



## Smart-Réno

### Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique

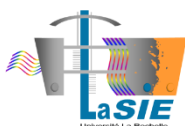
#### Troisième volet : Valoriser le confort

#### Livrable T3.1 – Synthèse des données du parc de maisons individuelles

Auteurs : Jérôme LE DREAU, Charles-Florian PICARD, Marc ABADIE

Contributeurs : Karim Limam, Bénédicte Wall-Ribot, Philippe Petiot, Jérôme Nicolle, Katia Cordeiro Mendonça, Adrien Dhalluin, Florian Battezzati

Novembre 2019





## Sommaire

Introduction.....	4
1 Recensements des études sur le parc de bâtiments Français.....	5
2 Caractéristiques générales du parc de maisons individuelles.....	8
3 Caractéristiques thermiques et énergétiques du parc de maisons individuelles .....	10
3.1 Propriétés d’enveloppe .....	10
3.1.1 Coefficients U des parois opaques .....	10
3.1.2 Coefficients $U_w$ des parois transparentes.....	12
3.1.3 Infiltrations .....	12
3.1.4 Coefficient volumique global de déperdition G .....	14
3.2 Performances énergétiques et environnementales.....	15
3.2.1 Systèmes de chauffage et de ventilation .....	15
3.2.2 Besoin et consommation pour le chauffage .....	16
3.2.3 Consommation énergétique 3 usages (chauffage, refroidissement, ECS) .....	16
4 Qualité environnementale intérieure du parc de logements .....	18
4.1 Confort thermique.....	19
4.2 Qualité de l’air intérieur .....	20
4.2.1 Etat des lieux .....	20
4.2.2 Influence de l’année de construction des bâtiments sur les pollutions intérieures .....	22
4.3 Confort acoustique.....	24
Conclusion/Synthèse pour le projet Smart-Réno.....	26

## Introduction

Le parc des bâtiments Français existants comprenait 35,9 millions de logements en 2017, avec 20,4 millions de maisons individuelles et 15,6 millions de logements collectifs (INSEE et SDES, 2018). 82% des logements sont des résidences principales.

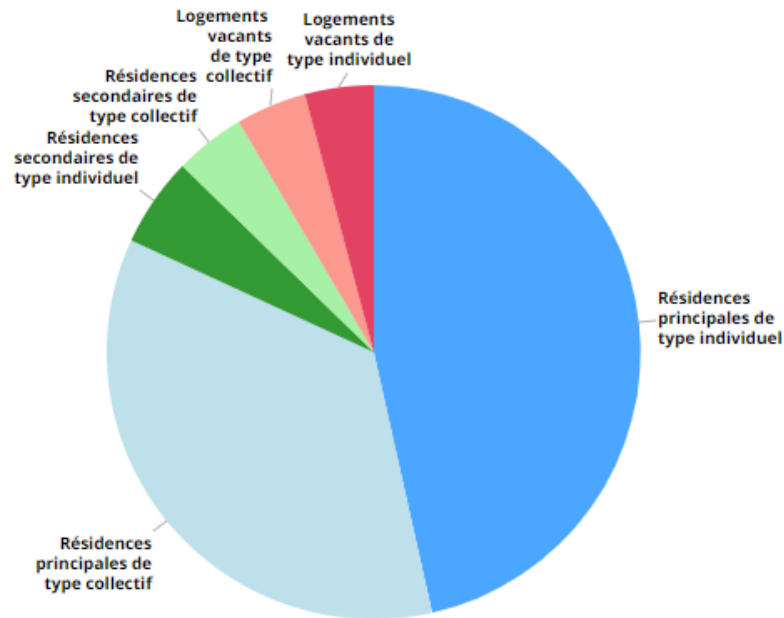


Figure 1 : Répartition des résidences en habitat collectif ou individuel en 2018 (INSEE et SDES, 2018).

L'objectif de cette tâche est d'identifier, à partir des données existantes, les types de bâtiment qui présentent de forts enjeux de rénovation vis-à-vis des occupants et de leur confort. Etant donné la cible du projet Smart-Réno, l'étude se focalisera sur **les maisons individuelles** (56% du parc des résidences principales). Dans une première partie, les différentes études analysant le parc de bâtiments Français seront listées et analysées. Dans une deuxième partie, des bâtiment-types représentatifs du parc de maisons individuelles seront caractérisés sur la base des données existantes. Enfin, un état des lieux du confort thermique et de la qualité de l'air intérieur dans le parc de logements sera dressé.

