



## Smart-Réno

**Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique**

**Troisième volet : Valoriser le confort**

**Livrable T3.2 – Analyse des opérations de rénovation par type  
et âge des bâtiments**

Auteurs : Jérôme NICOLLE, Charles-Florian PICARD, Bénédicte WALL-RIBOT,  
Kátia CORDERO MENDONÇA, Marc ABADIE

Contributeurs : Karim Limam, Philippe Petiot, Adrien Dhalluin, Florian Battezzati,  
Jérôme Le Dréau.

**Décembre 2019**



## Sommaire

Introduction.....	5
1 Chiffres clefs de l'enquête TREMI (Rénovations en 2014-2016).....	6
1.1 Contexte des rénovations .....	6
1.2 Les postes liés à la rénovation .....	6
1.3 Le profil des postes de rénovation.....	6
1.4 Les motivations liées aux rénovations .....	7
2 Rénovation type de maisons individuelles selon leur date de construction (OPEN, 2015) .....	10
3 Etude bibliographique sur les études QUALITEL de 2017 à 2019 .....	11
3.1 Etude QUALITEL 2017 sur la qualité perçue de son logement .....	11
3.2 Etude QUALITEL 2018 sur la qualité perçue de son logement.....	11
3.3 Etude QUALITEL 2019 sur la qualité perçue de son logement.....	11
3.4 Logements connectés : les chiffres du Baromètre Qualitel-Ipsos.....	15
4 Etude bibliographique sur les polluants en air intérieur en lien avec une rénovation .....	17
4.1 Projet INSULAtE.....	17
4.2 Projet 500 maisons rénovées basse consommation : Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace .....	20
5 Paramètres pour le cahier des charges des modélisations de la tâche 3.4 .....	21
Conclusion/Synthèse pour le projet Smart-Réno.....	24

## Liste des figures

Figure 1 : Saut de classes DPE énergie après rénovation (Enquête TREMI, 2017).....	6
Figure 2 : Représentation de la répartition des logements en fonction du nombre de postes de rénovations et des bouquets associés pour une rénovation à 2 postes (Enquête TREMI, 2017).....	6
Figure 3 : Nombre d'opérations par poste et part liée à la performance de la rénovation (Enquête TREMI, 2017). .....	7
Figure 4 : Nombre de logements réhabilités et dépenses totales engagées dans le projet de rénovation (Enquête TREMI, 2017).....	7
Figure 5 : Part d'opérations de rénovation en fonction de la motivation des ménages (Enquête TREMI, 2017).....	8
Figure 6 : Les motivations de rénovation (500 maisons rénovées basse consommation-Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace, 2017). .....	8
Figure 7 : Part d'opérations de rénovation en fonction de la période de construction (Enquête TREMI, 2017).....	9
Figure 8 : Répartition des maisons individuelles (en nombre de logements).....	10
Figure 9 : Enquête de satisfaction de son logement selon son environnement (Baromètre QUALITEL 2019).....	12
Figure 10 : Perceptions du confort en fonction du lieu d'habitation (Baromètre QUALITEL 2019) .....	13
Figure 11 : Distribution de la gêne occasionnée par le bruit (Baromètre QUALITEL 2019) .....	14
Figure 12 : Satisfaction de l'habitat en fonction de l'âge (Baromètre QUALITEL 2019) .....	15
Figure 13 : Perception de l'utilité de certains services connectés (QUALITEL-IPSOS, 2018). .....	16
Figure 14 : Résumé des effets de la rénovation pour les cas étudiés par Noris et al. (2013). .....	18
Figure 15 : Répartition du nombre d'habitations en fonction du niveau de benzène en air intérieur et selon les limites fixées (500 maisons rénovées basse consommation, 2017). .....	20
Figure 16 : Mesures des particules fines PM 2,5 sur un panel de 24 logements des programmes JRBBC (500 maisons rénovées basse consommation, 2017). .....	21
Figure 17 : Exemple de fiche obtenue via la base de données TABULA (Bâtiments résidentiels Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France, 2015). .....	22

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Compilation des résultats issus de la littérature scientifique.....	19
Tableau 2 : Valeurs cibles pour les coefficients U des éléments de l'enveloppe thermique pour les deux niveaux de performance étudiés dans cette brochure. ....	23

## Introduction

L'objectif de ce travail est d'analyser les opérations de rénovation généralement réalisées ces dernières années selon leur typologie et l'âge des bâtiments afin de :

- Dresser une liste chiffrée des opérations de rénovation réalisées sur le parc existant des bâtiments Français à partir des données disponibles
- Classer les opérations de rénovation type de bâtiment, selon la date de construction des bâtiments et surtout selon leur impact potentiel sur le confort des occupants
- Dégager des scénarios de travaux.

Les scénarios identifiés pourront ensuite être utilisés dans les simulations numériques permettant d'évaluer les notions de confort et de qualité de l'air intérieur dans les bâtiments avant et après rénovation.

Ce travail se base tout d'abord sur une étude bibliographique de différents documents existants (Enquêtes OPEN (2015) et TREMI (2017), Projet Européen Insulate (2010 2015), PACTE (2017) : Stratégies de rénovation), afin de définir le couple, type de rénovation et âge du bâtiment. Ce travail a permis de faire une compilation des principales informations dans un tableau : Age de bâtiment, typologie de bâtiment, typologie de rénovation, nombre de rénovation (en milliers), coût moyen pour chaque typologie de rénovation, intégration de la ventilation dans les travaux, mesure de la QEI, influence de la rénovation sur la QEI.

L'étude ci-après, devra également permettre de mettre en avant les typologies de rénovation pouvant influencer de manière prépondérante sur les questions de confort et de santé au sein d'une habitation résidentielle.

# 1 Chiffres clefs de l'enquête TREMI (Rénovations en 2014-2016)

## 1.1 Contexte des rénovations

5,1 millions de ménages en maisons individuelles ont réalisé des travaux : 32% du parc de maisons françaises.

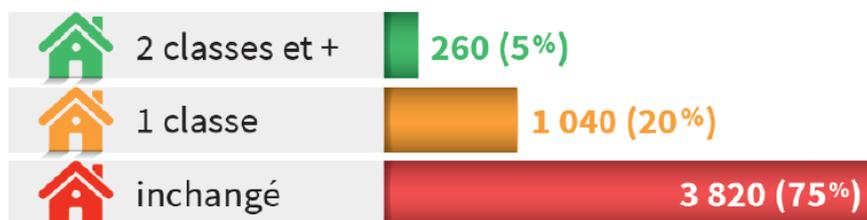


Figure 1 : Saut de classes DPE énergie après rénovation (Enquête TREMI, 2017).

Les résultats montrent que les  $\frac{3}{4}$  des rénovations n'ont pas permis de gain énergétique suffisant pour changer de classe énergétique. Bien que des améliorations aient lieu, elles ne sont pas toujours synonymes de gain de classe énergétique, en raison de l'amplitude des classes des DPE.

Les résultats de l'étude ne permettent pas de dire si ce manque de gain de classe est dû à un geste peu adapté ou à l'absence de gestes de rénovation couplés (2 postes ou plus).

## 1.2 Les postes liés à la rénovation

Le tableau ci-après, reprend la part du nombre de postes du bouquet de rénovations avec une majorité des rénovations comportant plusieurs postes, 64% contre 36% pour la rénovation d'un poste unique. Un tiers des rénovations se compose de 2 postes où se **mêlent préférentiellement les ouvertures au chauffage, à l'isolation de la partie toiture ou enfin les murs.**



Figure 2 : Représentation de la répartition des logements en fonction du nombre de postes de rénovations et des bouquets associés pour une rénovation à 2 postes (Enquête TREMI, 2017).

## 1.3 Le profil des postes de rénovation

L'ADEME préconise de réaliser l'isolation du bâti en priorité avant d'agir sur le système de production de chauffage. Les chiffres présentés dans la figure 3 montrent que cette demande de l'ADEME est généralement suivie car **la rénovation des ouvertures, de la toiture ou des murs est préférentielle à celle du système de chauffage.**

Cependant, il est à noter que la recherche de performance la plus importante, liée à la rénovation, concerne la ventilation et cela, malgré son faible nombre de rénovation (620 000 contre 2,73 millions pour les ouvertures).

La qualification de la performance des gestes réalisés est identifiée dans l'annexe 1.

