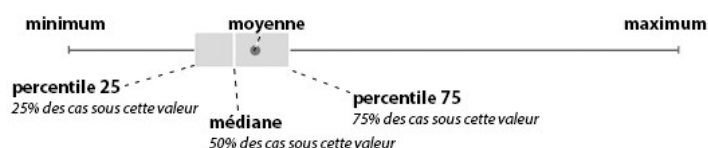
Figure 23 : température de consigne demandée pour le chauffage en période de présence dans le séjour

5. Résultats des mesures

5.1 Caractéristiques des bâtiments monitorés

Les caractéristiques des bâtiments monitorés sont décrites au moyen des graphes qui suivent. La plupart de ces caractéristiques sont issues de la base de données Construire Avec l'Energie³, complétées et corrigées par les données récoltées lors de l'enquête et des différentes visites sur site.

Les caractéristiques « continues » sont présentées sous forme de *box-plot*. Voici comment les lire :



La comparaison des caractéristiques de cet échantillon de bâtiments avec celles des autres échantillons analysés (base de données Construire Avec l'Energie et bâtiments pour lesquels une réponse à l'enquête a été reçue) est présentée au point 9.1.

5.1.1 Caractéristiques générales

Version CALE



Nombre de façades



Orientation principale



Inertie



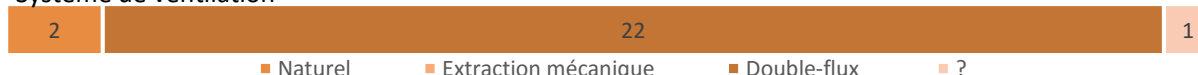
Type de protections solaires



Gestion des protections solaires

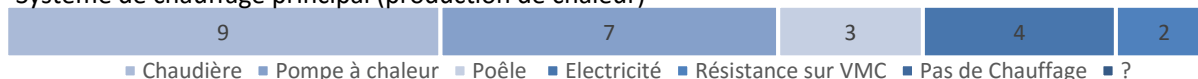


Système de ventilation

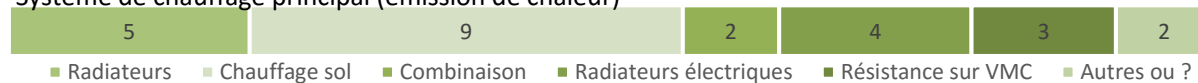


³ Les méthodes de calculs utilisées sont basées sur des standards européens. Pour plus d'informations:
Langendries, D., & Gerin, O. (2012). Construire avec l'énergie: 8 ans de "labo" de la PEB. *Les Cahiers nouveaux du CSTC*, 84, 68-70.
Langendries, D., & Lethé, G. (2010). CALE : précurseur de la PEB. *Les dossiers du CSTC - N° 3/2010 - Cahier n° 18*.

Système de chauffage principal (production de chaleur)



Système de chauffage principal (émission de chaleur)



Système de chauffage principal (vecteur énergétique)



Production d'Eau Chaude Sanitaire



Solaire thermique



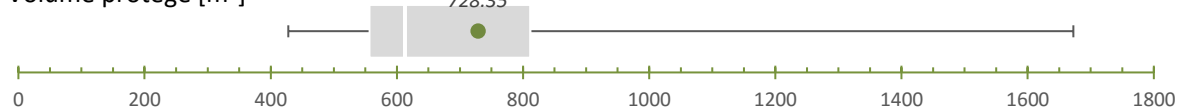
Photovoltaïque



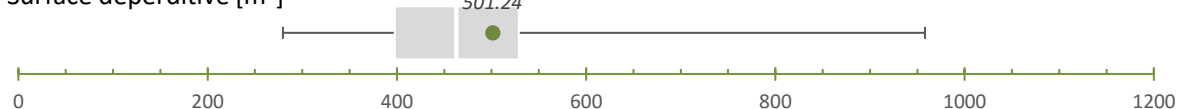
Figure 24 : caractéristiques générales des bâtiments monitorés

5.1.2 Caractéristiques géométriques

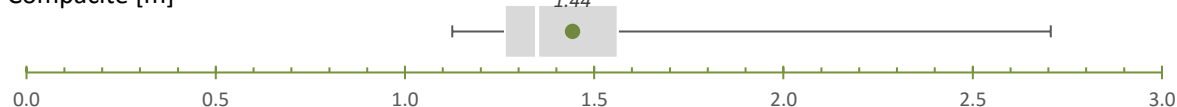
Volume protégé [m³]



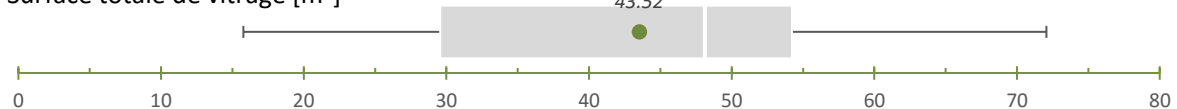
Surface déperditive [m²]



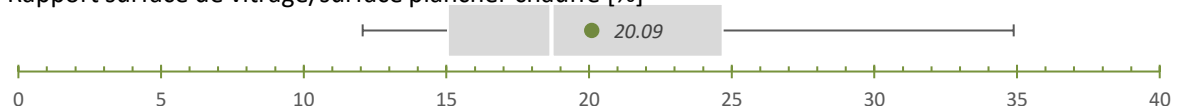
Compacité [m]



Surface totale de vitrage [m²]



Rapport surface de vitrage/surface plancher chauffé [%]



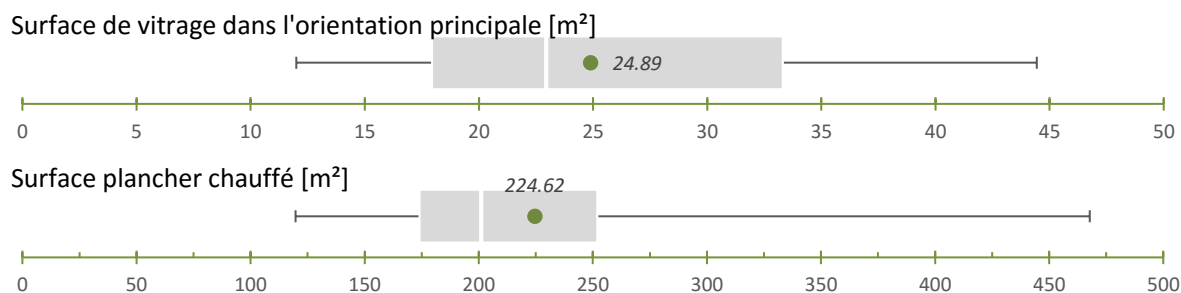


Figure 25 : caractéristiques géométriques des bâtiments monitorés

5.1.3 Performances énergétiques

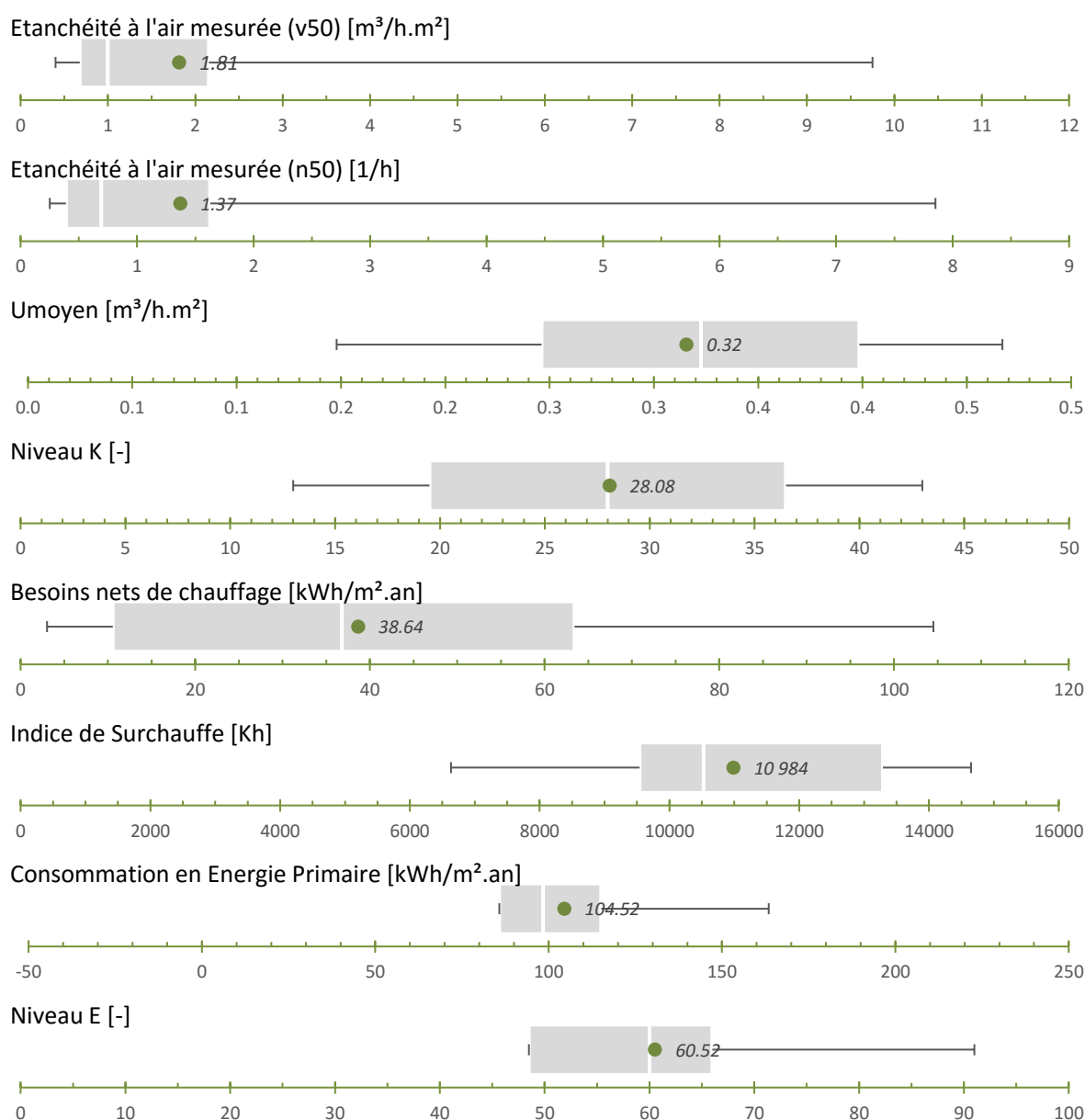


Figure 26 : performances énergétiques des bâtiments monitorés

5.1.4 Occupation

Moments de présence



Nombre de personnes composant le ménage



Figure 27 : caractéristiques d'occupation des bâtiments monitorés

5.1.5 Inconforts rencontrés

Plaintes relatives à la surchauffe



Plaintes relatives à la chaleur amenée par les rayons du soleil



Plaintes relatives à la qualité de l'air



Plaintes relatives à la sécheresse de l'air



Présence de protections solaires extérieures



Présence d'un chauffage d'appoint



Figure 28 : principaux inconforts rencontrés dans les bâtiments monitorés

5.1.6 Entretien des systèmes

Fréquence d'entretien du système de chauffage



Fréquence d'entretien du système de ventilation



Fréquence d'entretien des bouches de ventilation



Obturation des bouches de ventilation

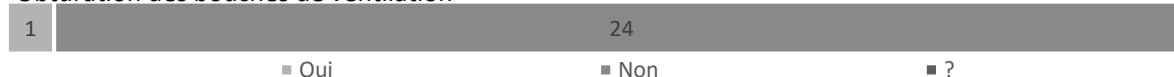


Figure 29 : fréquence d'entretien des systèmes des bâtiments monitorés

5.2 Climat sur la période de mesures

Le monitoring s'est déroulé entre le 22 décembre 2015 et le 21 décembre 2016. Le climat sur cette période de mesure est évalué comme étant **"très proche de la moyenne** de ces 30 dernières années" par MeteoBelgique.be, tant au niveau des températures que de l'insolation. Excepté le mois de septembre, considéré comme remarquablement chaud, les températures moyennes des autres mois de l'année sont restées conformes aux normales saisonnières.

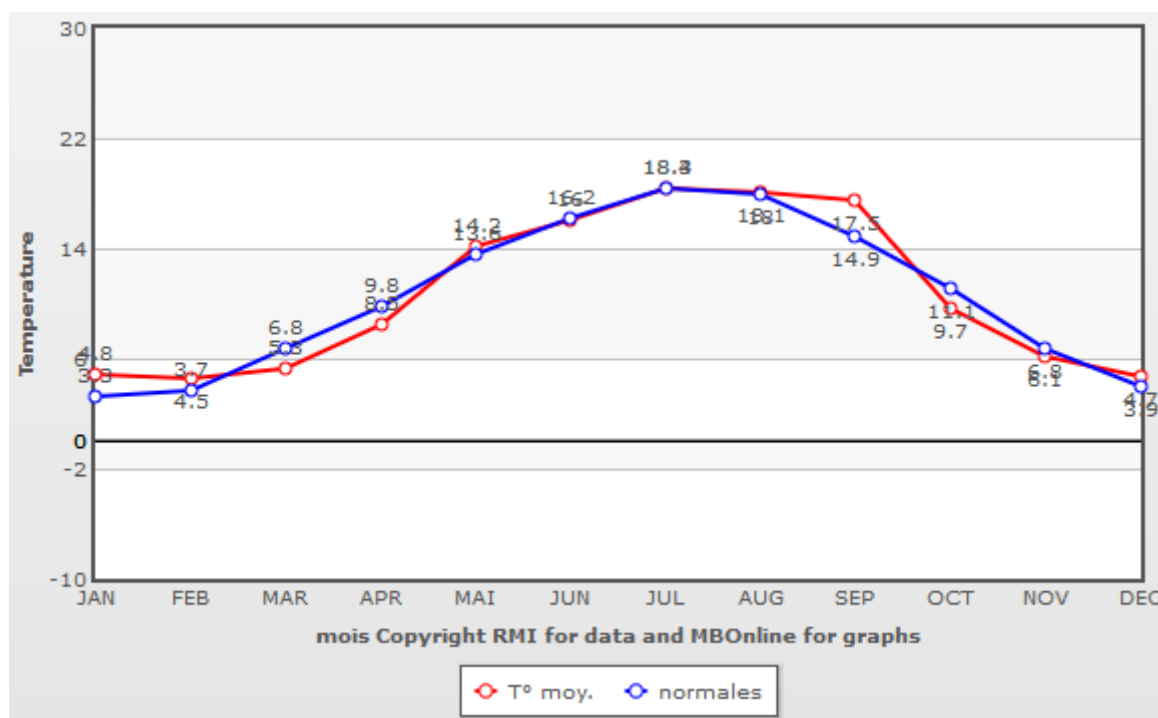


Figure 30 : Valeurs des températures moyennes mensuelles à Uccle pour 2016 (source MeteoBelgique)

La période hivernale (l'hiver météorologique se compose des mois de décembre, janvier et février) est toutefois considérée comme étant exceptionnellement chaude avec une température moyenne supérieure de 2,7°C par rapport aux normales saisonnières et une insolation également plus importante que la normale.

	Hiver 2016	Normales
Température [°C]	6,3	3,6
Insolation [heures]	227,9	180,5
Précipitations [mm]	301,3	220,5
Précipitations [jours]	63	54,8

Tableau 4 : caractérisation de l'hiver 2016 par rapport aux normales saisonnières (source MeteoBelgique)

La période estivale (l'été météorologique se compose des mois de juin, juillet et août) est considérée comme conforme aux normales saisonnières, tant au niveau de la température, de l'insolation que des précipitations, quoique ces dernières soient légèrement excédentaires en quantité. Ceci peut s'expliquer par les précipitations record du mois de juin 2016.

	Été 2016	Normales
Température [°C]	17,5	17,5
Insolation [heures]	509,4	578,3
Précipitations [mm]	283,8	224,6
Précipitations [jours]	44	43,9

Tableau 5 : caractérisation de l'été 2016 par rapport aux normales saisonnières (source MeteoBelgique)

Une vague de chaleur a été mesurée du 23 au 27 août 2016. Cela signifie que durant cette période, la température extérieure maximale de jour était supérieure à 25°C, et supérieure à 30°C durant au moins 3 jours. A quelques exceptions près, la température de nuit était inférieure à 20°C.

5.3 Mesures des températures hivernales

L'analyse des mesures de la température intérieure en période hivernale concerne la période du 22 décembre 2015 au 19 mars 2016 compris, dans les séjours et les chambres à coucher parentales.

5.3.1 Critères d'analyses

Un premier critère d'analyse consiste à comparer les mesures de la température intérieure en période hivernale avec les résultats issus d'une **étude similaire**⁴ menée en 2012 en Région Flamande sur 70 maisons dont les performances thermiques de l'enveloppe (niveau d'isolation globale K compris entre 11 et 55) sont comparables à celles des 25 maisons monitorées.

Les mesures de température ont également été mises en parallèle avec l'**enquête de satisfaction** et en particulier avec la question suivante (voir point 4.5 Appréciation des ambiances thermique et respiratoire) :

"En hiver, quelle est votre sensation thermique dans les pièces suivantes ?"

Dans le séjour, les occupants des 25 maisons monitorées ont tous qualifié leur sensation thermique comme étant "agréable". Dans les chambres à coucher parentales, 6 propriétaires sur 25 ont répondu qu'ils ressentaient la température intérieure comme étant légèrement trop froide. Les autres considèrent celle-ci comme agréable.

De manière générale, les résultats pourront aussi être lus en comparaison avec les températures de consigne communiquées par les répondants à l'enquête de satisfaction. Ceux-ci avaient en effet, dans 69,4% des cas, indiqué une **température de consigne** dans le séjour en hiver comprise entre 20°C et 21°C (voir point 4.7.5 Attitude face aux consommations énergétiques).

5.3.2 Résultats

Dans les séjours

Les températures mesurées dans le séjour **en journée** (de 6h à 22h) sont représentées dans la Figure 31.

La température moyenne mesurée dans les 25 séjours (et représentée par les losanges) est en moyenne de 20,7°C et varie entre 18,8°C et 23,1°C, soit une **variation de plus de 4°C**. Etant donné que l'ensemble des répondants ont exprimé qu'ils ressentaient la température intérieure dans le séjour comme "agréable", on peut considérer que cette différence est liée aux préférences des occupants vis-à-vis de leur température de confort.

⁴ BEP 2020- PHL, KUL- IWT Tetra project nr 110189 - Betrouwbare energieprestaties van woningen - 2012

Les 6 **maisons passives** (dans le cadre orange à droite du graphe) ne disposent pas de chauffage centralisé et présentent une température moyenne légèrement plus élevée que les autres maisons, soit en moyenne 21,2°C au lieu de 20,5°C. Une différence de température moyenne entre les maisons les mieux isolées et les maisons les moins isolées avait également été constatée dans l'étude BEP 2020 menée en 2012 sur 70 maisons. Cette différence se justifie notamment par le fait que ces maisons sont conçues pour bénéficier au maximum des apports solaires par la présence de grandes baies vitrées exposées au Sud, mais aussi par le fait que, malgré l'absence de chauffage centralisé, certains propriétaires utilisent un chauffage d'appoint pour atteindre la température de confort souhaitée (cassette ou poêle à bois et radiateurs électriques).

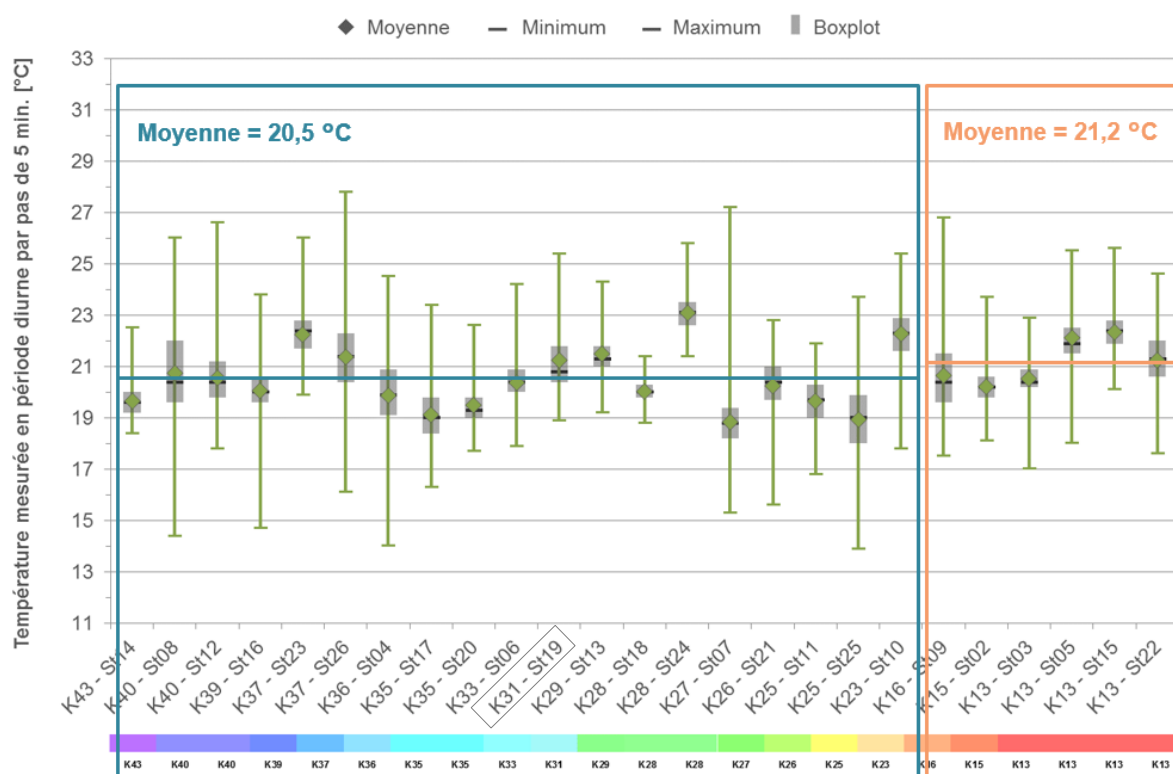


Figure 31 : Mesures en hiver de la température en journée (de 6h à 22h) dans les séjours

Comment lire cette illustration ?