# 1 Recensements des études sur le parc de bâtiments Français

De nombreuses études existent sur les caractéristiques du parc de bâtiments Français et il est parfois difficile d'évaluer la qualité et le niveau de détail de celles-ci. Il a donc été décidé de recenser et de caractériser ces différentes études afin de pouvoir disposer d'une grille d'analyse. L'objectif est d'identifier les sources de données adaptées au projet, ainsi que les études spécifiques à l'enveloppe ou au confort des bâtiments.

Pour chaque étude, les paramètres évalués ont été renseignés : informations générales (surface, année de construction), état de rénovation, performances énergétiques, description de l'enveloppe et des systèmes, indicateurs de Qualité Environnementale Intérieur (QEI). Ces études ont été classées en trois catégories principales :

- Parc entier : **études originales** ;
- Parc entier : **compilations d'études** ;
- **Périmètre d'étude limité à une partie du parc** ou à certains paramètres spécifiques.

Cette analyse des études sur le parc de bâtiments Français fait ressortir plusieurs études originales de référence, pouvant servir de base à l'évaluation de stratégies de rénovation :

- L'**enquête Logement** de l'INSEE est une source de données fiables et régulièrement mise à jour décrivant les conditions de logement des ménages (INSEE, 2013). Cette étude permet notamment d'obtenir des statistiques sur la répartition des logements selon l'année de construction. L'enveloppe ou les systèmes ne sont pas détaillés, mais le confort des occupants est questionné.
- L'**enquête PHEBUS** (Performance de l'Habitat, Equipements, Besoins et USages de l'énergie) détaille sur un échantillon représentatif les performances énergétiques du parc de résidences principales (SOeS, 2013). Les équipements et usages des occupants sont détaillés, mais les descriptions de l'enveloppe sont relativement succinctes (issues des DPE). Cette enquête est ponctuelle.
- Le suivi des consommations d'énergie du **CEREN** permet de mieux identifier le lien entre les différentes typologies de bâtiments et la consommation énergétique nationale (CEREN, 2018).

Sur les enveloppes de bâtiments, les informations sont moins nombreuses, principalement dû à la difficulté pour obtenir une information fiable. Deux sources peuvent être cependant mentionnées :

- L'**Observatoire des Diagnostics de Performance Énergétique**, qui compile les audits énergétiques réalisés en France (ADEME, 2019). Ces audits sont réalisés par des techniciens certifiés. 3,6 millions d'études y étaient compilées en Juillet 2019 (10% du parc).
- Le projet Européen **TABULA** (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) a défini de manière exhaustive des bâtiments représentatifs de différentes périodes constructives (European Union, 2009). Les principales propriétés d'enveloppe et de systèmes sont définies soit sur la base de données existantes ou sur dire d'expert.

Les études compilées croisant différentes sources couvrent généralement différents aspects du parc de bâtiments Français. Parmi celles-ci, l'étude du **programme PACTE** est une source de données récente et exhaustive (PACTE, 2017)