#### Effectif par poste et répartition par performance du poste (en milliers de logements)

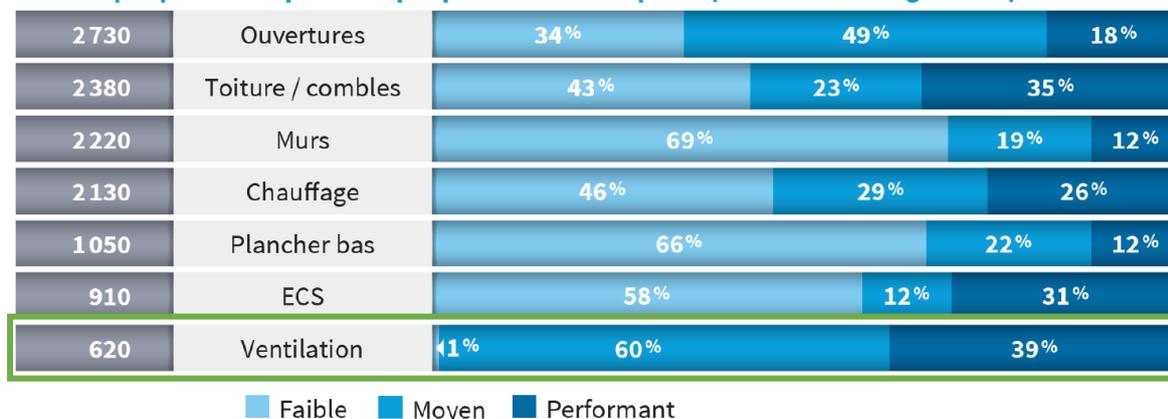


Figure 3 : Nombre d'opérations par poste et part liée à la performance de la rénovation (Enquête TREMI, 2017).

**La rénovation du système de ventilation est majoritairement réalisée en recherchant la performance.** Le fait que le poste lié à la rénovation soit le moins onéreux des sept, explique peut-être l'accent porté sur le niveau de performance.

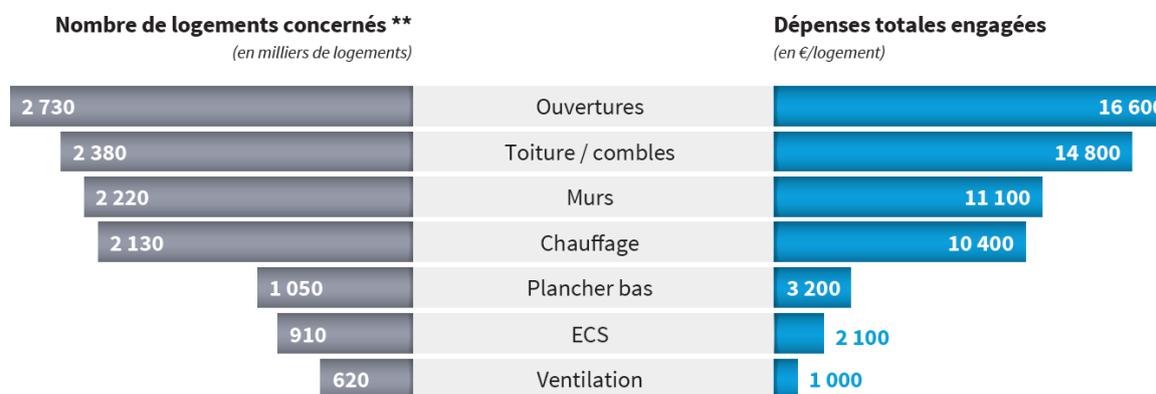


Figure 4 : Nombre de logements réhabilités et dépenses totales engagées dans le projet de rénovation (Enquête TREMI, 2017).

#### 1.4 Les motivations liées aux rénovations

Les motivations pour améliorer son habitat sont majoritairement liées à la qualité des environnements intérieurs (confort thermique, qualité de l'air, embellissement et insonorisation).

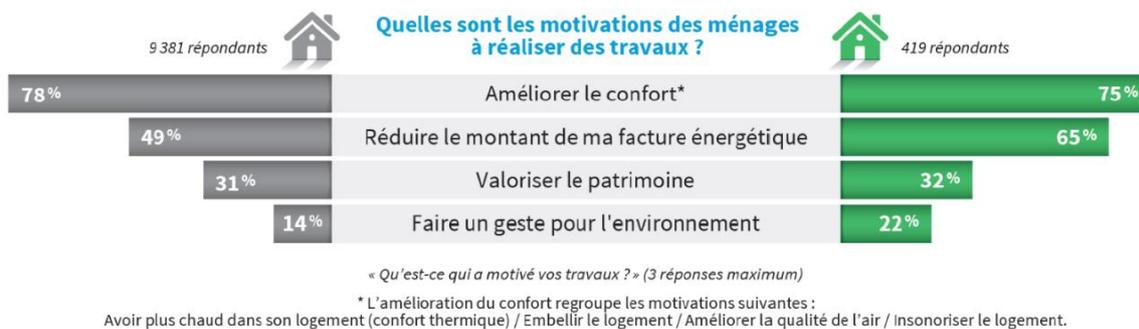


Figure 5 : Part d'opérations de rénovation en fonction de la motivation des ménages (Enquête TREMI, 2017).

Ces motivations sont également exprimées dans le cadre de l'étude du Cerema : 500 maisons rénovées basse consommation-Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace. En effet, « L'amélioration du confort et le fait de réaliser des économies ressortent comme les aspirations principales des ménages »

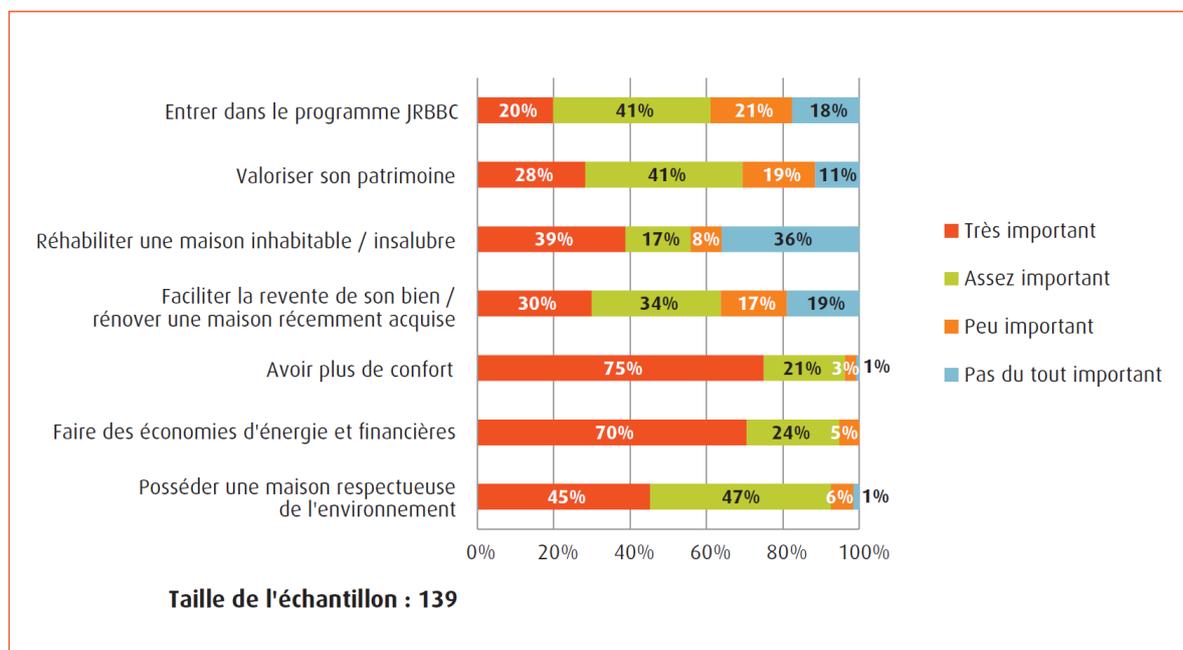


Figure 6 : Les motivations de rénovation (500 maisons rénovées basse consommation-Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace, 2017).

**Le déclenchement des travaux de rénovation est généralement lié à un événement dans près de 3 cas sur 4.** Un tiers des cas concerne particulièrement le remplacement d'une installation en panne, vétuste, en mauvais état ou encore suite à un sinistre.

Enfin, **la vétusté de l'habitation est également un élément déclencheur de rénovation** car la part de bâtiments rénovés est dépendante de l'ancienneté de la classe d'âge des bâtiments. Ainsi, la majorité des bâtiments rénovés en 2014-2016 étaient datés d'avant 1948.



Période de construction				
<b>38%</b>	1948 ou avant	37%	41%	<b>48% **</b>
<b>20%</b>	1949 - 1974	20%	20%	29%
<b>26%</b>	1975 - 2000	26%	27%	19%
<b>15%</b>	2001 et après	17%	12%	4%

\*\* 48 % des rénovations ayant permis 2 sauts de classe énergétique ou plus ont pris place dans des logements construits avant 1948. Or, seulement 38 % des maisons individuelles du parc français ont été construites avant 1948. Il y a donc une sur-représentativité du parc ancien parmi les logements rénovés énergétiquement.