Preons pour exemple la maison St19 (au niveau d'isolation global K=31). La température mesurée de jour dans le séjour varie entre 18,9°C et 25,4°C (extrémités de la droite). La moitié du temps, la température était comprise entre 20,4°C et 21,8°C (extrémités du rectangle gris). La moyenne des températures mesurées (représentée par le losange) est égale à 21,2°C. La ligne noire signifie que la moitié du temps, la température était inférieure à 20,8°C.

Parmi les 16 maisons équipées d'un système de chauffage centralisé, 9 propriétaires ont dit réaliser une **intermittence jour-nuit** (représentée par un ● dans la Figure 32) afin de baisser la température de la maison durant la nuit (de 22h à 6h). Les mesures réalisées dans le séjour ont montré une différence supérieure de 1°C entre la moyenne des températures de jour et celle de la nuit dans seulement 3 maisons. De plus, dans une de celles-ci (la maison n°26), le système de chauffage centralisé ne prévoit aucune intermittence entre le jour et la nuit. L'absence involontaire d'intermittence dans les autres maisons s'explique principalement par l'inertie des installations de chauffage par le sol, couplée à un bon niveau d'isolation global des maisons de l'échantillon.

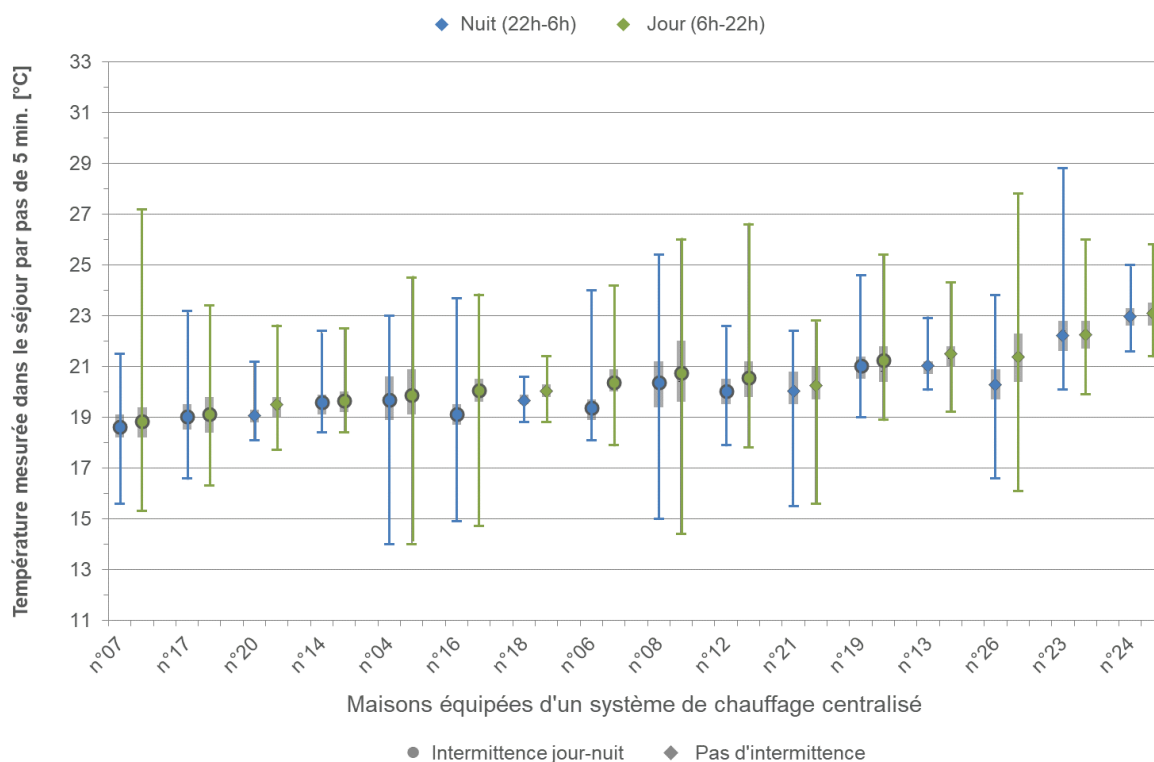


Figure 32 : Mesures en hiver de la température la nuit (en bleu) et en journée (en vert) dans les séjours

Dans les chambres à coucher parentales

Les températures mesurées dans les chambres à coucher parentales **la nuit** (de 22h à 6h) sont représentées par la Figure 33.

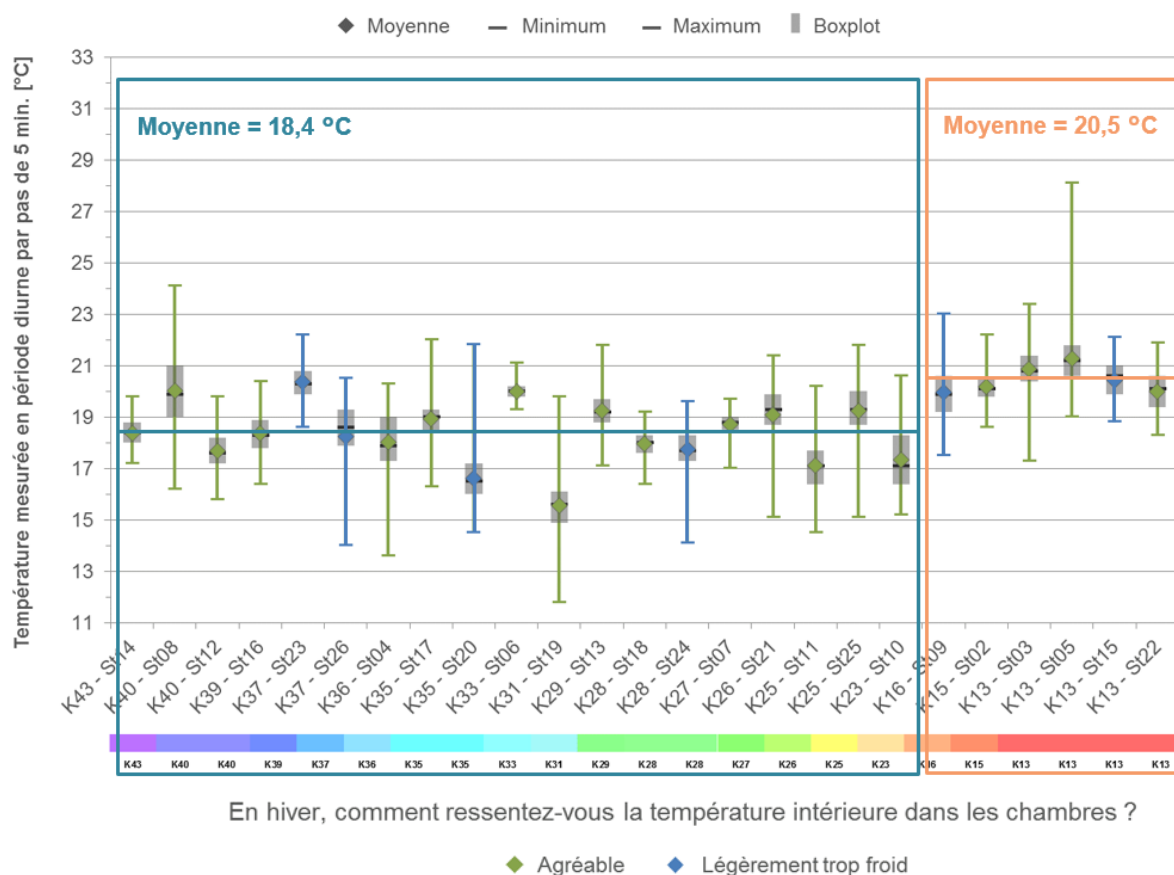


Figure 33 : Mesures en hiver de la température la nuit (de 22h à 6h) dans les chambres parentales

La température moyenne mesurée dans les 25 chambres parentales varie entre 15,6°C et 21,3°C, soit une **variation de près de 6°C**.

Comme pour les séjours, les 6 **maisons passives** (dans le cadre orange à droite du graphe) présentent une température moyenne plus élevée que les autres maisons : 20,5°C de moyenne au lieu de 18,4°C (+2°C de différence).

Les températures mesurées dans les chambres sont inférieures aux températures mesurées dans les séjours (différence de près de 2°C de moyenne). On se rappellera de plus que la température dans les chambres avait parfois été appréciée comme étant **légèrement trop froides** lors de l'enquête de satisfaction (cas en bleu sur le graphe), ce qui n'était pas le cas pour les températures dans les séjours.

5.4 Mesures des températures estivales

L'analyse des mesures de la température intérieure en période estivale concerne la période du 21 juin au 22 septembre 2016 compris, dans les séjours et les chambres à coucher parentales.

Deux propriétaires ayant mis fin au monitoring en cours de parcours, cette analyse porte sur 23 maisons.

5.4.1 Critères d'analyses

L'étude des températures intérieures mesurées en été s'est faite selon deux niveaux d'analyse.

Dans un premier temps, les températures mesurées ont été comparées aux **recommandations⁵ du CIBSE** (Chartered Institution of Building Services Engineers) au Royaume-Uni: pour les bâtiments non-équipés d'un système de climatisation et pour des conditions estivales, la température de confort dans les séjours ne devrait pas dépasser 25°C. Dans les chambres à coucher, le CIBSE recommande une température intérieure inférieure à 24°C, limite à partir de laquelle des études ont montré que la qualité du sommeil diminue.

Dans un second temps, les températures d'air intérieures ont été comparées aux **températures opératives** (moyenne entre la température des parois et celles de l'air) **définissant les classes de confort adaptatif** telles que décrites par la norme NBN EN 15251. Ces classes tiennent compte du fait que l'occupant possède une capacité d'adaptation, qui est à la fois physiologique (modification du métabolisme humain), comportementale (modification du niveau d'habillement, de l'activité, ...) et psychologique (conscience de la capacité d'action). Lorsque les températures extérieures sont élevées durant plusieurs jours, la théorie du confort adaptatif considère par conséquent une adaptation progressive, quantifiée par études statistiques, de l'occupant et une tolérance à des températures plus élevées. Des classes de confort intérieur sont donc définies en fonction de la moyenne pondérée des températures extérieures des derniers jours.

La norme NBN EN 15251 définit 4 classes:

- La classe de confort de **catégorie I** est le niveau de confort le plus élevé et est recommandée pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées.
- La classe de confort de **catégorie II** correspond à un niveau de confort normal et qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations.
- La classe de confort de **catégorie III** correspond à un niveau de confort modéré acceptable qui peut être utilisé dans les bâtiments existants.
- La classe de confort de **catégorie IV** est en dehors des critères des catégories ci-dessus et il convient que cette catégorie soit acceptée seulement pour une partie restreinte de l'année.

⁵ CIBSE Guide A, Environmental Design 2015, CIBSE, Février 2016, 402 pages

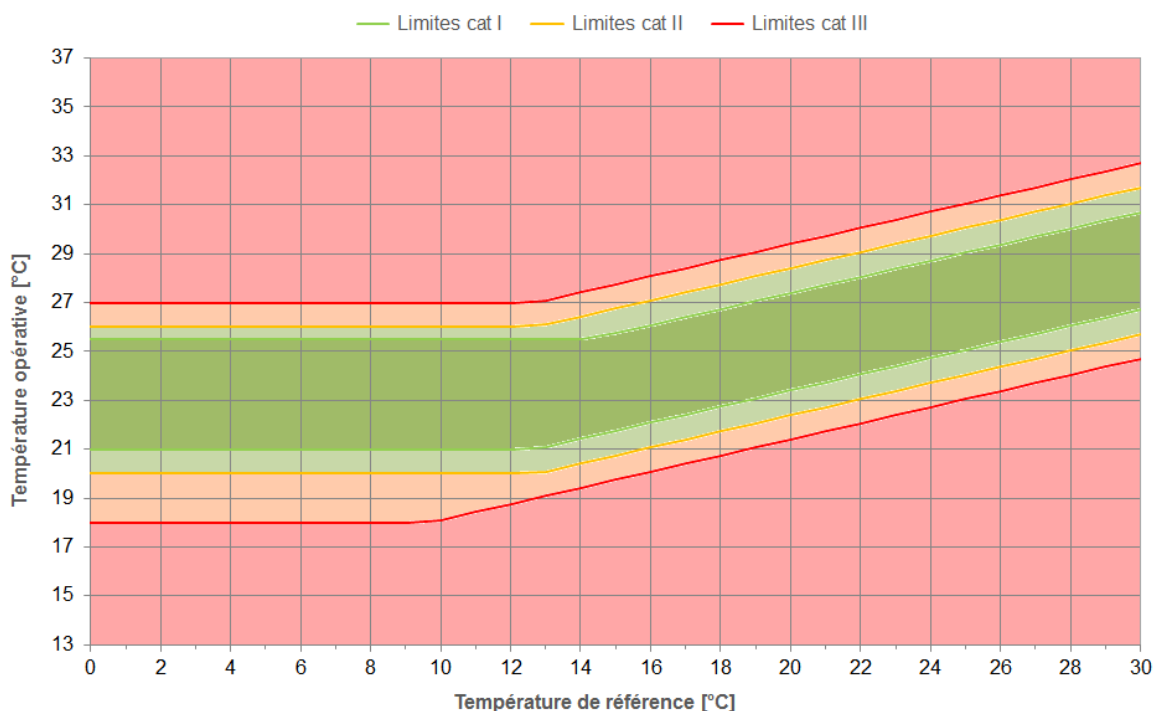


Figure 34 : Classes de confort adaptatif durant les heures d'occupation selon la norme EN15251

Comment lire cette illustration ?

En abscisses, la "température de référence" est une moyenne pondérée des températures extérieures des derniers jours. En ordonnées, la "température opérative" est la moyenne entre la température de l'air intérieur et la température des parois de l'espace considéré⁶. Seules les températures opératives durant les heures d'occupation théoriques de l'occupant sont prises en compte : en journée dans un séjour et la nuit dans une chambre à coucher.

Les différentes classes de confort adaptatif définies par la norme NBN EN 15251 sont représentées par 4 couleurs. La classe de confort de catégorie I est reprise en vert foncé. La catégorie II est reprise en vert clair. La catégorie III est en orange et la catégorie IV est représentée en rouge.

Lorsque la "température de référence" définie par la norme est de 25°C, comme ce fut le cas au terme de la vague de chaleur du mois d'août '16, les "températures opératives" comprises entre 25°C et 29°C constituent la catégorie I (recommandée pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles). Les "températures opératives" supérieures à 31°C sont classées en catégorie IV (acceptée seulement pour une partie restreinte de l'année).

Il faut noter que ces classes de confort ont, au départ, été définies pour des bâtiments non résidentiels (bureaux principalement) non climatisés. Si le métabolisme humain associé aux activités réalisées dans des bâtiments de bureaux peut être comparable à celui associé aux activités résidentielles, les **périodes d'occupation** peuvent fortement différer. Un bâtiment résidentiel peut, en effet, être inoccupé durant les heures les plus chaudes de la journée. Or durant cette période, une interaction sur l'environnement (telle que le déploiement de protections solaires par exemple) est susceptible d'éviter l'augmentation soudaine de la température intérieure. Toutefois, dans le cadre de cette étude, l'analyse des températures intérieures selon ces classes de confort a été réalisée pour l'ensemble des maisons de l'échantillon, en faisant abstraction de leurs heures d'occupation réelles.

⁶ Dans le cadre de cette étude, les températures opératives n'ont pas pu être mesurées. Celles-ci ont donc été approchées en considérant uniquement la température de l'air intérieur.

Les mesures de température ont également été mises en parallèle avec l'**enquête de satisfaction, réalisée au préalable**, et en particulier avec la question suivante (voir point 4.5 Appréciation des ambiances thermique et respiratoire) :

"En été, comment ressentez-vous la température intérieure dans les pièces suivantes ?"

Les occupants avaient répondu ressentir la température intérieure dans le séjour (14 réponses sur 23) et dans les chambres (18 réponses sur 23) comme étant légèrement trop chaude, voire trop chaude.

5.4.2 Résultats

Dans les séjours

Les températures mesurées dans le séjour en journée (de 6h à 22h) sont représentées par la Figure 35.

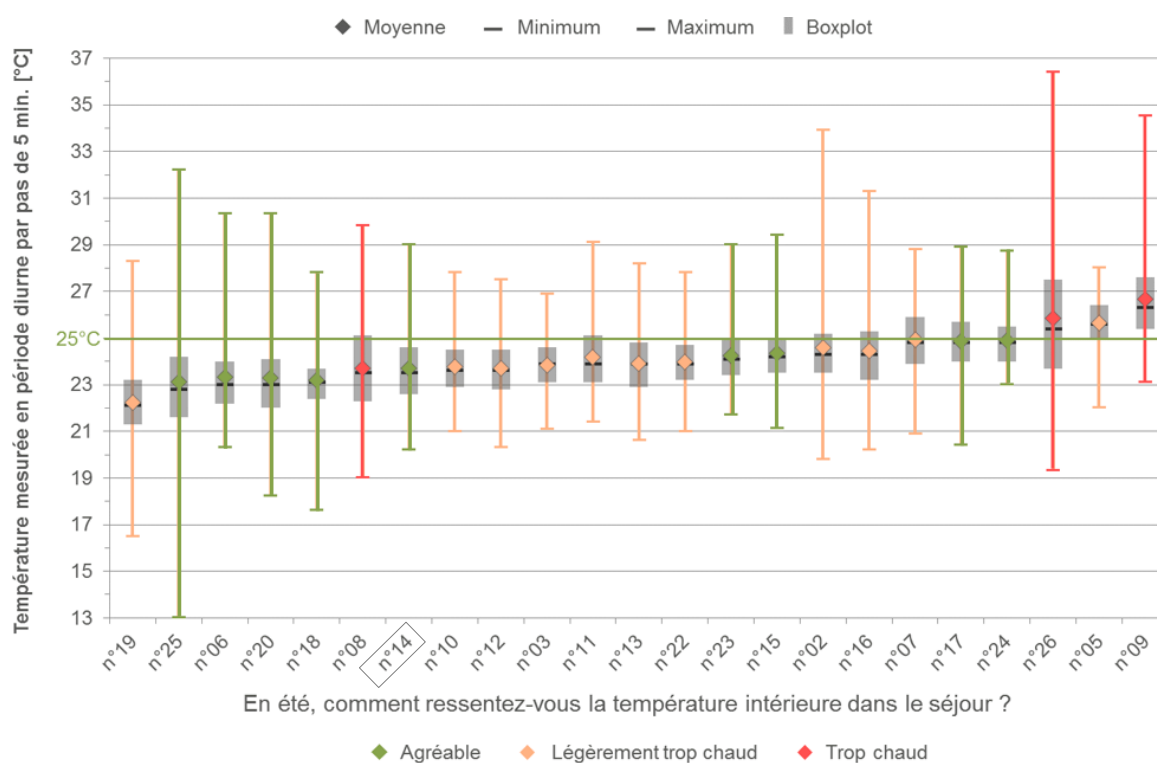


Figure 35 : Mesures en été de la température en journée (de 6h à 22h) dans les séjours

Comment lire cette illustration ?

Prenons pour exemple la maison n°14. Les propriétaires y ressentent la température comme agréable (exprimé par la couleur verte). La température mesurée de jour dans le séjour varie entre 20°C et 29°C (extrémités de la droite). La moitié du temps, la température était comprise entre 22,6°C et 24,6°C (extrémités du rectangle gris). La moyenne des températures mesurées (représentée par le losange) est égale à 23,7°C. La ligne noire signifie que la moitié du temps, la température était inférieure à 23,5°C.

En considérant les recommandations du CIBSE, on constate que dans 3 maisons sur 23 (les maisons n°26, n°05 et n°09), la température critique fixée à 25°C est **dépassée** plus de la moitié du temps (soit plus de 8 heures par jour en moyenne). Parmi elles, les propriétaires de 2 maisons ont dit ressentir la température intérieure de leur séjour comme trop chaude.