ORGANISMES	TITRE	ANNEE(S)	OBJECTIFS	TYPE D'ETUDE				TYPOLOGIE BATIMENT				CARACTERISTIQUES PARCS		PERFORMANCES GLOBALES	DESCRIPTION ENVELOPPE			DESCRIPTION SYSTEMES			RENOVATIONS			INDICATEURS DE QEI											
				Etude originale	Données brutes accessibles	Compilation de sources	Sitographie, sources	Maisons individuelles	Logements collectifs	Hôtel	Existant	Renové	Surface/aire		Classement par année de construction	Energie	Q / l/hab	U	q <sub>ext</sub>	(Chauffage (production))	Chauffage (Emission)	ECS	Ventilation	Actions mises en œuvre	Financements	Soutiens des occupants	Défauts	Thermique	QAI	Acoustique	Visuel				
<b>PARC ENTIER - Etudes originales</b>																																			
INSEE	Enquête Logement	2006 + 2013	L'enquête Logement a pour objet de décrire les conditions de logement des ménages et leurs dépenses en logement. L'enquête vient compléter l'information donnée par les recensements, qui ne contiennent pas de données financières : les loyers, les charges, les plans de financement, les revenus. Elle comporte également une description plus détaillée de la qualité de l'habitat des ménages.	x	(sous condition s)			x	x	x	x		x	x										x	(17 défauts)	x	x	(étanchéité et ventilation)	x	x	(vis-à-vis, expositio n)				
CEREN	Secteur résidentiel. Suivi du parc et des consommations d'énergie	Annuel	L'objectif est de contribuer à une meilleure connaissance des consommations énergétiques. Les données du secteur résidentiel sont basées sur les enquêtes annuelles du Cerens ainsi que sur des données issues de la Statistique publique	x		x	(+ suivi d'un panel de bâtiment s)	INSEE, recense ment, SIT@DEL 2	x	x	x	x	x	x	x					x															
SoES	PHEBUS (Performance de l'Habitat, Equipements, Besoins et USages de l'énergie) CLODE & DPE	2013	L'enquête PHEBUS vise à fournir une photographie des performances énergétiques du parc des résidences principales, en permettant de les analyser en fonction des caractéristiques de leurs occupants, des équipements ménagers et automobiles, de leurs usages énergétiques et de leurs consommations d'énergie.	x	(sous condition s)				x	x	x	x	x	x	x	x															x	(humidité )			
EDF	Enquête EDF R&D 2009	2009		x																															
EU	TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) & EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks)	2009-2013	L'objectif du projet est de créer un modèle harmonisé pour les typologies de bâtiments européens, en particulier les bâtiments résidentiels. Les typologies nationales développées modélisent les caractéristiques d'utilisation d'énergie (chauffage) des bâtiments résidentiels. L'ensemble de typologies représente différentes périodes de construction et tailles de bâtiment.	x	x	x		INSEE, CEREN, ADEME	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x													x	(renouvellement par infiltration)	
ADEME	Observatoire des Diagnostics de performance énergétique (DPE)	2018	Cette base de données permet de consulter des statistiques sur l'ensemble de la base afin de juger de la qualité énergétique de l'offre de logement	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x																	x	(déperdition renouvellement)	
DGFP	FILOCOM (Fichier des Logements par Communes)	Annuel	FILOCOM est un fichier construit par la DGFP (Direction Générale des Finances Publiques) pour les besoins du Ministère en charge du Logement. Il est constitué à partir du fichier de la taxe d'habitation (TH) auquel sont rattachés : le fichier foncier (des propriétés bâties), le fichier des propriétaires et le fichier de l'impôt sur les revenus des personnes physiques (IRPP).	x																															
<b>PARC ENTIER - Compilations</b>																																			
ADEME	Chiffres-clés	Annuel	L'ADEME a souhaité réunir dans un seul document de référence les données essentielles sur la consommation énergétique, le développement des énergies renouvelables et les émissions de polluants atmosphériques et gaz à effet de serre.			x		CEREN, INSEE, TNS-SOPRES	x	x		x	x	x	x					x															
PACTE	Analyse détaillée du parc résidentiel existant	2017	L'objectif de cette analyse est de recenser les études et données existantes sur les types de bâtiments en France puis croiser les informations issues de ces études afin d'obtenir une classification appropriée du parc résidentiel au vu des objectifs énergétiques nationaux.			x	16 sources		x	x		x		x	x					x															
<b>PERIMETRE D'ETUDE LIMITE</b>																																			
CEREMA	COMEPOS	à venir	Le projet COMEPOS consiste à développer le concept de maison individuelle à énergie positive tous usages (usages réglementaires et usages dits « mobiliers » non réglementaires) avec une réelle maîtrise des surcoûts, dans le cadre de l'évolution de la réglementation thermique à l'horizon 2020.	x	x				x		x																								
CEREMA	Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments - Généralités et sensibilisation	2006	Ce rapport constitue une aide à la compréhension des rapports de mesure de perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments	x					x	x	x	x																						x	(pour 3 typologies de bâtiments)
TNS-SOPRES	Perception du Diagnostic de Performance Énergétique, Maîtrise de l'énergie		Non-accessible	x																															
ABC	Amélioration thermique des Bâtiments Collectifs construits de 1850 à 1974	2011	Cet ouvrage traite des problèmes thermiques rencontrés dans chaque type de bâtiment construit de 1850 à 1974, et propose un certain nombre de préconisations qui amélioreraient leur diagnostic. Schémas, photos et tableaux comparatifs complètent le manuel, technique et pratique.	x						x		x																							
REHASCOPE (en partie)	Connaissance des techniques. Enveloppe des bâtiments d'habitation construits entre 1945 et 1974. les murs		Etudes typologiques sur le parc résidentiels français																																
CSTB	OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) & OQAI-BPE			x																															