- Résidant en maison individuelle 
- N'ayant pas réalisé de travaux 
- Ayant réalisé des travaux 
- Ayant réalisé des travaux permettant 2 sauts de classe énergétique ou plus 

Figure 7 : Part d'opérations de rénovation en fonction de la période de construction (Enquête TREMI, 2017).

## 2 Rénovation type de maisons individuelles selon leur date de construction (OPEN, 2015)

L'étude OPEN (Observatoire Permanent de l'amélioration ENergétique) réalisée en 2015 reprend les chiffres des rénovations achevées en 2014 (2012-2014). En résumé, les rénovations étaient réalisées en premier lieu sur les ouvertures comme mis en avant dans l'étude TREMI présentée plus précisément précédemment.

A noter que la partie ventilation n'était pas intégrée dans cette étude, comme elle l'a été dans l'étude TREMI, la figure ci-dessous montre tout de même que la rénovation du système de ventilation est marginale et ne représente que 10 à 15 % de logements ayant réalisé le geste de rénovation, rapporté au nombre total de logements de la même période constructive.

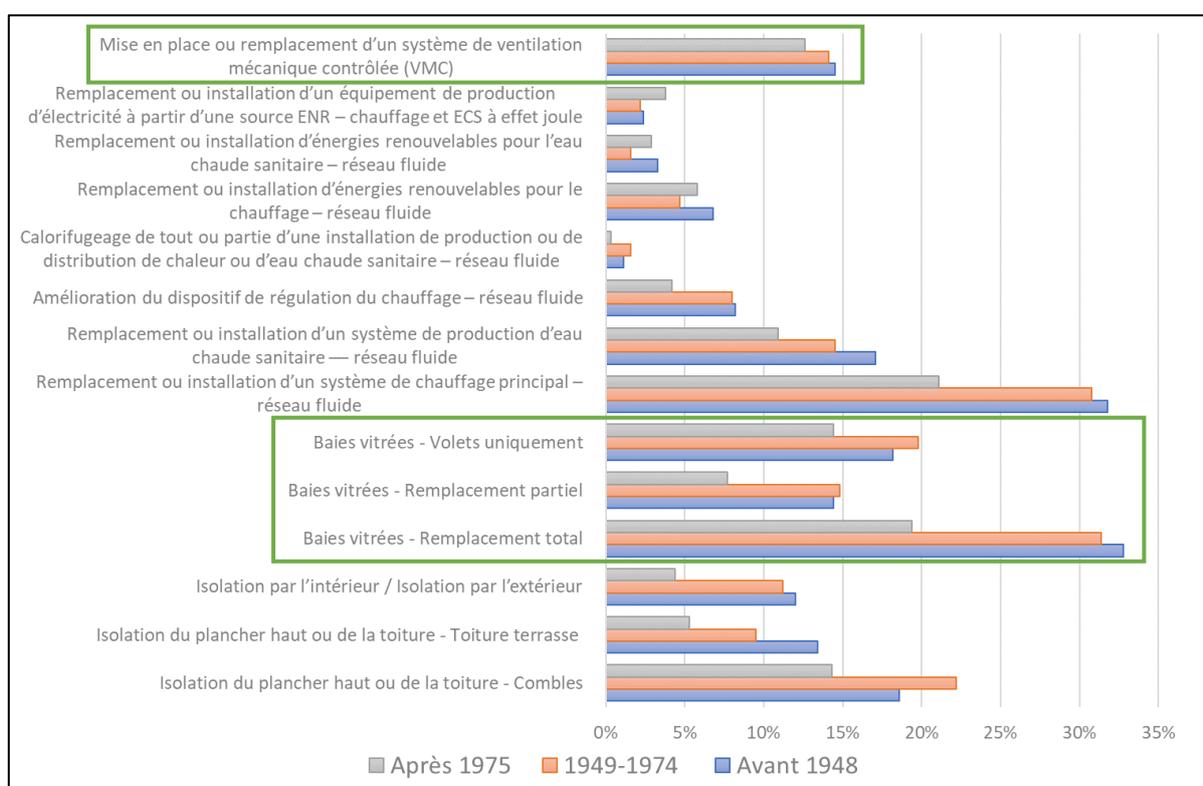


Figure 8 : Répartition des maisons individuelles (en nombre de logements).

Le tableau ci-dessus donne la proportion de travaux ayant été réalisés entre 2006 et 2015, par période constructive et par type de travaux. Ces données sont issues de l'enquête OPEN réalisée par l'ADEME en 2015, sur un panel de 10 600 logements, représentatif du parc national.

**On notera qu'il y a peu de différences entre les périodes 1949-1974 et avant 1948 concernant le nombre de logements ayant eu recours à un geste de rénovation.**

### 3 Etude bibliographique sur les études QUALITEL de 2017 à 2019

#### 3.1 Etude QUALITEL 2017 sur la qualité perçue de son logement

L'étude QUALITEL met en avant une baisse de la satisfaction vis-à-vis de son logement durant le XX<sup>e</sup> siècle (1900 à 1980) par rapport à ceux datant d'avant 1900. La qualité augmente à partir des années 1980 en parallèle de la mise en place de réglementations en conception et construction. Le choix d'une opération labellisée permet effectivement de contribuer à augmenter la qualité perçue d'un bâtiment.

Durant cette étude, 5 postes d'insatisfaction ont été mis en avant :

- Le confort thermique (32%)
- La consommation énergétique (32%)
- L'isolation acoustique (30%)
- La qualité des matériaux de construction (25%)
- L'aération et la ventilation (21%)

#### 3.2 Etude QUALITEL 2018 sur la qualité perçue de son logement

A la question : Quels sont les travaux qui améliorent le plus l'habitat selon les français ? : 48 % des français interrogés procèdent à une rénovation pour améliorer le confort de leur habitation. Il vient en second lieu la recherche de l'économie de charges (37 %).

Les 5 types de travaux majoritairement réalisés en rénovation sont :

- Le remplacement du système de chauffage (45%)
- la réfection complète d'une pièce (salle de bain, cuisine, salon... : 45 %),
- le remplacement d'au moins la moitié des fenêtres du logement (39 %),
- la réfection de l'installation électrique (36 %),
- l'isolation de la toiture / des combles (35 %).

Ainsi lorsque que l'on se trouve dans le cas de logements rénovés avec cinq travaux ou plus au cours de la dernière décennie, la qualité perçue est toujours supérieure malgré les différences d'âge et donc de typologie du bâtiment.

#### 3.3 Etude QUALITEL 2019 sur la qualité perçue de son logement

L'amélioration de la qualité de l'habitat ne peut pas se faire sans prendre en compte la perception et l'usage de son logement. Il apparait ainsi une différence notable de satisfaction de son logement selon que celui-ci est de type rural ou citadin et en particulier pour les logements parisiens.

## Plus on habite dans une petite ville, plus on est satisfait de son logement

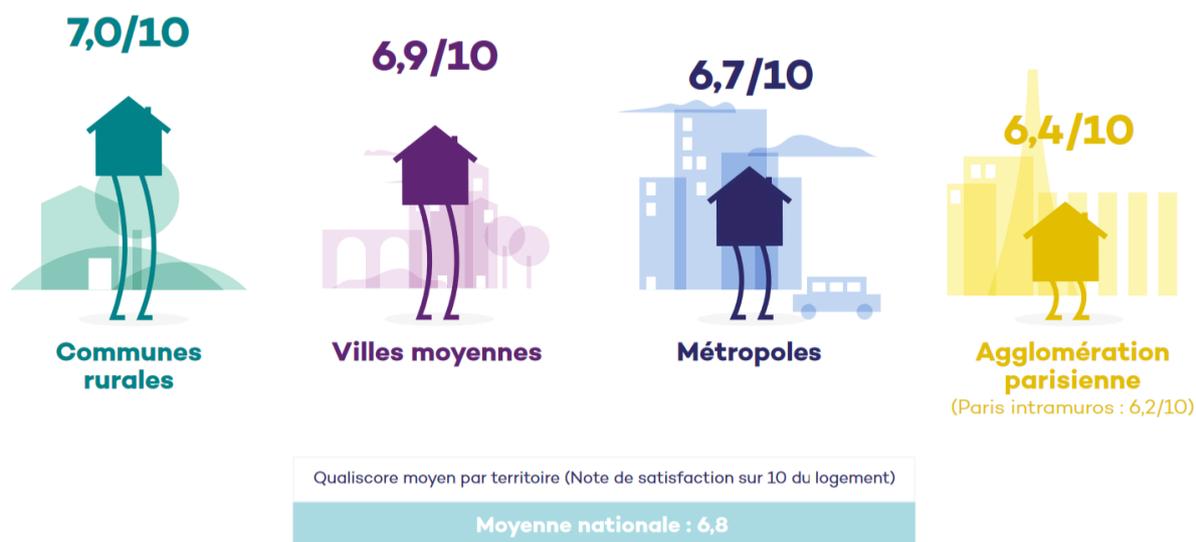
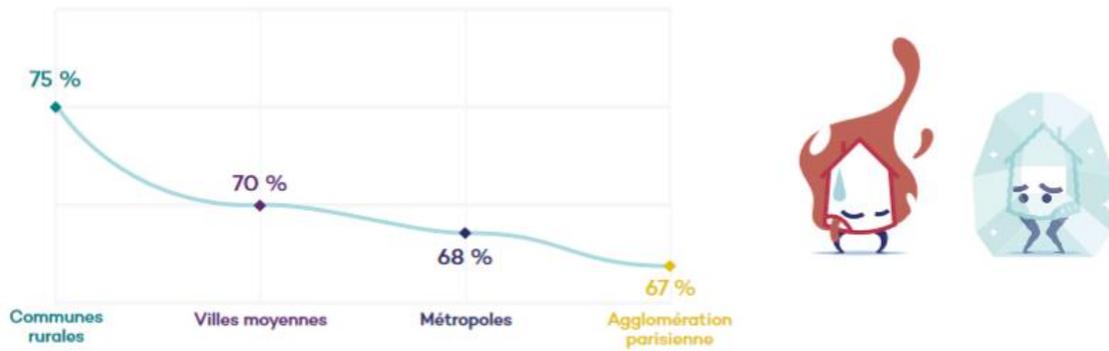