Par ailleurs, les températures mesurées en été dans les séjours des maisons n°8, n°11 et n°15, illustrent que pour une température intérieure moyenne similaire (moyenne située aux alentours de 24°C), les occupants avaient signalé une sensation thermique estivale 'agréable' alors que d'autres l'avaient considérée comme 'légèrement trop chaude', voire 'trop chaude'. Ceci peut s'expliquer en partie par la sensibilité des occupants. Mais la **sensation de chaleur** est également influencée par d'autres facteurs qui n'ont pas été évalués : la température des parois (le rayonnement chaud qui proviendrait des vitrages par exemple), une capacité insuffisante de l'occupant de pouvoir interagir et s'adapter à son environnement (ouverture de fenêtre, déploiement d'une protection solaire...), une sensibilité plus importante aux maxima qu'aux moyennes, etc.

La distribution des **classes de confort** définies par la norme NBN EN 15251 résultant des températures de l'air intérieur mesurées dans les séjours en journée (de 6h à 22h) est reprise à la Figure 36.

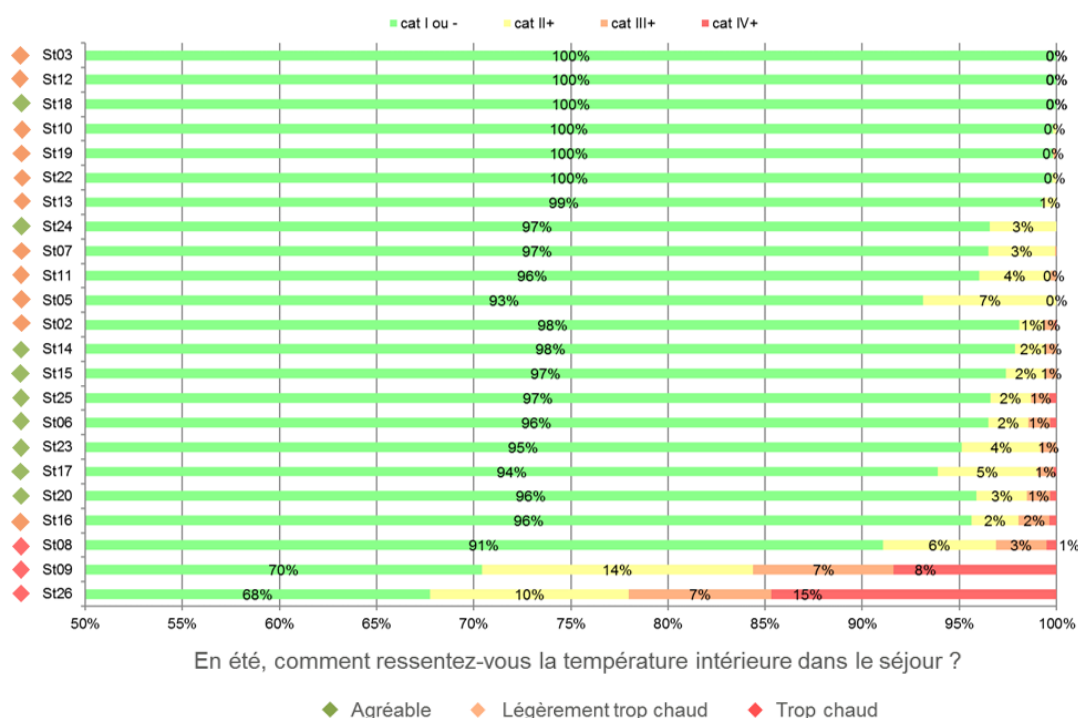


Figure 36 : Distribution des classes de confort adaptatif dans les séjours en journée, en été

Comment lire cette illustration ?

Prenons pour exemple la maison n°09. Les propriétaires ressentent la température dans le séjour comme trop chaude (exprimé par le losange de couleur rouge). La température de l'air intérieur mesurée de jour dans le séjour se situe 70% du temps, dans une classe de confort qui convient aux personnes très sensibles et fragiles (la catégorie I représentée en vert). 14% du temps (catégorie II en jaune), la température intérieure atteint le niveau normal attendu bien qu'elle ne conviendra pas aux personnes sensibles. 7% du temps, la température atteindra un niveau modéré mais acceptable (en orange). Des températures en dehors de ces critères et acceptées seulement pour une partie restreinte de l'année, ont été mesurées 8% du temps (en rouge).

En considérant les classes de confort adaptatif, on constate que 11 maisons sur 23 sont toujours en classe de confort de catégorie I ou II, ce qui correspond à un **niveau normal attendu** pour les bâtiments neufs.

Par ailleurs, les 3 maisons pour lesquelles les propriétaires ont dit ressentir la température intérieure comme **trop chaude** (n°08, n°09 et n°26) présentent la situation la plus défavorable. Pour les maisons n°09 et n°26, des températures en dehors d'un niveau acceptable ont été mesurées durant 8% à 15% du temps considéré (de 6h à 22h), soit entre 1h à 2h30 par jour. Pour la maison n°08, la température intérieure moyenne illustrée dans la Figure 35 est comparable, voire moins élevée que la température moyenne des autres maisons. Cependant, en tenant compte de l'évolution des températures extérieures, les températures mesurées dans le séjour se situent en catégorie III et en catégorie IV durant respectivement 3% et 1% du temps (voir Figure 36). Cette durée est plus importante que pour les autres maisons, ce qui peut expliquer la différence de ressenti de l'occupant qui estime la température intérieure de son séjour comme trop chaude.

Dans les chambres à coucher parentales

Les températures intérieures mesurées **de nuit** (de 22h à 6h) dans les chambres à coucher parentales sont reprises à la Figure 37.

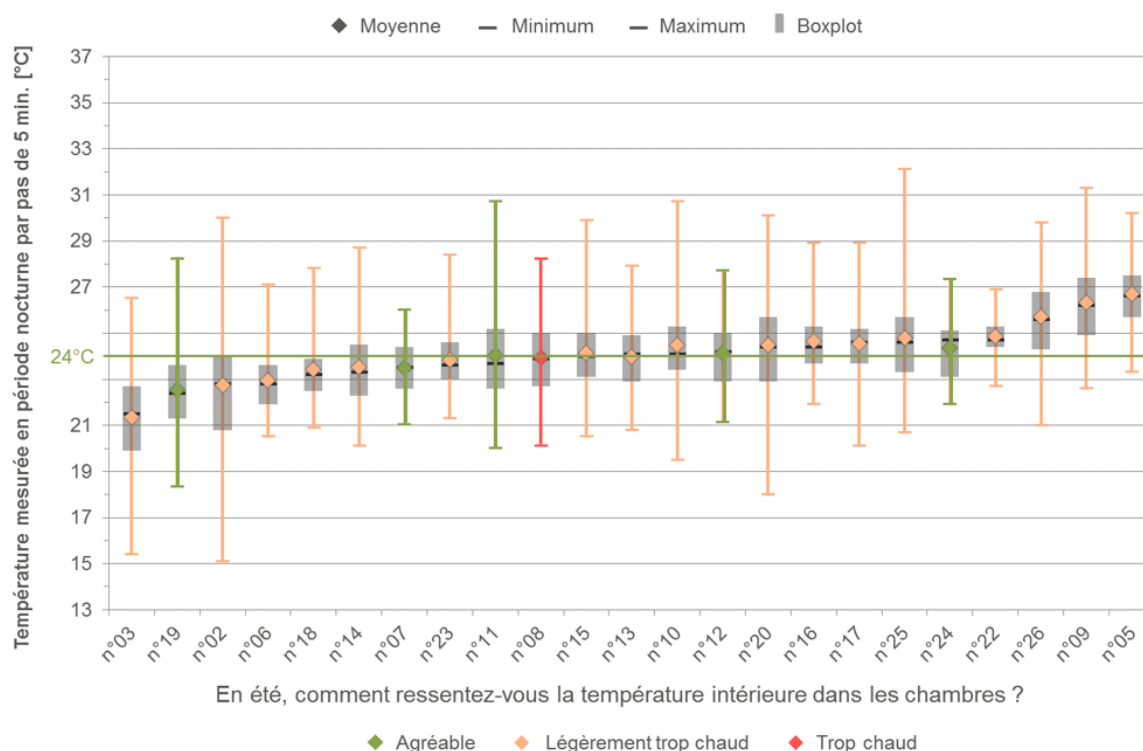


Figure 37 : Mesures en été de la température la nuit (de 22h à 6h) dans les chambres parentales

Dans les chambres à coucher parentales, la température de confort recommandée par le CIBSE est régulièrement dépassée dans la **majorité des maisons**. Dans 12 maisons sur 23, cette situation est rencontrée plus de la moitié du temps (soit en moyenne plus de 4 heures par nuit). La situation semble donc moins favorable dans les chambres à coucher que dans les séjours. Par ailleurs, seuls 5 propriétaires sur 23 disent ressentir la température intérieure de leur chambre à coucher comme étant agréable alors que 9 propriétaires ont exprimé ce ressenti concernant la température dans leur séjour.

La Figure 38 illustre la distribution des classes de confort adaptatif résultant des mesures durant la nuit (de 22h à 6h) de la température intérieure dans les chambres à coucher parentales.



Figure 38 : Distribution des classes de confort adaptatif dans les chambres parentales la nuit

Les températures mesurées dans les chambres à coucher sont toujours en **classe de confort** de catégorie I ou II (niveau normal attendu pour les bâtiments neufs) dans 14 maisons sur 23.

Dans 6 maisons, les températures mesurées se situent **en dehors de ces catégories** durant plus de 3% du temps (ce qui représente en moyenne 15 minutes par nuit ou 3 nuits entières parmi les 94 nuits que compte un été).

Caractéristiques discriminantes

Ces résultats ont fait l'objet d'une étude statistique ayant pour but de déterminer quelles pourraient être les facteurs ayant un **impact**, statistiquement, **significatif** sur le risque que les températures intérieures soient trop élevées et situées dans une classe de confort non-satisfaisante. L'étude a révélé que, pour l'échantillon analysé, les caractéristiques discriminantes sont les suivantes :

- L'absence de **protections solaires** ;
- Une **taille du séjour** (volume et superficie) supérieure à la moyenne. On peut supposer que cette caractéristique soit en lien direct avec les superficies vitrées présentes dans le séjour : plus la taille du séjour est grande, plus la superficie vitrée de celui-ci est importante et plus les apports solaires seront importants également en l'absence de protections solaires.
- Peu de **moment de présence**. Les moments de présence influencent la capacité de **gestion de la ventilation et des protections solaires** de la part des occupants.
- Une implantation de la chambre **sous la toiture** ;
- Un manque d'**ombrage extérieur** (impact sur les températures intérieures dans le séjour principalement).

Efficacité de la ventilation intensive de nuit

Par ailleurs, la Figure 38 montre que le comportement de l'occupant a un impact considérable sur les températures intérieures. En particulier la distribution des classes de confort des maisons n°03 et n°05 permettent d'illustrer l'efficacité de la mise en place d'une **ventilation intensive de nuit**.

En effet, pour ces 2 maisons mitoyennes, de nombreuses caractéristiques constructives sont similaires (voir Tableau 6). Or les températures intérieures mesurées dans les chambres à coucher parentales sont à l'opposé les unes des autres : les propriétaires de la maison n°03 appliquant une ventilation intensive de nuit bénéficient de températures intérieures nocturnes inférieures à celles de la maison n°05 pour laquelle les propriétaires n'exercent pas de ventilation intensive durant la nuit.

	Maison n°03	Maison n°05
Ventilation naturelle intensive de nuit	oui	non
Volume protégé	449 m ³	567 m ³
Niveau d'isolation globale	K = 13	K = 13
Taux de renouvellement d'air	n ₅₀ = 0,64 h ⁻¹	n ₅₀ = 0,57 h ⁻¹
Inertie	peu lourd	peu lourd
Orientation principale des vitrages	Sud	Sud
Température moyenne mesurée la nuit	21,4 °C	26,7 °C

Tableau 6 : Exemple de l'efficacité de la ventilation intensive de nuit avec deux maisons adjacentes

La Figure 39 illustre l'efficacité de la ventilation intensive de nuit réalisée dans la chambre à coucher parentale de la maison n°03 lors de la semaine du mois d'août 2016 durant laquelle s'est produite une vague de chaleur. La ventilation intensive a permis de faire baisser la température intérieure chaque nuit de **près de 5°C**. A contrario, dans la chambre à coucher parentale de la maison n°05, sans ventilation intensive de nuit, la température intérieure qui était de 25°C au début de la période considérée, a augmenté jusqu'à plus de 30°C en fin de période.

Il arrive que les propriétaires ignorent que leur installation de ventilation hygiénique ne remplace pas la nécessité de réaliser une ventilation naturelle intensive de nuit. Dans d'autres cas, les maisons ne sont parfois pas **correctement équipées** pour la réaliser convenablement: absence de moustiquaires aux fenêtres, risque d'intrusion au rez-de-chaussée, ... Ces résultats démontrent que la ventilation naturelle intensive de nuit est efficace pour maintenir des températures intérieures confortables.

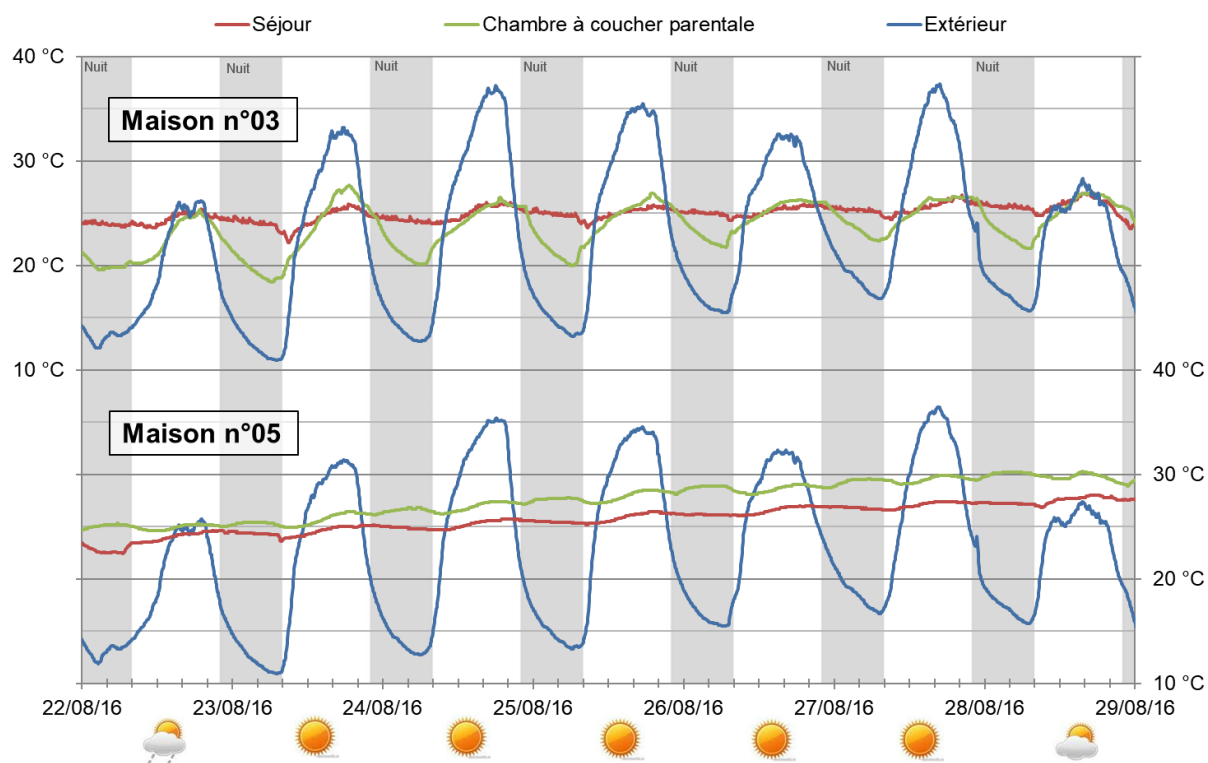


Figure 39 : Mesure des températures du 22 au 29 août 2016 dans les maisons n°03 et n°05

5.5 Mesures des concentrations en CO₂

L'analyse des mesures de concentration en CO₂ s'est portée sur la période hivernale (du 22/12/15 au 19/03/16 compris).

5.5.1 Critères d'analyses

Les concentrations en CO₂ ont été analysées sur base des **classes de qualité de l'air** définies par la norme NBN EN 15251. Ces classes tiennent compte du pourcentage de personnes satisfaites de la qualité de l'air, en fonction du taux de renouvellement d'air de la pièce (voir Tableau 7).

Le projet de norme européenne prEN 16798-1 complète la classification de la norme NBN EN 15251 en fonction de taux de renouvellement d'air de la pièce, en faisant correspondre aux classes de qualité de l'air, des **concentrations en CO₂** en fonction de la pièce considérée : pour chaque valeur seuil de débit de ventilation défini par la norme, une concentration en CO₂ maximale est prescrit. Celle-ci sera plus faible dans les chambres à coucher que dans les séjours étant donné que l'on produit moins de CO₂ quand on dort. Les classes de qualité de l'air dans les séjours et les chambres sont reprises au Tableau 7.

	Qualité de l'air	Débit min	Pièce	Concentration en CO ₂	
				Seuil inférieur	Seuil supérieur
Catégorie I	Très bonne	10 l/s.pers	Séjour	-	950 ppm
			Chambre	-	780 ppm
Catégorie II	Moyenne	7 l/s.pers	Séjour	950 ppm	1200 ppm
			Chambre	780 ppm	950 ppm
Catégorie III	Suffisante	4 l/s.pers	Séjour	1200 ppm	1750 ppm
			Chambre	950 ppm	1350 ppm
Catégorie IV	Insuffisante	-	Séjour	1750 ppm	-
			Chambre	1350 ppm	-

Tableau 7 : classification selon la NBN EN 15251 et la prEN 16798-1 de la qualité de l'air en fonction du taux de renouvellement d'air et de la concentration en CO₂

L'analyse des mesures de concentration en CO₂ tient compte de ces différentes valeurs seuils.

Les mesures de concentration en CO₂ ont été mises en parallèle avec le **type de système de ventilation** des maisons. Le chapitre 5.1.1 Caractéristiques générales montre que parmi les 25 maisons soumises au monitoring, 22 sont équipées d'un système de ventilation de type D ou double-flux avec récupération de chaleur (extraction d'air mécanique et amenée d'air mécanique). Deux maisons sont équipées d'un système de ventilation de type A ou naturel (extraction d'air naturelle et amenée d'air naturelle). La dernière maison est théoriquement équipée d'un système de ventilation de type C ou simple flux (extraction d'air mécanique et amenée d'air naturelle). Toutefois, durant la période de mesure, l'extraction mécanique n'était pas opérationnelle et le système de ventilation a donc été considéré comme étant un système naturel ou de type A. Ces trois maisons sont identifiées dans les graphiques par la lettre A.

Remarque : durant la période considérée, un certain nombre de mesures de concentration en CO₂ sont inférieures à la valeur de 400 ppm (valeur de référence de l'auto-calibration des instruments, voir à ce sujet le point 3.2.2). Pourtant, des valeurs réelles de concentration en CO₂ à l'intérieur des maisons inférieures aux valeurs de concentration en CO₂ dans l'air extérieur (de l'ordre de 350 à 450 ppm selon l'endroit et le moment) sont impossibles. Ces valeurs mesurées trop faibles peuvent toutefois s'expliquer, au moins partiellement :

- L'auto-calibration des instruments peut dans certains cas mener à une erreur. Si lors de la période considérée par l'auto-calibration, la concentration réelle en CO₂ la plus basse est au-dessus de 400 ppm (par exemple 425 ppm), l'instrument va s'auto-calibrer et réduire automatiquement chaque concentration mesurée de 25 ppm. Dans ce cas, si après l'auto-calibration la concentration en CO₂ diminue en dessous de 425 ppm, la valeur indiquée par l'instrument sera alors inférieure à 400 ppm.
- L'erreur réelle de l'instrument de mesure pourrait aussi être supérieure à l'erreur maximale annoncée par le fabricant. Il n'est pas non plus exclu que l'un ou l'autre instrument présente un défaut de manière ponctuelle. Ceci pourrait être le cas des appareils de mesures situés dans le séjour des maisons 8 et 12 et qui présentent de très nombreuses mesures inférieures à 400 ppm (voir la Figure 40). En effet, pour ces deux cas, les mesures de concentrations trop basses ne peuvent pas uniquement être expliquées par l'auto-calibration.

5.5.2 Mesures préliminaires : mesures des débits de ventilation en position normale d'utilisation

Les débits de ventilation des systèmes de type D ont été mesurés dans les pièces où la concentration en CO₂ a été relevée et lorsque les ventilateurs étaient **en position normale d'utilisation**. C'est-à-dire que les débits qui ont été mesurés sont des débits réels, correspondant à la position des ventilateurs utilisée la plupart du temps lorsque la pièce est occupée.

Les débits mesurés ont été corrigés en tenant compte du nombre d'occupants usuels de la pièce et comparés aux valeurs seuils de taux de renouvellement d'air prescrits par la classification de la norme NBN EN 15251 (voir Figure 40).