L'étude retenue pour étudier plus précisément le confort et la santé lors des opérations de rénovation est l'étude TABULA. Cette étude a été sélectionnée car les propriétés de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes sont décrites de façon détaillée, ce qui facilitera le travail de modélisation de la tâche 4. Afin de s'assurer de la représentativité des bâtiments décrits, les données d'entrée seront comparées à d'autres sources de données, comme l'observatoire DPE (ADEME, 2019) ou les valeurs par défaut de la méthode de calcul 3CL-DPE (Ministère en charge de la construction et de l'énergie, 2012). La base de données de l'observatoire DPE est suffisamment riche et diverse pour pouvoir être considérée comme représentative du parc de bâtiments Français (Figure 2).

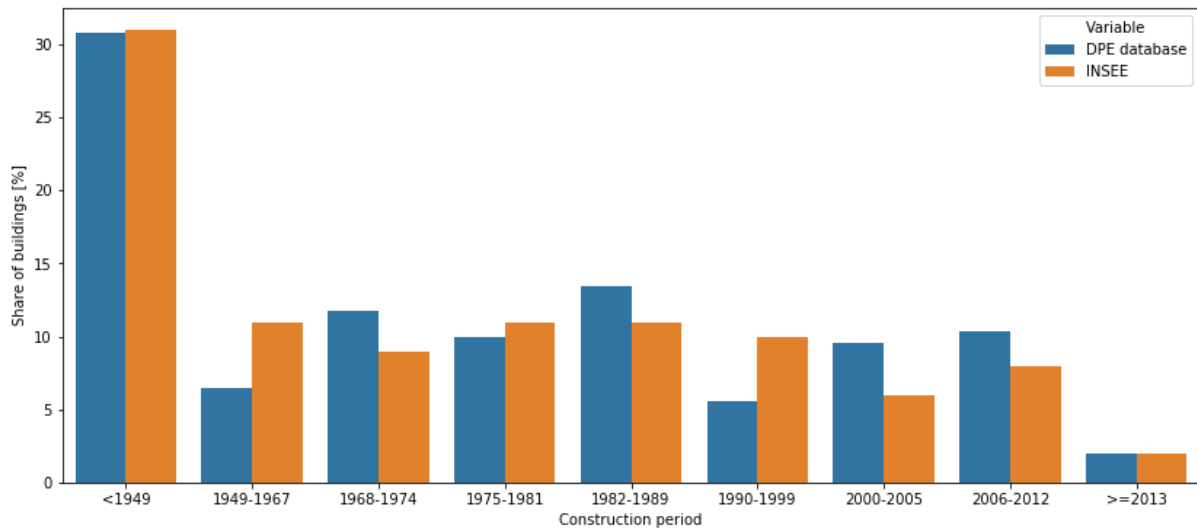


Figure 2 : Comparaison de la répartition des bâtiments résidentiels à disposition dans la base de données DPE à la répartition Française donnée par l'INSEE.

## 2 Caractéristiques générales du parc de maisons individuelles

Dans un premier temps, les caractéristiques générales de ce parc seront listées, puis les données d'entrée de simulation seront détaillées dans un deuxième temps. Une segmentation du parc selon l'année de construction est définie dans ce rapport car c'est un paramètre influençant fortement les propriétés d'enveloppe et des systèmes. Une segmentation en 10 tranches d'âge est proposée, avec une distinction entre bâtiment ancien (avant 1948), récent non-isolé (1949-1974) et récent isolé (après 1974). Cette segmentation est plus fine que celle proposée par l'INSEE qui ne comportent que 6 tranches d'âge.