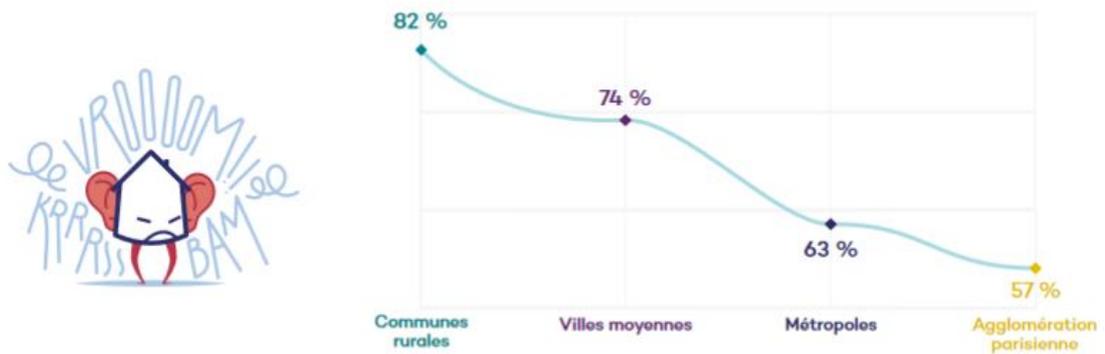
Figure 9 : Enquête de satisfaction de son logement selon son environnement (Baromètre QUALITEL 2019)

De manière générale mais également sur des points liés au confort (thermique, acoustique et qualité des matériaux), les habitants de communes rurales sont plus satisfaits de leurs conditions que ceux habitant dans l'agglomération parisienne.

### « Je suis satisfait du confort thermique de mon logement »



### « Je suis satisfait de l'isolation acoustique de mon logement »



### « Je suis satisfait de la qualité des matériaux de construction de mon logement »

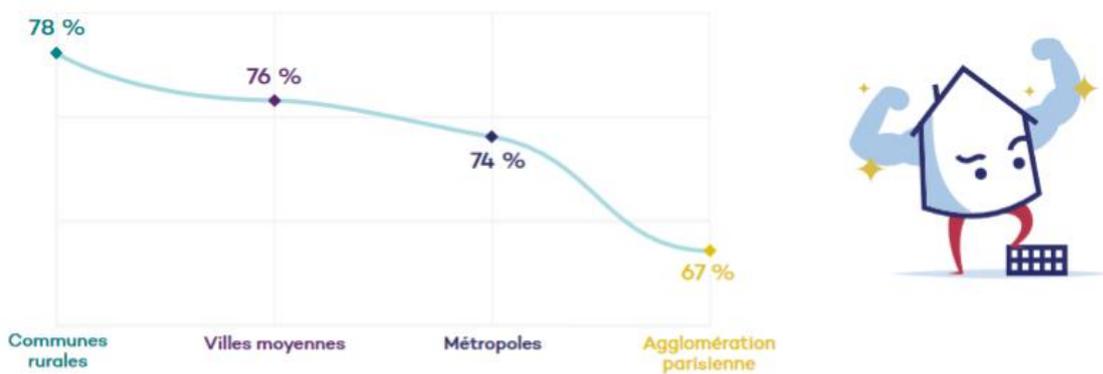


Figure 10 : Perceptions du confort en fonction du lieu d'habitation (Baromètre QUALITEL 2019)

Le baromètre QUALITEL fait ressortir 5 facteurs expliquant la perception des occupants comme :

- **La surface du logement :**

En effet, les logements en milieux ruraux offrent une capacité de choix de la superficie supérieure à ceux en milieux urbains. L'inconfort est ainsi dû à la faible capacité de rangement et d'aménagement du logement

- **L'environnement immédiat :**

Cela provient à la fois d'une plus grande proximité à la végétation et d'une nuisance sonore moindre au quotidien du fait d'une densité moins importante. Cette notion de l'acoustique est présente en particulier dans le cas d'une gêne acoustique liée au voisinage.

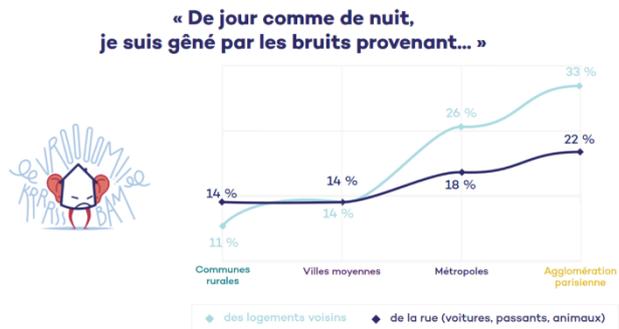


Figure 11 : Distribution de la gêne occasionnée par le bruit (Baromètre QUALITEL 2019)

- **Le statut de l'occupant :**

La satisfaction vis-à-vis de son logement est plus importante lorsque l'on est propriétaire et il s'avère qu'il y a une plus grande proportion de propriétaire dans les petites et moyennes communes.

- **La typologie de l'habitat :**

Il en est de même concernant la satisfaction des habitats individuels par rapport au collectif puisque la maison est plus représentative du parc dans les milieux ruraux et villes moyennes et plus valorisée en termes de qualité perçue.

- **L'investissement personnel dans le logement :**

D'avantages de travaux de rénovations sont réalisés dans les milieux ruraux, ce qui rend les propriétaires fiers et plus attachés à leur bien. A noter que la tranche d'âge 35-59 ans apparaît comme la moins attachée à son logement (seulement 58%) en région parisienne.

De manière générale, il apparaît dans l'étude que la satisfaction de son habitat est corrélée avec l'âge de celui-ci. Cette caractéristique est même linéaire à partir des constructions datant de 1900 à 1944. Ainsi, plus une construction est récente, plus le ressenti du confort à l'intérieur de celles-ci est positif.

## Toutes métropoles confondues, plus on habite un logement récent, plus on est satisfait de la qualité de son habitat

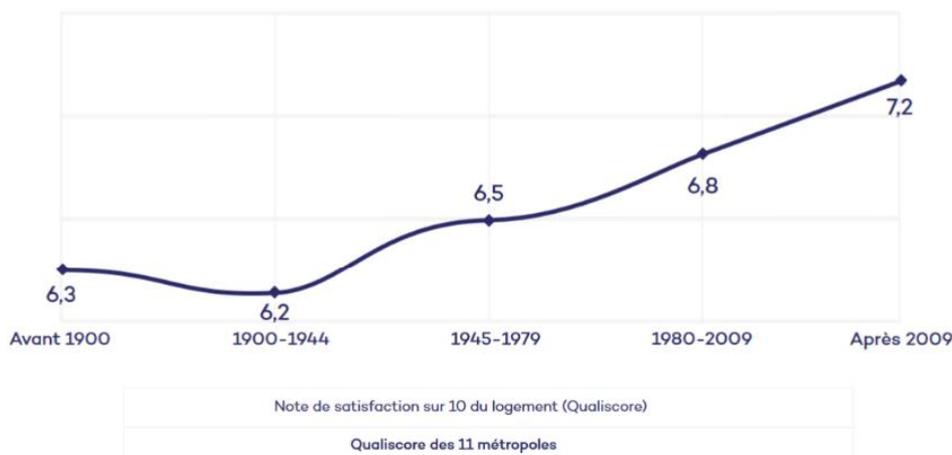


Figure 12 : Satisfaction de l'habitat en fonction de l'âge (Baromètre QUALITEL 2019)

### 3.4 Logements connectés : les chiffres du Baromètre Qualitel-Ipsos

Question posée dans la 2<sup>ème</sup> édition du Baromètre Qualitel-Ipsos - Habitat rénové, habitat connecté : Quels (réels) bénéfices pour les Français ? (Communiqué de presse, Paris le 25 septembre 2018)

L'enquête a été réalisée auprès d'un échantillon de 3 382 personnes interrogées, soit :

- 2 005 personnes représentatives de la population française âgées de 18 ans ou plus,
- un premier sur-échantillon de 726 habitants d'un logement ayant fait l'objet d'au moins un travail de rénovation au cours des 10 dernières années,
- un second de 651 propriétaires d'un logement de moins de 10 ans.