Il en résulte que les débits de ventilation mesurés sont classés en catégorie II ou III, (c'est-à-dire assurant une qualité de l'air moyenne ou suffisante) dans 9 séjours sur 22 et dans seulement 2 des chambres à coucher parentales. Cela signifie que les débits de ventilation de ces pièces sont **majoritairement en-dessous** du taux de renouvellement d'air défini comme suffisant par la norme NBN EN 15251.

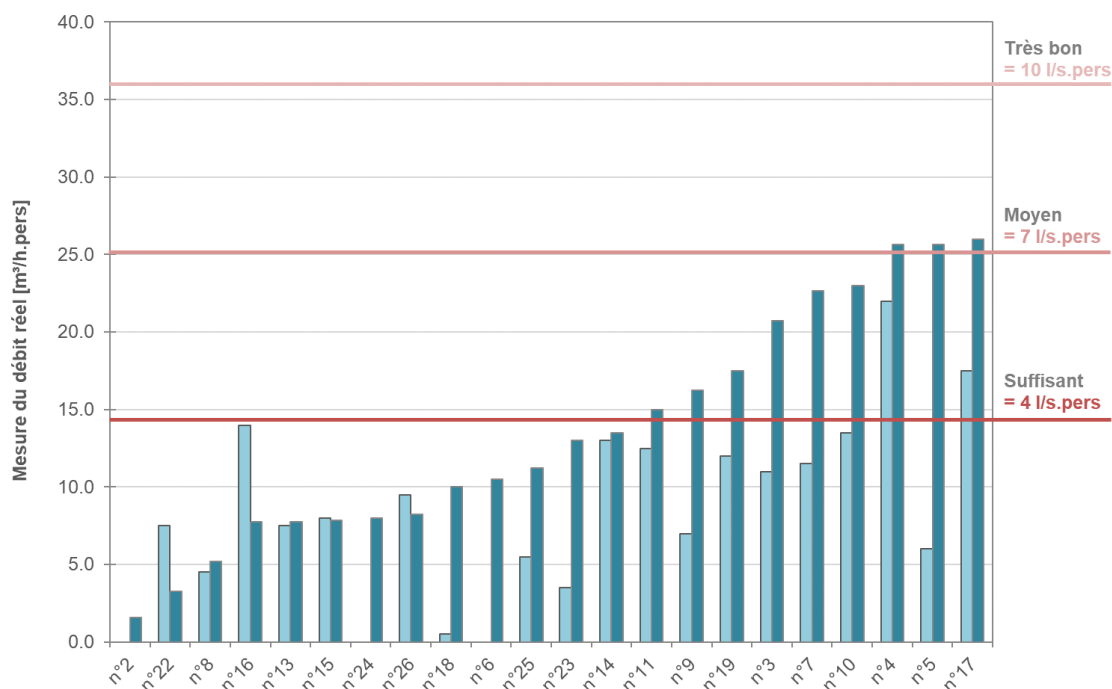


Figure 40 : Mesures du débit en position normale d'utilisation dans les séjours (bleu foncé) et dans les chambres à coucher parentales (bleu clair)

Il faut toutefois noter que cette insuffisance au regard des classes de la norme ne porte que sur les débits réels et non sur le dimensionnement ou le réglage de l'ensemble de l'installation. En effet, les ventilateurs disposent tous de différentes vitesses assurant différents débits de ventilation. Si dans la majorité des maisons, la **position nominale** permet d'assurer une qualité d'air suffisante selon la norme, cette vitesse-là n'est utilisée qu'occasionnellement, ce qui explique les résultats cités ci-dessus.

5.5.3 Résultats

Dans les séjours

Les valeurs mesurées dans le séjour, de jour et de nuit sont présentées à la Figure 41.

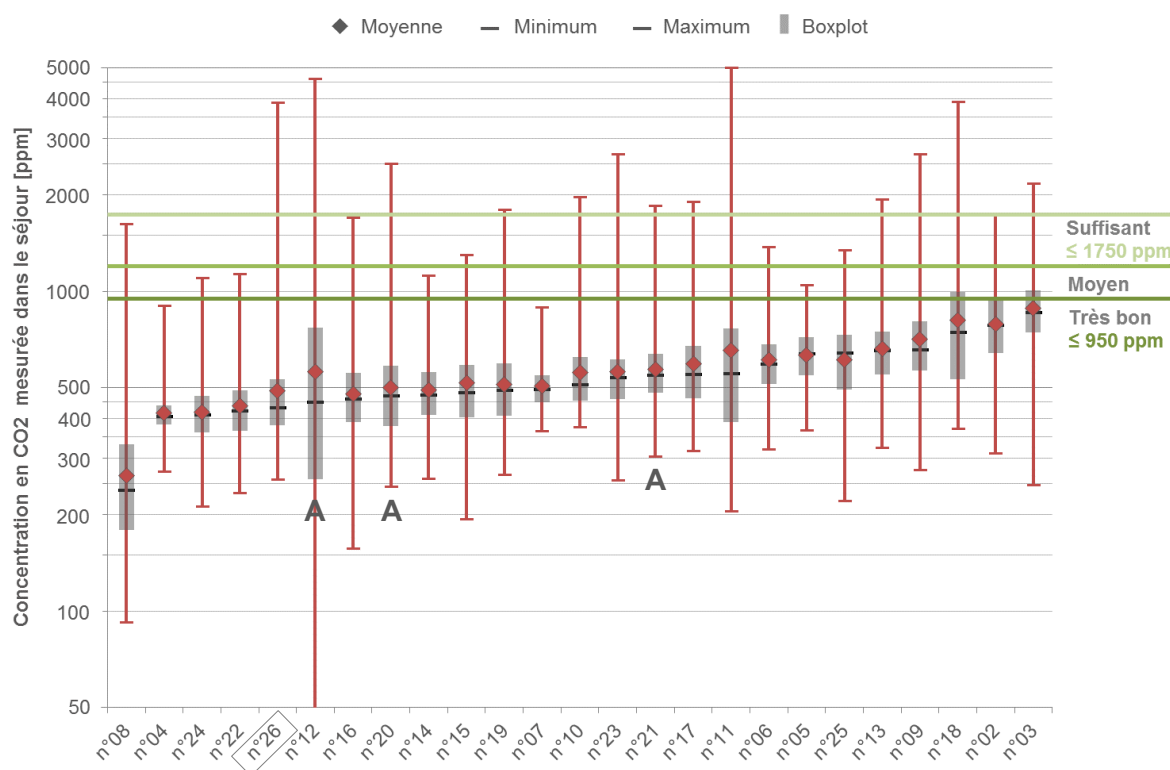


Figure 41 : Mesures de la concentration en CO₂ de jour et de nuit (24h/24) dans les séjours

Comment lire cette illustration ?

Prenons pour exemple la maison n°26, équipée d'un système de ventilation de type D. La concentration en CO₂ mesurée de jour et de nuit dans le séjour varie entre ± 250 et 4000 ppm (extrémités de la droite). La moitié du temps, la concentration en CO₂ était comprise entre 380 et 530 ppm (extrémités du rectangle gris). La moyenne des concentrations mesurées (représentée par le losange) est égale à ± 500 ppm. La ligne noire signifie que la moitié du temps, la concentration en CO₂ n'a pas dépassé 430 ppm.

A l'exception de 3 maisons (n°18, n°02 et n°03) les mesures de concentration en CO₂ sont classifiées en catégorie I (qualité de l'air **très bonne**) durant plus de 75% du temps.

Par ailleurs, les mesures réalisées dans le séjour des maisons équipées d'un système de ventilation de type A (**ventilation naturelle**) ne montrent pas de résultats significativement différents de ceux issus des maisons équipées d'un système de type D.

La distribution des **classes de qualité de l'air** définies par la norme NBN EN 15251 résultant des concentrations en CO₂ mesurées dans les séjours de jour et de nuit (24h/24h) est reprise à la Figure 42.



Figure 42 : Distribution des classes de qualité de l'air de jour et de nuit (24h/24) dans les séjours

Comment lire cette illustration ?

Prenons pour exemple la maison n°18. La concentration en CO₂ mesurée dans le séjour se situe 72% du temps, dans une classe de qualité de l'air définie comme étant très bonne (la catégorie I représentée en vert). 15% du temps (catégorie II en jaune), la concentration en CO₂ mesurée correspond à un niveau de qualité de l'air moyen. 11% du temps, le niveau de qualité de l'air est considéré comme suffisant (en orange). Des concentrations de CO₂ correspondant à une qualité de l'air insuffisante ont été mesurées 2% du temps (en rouge).

Pour l'ensemble des 25 maisons de l'échantillon, les concentrations en CO₂ mesurées dans le séjour sont inférieures à 1750 ppm plus de 97% du temps. Par rapport aux résultats de mesure des débits de ventilation par personne dans les séjours (majoritairement insuffisants, voir point 0), ces résultats pour la concentration en CO₂ peuvent sembler surprenant. Cette différence doit néanmoins être nuancée avec les éléments suivants :

- Les débits de ventilation par personne ont été calculés pour le nombre total de personnes occupants théoriquement le logement. Or les séjours ne sont en pratique occupés par ce nombre de personnes qu'une petite partie du temps, principalement en soirée. Cette partie du temps est très faible par rapport aux 24h sur lesquelles sont évaluées les concentrations en CO₂.
- Il n'y a pas que le débit de ventilation mécanique qui contribue au renouvellement d'air réel. D'autres éléments peuvent améliorer, au moins ponctuellement, le renouvellement d'air des séjours, notamment : portes ouvertes vers d'autres pièces (halls, cages d'escalier, etc.), utilisation de hottes de cuisine par extraction, ouverture éventuelle des fenêtres, etc.
- Enfin, les séjours sont généralement des pièces de grande dimension et donc de grand volume. Dans ces conditions, il faut un certain temps pour atteindre une valeur d'équilibre de la concentration en CO₂ correspondant au débit de ventilation et au nombre de personnes présentes. Ce temps pour atteindre une valeur d'équilibre peut dès lors être de plusieurs heures. Il faut donc garder à l'esprit que les concentrations en CO₂ relevées ci-dessus ne sont, en tout cas pour les séjours, probablement pas des valeurs correspondant à ces valeurs d'équilibre.

Dans les chambres à coucher parentales

La Figure 43 présente les concentrations en CO₂ mesurées de nuit uniquement (de 22h à 6h) dans les chambres à coucher parentales.

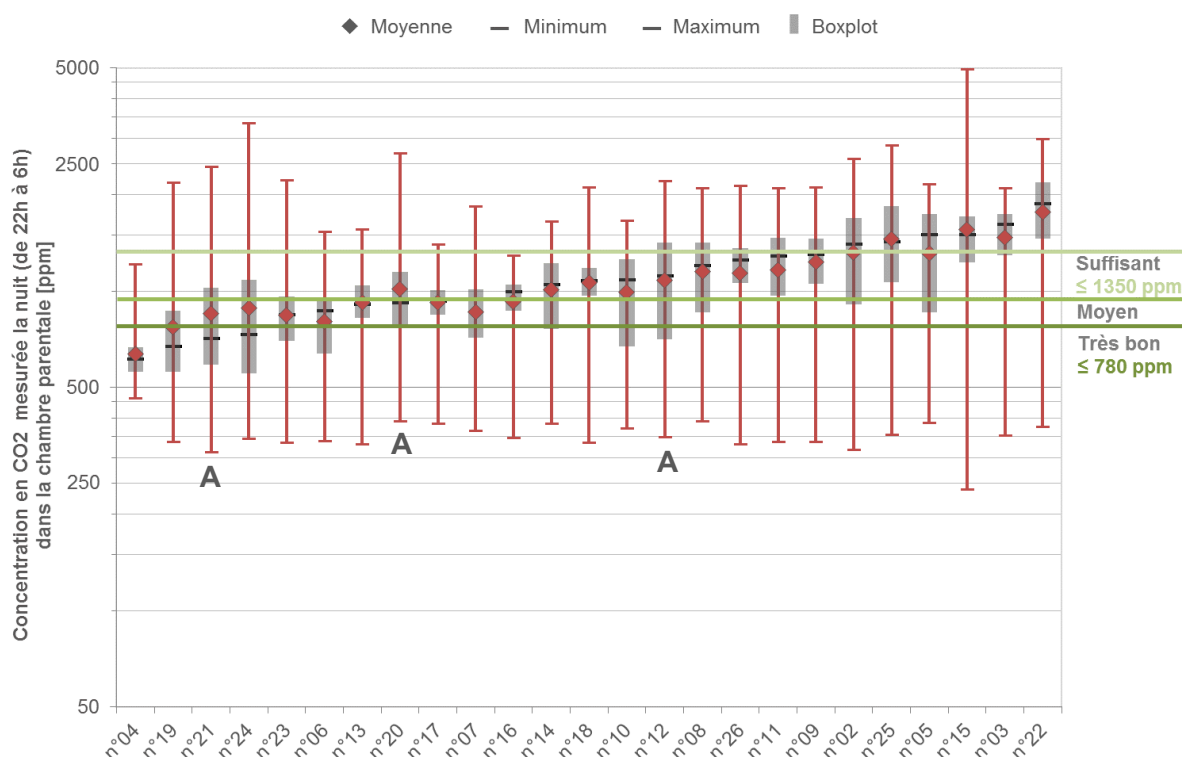


Figure 43 : Mesures de la concentration en CO₂ de nuit (de 22h à 6h) dans les chambres parentales

Dans les chambres à coucher de 11 maisons sur 25, les mesures de concentration en CO₂ durant la nuit sont classifiées en catégorie IV (qualité de l'air insuffisante) plus de 25% du temps.

De même que pour les séjours, les mesures réalisées dans les chambres doubles des maisons équipées d'un système de ventilation de type A (**ventilation naturelle**) ne montrent pas de résultats significativement différents de ceux issus des maisons équipées d'un système de type D.

La distribution des **classes de qualité de l'air** définies par la norme NBN EN 15251 résultant des concentrations en CO₂ mesurées dans les chambres à coucher parentales de nuit (de 22h à 6h) est reprise à la Figure 44.

Pour l'ensemble des 25 chambres à coucher, une concentration en CO₂ supérieure à 1350 ppm (catégorie IV en rouge) a été mesurée en moyenne durant 23% du temps considéré, soit un peu moins de 2h par nuit en moyenne. Cette valeur-seuil correspond à une qualité de l'air définie comme étant **insuffisante** par le projet de norme prEN 16798-1. Dans 6 chambres à coucher (n°15, n°25, n°05, n°02, n°03 et n°22), des valeurs supérieures à 1350 ppm ont même été mesurées plus de 50% du temps considéré, soit plus de 4h par nuit en moyenne. Seules 7 chambres à coucher (n°04, n°16, n°06, n°17, n°07, n°13 et n°23) présentent des mesures de concentration de CO₂ inférieures à cette valeur-seuil durant plus de 97% du temps.

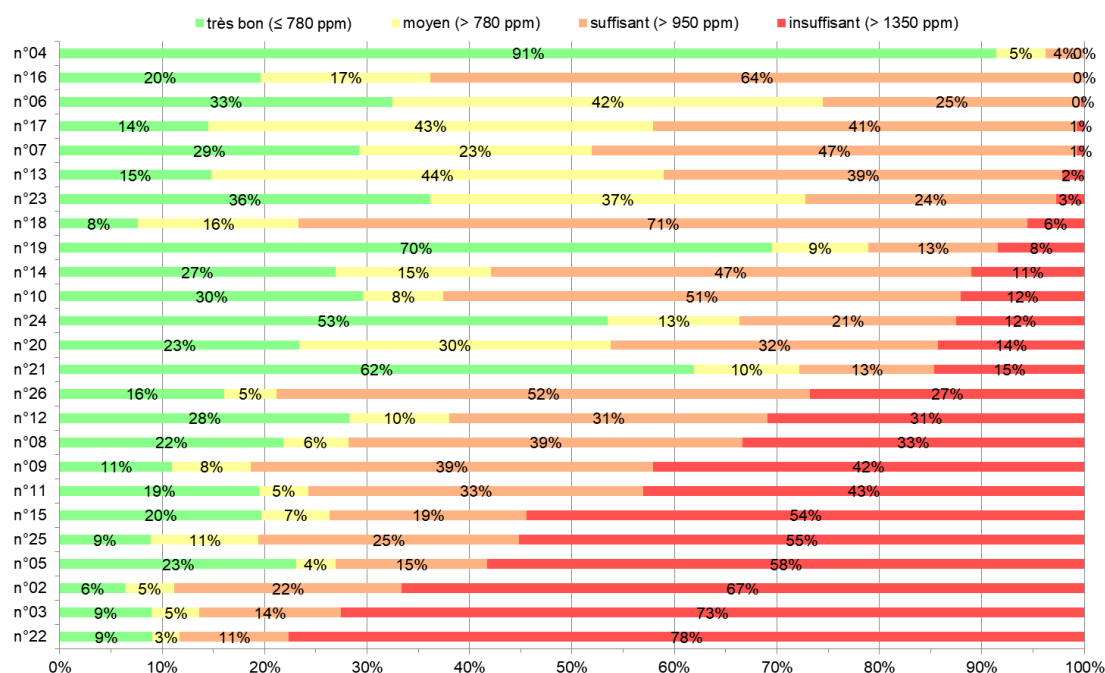


Figure 44 : Distribution des classes de qualité de l'air de nuit (de 22h à 6h) dans les chambres parentales

Ces résultats sont à mettre en parallèle avec les mesures des débits de ventilation. En effet, les débits réels de ventilation en condition d'utilisation répondaient aux critères de la norme (en étant supérieurs au seuil qui définit la classe de qualité de l'air suffisante) dans moins de 10% des chambres parentales. Pour les chambres à coucher, on peut donc établir un lien entre d'une part, des **débits de ventilation usuels trop faibles** pour garantir, selon la norme NBN EN 15251, une qualité de l'air suffisante et d'autre part, des concentrations en CO₂ trop élevées durant la nuit et qui dès lors, ne garantissent pas, selon le projet de norme prEN 16798-1, une qualité de l'air suffisante.

Contrairement aux cas des séjours discutés ci-dessus, il semble donc y avoir une meilleure cohérence entre les résultats de débit et les résultats de concentration en CO₂ pour les chambres à coucher. Une raison est notamment que, pour les chambres à coucher, la concentration d'équilibre en CO₂ (correspondant à un débit de ventilation et un nombre d'occupants) a plus de chance d'être atteinte car les chambres sont, à priori, occupées de manière continue pendant une longue période, ce qui n'est probablement pas le cas des séjours.

Néanmoins, établir une relation directe entre le débit de ventilation mesuré et la concentration en CO₂ reste très délicat pour les raisons suivantes :

- Le nombre de personnes occupant réellement la chambre n'est pas connu. Celui-ci a pourtant une influence directe sur le rejet de CO₂ dans l'air. La présentation des résultats fait l'hypothèse que toutes les chambres parentales sont occupées de la même manière (par 2 personnes), or certains ménages sont monoparentaux, une personne peut être régulièrement en déplacement, un enfant peut avoir rejoint ses parents à certains moments de la nuit, etc.
- La position des appareils de mesure varie d'une chambre à l'autre: ils ont été placés soit sur la table de nuit (moins d'1 m de distance du lit), soit sur une commode soit sur une garde-robe (à plus de 2m de hauteur). La concentration en CO₂ n'est peut-être pas parfaitement homogène dans la pièce et l'emplacement du capteur de CO₂ peut donc influencer la valeur mesurée. La situation dans laquelle est réalisée la mesure de concentration en CO₂ n'est donc pas identique et peut avoir un impact sur la comparaison des résultats.
- L'ouverture ou la fermeture de la porte durant la nuit a un impact sur le taux de renouvellement d'air de la pièce. Cette information n'étant pas connue, elle n'est pas prise en compte dans la comparaison des résultats.
- D'autres éléments peuvent également influencer le renouvellement d'air réel d'une pièce : l'étanchéité à l'air de cette pièce, ses dimensions (qui vont influencer le délai avant que la concentration en CO₂ atteigne une valeur d'équilibre), les conditions météorologiques ponctuelles, l'ouverture éventuelle des fenêtres avant ou après la nuit, etc.

5.6 Mesures acoustiques

Des mesures permettant d'évaluer le confort acoustique de **l'installation de ventilation** ont été réalisées dans 5 maisons issues de l'échantillon de niveau 3 (voir aussi point 3 Description des méthodes employées).

Ces maisons sont équipées d'un système de ventilation de type D ou **double flux** avec récupération de chaleur. La mesure du bruit de l'installation de ventilation a été réalisée dans 4 pièces distinctes : le séjour, la chambre à coucher parentale, la salle de bains ainsi que la chambre d'un enfant ou un bureau.

5.6.1 Critères d'analyses

Le bruit émis par l'installation de ventilation est mesuré **pour les 3 positions du commutateur** de vitesse des ventilateurs. Le bruit de fond, lorsque le groupe de ventilation est éteint, est également mesuré et sert de référence.