La répartition des maisons individuelles (isolées et mitoyennes) est donnée au Tableau 1 et en Figure 3. Il faut noter que ces données représentent uniquement les résidences principales (les résidences secondaires et les logements vacants sont exclus). Les bâtiments anciens et les bâtiments récents non-isolés représentent environ chacun 1/4 du parc existant et les bâtiments isolés construits depuis 1974 en constituent quasiment la moitié. La surface habitable moyenne d'une maison individuelle en France est de 104 m<sup>2</sup> en moyenne.

Tableau 1 : Répartition des maisons individuelles (Rochard et al., 2015).

	NOMBRE			SURFACE HABITABLE		
	NOMBRE DE MAISONS INDIV.	% MAISONS INDIV. PAR PERIODE	%MAISONS INDIV. PAR RAPPORT AU PARC	SURFACE DE MAISONS INDIV. [m <sup>2</sup> ]	% MAISONS INDIV. PAR PERIODE	%MAISONS INDIV. PAR RAPPORT AU PARC
<b>... 1914</b>	3 251 076	20%	11%	303 275 673	18%	12%
<b>1915 ... 1948</b>	1 829 370	11%	6%	155 514 517	9%	6%
<b>1949 ... 1967</b>	1 843 286	11%	6%	159 903 449	9%	6%
<b>1968 ... 1974</b>	1 503 633	9%	5%	144 976 647	8%	6%
<b>1975 ... 1981</b>	1 860 309	11%	6%	187 077 352	11%	7%
<b>1982 ... 1989</b>	1 838 635	11%	6%	186 949 656	11%	7%
<b>1990 ... 1999</b>	1 731 161	10%	6%	223 842 564	13%	9%
<b>2000 ... 2005</b>	1 068 034	6%	4%	139 872 588	8%	6%
<b>2006 ... 2012</b>	1 349 881	8%	5%	173 559 255	10%	7%
<b>2012</b>	271 925	2%	1%	31 651 527	2%	1%
<b>TOTAL</b>	16 547 310	100%	57%	1 706 623 228	100%	67%



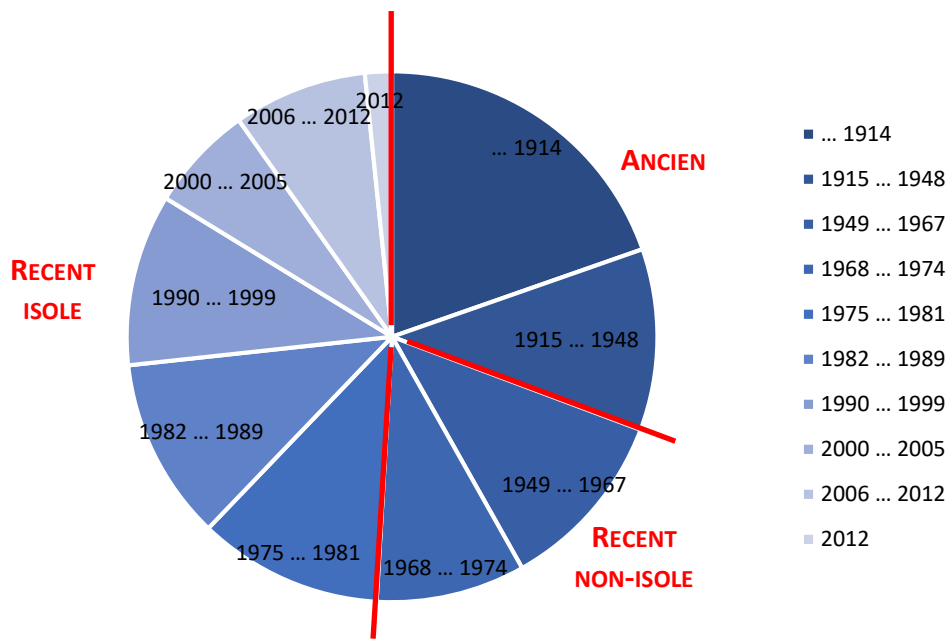


Figure 3 : Répartition des maisons individuelles (en nombre de logements).

### 3 Caractéristiques thermiques et énergétiques du parc de maisons individuelles

L'objectif de cette partie est de caractériser le parc de maisons individuelles afin d'établir une base de données types nécessaires à la simulation (tâche 4).