La représentativité de l'échantillon a été assurée par la méthode des quotas (sexe, âge, fonction de la personne interrogée). Les interviews ont été réalisées par questionnaire autoadministré en ligne du 20 avril au 03 mai 2018.

Les conclusions de cette étude montrent que 3 habitats sur 10 possèdent au moins un équipement connecté, 54 % des logements récents (moins de 5 ans) comptent au moins un service connecté, et 30 % en comptent même deux ou plus.

La répartition des objets connectés est la suivante :

- 21 % des logements disposent d'une alerte anti-intrusion.
- 15 % possèdent une vidéosurveillance
- 12 % pour le pilotage du chauffage
- 11 % pour le pilotage des équipements à distance
- 8 % pour l'alerte en cas d'inactivité suspecte d'une personne âgée / handicapée

Les résultats laissent apparaître deux obstacles à l'utilisation des objets connectés par les français :

- Moins de la moitié se déclarent prêts à investir dans des services connectés, même pour ceux jugés les plus utiles comme la qualité de l'air, cité à 54 % par les interrogés comme étant un équipement utile.

« Je considère que l'équipement suivant est utile. »

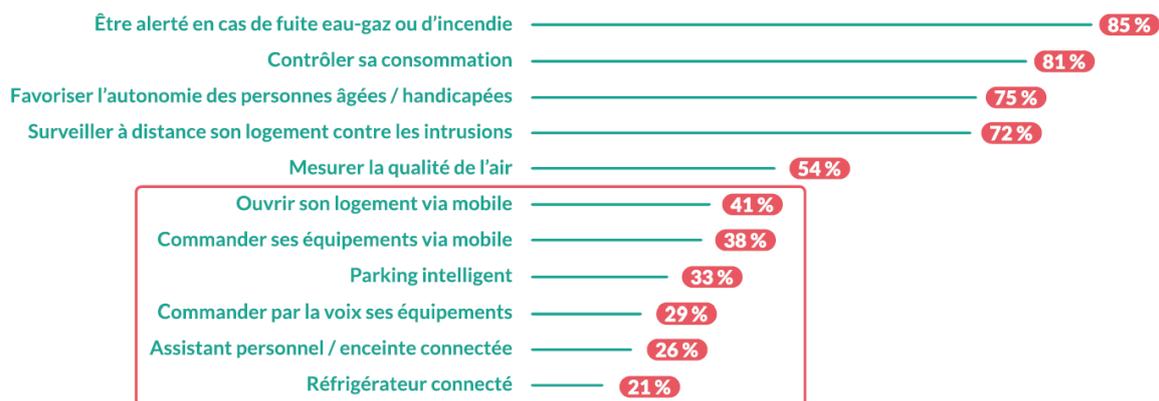


Figure 13 : Perception de l'utilité de certains services connectés (QUALITEL-IPSOS, 2018).

- Ils ne semblent pas avoir d'appétence particulière pour la présence de ce type de technologie dans leur vie. Ainsi, 52 % d'entre eux estiment qu'il y a « juste ce qu'il faut de technologie » dans leur quotidien, 31 % qu'il y en a « trop », et seulement 7 % qu'il n'y en a « pas assez »

L'enjeu le plus sensible pour le développement du logement intelligent réside sans doute dans les craintes d'effets collatéraux négatifs touchants au domaine de l'« intime » avec la crainte « des entreprises récupèrent (leurs) informations personnelles pour un usage commercial ». Un Français sur deux n'est pas prêt à partager des informations relatives à ses habitudes (chauffage, heures de présence) pour réduire sa consommation énergétique et sa facture.

De plus, les services connectés ont généralement besoin d'être connectés par ondes wifi / électromagnétiques pour fonctionner. Or, plus de la moitié des Français ont peur que cela ne nuise à leur santé ou à celle de leurs proches. Enfin, un nombre non-négligeable de personnes interrogées craignent tout simplement une défaillance technique : 67 % craignent que « leurs appareils tombent en panne et que plus rien ne fonctionne », 50 % redoutent de « perdre la maîtrise de (leurs) équipements ».

## 4 Etude bibliographique sur les polluants en air intérieur en lien avec une rénovation

### 4.1 Projet INSULAtE

Le projet européen **INSULAtE** (2010-2015) consistait à évaluer des programmes nationaux visant à améliorer la performance énergétique du parc de logements existants, y compris des mesures rentables et éprouvées telles que l'amélioration de l'isolation thermique soutenue par le gouvernement.

Les objectifs spécifiques du projet comprenaient l'élaboration d'un protocole commun pour l'évaluation des incidences de la performance énergétique d'un bâtiment sur la qualité de l'environnement intérieur et la santé ; l'établissement d'une approche intégrée pour l'évaluation des informations environnementales et sanitaires, y compris l'utilisation d'indicateurs environnementaux et sanitaires pertinents ; la démonstration des effets (tant positifs que négatifs) de l'efficacité énergétique sur la qualité de l'environnement intérieur et la santé dans trois pays européens.

Plusieurs publications sont maintenant disponibles. Du *et al.* (2015a) présentent les caractéristiques des bâtiments avant rénovation pour la Lituanie et la Finlande. Du *et al.* (2015b) présentent les résultats vis-à-vis du confort hygrothermique après rénovation pour la Lituanie et la Finlande.

Prasauskas *et al.* (2016) ajoutent des données de comparaison de trois bâtiments Estoniens (deux non rénovés, un rénové). Des concentrations en polluants gazeux (formaldéhyde, BTEX, NO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>) plus élevées sont observées dans le bâtiment rénové ; les éléments manquent pour lier ces plus forts niveaux à la rénovation puisque la comparaison est effectuée entre deux bâtiments non rénovés et un rénové.

Leivo *et al.* (2017) présentent les résultats concernant les mesures de différences de pression, de débits d'air et de concentrations en CO<sub>2</sub>. Leivo *et al.* (2018) résument l'impact de la rénovation sur les températures, humidités relatives, débits d'air et concentration de CO<sub>2</sub> en Finlande et en Lituanie. Les résultats montrent que dans les cas des habitations Finlandaises, les débits d'air ont été augmentés grâce à la ventilation mécanique mais il n'y a pas eu de différences vis-à-vis du confort hygrothermique.

Deux autres études en Suède (Liu *et al.*, 2015) et au Danemark (Thomsen *et al.*, 2016) citées par les auteurs montrent des résultats similaires (augmentation des débits, peu de différences pour le confort thermique). Pour les cas Litvaniens, une diminution des débits d'air ainsi qu'une augmentation significative de la température et de l'humidité sont observées. Les auteurs notent qu'une différence majeure entre les deux pays est l'isolation thermique initiale, avant rénovation, des bâtiments : forte pour la Finlande, faible pour la Lituanie. Haverinen-Shaughnessy (2018) présentent les résultats des enquêtes de satisfaction des occupants du projet INSULAtE.

Noris *et al.* (2013) étudient les effets de la rénovation énergétique de seize appartements sociaux aux Etats-Unis (Californie). Dans l'ensemble, la qualité de l'environnement intérieur s'est améliorée après les rénovations. Des diminutions plus importantes des concentrations en polluants intérieurs sont liées à une augmentation plus importante de la ventilation. La QEI s'est améliorée globalement grâce à une ventilation mécanique continue. Cependant, tous les résultats n'ont pas été positifs. Les concentrations en formaldéhyde ont diminué dans les appartements qui présentaient les concentrations les plus élevées (noté B1) mais sont inchangées pour les autres. De plus, les niveaux de NO<sub>2</sub> ont diminué dans les B1, qui présentaient les concentrations les plus élevées, sont demeurées inchangées dans les B2 et ont augmenté dans les B3 qui présentaient les concentrations les plus faibles. Les auteurs résument l'ensemble des résultats de manière efficace et concise (Figure 14).