La norme NBN S 01-400-1:2008 prescrit des **valeurs seuils** de niveau de bruit à ne pas dépasser afin de rester dans une catégorie de confort acoustique définie. Ces catégories de niveau de confort acoustique sont au nombre de deux : un confort acoustique normal et un confort acoustique supérieur.

	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Salles de bains / WC	35 dB	30 dB
Cuisines	35 dB	30 dB
Séjours, s-à-m, bureau	30 dB	27 dB
Chambres à coucher	27 dB	25 dB

Tableau 8 : classification du confort acoustique selon la norme NBN EN ISO 10052:2005

5.6.2 Résultats

Les niveaux de bruit standardisés $L_{Ainst,nT}$, lorsque le commutateur de vitesse des ventilateurs est en position nominale (c'est-à-dire à la position pour laquelle la vitesse des ventilateurs est la plus grande) sont reprises à la Figure 45. Les lignes verticales représentent le niveau de bruit à ne pas dépasser pour répondre aux critères d'un **confort acoustique normal** selon les prescriptions de la norme NBN S 01-400-1:2008.

En position nominale, les débits de ventilation mesurés dans les 5 maisons de l'échantillon réduit **ne répondent pas toujours aux exigences**. A deux exceptions près, ils atteignent tout-de-même 70% des débits de ventilation exigés. Il faut également rappeler que plus le débit de ventilation est élevé plus il est difficile de satisfaire aux exigences acoustiques, et inversement.

D'un point de vue acoustique, les mesures du niveau sonore de l'installation de ventilation dans pratiquement tous les séjours et dans les chambres parentales **dépassent les niveaux de bruits exigés** pour un confort acoustique normal. Les niveaux de bruit exigés dans la salle de bains étant plus élevés (35 dB), les mesures acoustiques réalisées dans cette pièce ont quant à eux tous été satisfaisants.

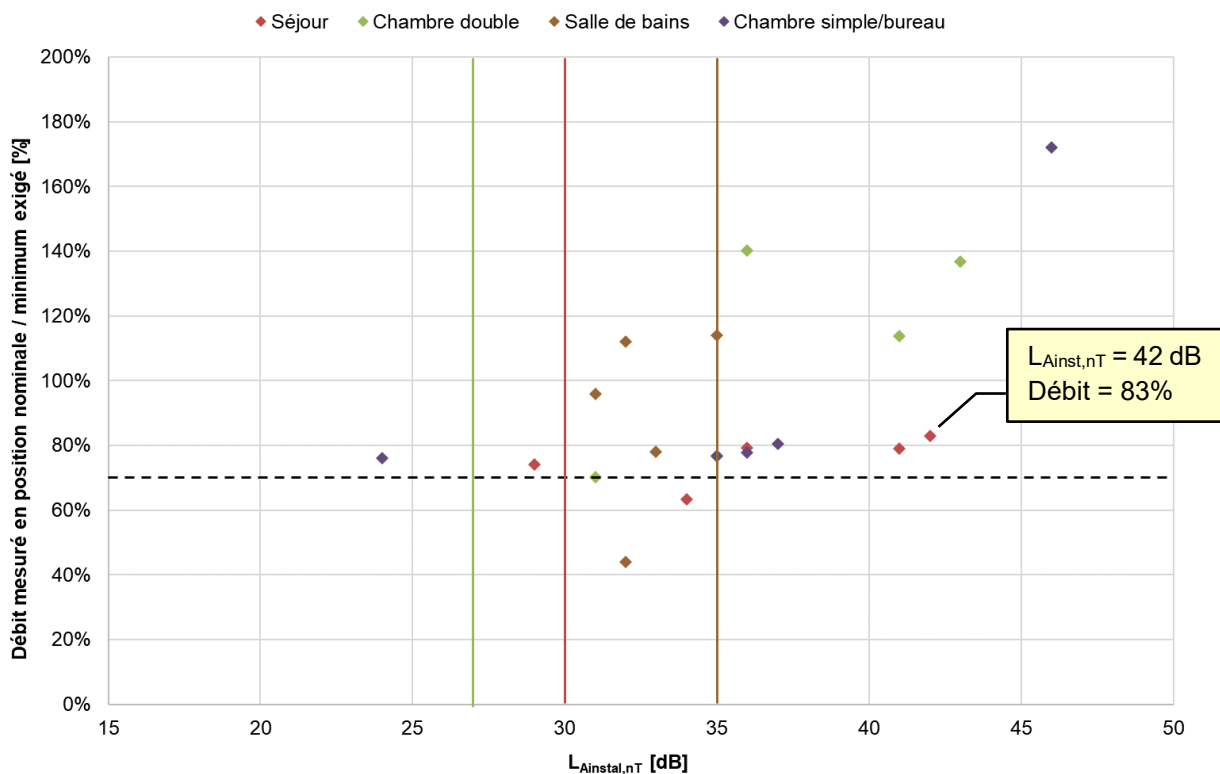


Figure 45 : Mesures acoustiques de l'installation de ventilation en position nominale

Comment lire cette illustration ?

Prenons pour exemple le point rouge référencé par le cadre jaune. Il s'agit d'une mesure faite dans un séjour (losange de couleur rouge). La mesure du niveau de bruit standardisé de l'installation de ventilation $L_{Ainst,nT}$, lorsque le commutateur de vitesse des ventilateurs est en position nominale, équivaut à 42 dB. Ce point se situe à droite de la ligne rouge (équivalente à 30 dB) ce qui signifie que le niveau de bruit est supérieur à celui qui définit un confort acoustique normal pour un séjour. Le débit de ventilation mesuré dans cette pièce équivaut à 83% du débit minimum exigé. Il se situe au-dessus de la ligne en traits-tillés qui représente la valeur critique en dessous de laquelle on considère que le débit mesuré est insuffisant (70% du débit nominal exigé).

Les mesures de bruit lorsque le commutateur de vitesse des ventilateurs est en position normale d'utilisation sont reprises à la Figure 46.

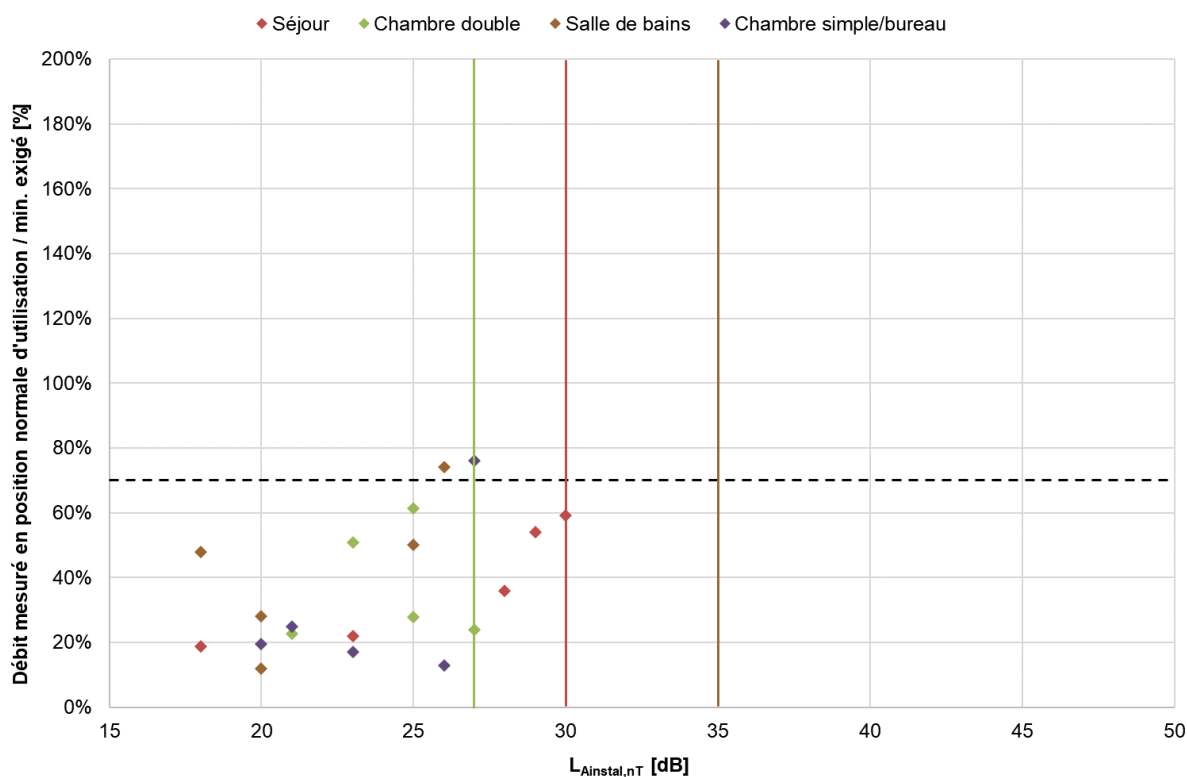


Figure 46 : Mesures acoustiques de l'installation de ventilation en position normale d'utilisation

En considérant les niveaux de bruits mesurés lorsque le commutateur est en position normale d'utilisation, les niveaux sonores de l'installation de ventilation diminuent et **répondent alors tous aux niveaux de bruit exigés** pour un confort acoustique normal.

Toutefois, ces débits de ventilation en position normale d'occupation sont tous **inférieurs aux débits minimaux exigés** et n'atteignent généralement pas 60% de ceux-ci.

L'enquête de satisfaction réalisée auprès de l'échantillon de niveau 1, a révélé que le bruit causé par l'installation de ventilation générerait une insatisfaction dans 1 cas sur 6 (voir point 4.6 Appréciation des systèmes de chauffage, ventilation et protections solaires). A cette question, les propriétaires des 5 maisons soumises aux mesures acoustiques ont répondu être plutôt satisfaits voire très satisfaits du bruit généré par leur système de ventilation. Cette **satisfaction générale** semble correspondre aux mesures acoustiques réalisées lorsque le commutateur est en position normale d'utilisation

Ces mesures montrent donc que **pour les 5 installations de ventilation mesurées**, soit les débits de ventilation sont satisfaisants mais les niveaux de bruit sont trop élevés, soit les niveaux de bruit sont acceptables mais les débits de ventilation sont dans ce cas-là insuffisants.

6. Conclusions

Le climat intérieur (ambiances thermique et respiratoire) de bâtiments résidentiels à hautes performances énergétiques, construits dans le cadre de l'action *Construire Avec l'Energie*, a été analysé au moyen d'une enquête de satisfaction (149 réponses reçues) et d'une campagne de mesures (25 bâtiments monitorés). De manière générale, les occupants semblent très satisfaits de leur niveau de contrôle sur les températures intérieures et sur la qualité de l'air.

Concernant la période hivernale, le séjour et la cuisine sont presque unanimement admis comme thermiquement confortables. Même si l'ajout de chauffage d'appoint est très fréquent (principalement dans les chambres et salles de bains), ces **logements apparaissent comme plus confortables en hiver qu'en été**.

La gestion de la surchauffe et, en particulier, des gains solaires ne semble **pas résolue**. Peu de protections solaires sont placées lors de la construction alors qu'elles apparaissent dans la plupart des cas être une nécessité. Les possibilités et habitudes d'ouverture de fenêtres ainsi que de gestion des protections solaires apparaissent comme déterminantes.

La **qualité d'air intérieur générale** est presque toujours **bien perçue** mais s'est avérée très difficilement objectivable par les occupants, contrairement au confort thermique. La campagne de mesure a, en effet, montré que les **débits de ventilation utilisés ne sont pas toujours suffisants** pour assurer une bonne qualité de l'air dans les pièces de vie et en particulier, dans la chambre à coucher parentale (sur base des concentrations en CO₂ utilisées comme traceur unique de la qualité de l'air). Des débits de ventilation trop faibles ont été mesurés pour les systèmes de type D lorsque le commutateur de vitesse des ventilateurs est en position normale d'utilisation, telle que définie par les occupants. Les mesures acoustiques ont révélé que des vitesses supérieures, pourtant susceptibles de garantir une qualité de l'air satisfaisante, sont très peu utilisées car **souvent génératrices d'inconforts acoustiques**. A ce sujet, l'enquête avait, elle aussi, révélé que le bruit généré par l'installation de ventilation représente un inconfort relativement présent (15% des cas).

De manière générale, les systèmes (chauffage, ventilation et protections solaires) **sont bien acceptés** par les occupants, même s'ils nécessitent souvent un réglage après un certain temps d'utilisation. Peu de différence entre les systèmes de chauffage et de ventilation a été constatée au niveau de l'appréciation de la documentation disponible et de la capacité de réglage. L'intermittence (variation de la consigne ou du débit de ventilation en fonction des situations) est une pratique courante. Au niveau de la facilité de compréhension, c'est le chauffage qui fait le plus d'insatisfaits. La fréquence, la durée et le coût des entretiens sont par contre moins bien admis pour les systèmes de ventilation.

Mais, rappelons-le : outre ces constatations, les résultats de l'enquête mettent en avant un **niveau de satisfaction globale très élevé** des occupants. Ceux-ci se disent très satisfaits de leur logement, du système constructif, de l'isolation acoustique vis-à-vis de l'extérieur (un léger bémol est à noter concernant l'isolation acoustique entre pièces), des consommations énergétiques et de la lumière naturelle (100% de satisfaits). 99% des répondants recommanderaient ce type de logements !

7. Recommandations générales

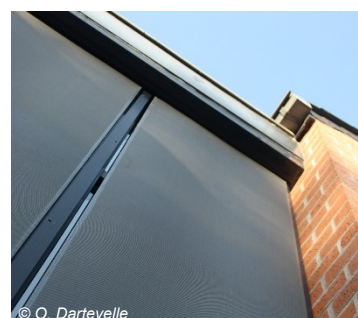
7.1 Gérer les situations de surchauffe estivale



La surchauffe est une situation d'inconfort provoquée par une température trop élevée dans une pièce.

Une gestion adéquate des protections solaires et de l'ouverture des fenêtres permettra souvent d'éviter ces situations.

Gestion des protections solaires : en cas de gestion manuelle (déploiement des protections solaires non automatisé en fonction du rayonnement solaire), une gestion anticipative est de mise : mieux vaut ne pas attendre l'inconfort dû à la surchauffe pour déployer la protection solaire. Déployer la protection solaire avant de s'absenter les jours de chaleur permettra de limiter l'inconfort au retour dans l'habitation. Mieux vaut prévenir que guérir !



Gestion de la ventilation intensive : ouvrir les fenêtres apporte un renouvellement d'air beaucoup plus important que celui fourni par le système de ventilation de base (même en vitesse maximale pour un double-flux), très utile lors des périodes caniculaires. Mais encore faut-il ventiler au bon moment ! En effet, pour que la ventilation soit pleinement efficace, la température de l'air provenant de l'extérieur devrait être inférieure à la température intérieure. Ventiler en soirée, le matin ou mieux, durant la nuit sera donc particulièrement adéquat. Par contre, soyez bien attentifs avant de laisser vos fenêtres ouvertes en journée ! De plus, une gestion préventive (avant l'apparition de l'inconfort, le matin des journées caniculaires par exemple) permettra d'aborder la journée sur de meilleures bases.



Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Placer des protections solaires

Ouvrir les fenêtres pour dissiper la chaleur

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

Les fiches 2.5 et 2.6 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* sont là pour vous aider. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

7.2 Placer des protections solaires



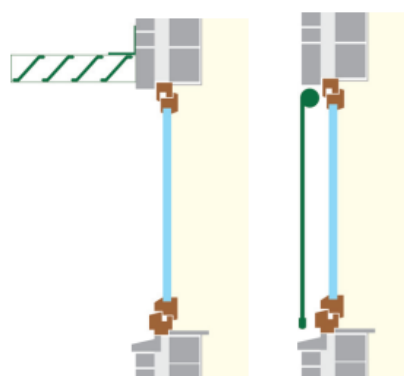
Un vitrage transmet une partie du rayonnement solaire qu'il reçoit. La quantité de chaleur ainsi reçue par le local au travers d'une baie bien orientée équivaut rapidement à celle émise par un radiateur.

En hiver, cette chaleur va contribuer gratuitement au chauffage de la pièce. En été, par contre, cette chaleur risque d'engendrer de la surchauffe et donc des situations d'inconforts pour les occupants.

Une protection solaire ? Pour quoi faire ?

Une protection solaire, en s'attaquant à la source du problème, constitue un moyen très efficace pour lutter contre la surchauffe et ainsi éviter le placement d'un système de climatisation, coûteux et énergivore.

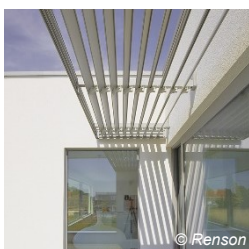
Outre la limitation des surchauffes, une protection solaire peut avoir, selon le type, d'autres rôles : limiter l'éblouissement, assurer l'intimité ou occulter un local, améliorer le pouvoir isolant de la fenêtre, contribuer à une esthétique de façade particulière.



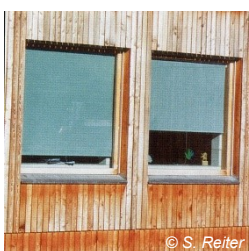
© Architecture et Climat - UCL

Choisir une protection solaire

Il existe différents types de protections solaires : intérieures ou extérieures, fixes ou mobiles, automatisées ou manuelles. Elles peuvent être en matière textile, en bois, en métal ou même végétales et prendre différentes formes. Le choix d'une protection solaire en particulier dépend de l'orientation, de l'ombrage produit par l'environnement (végétation, bâtiments, etc.), d'aspects techniques, de l'esthétique, de la vue et de l'apport de lumière naturelle recherché lorsque la protection est déployée mais aussi de la gestion que l'on est prêt à entreprendre.



Au sud, là où le soleil est le plus haut dans le ciel, une simple casquette horizontale sera efficace, mais à mesure que l'on se rapproche de l'est et l'ouest (orientation où le soleil est bas à l'horizon), une protection parallèle au vitrage sera presque inévitable. Dans ce cas, on optera pour une protection mobile, idéalement extérieure, de manière à ne la déployer que lorsque c'est nécessaire.



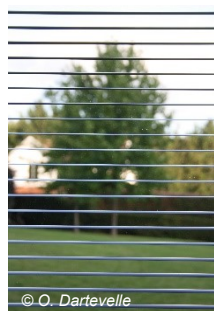
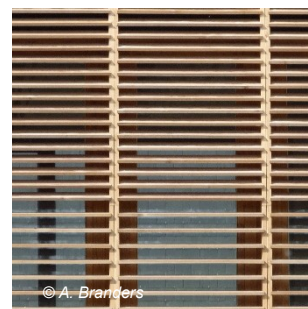
Les locaux orientés à l'ouest devront être traités en priorité car ils présentent généralement un plus grand risque de surchauffe. Ils reçoivent en effet le soleil en fin de journée, c'est-à-dire à un moment où la pièce a déjà profité (ou souffert) de la chaleur de la journée et où une protection des rayons du soleil est plus difficile à procurer à cause d'un soleil bas, proche de l'horizon.

Protection solaire, vitrage à contrôle solaire ou film solaire?

Les vitrages réfléchissants/à contrôle solaire ou encore les films solaires pour vitrages ont pour inconvénient majeur de limiter de manière permanente (y compris en hiver donc) le rayonnement solaire transmis. De plus, un vitrage réfléchissant et certains films solaires impactent la transmission de lumière à l'intérieur du local.

L'utilisation de vitrage réfléchissant ou à contrôle solaire devrait donc se limiter aux locaux particulièrement sensibles à la surchauffe et éventuellement en combinaison avec une protection solaire. Les films solaires ne devraient, de plus, être considérés que comme des solutions temporaires car leur durée de vie est limitée (maximum 5 ans en extérieur).

En résumé, ces inconvénients sont autant d'arguments en faveur d'une protection solaire bien étudiée.



Protection intérieure ou extérieure ?

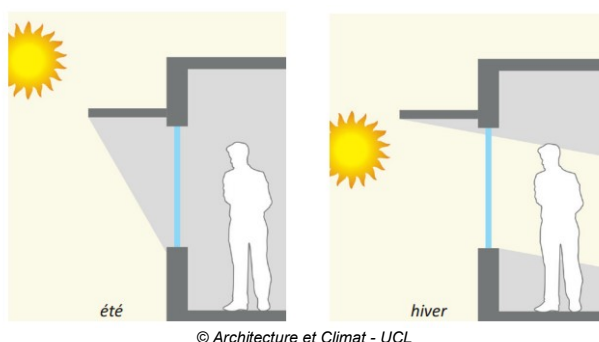
Une protection solaire intérieure n'est jamais aussi efficace qu'une protection solaire extérieure car quoi que l'on fasse, une partie de la chaleur transmise au travers du vitrage sera piégée à l'intérieur du local.

Si aucune autre solution n'est envisageable on optera alors pour une protection blanche ou munie d'un revêtement spécifique de manière à réfléchir les rayons du soleil vers l'extérieur.

Protection solaire fixe ou mobile ?

Les protections fixes sont généralement prévues dès la conception du bâtiment.

Elles peuvent prendre la forme de casquettes, débordements de toiture ou encore de balcons. Elles doivent être dimensionnées de manière à laisser le rayonnement solaire atteindre les fenêtres en hiver et à le bloquer en été lorsque le soleil est haut dans le ciel.