#### 3.1 Propriétés d'enveloppe

##### 3.1.1 Coefficients U des parois opaques

Les figures suivantes comparent les coefficients de transmission thermique U de TABULA à ceux définis dans la méthode de calcul réglementaire 3CL-DPE (valeurs par défaut). L'objectif est de vérifier la cohérence des valeurs utilisées dans Tabula.

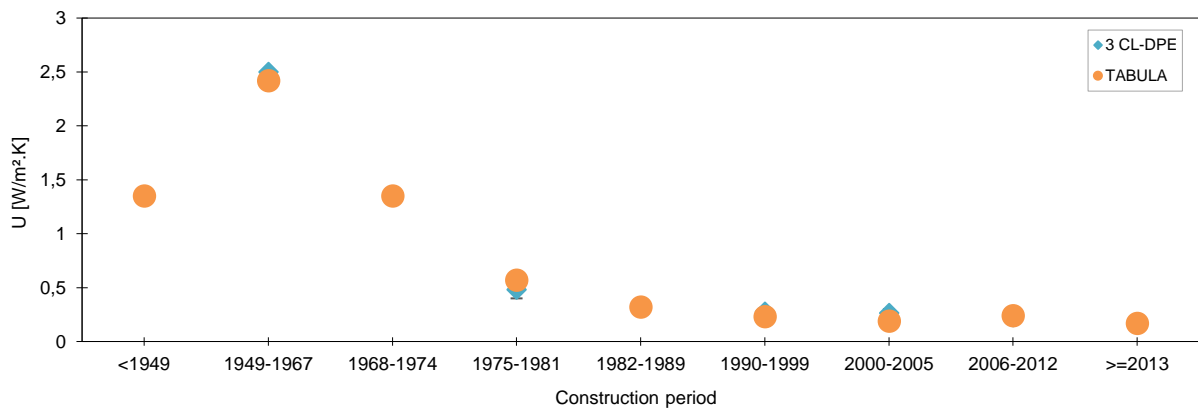


Figure 4 : Comparaison du coefficient de transmission thermique U pour le plancher haut.

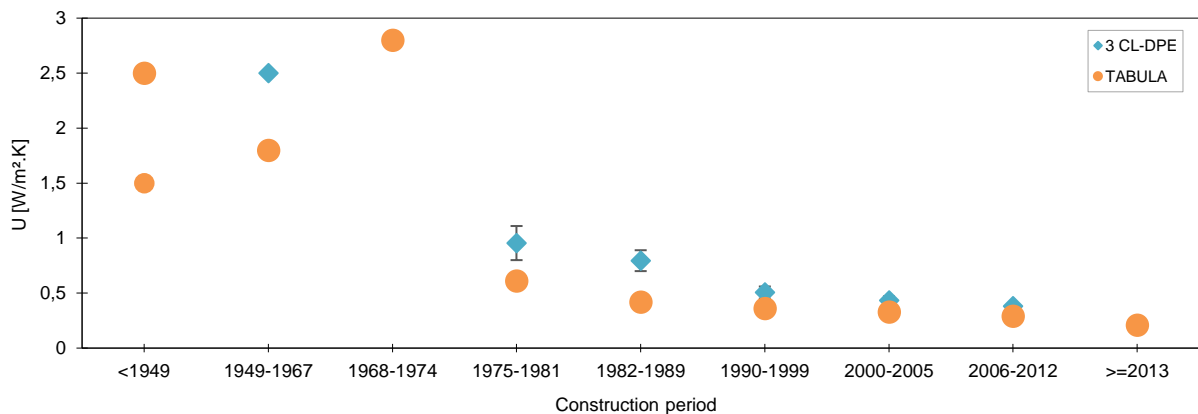


Figure 5 : Comparaison du coefficient de transmission thermique U pour les murs extérieurs.