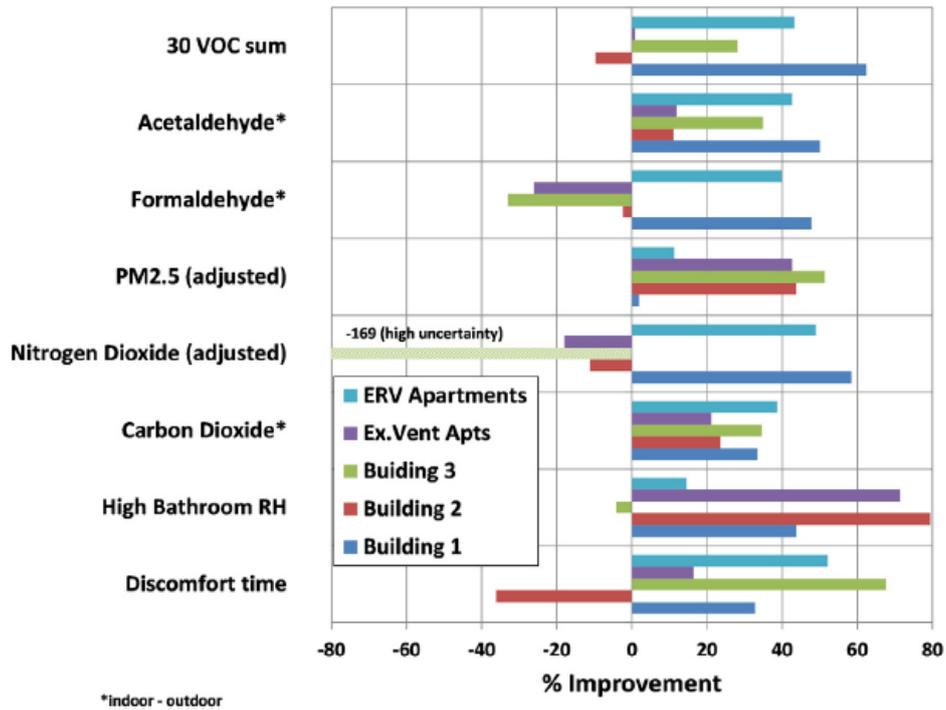


Figure 14 : Résumé des effets de la rénovation pour les cas étudiés par Noris et al. (2013).

Hamid *et al.* (2019) ont étudié le remplacement du système de ventilation de plusieurs bâtiments résidentiels (ventilation mécanique par extraction ou double-flux sans récupération de chaleur) par un système double-flux avec récupération de chaleur. Les différences observées sur le confort hygrothermique sont imperceptibles.

Les résultats issus de la littérature scientifique sont compilés dans le Tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Compilation des résultats issus de la littérature scientifique.

	Type de Bâtiment	#	Année de construction	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Type de ventilation	Rénovation	Confort thermique	Vent. (Q)	QAI
Leivo <i>et al.</i> (2018)	Collectif (Finlande)	39 bât. 124 app.	Pré 1960 : 5 1960-70 : 12 1971-80 : 16 1980-90 : 4 (2 non identifiés)	ENV. : 0,40-0,28 PH : 0,40-0,36 PB : 0,40-0,29	9% Naturelle 91% Mécanique	39% Fenêtres 22% Ventilation 17% Isolation ENV 17% Chauffage 5% Isolation PH	Neutre	Aug. Q	CO <sub>2</sub>
Projet INSULate	Collectif (Lituanie)	15 bât. 55 app.	Pré 1960 : 2 1960-70 : 5 1971-80 : 3 1980-90 : 5	ENV. : 1,27-0,88 PH : 0,85 PB : 0,71	57% Naturelle 43% Mécanique	25% Fenêtres 0% Ventilation 25% Isolation ENV 25% Chauffage 25% Isolation PH	Aug. T Aug. HR	Dim. Q	CO <sub>2</sub>
Noris <i>et al.</i> (2013)	Collectif (Etats-Unis)	16 app.	1967 : 5 (B1) 1975 : 6 (B3) 1976 : 5 (B2)		100% Mécanique	19% Fenêtres 50% Isolation PH 69% Etanchéité 50% Rempl. Extr. Int. SdB 50% Ajout Extr. Cont. SdB 100% Rempl. Hotte Int. 100% Aug. Eff. Filtre	B1/B3 : Amélioration du confort (T, RH) B2 : dim. Du confort (surchauffe)	Aug. 180% B1 11% B2 68% B3	CO <sub>2</sub> Formal. : B1 (dim.), B2 (neutre), B3 (aug.) Acétald. : dim. COVT : B1 (dim.), B2 (aug.), B3 (dim.) NO <sub>2</sub> : conc. Basses, B1 (dim.), B2 (légère aug.), B3 (aug.) PM2.5 : dim.
Prasauskas <i>et al.</i> (2016)	Collectif (Estonie)	8 app. Non rénovés 2 app. rénovés	1976		Naturelle  Mécanique, double-flux avec récupération de chaleur				CO <sub>2</sub> Formal. BTEX NO <sub>2</sub>  Augmentation des concentrations

dim. : diminution, Aug. : augmentation, ENV : enveloppe, PH : Plancher Haut.

## 4.2 Projet 500 maisons rénovées basse consommation : Enseignements opérationnels des programmes « Je rénove BBC » en Alsace

Cette étude a permis de faire un focus sur les niveaux de certains polluants présents dans les environnements intérieurs suite à des travaux de rénovation.

Il apparaît que pour certains polluants chimiques ou traceur comme le dioxyde de carbone, le benzène et le dioxyde d'azote les concentrations relevées sur le panel d'étude se situent globalement au-dessous des valeurs guides ou des médianes établies par ailleurs au sein de l'OQAI lors de la campagne « logements » réalisée entre 2003 et 2005 et représentative du parc de logements français à cette époque.

Il faut cependant prendre garde à ces données car il n'est pas fait mention dans l'étude si les logements disposaient de sources de ces polluants auparavant. De plus, nous ne pouvons pas statuer si l'action de la rénovation a eu un effet positif, négatif ou nul sur le niveau final puisqu'il n'est pas fait référence à des comparaisons. Des valeurs au-dessus des seuils pour le benzène ont été repérées, ce qui peut vouloir dire soit que la source est dépendante des activités de l'utilisateur (tabagisme, combustion d'encens, durant la cuisine ou chauffage au bois par exemple), soit que la source est externe au bâtiment (trafic routier particulièrement) et que la stratégie de ventilation ne permet pas d'abaisser le niveau en-deçà de la valeur guide d'air intérieur (VGAI) de référence en 2013 ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), prise dans cette étude. A noter que depuis l'année 2016, cette VGAI a été revue à la baisse à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , et est utilisée comme valeur repère dans le cadre de la surveillance obligatoire des écoles et établissements recevant des enfants de moins de 6 ans.

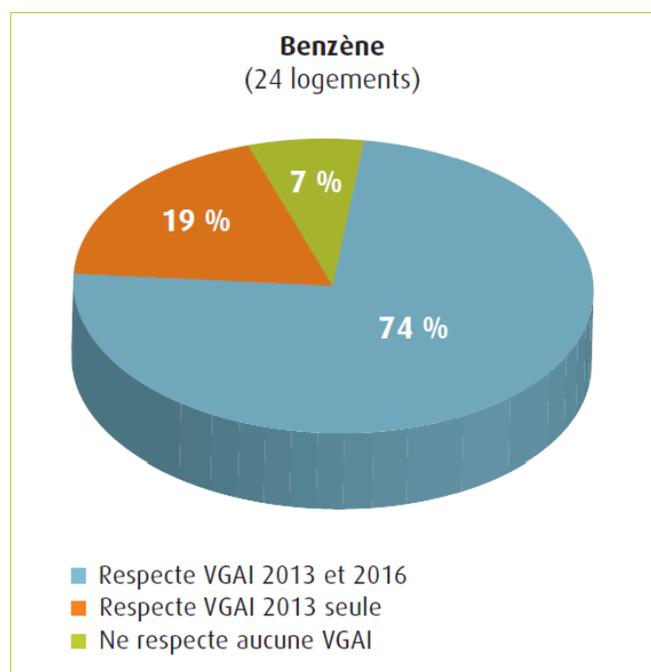


Figure 15 : Répartition du nombre d'habitations en fonction du niveau de benzène en air intérieur et selon les limites fixées (500 maisons rénovées basse consommation, 2017).

Le cas du formaldéhyde est plus complexe car les conclusions de l'étude indiquent que : « quasiment tous les logements (96 %) se situent au-dessus des VGAI 2023 ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). 52 % des logements dépassent même les VGAI 2015 ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour le formaldéhyde ». En 2018, la valeur long terme a

été supprimée par l'ANSES pour ne laisser apparaître qu'une valeur court terme, sur une journée, fixée à  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Il est donc fort probable qu'avec une telle limite d'exposition utilisée, d'obtenir un nombre très minime de logements ayant un risque pour la santé. D'autant plus que les nouveaux matériaux accessibles actuellement sur le marché contiennent et/ou émettent de moins en moins ce type de produit chimique.