© Architecture et Climat - UCL

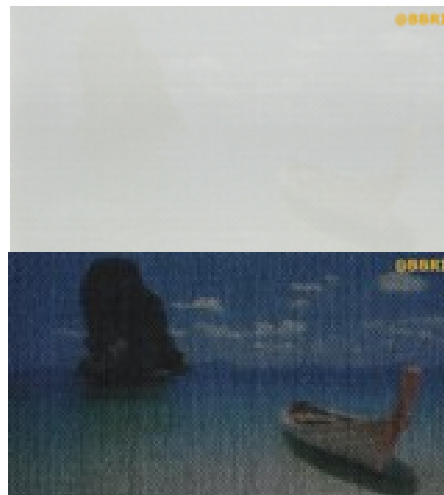
Le rôle d'une protection solaire fixe

Les protections mobiles, comme les stores à lamelles, les screens, les claustras permettent une protection en fonction des besoins. Elles peuvent être manuelles ou automatisées.

Couleur claire ou foncée ?

Pour une protection solaire intérieure, une couleur claire (blanche ou munie d'un revêtement réfléchissant du côté de la fenêtre) sera indispensable pour réfléchir directement le rayonnement solaire vers l'extérieur du bâtiment et ainsi éviter de piéger la chaleur à l'intérieur.

A l'extérieur par contre, le choix est plus large car la chaleur absorbée par les protections solaires foncées reste à l'extérieur. De plus, une protection solaire extérieure foncée permettra généralement une meilleure vision vers l'extérieur.



Protection solaire mobile manuelle ou automatisée ?



L'automatisation des protections solaires mobiles présente certains avantages. Elle permet tout d'abord de suppléer à l'absence des occupants (déploiement des protections solaires en journée même en l'absence des occupants) ou à leurs carences (fermeture préventive à la surchauffe, en cas de vent trop important, etc.). Cependant, une dérogation manuelle à la gestion automatisée est toujours recommandée pour offrir à l'occupant une possibilité d'interagir sur son environnement. Cela lui permettra, entre autres, de se protéger d'un éventuel inconfort (dû à l'éblouissement par exemple) ou de satisfaire un besoin d'intimité.

Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Gérer les situations de surchauffe estivale

Ouvrir les fenêtres pour dissiper la chaleur

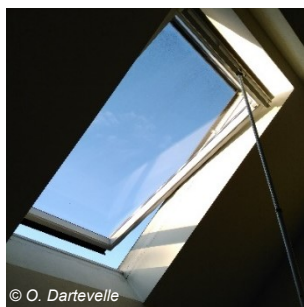
Si vous souhaitez comparer les caractéristiques de différentes protections solaires parallèles aux vitrages de type « toiles » ou à lamelles, rendez-vous sur www.prosolis.be.

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

La fiche 2.5 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

N'hésitez pas non plus à consulter l'outil en ligne *Prosolis*.

7.3 Ouvrir les fenêtres pour dissiper la chaleur



En période de canicule, il sera parfois utile, en plus de se protéger du soleil, de dissiper la chaleur accumulée à l'intérieur des locaux.

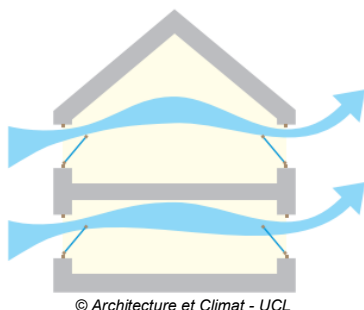
Le moyen le plus efficace pour cela est la ventilation intensive naturelle, qui peut être réalisée par simple ouverture de fenêtres à un moment où la température extérieure permet un refroidissement (la nuit est idéale).

Le but de la ventilation intensive est de générer un renouvellement soutenu de l'air intérieur pour évacuer la chaleur accumulée. Son rôle diffère donc de celui de la ventilation hygiénique de base (système double-flux par exemple), nécessaire pour assurer la qualité de l'air intérieur et qui met en jeu des débits d'air beaucoup moins importants (même en vitesse maximale).

Générer une ventilation intensive efficace nécessitera l'ouverture des fenêtres idéalement situées (en bref, il s'agit de créer des courants d'air !) à un moment où la température extérieure permet un refroidissement.

Outre l'évacuation de la chaleur accumulée, mettre en place une ventilation intensive est aussi utile pour évacuer les polluants ou odeurs en cas d'utilisation exceptionnelle (mise en peinture, occupation exceptionnelle, etc.). Elle est donc tout à fait complémentaire au système de ventilation de base.

Ouvrir des fenêtres idéalement situées

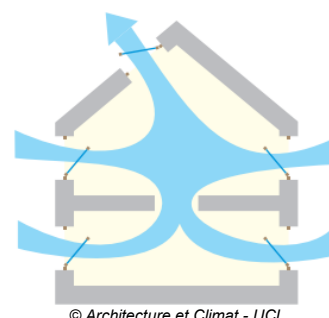


sur des façades opposées

Ouvrir des fenêtres sur des façades opposées permet de profiter de la différence de pressions générée par le vent ou le soleil pour favoriser le renouvellement d'air. Il faudra bien entendu veiller à laisser des passages libres entre ces ouvertures (portes ouvertes par exemple).

à des hauteurs différentes

Ouvrir des fenêtres situées à des étages différents permet de profiter de « l'effet cheminée » induit par la différence de densité entre l'air chaud et l'air plus frais (l'air chaud monte). De même, il faudra veiller à laisser des passages libres entre ces ouvertures (portes ouvertes par exemple).



A un moment où la température extérieure permet un refroidissement



Ventiler la journée

Si la température extérieure est inférieure à la température intérieure, la ventilation diurne permet d'amener de la fraîcheur et crée un déplacement d'air qui diminue la sensation d'inconfort en cas de forte chaleur. Par contre, en période caniculaire, il sera préférable de fermer les fenêtres en journée et de déployer les protections solaires pour préserver la fraîcheur des locaux. Ne l'oubliez pas en cas d'absence !

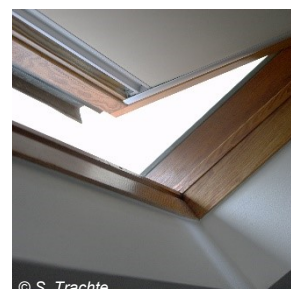
Ventiler la nuit

La nuit est particulièrement propice à la ventilation intensive (température basse). Une ventilation nocturne permet ainsi de rafraîchir l'air intérieur et d'évacuer la chaleur emmagasinée dans les parois pendant la journée. Les parois massives (béton, briques essentiellement) peuvent alors à nouveau remplir leur rôle de « tampon thermique » le jour suivant. On parle de ventilation intensive nocturne.

Si elle est très efficace, sa mise en place nécessite cependant certaines précautions. En effet, elle n'est pas toujours compatible avec les nuisances potentielles de l'environnement : bruit, pollution, intrusion, intempéries, insectes, etc. Grilles, moustiquaires et autres positions oscillo-battantes des châssis constituent des moyens qui permettent de réduire ces inconvénients. Pensez-y !



En bref, ouvrez vos fenêtres mais veillez à le faire lorsque que la température extérieure est profitable!



Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Placer des protections solaires

Gérer les situations de surchauffe estivale

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

La fiche 2.6 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider.

Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

7.4 Choisir un système de chauffage adéquat par rapport à l'usage des pièces

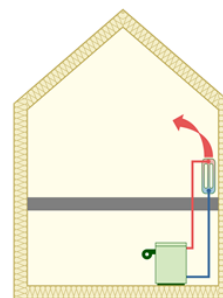


En Belgique, la température moyenne en hiver est de 3,6°C et les minima peuvent facilement atteindre -10°C⁷. Pour atteindre la température de confort dans une pièce de vie, un système de chauffage sera toujours nécessaire, même dans les bâtiments très fortement isolés thermiquement.

La température de confort à atteindre dépendra essentiellement de l'usage du local.

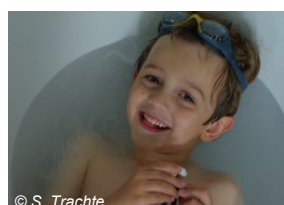
C'est la présence mais aussi la puissance des différents éléments du système de chauffage (radiateurs notamment) qui détermineront la température qu'il est possible d'atteindre dans un local.

La température à atteindre pour garantir le confort de l'occupant dans une pièce particulière dépend, entre autres, de l'activité réalisée ainsi que de l'habillement habituel dans cette pièce. Ainsi, l'usage de chaque local devrait donc être considéré lors du choix des différents composants du système de chauffage.



Locaux chauffés	T° résultante sèche (°C)
Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou ont une activité physique très légère : <i>Séjour, cuisine, bureau, salle de cours, chambres d'études, etc.</i>	20
Locaux où des gens peu habillés ou pas habillés sont au repos ou exercent une activité très légère : <i>Salle de bain, local de consultation, etc.</i>	22-24
Chambres à coucher	16-18
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique légère : <i>Atelier, etc.</i>	16
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique : <i>Salle de sport, etc.</i>	16
Locaux qui ne servent que de passage ou de résidence de courte durée pour des gens habillés normalement : <i>Corridors, cages d'escaliers, WC, vestiaires, etc.</i>	16

Température résultante sèche (considérée comme température de confort) à prendre en compte pour le calcul des déperditions thermiques selon l'ancienne norme NBN B62-003 (1986)



La salle de bain nécessite une attention particulière puisqu'une température atteignant 24°C est souvent souhaitée. Des panneaux radiants seront particulièrement adéquats puisqu'ils permettent de fournir le confort nécessaire presque instantanément (et évitent ainsi de devoir préchauffer fortement le local).

⁷ Température moyenne pondérée sur l'hiver météorologique (décembre à fin janvier) pour la station d'Uccle. Source www.meteo.be



Il faudra aussi être attentif aux usages multiples qu'un local pourrait avoir. Une chambre utilisée comme bureau en est le parfait exemple : une température de 16°C à 18°C est suffisante pour dormir alors qu'une température de 20°C sera nécessaire pour un usage de bureau. On notera à cet égard que la norme NBN EN12831 : 2003 (*Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base*, remplaçant en partie la NBN B62-003) ne distingue plus que la salle d'eau des autres usages dans le résidentiel pour définir les températures intérieures à atteindre.

En cas de système de chauffage localisé (poêle par exemple), il faudrait impérativement favoriser la thermocirculation de l'air (déplacement naturel de l'air réchauffé) en ouvrant un maximum les portes entre les pièces. L'expérience montre cependant qu'un seul système au rez-de-chaussée sera très souvent insuffisant pour garantir le confort à l'étage.



Pour en savoir plus :

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus sur les systèmes de chauffage adaptés pour les nouvelles constructions performantes en énergie?

La fiche 4.2 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

7.5 Réguler correctement les débits de ventilation

Bien ventiler son logement permet d'évacuer les polluants qui s'y trouvent et d'assurer ainsi un niveau de qualité de l'air suffisant.

L'occupation du logement et les activités qui s'y déroulent peuvent varier en fonction du moment de la journée ou de l'année. Une bonne régulation du système de ventilation (manuelle ou automatique) permet de tenir compte de ces variations et d'assurer un renouvellement de l'air adéquat en toutes circonstances.



Régulation automatique

La *régulation automatique à la demande* s'opère sur base de la mesure du taux d'humidité relative ou de la concentration en CO₂ via l'intégration de capteurs dans les espaces ventilés ou directement dans le groupe de ventilation. Dans ce cas, l'utilisateur n'intervient en principe pas sur la régulation de la ventilation car celle-ci se fait automatiquement. La régulation automatique à la demande est à prévoir au moment de l'installation du système de ventilation car elle peut difficilement être ajoutée ultérieurement.



La *régulation automatique par horloge* fonctionne comme un thermostat programmable pour l'installation de chauffage : l'utilisateur prévoit ses besoins sur une période donnée (un jour ou une semaine). La vitesse des ventilateurs est alors adaptée automatiquement (par exemple : une vitesse faible en cas d'absence, une vitesse modérée en cas de présence et la vitesse maximale lors de l'utilisation de la cuisine et de la salle de bains).

Régulation manuelle

La plupart des systèmes de ventilation (ventilation naturelle et/ou mécanique) sont au minimum équipés d'une régulation manuelle. Il s'agit par exemples des différentes positions d'ouverture des grilles de ventilation naturelle par les châssis ou de l'interrupteur à 3 positions des installations de ventilation à double flux.

En l'absence totale de régulation automatique, il n'est pas toujours évident d'adapter les débits de ventilation à l'occupation réelle du logement. Dans ce cas, il faut veiller à ce qu'en position normale d'utilisation, les débits soient suffisants pour assurer la qualité de l'air tout au long de la journée. La régulation manuelle peut alors être opérée uniquement en cas de situations occasionnelles : par exemple en réduisant les débits de ventilation lors d'une absence de plusieurs jours ou en augmentant les débits lors d'une activité exceptionnelle. La régulation manuelle peut aussi être utile en complément d'une régulation automatique par horloge, pour déroger à la programmation lorsque c'est nécessaire.



Quels débits de ventilation et à quels moments ?

En présence d'une installation de ventilation de type mécanique (simple ou double flux), les différents débits, liés aux différentes positions du système de régulation, sont réglés par l'installateur et ne doivent pas être modifiés par l'utilisateur. Ils correspondent généralement aux situations suivantes:

Position 1 = en cas d'absence

Position 2 = en cas de présence (y compris lorsqu'on dort)

Position 3 = en cas d'occupation plus importante que la normale

Certains signes peuvent être révélateurs d'un renouvellement de l'air insuffisant comme la présence d'odeurs indésirables, de condensation sur la vitre des fenêtres ou de moisissures. Dans ce cas, il faudra veiller soit à changer ses habitudes de régulation en augmentant la fréquence d'utilisation des débits plus élevés soit à demander à un professionnel d'augmenter les débits liés aux différentes positions du système de régulation.

Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Entretien du système de ventilation

Améliorer les performances acoustiques du système de ventilation

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

La fiche 4.1 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

Vous êtes installateur et vous voulez en savoir plus ?

Les documents suivants sont là pour vous aider:

Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements (NIT258)

Optivent : Un outil de calcul pour les systèmes de ventilation

Les Notes d'informations techniques du CSTC sont téléchargeables à l'adresse suivante : www.cstc.be

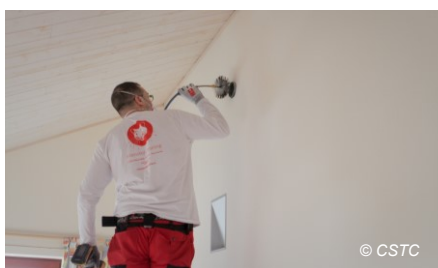
7.6 Entretien le système de ventilation



L'entretien régulier de son installation de ventilation permet de maintenir les performances initiales : tant au niveau de la qualité de l'air et des débits fournis, que de la consommation électrique ou du confort acoustique.

Aucun système n'est épargné. Même en présence d'une ventilation naturelle, un bon entretien est indispensable.

Les différents composants d'une installation de ventilation nécessitent d'être entretenus à une fréquence régulière. Certains nettoyages sont relativement aisés et pourront donc être réalisés *par l'utilisateur*. Ils concernent les ouvertures d'alimentation naturelle, les prises d'air, les filtres, les bouches de ventilation et sont abordés en détails dans les rubriques qui suivent.



Les ventilateurs, l'échangeur de chaleur et les conduits devront quant-à-eux être nettoyés *par un professionnel* : environ tous les 3 ans pour les ventilateurs et l'échangeur de chaleur et tous les 9 ans pour les conduits de ventilation. Ces entretiens pourront aussi être l'occasion d'effectuer un contrôle du bon fonctionnement du système et éventuellement de régler les débits.

Dans tous les cas, une **inspection visuelle** doit être réalisée de manière régulière pour vérifier l'état de propreté de l'ensemble des composants (les fréquences ci-dessous sont indicatives):

tous les mois pour les filtres

tous les 3 mois pour les ouvertures de ventilation naturelle, les bouches et les prises d'air

tous les ans pour les ventilateurs et l'échangeur de chaleur

tous les 3 ans pour les conduits

Les ouvertures d'alimentation naturelle et les prises d'air

La fréquence d'entretien des prises d'air et des ouvertures d'alimentation naturelle (les grilles intégrées aux châssis) est approximativement annuelle. L'entretien pourra se faire avec un aspirateur et/ou un chiffon humide et il conviendra de nettoyer aussi bien l'intérieur que l'extérieur des ouvertures.



Les filtres

Le nettoyage des filtres doit être réalisé approximativement tous les 3 mois. L'usage d'un aspirateur peut convenir dans la plupart des cas. Les filtres seront nettoyés selon les instructions du fabricant, en veillant à ne pas endommager le matériau du filtre et l'entretien se fera à l'extérieur afin d'éviter l'émission de fines poussières dans l'habitation. Même nettoyés régulièrement, les filtres doivent être remplacés tous les ans, de préférence juste avant l'hiver.

Les bouches de ventilation



Il est recommandé d'effectuer le nettoyage des bouches de ventilation tous les ans avec un aspirateur et/ou un chiffon humide. Attention, la position exacte de la bouche et le réglage de son ouverture ne pourront pas être modifiés lors de l'entretien. Ajouter des indications sur la bouche elle-même (pièce concernée, ouverture, flèche en direction du mur, ...) permettra de limiter le risque d'erreur.

Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Réguler correctement les débits de ventilation

Améliorer les performances acoustiques du système de ventilation

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

La fiche 4.1 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider.

Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

Vous êtes installateur et vous voulez en savoir plus ?

Les documents suivants sont là pour vous aider:

Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements (NIT258)

Les Notes d'Informations Techniques du CSTC sont téléchargeables à l'adresse suivante : www.cstc.be

7.7 Améliorer les performances acoustiques du système de ventilation



Si une ventilation optimale de son habitation est indispensable, celle-ci ne doit pas être à l'origine de désagréments acoustiques. Que les bruits proviennent de l'extérieur par les ouvertures de la ventilation naturelle ou de l'intérieur par les ventilateurs, les conduits ou les bouches, une attention particulière doit être apportée pour minimiser ceux-ci tant que possible tout en maintenant les performances du système de ventilation.

Les ouvertures d'alimentation naturelle

Pour réduire le bruit éventuel provenant de l'extérieur, il est recommandé de choisir des ouvertures d'alimentation naturelle pourvues d'un matériau absorbant acoustique. Toutefois, dans certains environnements très bruyants, il se peut que l'atténuation acoustique ne soit pas suffisante. Dans ce cas, il y aura lieu de recourir à un système de ventilation d'un autre type.

La régulation des débits



Les systèmes de ventilation mécanique prévoient généralement de réguler manuellement ou automatiquement la vitesse des ventilateurs. Lorsque la vitesse est maximale, les ventilateurs peuvent émettre un bruit audible et être source d'inconfort. Pour éviter cette gêne, il sera utile d'optimiser la régulation du système et de veiller à utiliser la bonne vitesse au bon moment, en fonction de l'occupation réelle.

Les bouches de ventilation

Une bouche de ventilation trop fermée peut être à l'origine d'un désagrément acoustique. Dans ce cas, il faudra demander à l'installateur de procéder à un nouveau réglage de l'ensemble de l'installation. De même, une bouche située trop près des parois adjacentes peut générer une réflexion du bruit sur les parois.



Le groupe de ventilation



Le groupe de ventilation doit être situé dans un local technique spécifique ou dans un placard prévu à cet effet et isolé acoustiquement pour éviter la propagation du bruit des ventilateurs aux autres espaces. Ce bruit peut également être transmis par vibration via la structure sur laquelle le groupe repose.

La pose de silencieux permet d'atténuer le bruit généré par les ventilateurs. Ils seront placés sur le conduit principal d'alimentation et sur le conduit principal d'évacuation, le plus près possible du point de passage des conduits à travers la paroi du local où se situe le groupe de ventilation.

Si nécessaire, il existe des solutions spécifiques à placer au niveau des bouches et qui peuvent aussi affaiblir les bruits en provenance du réseau (le bruit des ventilateurs notamment).

Les conduits et la prise d'air

Une vitesse de l'air trop élevée dans les conduits peut être à l'origine d'un inconfort acoustique. Cette vitesse est liée aux débits et à la section des conduits. Pour les grands espaces nécessitant des débits élevés, comme par exemple les séjours, il est possible de prévoir plusieurs bouches. Si toutefois une vitesse de l'air trop élevée ne peut être évitée, on veillera dans la mesure du possible à ce que les conduits concernés n'alimentent ni ne traversent certaines pièces de vie telles que les chambres à coucher.



D'autres facteurs augmentent les pertes de pression et dès lors, le risque de nuisances acoustiques. Il s'agit entre autres du type de conduits (préférer les conduits rigides et semi-flexibles aux conduits flexibles), du nombre de changements de direction du réseau, du type de prise d'air, etc.

Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Réguler correctement les débits de ventilation
Entretenir le système de ventilation

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

La fiche 4.1 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* est là pour vous aider. Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

Vous êtes installateur et vous voulez en savoir plus ?