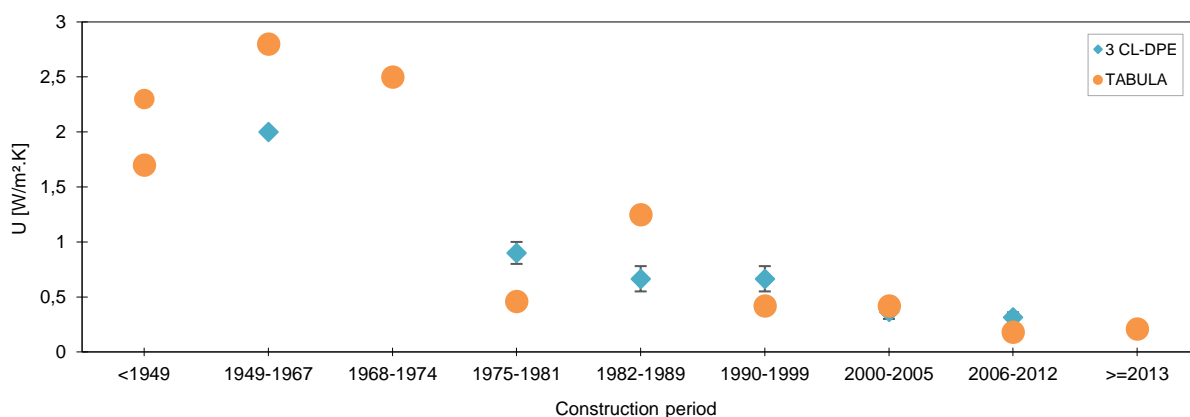


Figure 6 : Comparaison du coefficient de transmission thermique U pour le plancher bas.

On peut observer une cohérence d'ensemble entre les deux sources de données. Les valeurs sont quasiment identiques pour le plancher haut, des différences plus importantes apparaissent pour les murs extérieurs et le plancher bas. Pour les murs extérieurs, Tabula semble surestimer le niveau d'isolation pour la période 1975-2000. Pour le plancher bas, le niveau d'isolation varie de façon non-linéaire pour la même période.

Les tableaux suivants donnent les valeurs des coefficients de déperdition pour les différents éléments, ainsi que leur composition approximative (issues de Tabula).

Tableau 2 : Coefficients de transmission thermique U par défaut pour le plancher haut.

	U [W/m².K]	DESCRIPTION
... 1914	1,35	Toiture inclinée, BA13 + 2 cm LM + 2 cm bois + tuiles
1915 ... 1948	1,35	Toiture inclinée, BA13 + 2 cm LM + 2 cm bois + tuiles
1949 ... 1967	2,42	Plancher haut vers combles, 1 cm PSE sous BA13, bois, solives, bois
1968 ... 1974	1,35	Toiture inclinée, BA13 + 2 cm LM + 2 cm bois + tuiles
1975 ... 1981	0,57	Plancher béton vers combles + 8 cm LM Th60
1982 ... 1989	0,32	Plancher léger vers combles + 10 cm laine minérale Th35
1990 ... 1999	0,23	Plancher bois vers combles + 14 cm laine minérale Th35
2000 ... 2005	0,19	Plancher bois + 20 cm LM entre solives
2006 ... 2012	0,239	LM entre solives bois 24 cm + BA13
2012	0,17	Plancher bois vers combles + 22 cm LM

Tableau 3 : Coefficients de transmission thermique U par défaut pour les murs extérieurs.

	U [W/m².K]	DESCRIPTION
... 1914	1,5	Moellons, 45 cm, enduit intérieur 2 cm
1915 ... 1948	2,5	Briques pleines, 22 cm, enduit 2 côtés, 2 cm
1949 ... 1967	1,8	Mur en briques creuses enduit sur les 2 faces, 22,5 cm
1968 ... 1974	2,8	Parpaing creux de 23 cm non isolé + enduits des 2 côtés
1975 ... 1981	0,61	Parpaing 20 cm + ITI 4 cm + PSE Th40 + BA13
1982 ... 1989	0,42	Parpaing 20 cm + ITI 8 cm + PSE Th40 + Brique plâtrière + enduit
1990 ... 1999	0,36	Béton 16 cm + 8 cm PSE ou LM Th35 + BA13
2000 ... 2005	0,33	Béton parpaing creux 20 cm + 10 cm PSE (ITI)
2006 ... 2012	0,29	Blocs en béton cellulaire 30 cm (l=0,11) + 2x enduit
2012	0,21	20 cm brique isolante (R=1,45) + ITI 10 cm LM

Tableau 4 : Coefficients de transmission thermique U par défaut pour le plancher bas.