Le polluant mesuré dans cette étude et ayant une présence au-dessus des seuils des valeurs indicatives est représenté par les  $\text{PM}_{2,5}$  : 92 % des logements dépassent les valeurs de l'HCSP 2025 (Haut Conseil de la santé publique) pour les  $\text{PM}_{2,5}$  de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Par ailleurs, seuls 37 % des logements se situent au-dessous des valeurs de l'HCSP 2015 de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

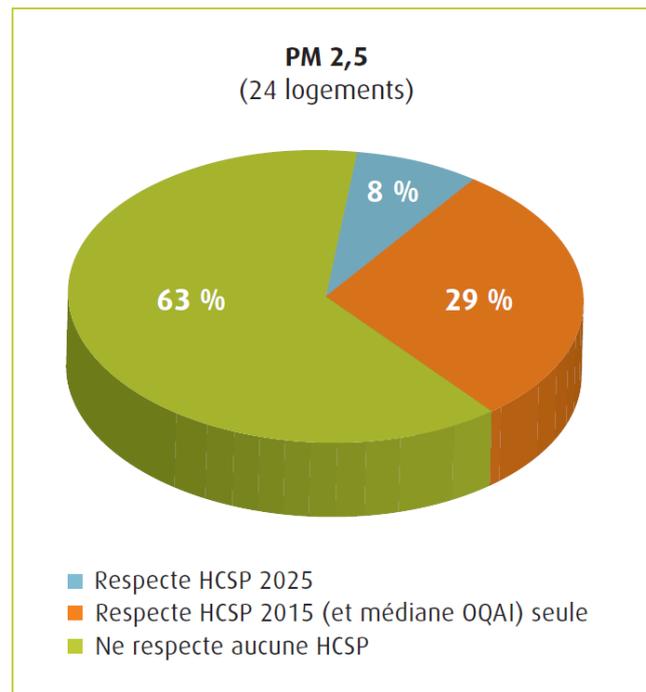


Figure 16 : Mesures des particules fines  $\text{PM}_{2,5}$  sur un panel de 24 logements des programmes JRBBC (500 maisons rénovées basse consommation, 2017).

## 5 Paramètres pour le cahier des charges des modélisations de la tâche 3.4

Pour permettre d'aider à définir les exemples de modélisations qui permettront de rendre compte du comportement des bâtiments avant et après rénovation (tâche 3.4), des paramètres moyens ont été définis selon différents critères dans l'étude 500 maisons rénovées basse consommation (2017) et l'étude TABULA (2015). On précisera que TABULA (2015) recense un ensemble de fiches présentant l'état initial et deux niveaux de rénovation en fonction de la date de construction des bâtiments. La Figure 17 présente une de ces fiches à titre d'illustration.

01-SFH	Classe bâtiment Maison individuelle détachée	Période constructive Avant 1915	Code TABULA FR.N.SFH.01.Gen.ReEx.001
			
<b>Description générale du type</b> Maison individuelle, isolée sur parcelle ou regroupée en hameaux. Construction massive (grande majorité) en pierre moellon ou pierre de taille, en brique ou en pan de bois, majoritairement sans revêtement extérieur. Taux de vitrage faible. Menuiseries bois simple vitrage. Toiture double pente, comble initialement non habitable. Sur terre-plein ou sur cave voutée (moins souvent). Sans isolation thermique.			
<b>Données statistiques pour ce type de logement en France</b> Nombre de logements en milliers : 2 503      Surface habitable en millions de m <sup>2</sup> : 233,5 Part du parc existant : 8,6%      Part du parc existant : 9,2%			

		ETAT INITIAL		RÉNOVATION STANDARD		RÉNOVATION PERFORMANTE	
Éléments du bâti	Surface [m <sup>2</sup> ]	Description	Coef. U W/m <sup>2</sup> K	Description	Coef. U W/m <sup>2</sup> K	Description	Coef. U W/m <sup>2</sup> K
Toiture / plancher haut	12	Toiture inclinée, BA13 + 2 cm LM +2 cm bois + tuiles	1,35	Isolation des rampants avec 12 cm LM entre chevrons + 10 cm FdB	0,36	Isolation des rampants avec 12 cm LM entre chevrons + 18 cm FdB	0,20
	52	Plancher poutres bois 15 cm + remplissage plâtre	1,11	Isolation 22 cm LM sur plancher haut	0,14	Isolation 30 cm LM sur plancher haut	0,10
Façades	88	Moellons, 45 cm, enduit intérieur 2 cm	1,50	ITI avec 11 cm LM	0,26	ITI avec 12 cm LM	0,24
	119	Briques pleines, 22 cm, enduit 2 côtés, 2 cm	1,70	ITI avec 11 cm LM	0,26	ITI avec 12 cm LM	0,24
Baies vitrées	15	Menuiserie bois avec SV	4,80	Menuiserie bois ou PVC avec DV ITR Ug=1,1	1,40	Menuiserie bois ou PVC avec TV ITR Ug=0,8	1,00
Porte d'entrée	4	Porte bois avec 40% SV	4,20	Remplacement par porte isolée Ud=2,0	2,00	Remplacement par porte isolée Ud=1,5	1,50
Plancher bas	61	Plancher poutres métalliques, hourdis briques	2,30	Isolation en sous-face avec 10 cm Th35	0,32	Isolation en sous-face avec 14 cm Th35	0,23
Éléments des systèmes techniques		Description	Coef. Effort	Description	Coef. Effort	Description	Coef. Effort
Chauffage		Poêle foudr par pièce	1,81	Chaudière bois, >classe 5 / Radiateurs + RTh / Réseau individuel (±65°C) isolé	1,43	PAC électrique géothermique >2012 / Radiateurs + RTh / Réseau individuel (±55°C) isolé	0,83
Ventilation		Ventilation naturelle		VMC SF hygro B individ.		VMC DF+récup individ. améliorée	
Eau chaude sanitaire		Chauffe-eau électrique / Distribution individ., sans bouclage	4,15	FCS solaire + chaudière + ballon ECS / Distribution individ., isolation améliorée, sans bouclage	1,10	FCS solaire + chaudière + ballon ECS / Distribution individ., isolation améliorée, sans bouclage	1,72
Production d'électricité sur site							

Figure 17 : Exemple de fiche obtenue via la base de données TABULA (Bâtiments résidentiels Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France, 2015).

D'une manière générale, le tableau suivant présente les valeurs du coefficient de transmission thermique (U) des parois opaques dans le cadre d'une rénovation standard ou performante selon le projet TABULA (2015). Ces rénovations correspondent à une augmentation de l'isolation thermique pour les parois opaques et au passage de simples/doubles vitrages peu performants aux doubles (voire triples) vitrages performants.

Tableau 2 : Valeurs cibles pour les coefficients U des éléments de l'enveloppe thermique pour les deux niveaux de performance étudiés dans cette brochure.

Coefficients U de l'élément constructif [W/(m <sup>2</sup> .K)]		Niveau de performance thermique	
		Rénovation Standard	Rénovation Performante
Eléments de construction	Mur extérieur ITE	0,20	0,13
	Mur extérieur ITI	0,24	0,21
	Plancher bas vers LNC	0,23	0,15
	Plancher bas / terre plein	0,27	0,20
	Toiture-terrasse	0,12	0,12
	Plancher vers combles perdus	0,12	0,12
	Rampants de toiture	0,12	0,12
	Fenêtre ou portes-fenêtre (U <sub>w</sub> , W/m <sup>2</sup> .K)	1,30	0,80

En ce qui concerne les systèmes énergétiques, la rénovation ne distingue pas deux niveaux de performance mais induit systématiquement le remplacement du système de chauffage existant par une production par chaudière gaz à condensation (>2012) ou par PAC avec l'utilisation d'émetteurs à Basse Température et réseau isolé ou un chauffage électrique NFC. Pour la ventilation, les systèmes de VMC Simple-Flux Hygroréglable B et de VMC Double-Flux avec récupération de chaleur sont respectivement utilisés pour le niveau standard d'une part et le niveau performant de rénovation d'autre part.

## Conclusion/Synthèse pour le projet Smart-Réno

Les différentes études utilisées dans cette synthèse sont toutes relativement concordantes avec une priorisation qui montrent que la rénovation s'effectue généralement dans cet ordre : les ouvertures, l'isolation de la toiture ou des murs, préférentiellement au système de chauffage.

Il apparaît également que la mise en place d'un système de ventilation dans le cas d'une rénovation spécifique ou couplée à d'autres changements d'éléments n'est pas systématique. Le fait que ce type de rénovation reste la moins coûteuse par rapport aux autres postes de rénovation, alors qu'il s'agit du nombre le plus faible de geste de rénovation, indique probablement qu'il s'agit d'une recherche de performance finale : la dernière marche pour obtenir une rénovation énergétique complète.

Pour valoriser une rénovation prenant en compte la qualité des environnements intérieurs au sens global, il semble nécessaire de travailler sur les déviations d'une réhabilitation incomplète en fonction des sources de polluants de l'air. De plus, il s'agira de mettre en lumière les stratégies de ventilation en fonction des besoins (pollution interne ou externe) pour permettre de garantir dans le temps une qualité de l'air intérieur acceptable.