Les documents suivants sont là pour vous aider:

Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements (NIT258)
Optivent : Un outil de calcul pour les systèmes de ventilation

Les Notes d'Informations Techniques et les outils de calcul du CSTC sont téléchargeables à l'adresse suivante : www.cstc.be

7.8 Changer l'affectation d'un local

Une naissance, une nouvelle orientation professionnelle, ... chaque étape de la vie peut nécessiter de revoir l'affectation des locaux de son logement : une buanderie est transformée en salle de bain, un espace de grenier devient un bureau, ...

Ces travaux nécessitent toutefois certaines précautions afin de maintenir les bonnes performances de son logement.



Dans une situation idéale, les changements d'affectation sont prévus à l'origine du projet : par exemple le groupe de ventilation est dimensionné pour assurer la qualité d'air d'une pièce supplémentaire, ou l'espace sous les combles à aménager est déjà isolé et rendu correctement étanche à l'air. Il n'est toutefois pas toujours possible de prévoir l'ensemble de ces travaux.

L'enveloppe du bâtiment

L'attention à porter sur l'enveloppe du bâtiment concerne tant le niveau d'isolation globale (niveau K) que l'étanchéité à l'air. Lors de l'aménagement des combles, si la toiture à versant n'est pas encore isolée, le choix du matériau isolant et son épaisseur devront être compatibles avec les performances attendues dans le cadre de la stratégie wallonne de rénovation du parc de bâtiments. Les valeurs réglementaires en vigueur (valeurs U_{max}) donnent des indications sur les niveaux de performances à atteindre. Les raccords entre les différentes parois (les nœuds constructifs) devront également être étudiés attentivement afin d'éviter tout pont thermique et tout effet de lock-in (bloquant les potentielles améliorations énergétiques dans le futur).

Les travaux effectués ne doivent pas être la source de fuites d'air dans le bâtiment. Pour ce faire, il faudra veiller à ne pas percer la barrière d'étanchéité à l'air (par la pose anticipée de fourreaux en attente par exemple). Lors de la pose de panneaux solaires en toiture ou d'un luminaire au plafond, si la membrane du pare-vapeur est percée, celle-ci devra ensuite être colmatée de manière parfaitement étanche.

Le chauffage



Lors de l'ajout d'un poêle ou d'une cassette à bois, celui-ci devra être muni d'une enveloppe étanche autour du foyer (système à circuit de combustion étanche). Une attention particulière devra également être apportée à la sécurité incendie lors du resserrage autour du conduit de fumée, au droit du passage de la barrière d'étanchéité à l'air.

La température à atteindre pour garantir le confort de l'occupant dans une pièce particulière dépend, entre autres, de l'usage du local. En cas de changement d'affectation, le système de chauffage installé dans l'espace pourrait ne plus répondre aux attentes et devra, dans ce cas, être adapté.

La ventilation

La ventilation ne doit pas être négligée lors d'un changement d'affectation. Les principes de base doivent être respectés : on alimente en air neuf les 'espaces secs' (comme le séjour, les chambres à coucher, etc.) et on évacue vers l'extérieur l'air vicié à partir des 'espaces humides' (comme les cuisines, les salles de bains, etc.).

Le système de ventilation mis en œuvre dans l'espace nouvellement aménagé (ventilation naturelle, simple flux, double flux, ...) devra être, dans la mesure du possible, identique au système de ventilation des autres pièces du logement. Dans les logements équipés d'un système de ventilation mécanique (simple ou double flux), il faudra s'assurer que le ventilateur ou le groupe de ventilation puisse fournir les débits nécessaires dans l'ensemble des pièces de l'habitation, en tenant compte de l'ajout du nouvel espace à desservir et de la modification du réseau.



Les systèmes décentralisés (pièce par pièce), qui permettent d'alimenter un espace en air neuf et d'en évacuer en même temps l'air vicié, peuvent aussi s'avérer pertinents en cas de rénovation d'un local.

Le confort acoustique

Lors de l'aménagement d'un local situé à proximité d'un espace technique (la pièce où est installé le groupe de ventilation par exemple), il faudra être attentif au bruit généré par les installations situées dans cet espace technique. Une isolation acoustique adéquate doit permettre d'éviter ou de limiter ces nuisances.

Pour en savoir plus :

N'hésitez pas à consulter les recommandations suivantes:

Choisir un système de chauffage adéquat par rapport à l'usage des pièces
Améliorer les performances acoustiques du système de ventilation

Vous êtes concepteur et vous voulez en savoir plus ?

Les fiches 3.1 et 3.3 du *guide pour la conception de maisons neuves durables* sont là pour vous aider.

Le guide est téléchargeable à l'adresse suivante : <https://energie.wallonie.be/>.

Vous êtes installateur et vous voulez en savoir plus ?

Les documents suivants sont là pour vous aider:

L'étanchéité à l'air des Bâtiments (NIT 255)
Guide pratique des systèmes de ventilation de base des logements (NIT258)

Les Notes d'informations techniques du CSTC sont téléchargeables à l'adresse suivante : www.cstc.be

8. Points à approfondir

L'étude MEASURE a permis d'attirer l'attention sur la fréquence de certains inconforts et problèmes rencontrés dans les bâtiments résidentiels unifamiliaux à hautes performances énergétiques. Une qualification plus détaillée de certains de ces *inconforts ainsi que des moyens mis en œuvre pour y pallier permettrait certainement d'affiner les recommandations faites dans le cadre de cette étude.*

Nous pensons notamment à l'utilisation des techniques et équipements suivants :

- **Appoint de chauffage** : présence détaillée (pièces), fréquence de l'utilisation et consommation spécifique ?
- **Ventilation mécanique** : pourquoi les débits plus élevés sont peu utilisés? (coût, importance accordée, autre inconfort rencontré, etc.) ?
- **Surchauffe, protections solaires, ventilation intensive (mécanique ou naturelle)** :
 - Fréquence et intensité de la surchauffe ?
 - Moment le plus gênant ? (T° moyenne, Température élevée en journée, etc.)
 - Quand et comment la ventilation intensive, les protections solaires sont-elles utilisées ? (Durée, fréquence, seuil et consignes, moment, élément déclencheur, etc.)
 - Quels sont les freins à l'utilisation de ces techniques ? (coût, conscience de l'importance, autre inconfort rencontré, sécurité, etc.).?

Par ailleurs, l'échantillon analysé dans le cadre de cette étude s'est révélé très spécifique et assez homogène aussi bien en termes de caractéristiques constructives et techniques, (maisons 4 façades, système double flux très représentés par exemple) que d'occupation (niveau socioprofessionnel des occupants, intérêt pour les questions liées à l'énergie, etc.). Elargir l'étude à d'autres types de bâtiment ou d'occupants permettrait certainement de mieux cerner les réels facteurs d'influence mais aussi de vérifier dans quelles mesures les constats réalisés sont spécifiques ou non aux bâtiments à « hautes performances énergétiques ».

9. Annexes

9.1 Caractéristiques des bâtiments analysés

9.1.1 Généralités

Les caractéristiques sont présentées pour les 3 échantillons analysés selon les informations disponibles au stade correspondant de l'étude :

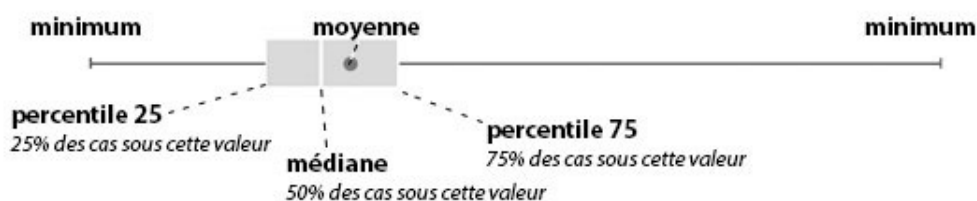
E1 : base de données Construire Avec l'Energie (458 bâtiments analysés).

E2 : base de données corrigées par l'enquête de satisfaction (149 bâtiments). (Les données récoltées durant l'enquête de satisfaction remplacent les données incohérentes de la base de données).

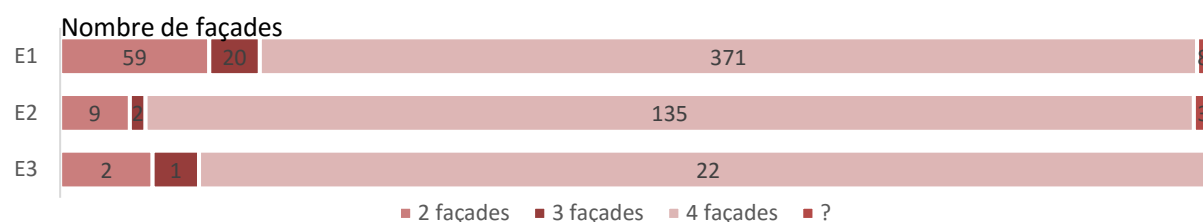
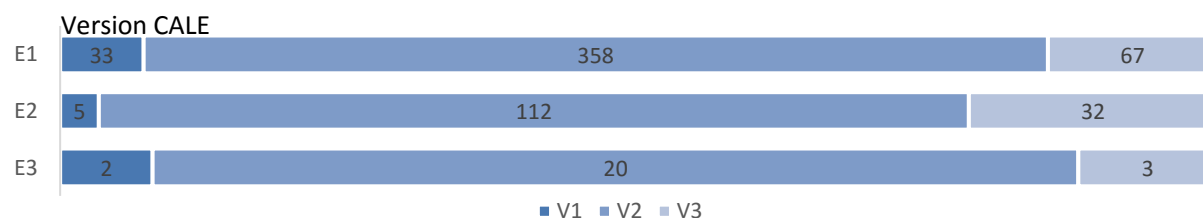
E3 : enquête et base de données corrigées par les visites de terrain (25 bâtiments). (Les données récoltées durant les visites de terrain remplacent les données incohérentes de la base de données et de l'enquête de satisfaction).

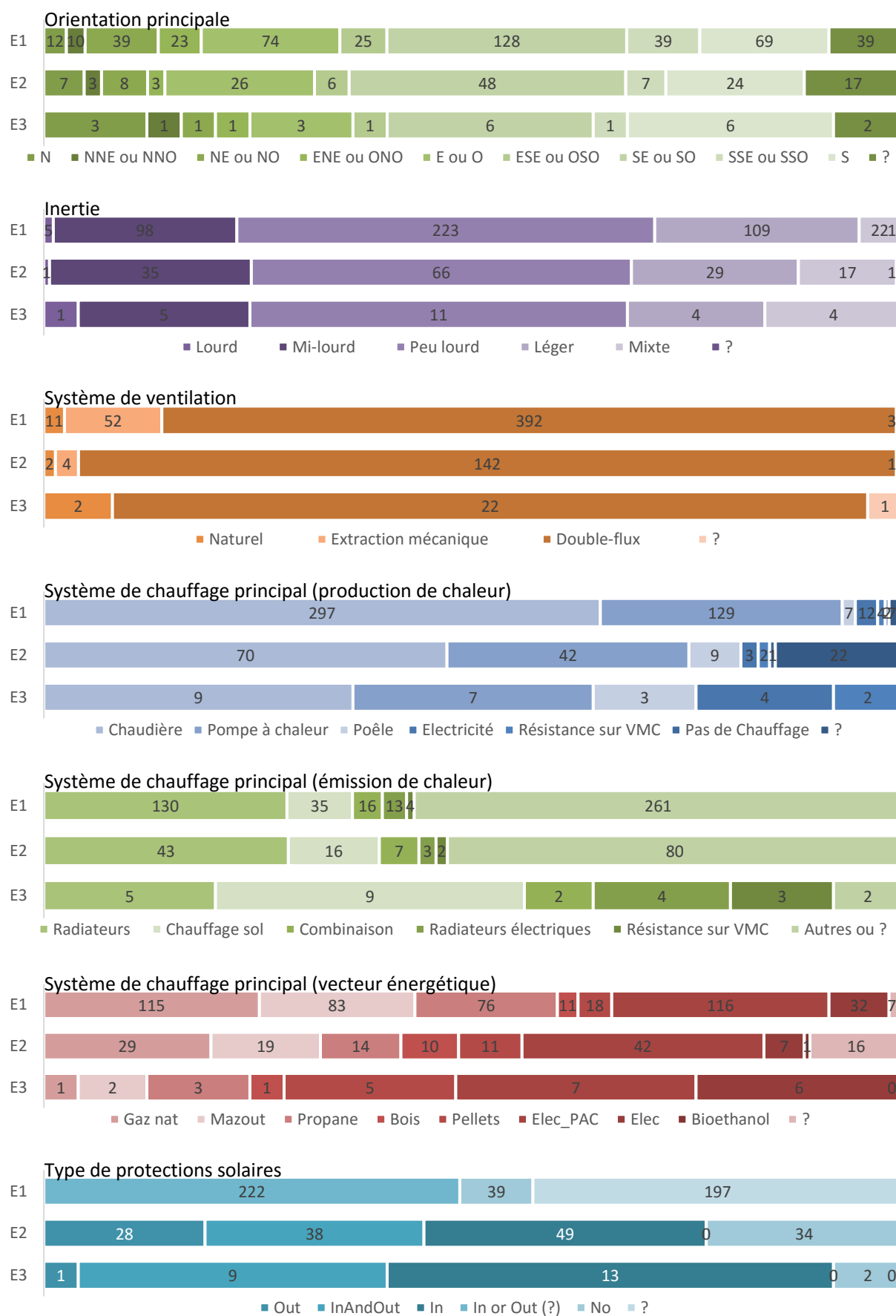
Certaines caractéristiques ne sont connues que pour certains échantillons (principalement E2 et E3). Certains graphes présentent donc uniquement ces échantillons.

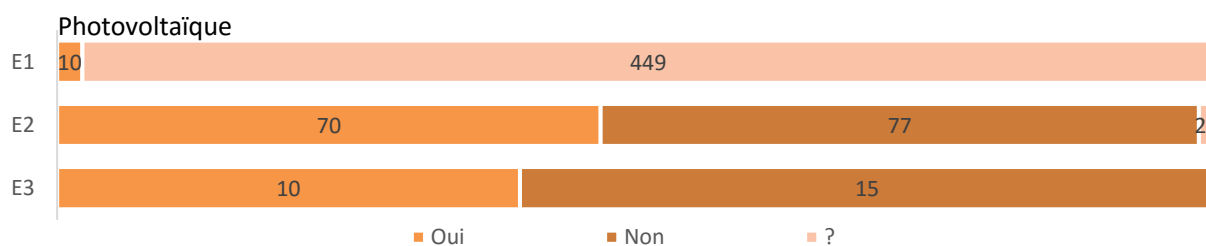
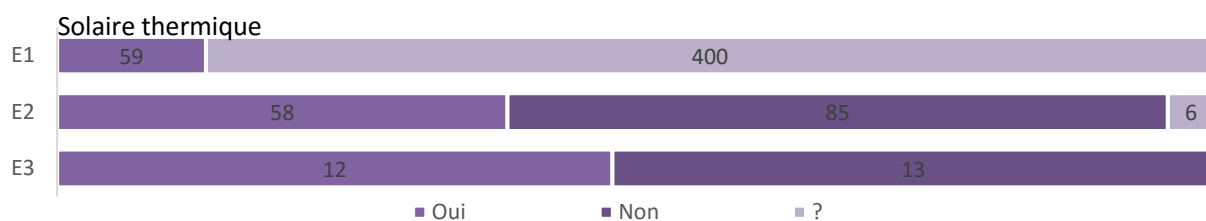
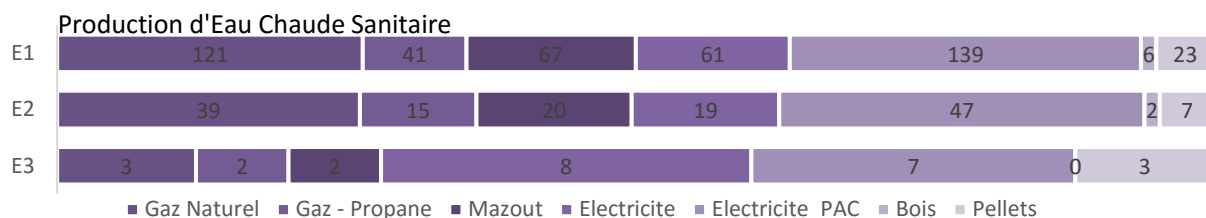
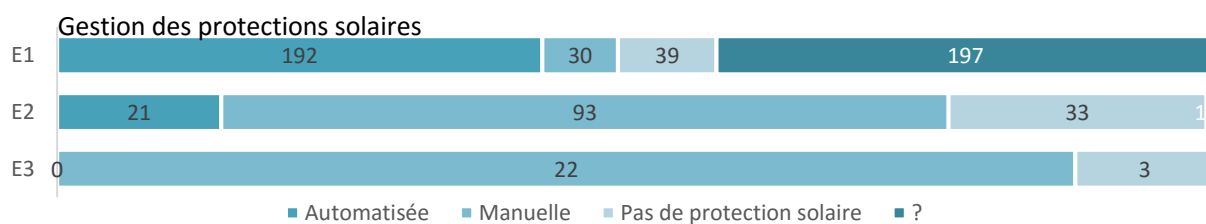
Pour les caractéristiques dites « continues », une représentation de type « box-plot » est utilisée. Voici comment les lire :



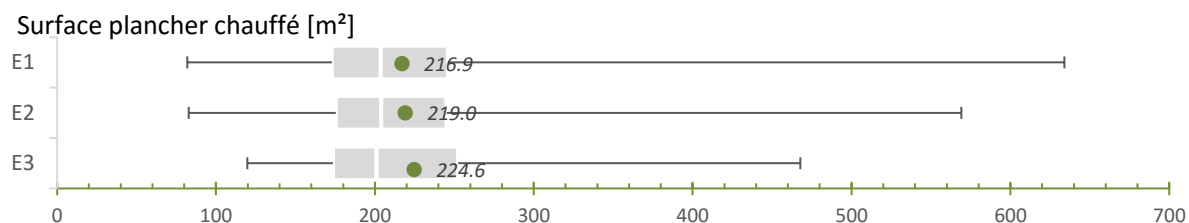
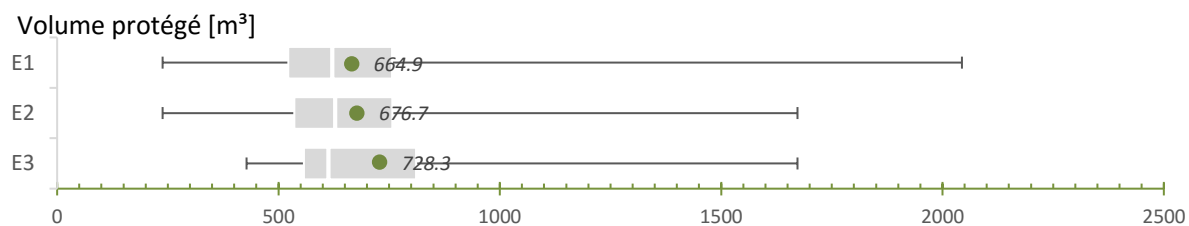
9.1.2 Caractéristiques générales



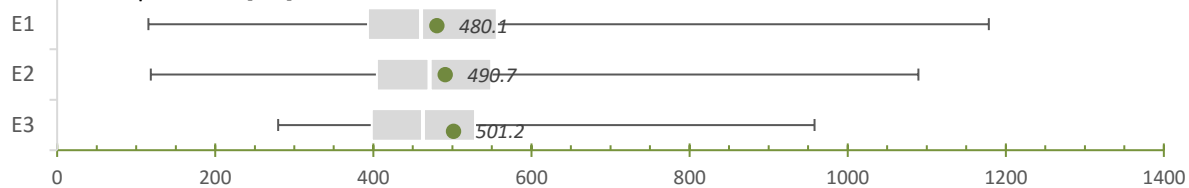




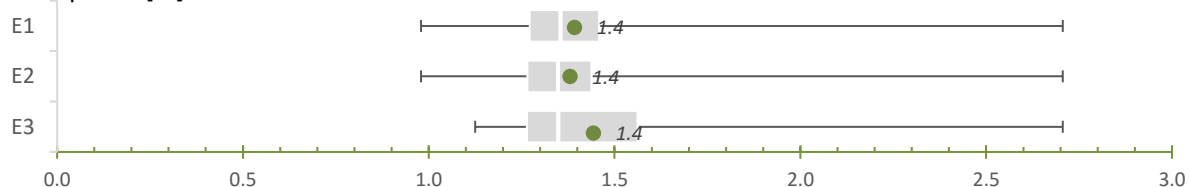
9.1.3 Caractéristiques géométriques



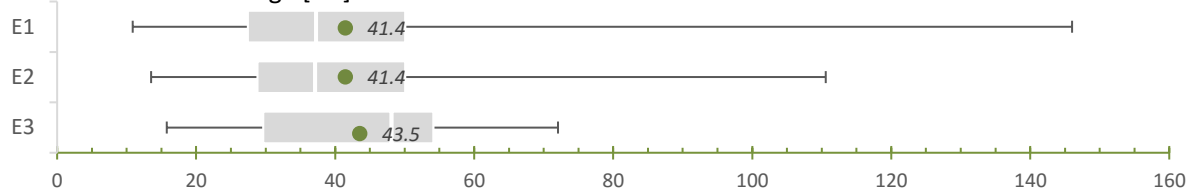
Surface déperditive [m²]