Le projet INSULAtE montre que des variations de niveaux de polluants peuvent être remarquées en fonction des rénovations. Généralement, il s'agit d'une amélioration du niveau de QAI par la mise en place d'un système de VMC mais certaines sources de polluants semblent tout de même être exacerbées suite à certains travaux.

Au-delà simplement de la notion de confort recherchée par les usagers d'un bâtiment rénové, des variations de niveaux de polluants doivent pouvoir être analysés pour évaluer s'il y existe un risque pour la santé des futurs usagers du logement réhabilité.

Le manque d'information dans la littérature scientifique sur le lien direct entre typologie de rénovation et niveau de qualité de l'air intérieur pourra être une des pistes des travaux de modélisation à réaliser dans la tâche 3.4 afin d'évaluer l'impact de travaux de rénovation sur la QAI. Le présent livrable et le livrable de la tâche 1 (état existant du parc) permettront de définir des configurations types à reproduire par la simulation.

Enfin, la réalisation d'un indicateur de QEI qui doit être l'objet du travail de la tâche 3.3 devra permettre une prise en compte de l'évolution des valeurs de référence des niveaux de polluants dans l'air afin d'assurer une robustesse d'utilisation dans le temps.

## Références :

- Du L., Prasauskas T., Leivo V., Turunen M., Pekkonen M., Kiviste M., Aaltonen A., Martuzevicius D., Haverinen-Shaughnessy U. 2015a. Assessment of indoor environmental quality in existing multi-family buildings in North–East Europe, *Environment International*, 79, 74-84.
- Du L., Leivo V., Prasauskas T., Turunen M., Kiviste M., Martuzevicius D., Haverinen-Shaughnessy U. 2015b. Energy Retrofits in Multi-family Buildings in North-east Europe: The Impacts on Thermal Conditions, *Energy Procedia*, 78, 860-864.
- Haverinen-Shaughnessy U., Pekkonen M., Leivo V., Prasauskas T., Turunen M., Kiviste M., Aaltonen A., Martuzevicius D. 2018. Occupant satisfaction with indoor environmental quality and health after energy retrofits of multi-family buildings: Results from INSULAtE-project, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221 (6), 921-928.
- Hamid A.A., Bagge H., Johansson D. 2019. Measuring the impact of MVHR on the Energy Efficiency and the IEQ in multifamily buildings. *Energy and Buildings*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.004>.
- Leivo V., Prasauskas T., Turunen M., Kiviste M., Aaltonen A., Martuzevicius D., Haverinen-Shaughnessy U. 2017. Comparison of air pressure difference, air change rates, and CO2 concentrations in apartment buildings before and after energy retrofits, *Building and Environment*, 120, 85-92.
- Leivo V., Prasauskas T., Du L., Turunen M., Kiviste M., Aaltonen A., Martuzevicius D., Haverinen-Shaughnessy U. 2018. Indoor thermal environment, air exchange rates, and carbon dioxide concentrations before and after energy retro fits in Finnish and Lithuanian multi-family buildings. *Science of the Total Environment*, 621, 398–406.
- Liu L., Rohdin P., Moshfegh B. 2015. Evaluating indoor environment of a retrofitted multi-family building with improved energy performance in Sweden. *Energy and Buildings*, 102, 32–44.
- Noris F., Adamkiewicz G., Delp W.W., Hotchi T., Russell M., Singer B.C., Spears M., Vermeer K., Fisk W.J. 2013. Indoor environmental quality benefits of apartment energy retrofits. *Building and Environment*, 68, 170-178.
- Prasauskas T., Martuzevicius D., Kalamees T., Kuusk K., Leivo V., Haverinen-Shaughnessy U. 2016 Effects of Energy Retrofits on Indoor Air Quality in Three Northern European Countries, *Energy Procedia*, 96, 253-259.
- Thomsen K.E., Rose J., Mørck O., Jensen S.Ø., Østergaard I., Knudsen H.N., Bergsøe N.C. 2016. Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting. *Energy and Buildings*, 123, 8–16.

## Annexe 1

### Qualification de la performance des gestes réalisés

Chaque geste déclaré par les répondants est classé en trois catégories de performance :

- Faible
- Moyenne
- Performante

Cette classification a été construite par les experts réunis au sein du COPIL TREMI. La logique générale consiste à considérer qu'un geste est performant lorsqu'il ouvre droit à des aides publiques.

Plusieurs gestes sont directement considérés de « faible performance ». Cela concerne :

<b>Toiture/ combles</b>	Rénovation d'un pan ou de la totalité d'une toiture sans isolation de la toiture
	Réfection de la toiture-terrasse sans isolation
<b>Murs</b>	Rénovation extérieure des murs donnant sur l'extérieur sans isolation (ravalement, bardage, crépi, peinture, lasure)
	Rénovation intérieure des murs donnant sur l'extérieur sans isolation (peinture, lasure, papier peint...)
<b>Plancher bas</b>	Rénovation du plancher bas sans isolation
<b>Ouvertures</b>	Pose de portes donnant sur l'extérieur
<b>Chauffage</b>	Amélioration du dispositif de régulation du chauffage (robinets thermostatiques, radiateurs, programmeurs, répartiteurs de frais de chauffage, systèmes de gestion du chauffage électrique)
	Calorifugeage de tout ou partie d'une installation de production ou de distribution de chaleur ou d'eau chaude sanitaire

Pour les autres gestes, une analyse est réalisée grâce au croisement des déterminants suivants :

<b>Toiture/ combles</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de moins 20% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &lt; 2,5 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coûts des travaux inférieurs à 700 €/logement</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de 20% à 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant comprise entre 2,5 et 4,5 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux compris entre 700 et 1 500 €/logement</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de plus de 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &gt; 4,5 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux supérieurs à 1 500 €/logement</li> </ul>
<b>Murs</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de moins 20% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &lt; 1,5 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coûts des travaux inférieurs à 900 €/logement</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de 20% à 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant comprise entre 1,5 et 3,7 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux compris entre 900 et 2 800 €/logement</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de plus de 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &gt; 3,7 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux supérieurs à 2 800 €/logement</li> </ul>

<b>Plancher bas</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de moins 20% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &lt; 1 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coûts des travaux inférieurs à 300 €/logement</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de 20% à 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant comprise entre 1 et 3 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux compris entre 300 et 5 000 €/logement</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation de plus de 50% de la surface de la paroi</li> <li>• Résistance thermique de l'isolant &gt; 3 m<sup>2</sup>.K/W</li> <li>• Coût des travaux supérieurs à 5 000€/logement</li> </ul>
<b>Ouvertures (fenêtres)</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation de simple vitrage</li> <li>• Remplacement de moins de 20% des fenêtres du logement</li> <li>• Coûts des travaux inférieurs à 1 500€/logement</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation de double vitrage</li> <li>• Remplacement de 20% à 50% des fenêtres du logement</li> <li>• Coût des travaux compris entre 1 500 et 5 700€/logement</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation de double vitrage à isolation renforcée, ou triple vitrage</li> <li>• Remplacement de plus de 50% des fenêtres du logement</li> <li>• Coût des travaux supérieurs à 5 700€/logement</li> </ul>
<b>Chauffage</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chauffage électrique (radiateurs électriques)</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaudière gaz basse température</li> <li>• Chaudière fioul basse température</li> <li>• Chaudière électrique</li> <li>• Pompe à chaleur air/air</li> <li>• Poêle</li> <li>• Cheminée à foyer fermé (insert)</li> <li>• Chaudière biomasse</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaudière gaz à condensation/ à haute performance énergétique</li> <li>• Chaudière fioul à condensation/ à haute performance énergétique</li> <li>• Pompe à chaleur air/eau</li> <li>• Pompe à chaleur sol/eau, eau/eau</li> <li>• Système solaire combiné, raccordé au réseau de chauffage central</li> <li>• Système hybride (chaudière et pompe à chaleur)</li> <li>• Chaudières à micro-cogénération</li> </ul>
<b>ECS</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chauffe-eau électrique horizontal</li> <li>• Chauffe-eau électrique vertical</li> </ul>
	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chauffe-eau gaz avec veilleuse</li> <li>• Chauffe-eau gaz sans veilleuse</li> <li>• Accumulateur gaz</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chaudière gaz, fioul ou bois double service assurant chauffage et eau chaude sanitaire, à condensation/ haute performance énergétique</li> <li>• Chauffe-eau thermodynamique individuel</li> <li>• Chauffe-eau solaire individuel</li> </ul>
<b>Ventilation</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux</li> <li>• Installation autre système (ventilation naturelle assistée, hybride, VMR...)</li> <li>• Amélioration du système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux</li> </ul>
	<b>Performant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux</li> <li>• Amélioration du système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux</li> </ul>