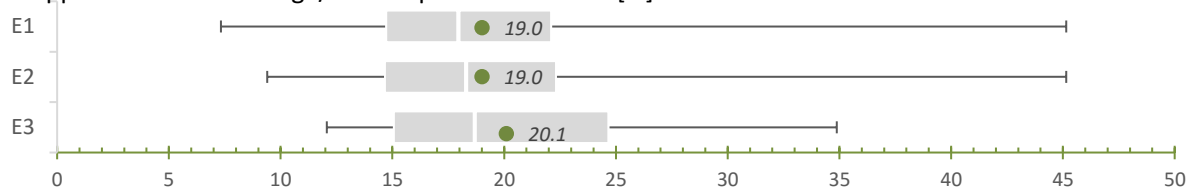
Compacité [m]



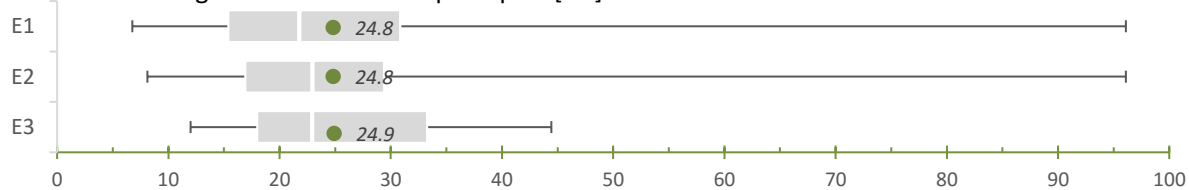
Surface totale de vitrage [m²]



Rapport surface de vitrage/surface plancher chauffé [%]

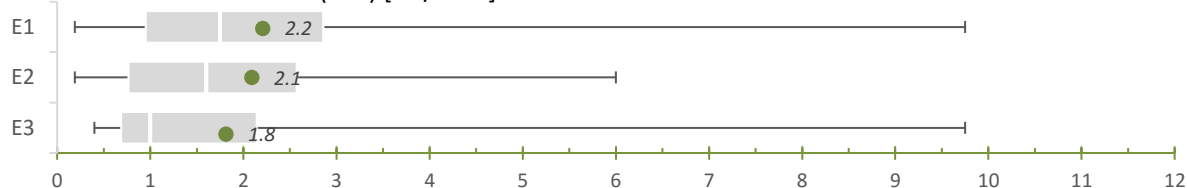


Surface de vitrage dans l'orientation principale [m²]

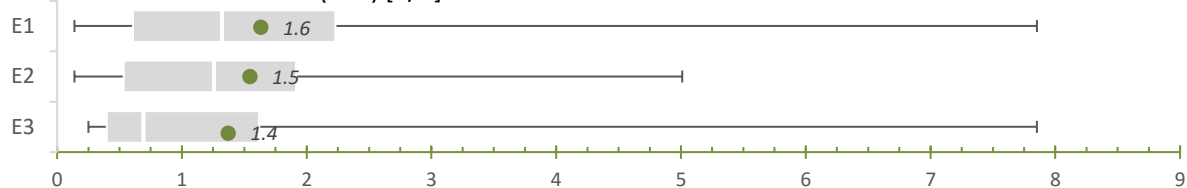


9.1.4 Performances énergétiques

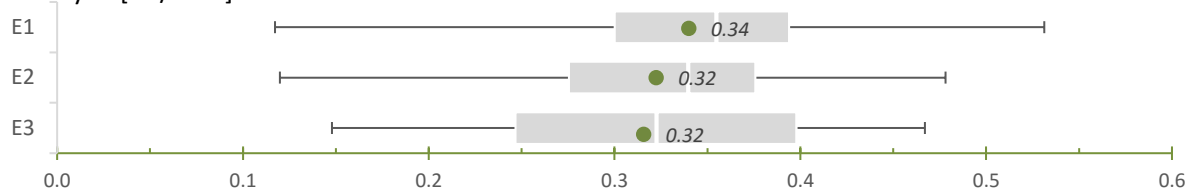
Etanchéité à l'air mesurée (v50) [$\text{m}^3/\text{h.m}^2$]



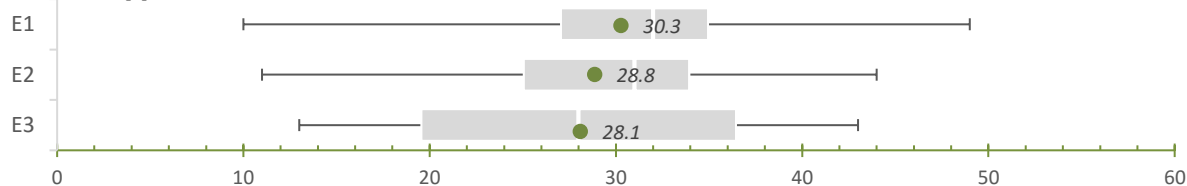
Etanchéité à l'air mesurée (n50) [1/h]



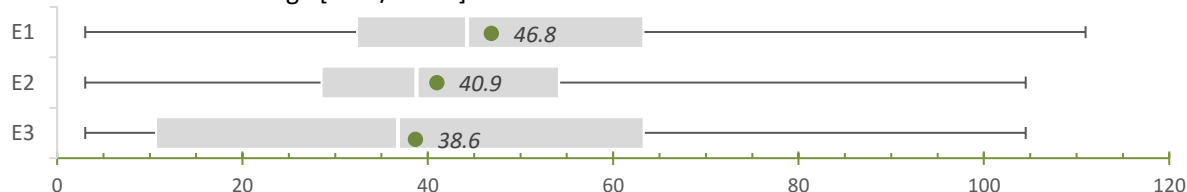
U moyen [$\text{m}^3/\text{h.m}^2$]



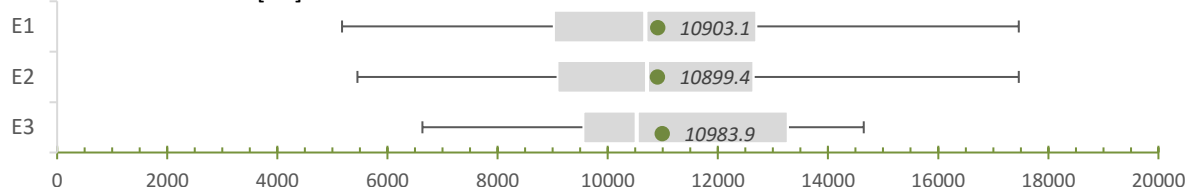
Niveau K [-]



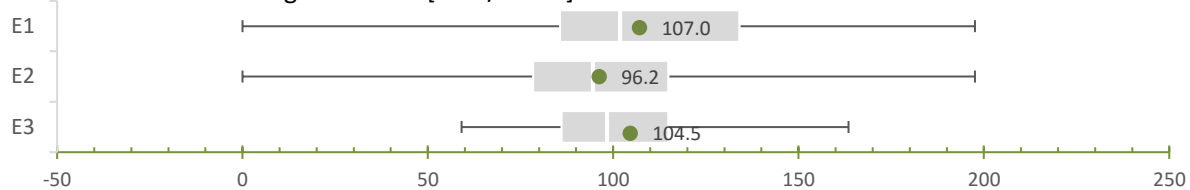
Besoins nets de chauffage [$\text{kWh}/\text{m}^2.\text{an}$]



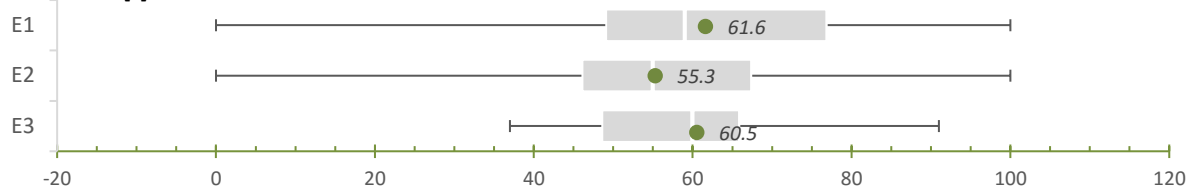
Indice de Surchauffe [Kh]



Consommation en Energie Primaire [kWh/m².an]

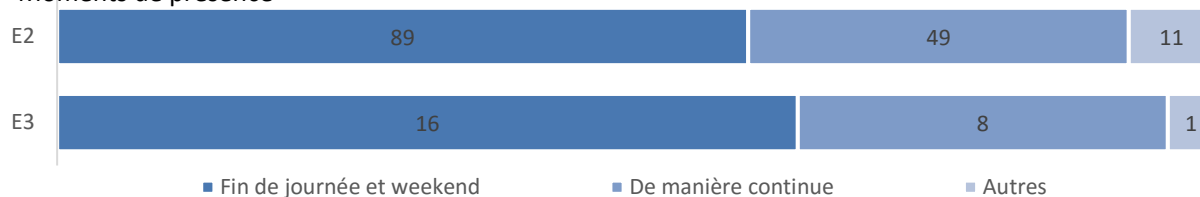


Niveau E [-]

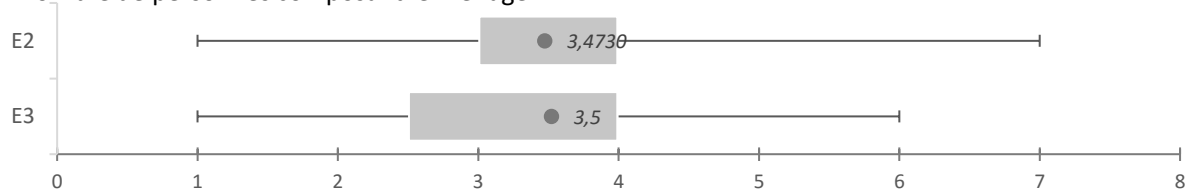


9.1.5 Occupation

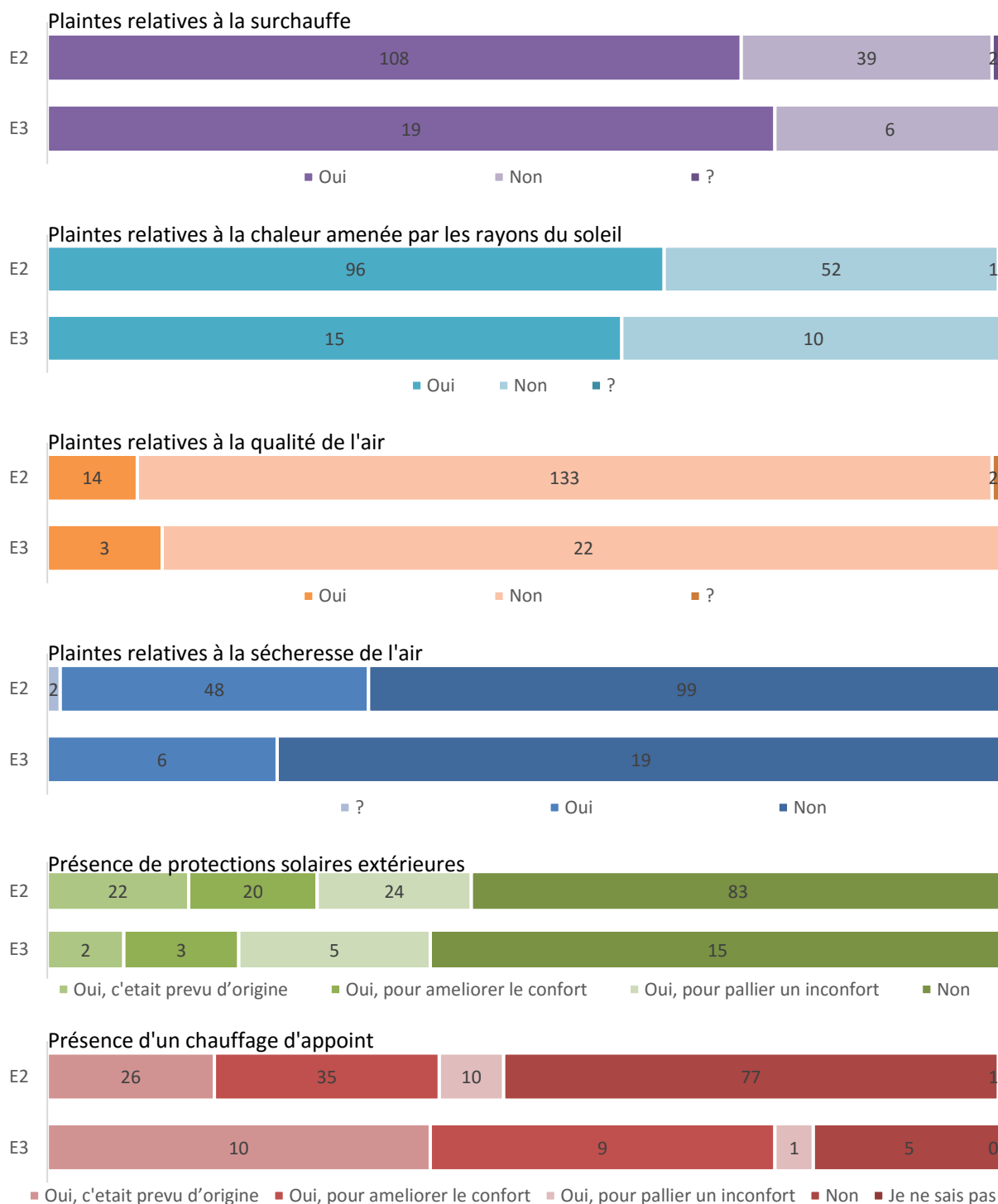
Moments de présence



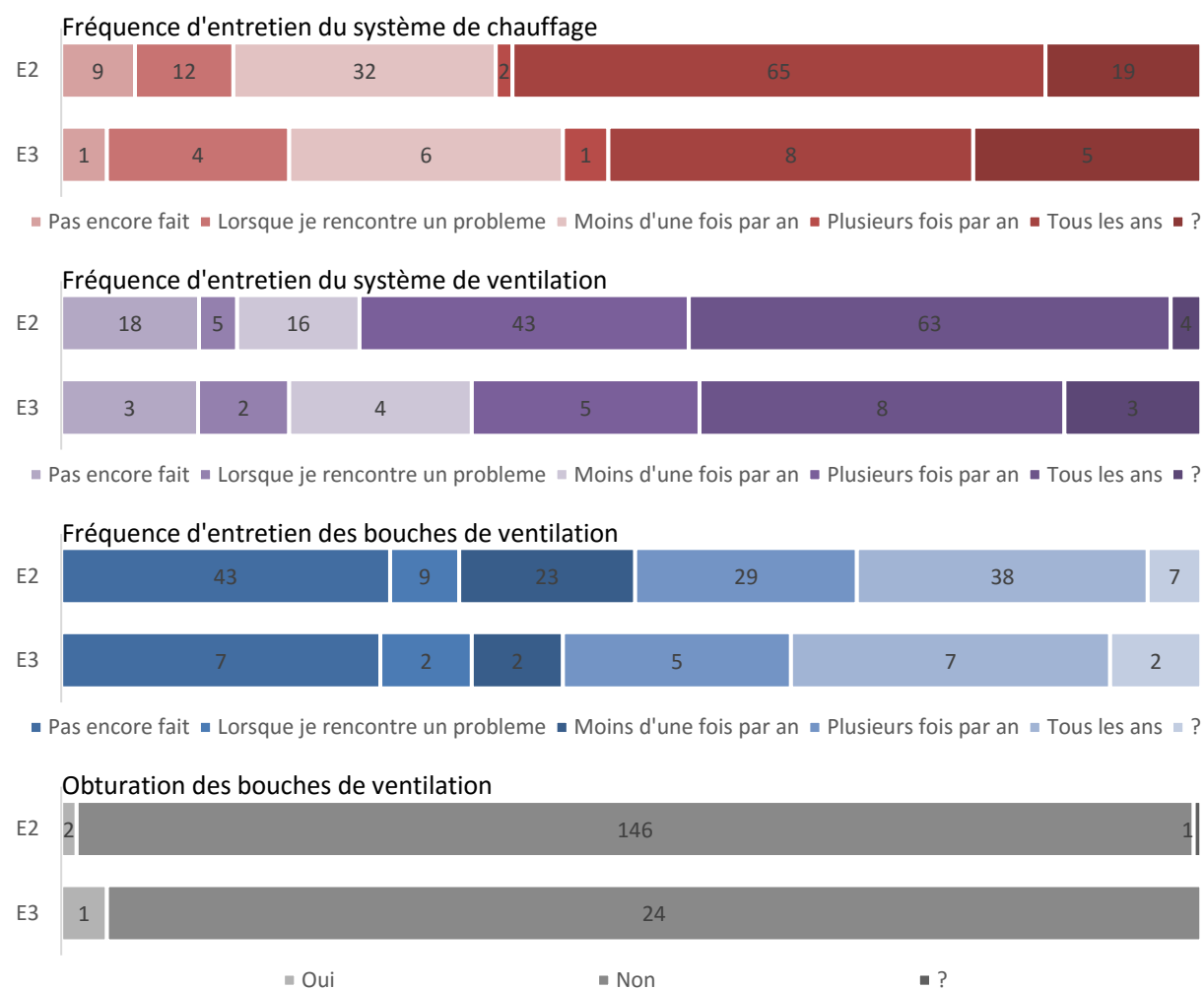
Nombre de personnes composant le ménage



9.1.6 Inconforts communiqués par l'occupant



9.1.7 Entretien des systèmes



10. Références

- Bruxelles-passif! L'accord Bruxelles passif [Online], Available: <http://www.brusselpassief.be/fr/content/passif-2015> [05 May 2015]
- Building-Research-Establishment-Ltd. The Passivhaus Standard [Online], Available: <http://www.passivhaus.org.uk/standard.jsp?id=122> [04/30/2015]
- Consommation moyenne d'électricité en Belgique [Online], Available: <http://callmepower.be/fr/faq/consommation-moyenne-electricite> [september 2015].
- CIBSE Guide A, Environmental Design 2015, CIBSE, Février 2016.
- Dartevelle, O & Obyn, S. (2015). Measure: establishment of a questionnaire to evaluate occupants' satisfaction adapted to high energy performance residential buildings. PLEA: Architecture in (r)evolution. Bologna, Italy, September 09-11.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., & Haas, A. (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings*, 37(11), p. 1186-1203.
- Gouvernement-wallon. (2008)., Arrêté du Gouvernement wallon déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments (17 avril 2008). In S. P. D. WALLONIE (Ed.) MONITEUR BELGE, [30 july 2008]
- Gouvernement-wallon. (2014)., Valeurs U maximales admissibles ou valeurs R minimales à réaliser, Annexe C1 de l'Arrêté du Gouvernement wallon portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments. In S. P. D. WALLONIE (Ed.) MONITEUR BELGE, (p. 61616-61618) [15 may 2014]
- Gupta, R., & Kapsali, M. (2014). How effective are 'close to zero' carbon new dwellings in reducing actual energy demand: Insights from UK. *PLEA Sustainable habitat for developing societies*. Ahmedabad, India, Dec. 16-18.
- HEFCE. (2006). Guide to Post Occupancy Evaluation: University of Westminster.
- Itard, L., Majcen, D., & Visscher, H. (2012). Energy Labels in Dutch Dwellings - A comparison with the actual heating energy consumption. *PLEA Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Lima, Peru. November 7- 9.
- Langendries, D., & Gerin, O. (2012). Construire avec l'énergie: 8 ans de "labo" de la PEB. *Les Cahiers nouveaux du CSTC*, 84, 68-70.
- Langendries, D., & Lethé, G. (2010). CALE : précurseur de la PEB. *Les dossiers du CSTC - N° 3/2010 - Cahier n° 18*.
- Mlecnik, E., Schütze, T., Jansen, S. J. T., de Vries, G., Visscher, H. J., & van Hal, A. (2012). End-user experiences in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*, 49(0), p. 471-478.
- NBN EN 15251 : Critères pour l'environnement intérieur et évaluations des performances énergétiques des bâtiments couvrant la qualité d'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique. 2007.
- NBN S 01-400-1 : Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation. 2008.
- Nicol, F., & Roaf, S. (2005). Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building research & information*, 33(4), p. 338-346.
- Passive-House-Institute. (2015). Passive House requirements. [Online], Available: http://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm [04/30/2015]
- Provinciale Hogeschool Limburg, KU Leuven (2012). BEP 2020: betrouwbare energieprestaties van woningen. Naar een robuuste en gebruikersonafhankelijke performantie. EINDRAPPORT. IWT Tetra project nr 110189.
- Rohdin, P., Molin, A., & Moshfegh, B. (2014). Experiences from nine passive houses in Sweden – Indoor thermal environment and energy use. *Building and Environment*, 71(0), 176-185.
- Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., & Hegger, M. (2011). Statistical analysis of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 43(9), p. 2422-2428.
- Zalejska-Jonsson, A. (2014). Parameters contributing to occupants' satisfaction. *Facilities*, 32(7/8), p. 411-437.