	U [W/m <sup>2</sup> .K]	DESCRIPTION
... 1914	2,3	Plancher poutres métalliques, hourdis briques
1915 ... 1948	1,7	Solives métalliques avec auget en plâtres et plâtre, 20 cm
1949 ... 1967	2,8	Plancher avec entrevous (hourdis) en béton avec granulats lourds, 19 cm
1968 ... 1974	2,5	Dalle béton 20 cm, sans isolation, sur LNC
1975 ... 1981	0,46	Dalle béton isolée avec 5 cm PSE + 3 cm fibralith
1982 ... 1989	1,25	Dalle béton 15 cm + 2 cm PSE Th40
1990 ... 1999	0,42	Dalle béton et chape 5 cm + 7 cm de PSE Th35
2000 ... 2005	0,42	Dalle béton et chape 5 cm + 7 cm de PSE Th35
2006 ... 2012	0,18	Entrevous isolants + isolation sous chape
2012	0,21	20 cm entrevous isolant R = 4,5 sur vide sanitaire

### 3.1.2 Coefficients U<sub>w</sub> des parois transparentes

Le Tableau 5 donne les coefficients de transmission thermique des menuiseries extérieures en fonction de la période de construction. Ces valeurs correspondent aux menuiseries installées lors de la construction. Il est donc fort probable qu'elles aient été remplacées pour la période 1914 – 1990, étant donné la durée de vie moyenne d'une fenêtre (20-30 ans).

Tableau 5 : Coefficient de transmission thermique U<sub>w</sub> par défaut pour les menuiseries extérieures.

	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> .K]	DESCRIPTION
... 1914	4,8	Menuiserie bois SV
1915 ... 1948	4,8	Menuiserie bois SV
1949 ... 1967	2,6	Menuiserie bois ou PVC avec DV, 4/12/4, air
1968 ... 1974	2,6	Menuiserie bois ou PVC avec DV, 4/12/4, air
1975 ... 1981	2,8	Menuiserie bois avec DV, 4/6/4, air
1982 ... 1989	2,6	Menuiserie bois ou PVC avec DV, 4/12/4, air
1990 ... 1999	2,6	Menuiserie bois ou PVC avec DV, 4/12/4, air
2000 ... 2005	1,8	Menuiserie bois ou PVC avec DV, 4/12/4, couche faible émissivité, air
2006 ... 2012	1,4	Menuiserie avec DV, 4/16/4, ITR
2012	1,4	Menuiserie avec DV, 4/16/4, ITR

### 3.1.3 Infiltrations

Concernant les infiltrations des bâtiments, elles sont souvent caractérisées par le coefficient q<sub>4Pa</sub>. Ce coefficient exprime le débit de fuite à la pression différentielle de 4 Pa et ramené à l'aire de l'enveloppe considérée (paroi déperditive, plancher bas exclu). En France, une base de données de l'étanchéité à l'air des bâtiments est alimentée par les mesures effectuées par des testeurs qualifiés depuis 2006 (suite à la RT2005). En 2015 et 2016, la base de données a été respectivement enrichie de 63 409 et 65 958 mesures, ce qui porte le nombre total de mesures à environ 215 000 avec 96% des données concernant les bâtiments résidentiels. Le Tableau 6 présente les valeurs moyennes du coefficient de perméabilité q<sub>4 Pa</sub> pour les maisons individuelles issues de cette base.

Tableau 6 : Valeurs moyennes des coefficients de perméabilité  $q_{4 Pa}$  mesurés en France pour les maisons individuelles (Bailly et al., 2015 ; Moujalled et al., 2018).

	$q_{4 Pa}$ [ $m^3/(h.m^2)$ ]
<1950	1,89
1951-1970	1,42
1971-1990	1,43
1991-2000	1,36
2001-2006	0,98
2007-2010	0,62
2011	0,44
2012	0,46
2013	0,44
2014	0,43
2015	0,41
2016	0,40

Les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées :

- « Passiv Haus » :  $0,2 m^3/(h.m^2)$  ;
- RT 2012 :  $0,6 m^3/(h.m^2)$  ;
- RT 2005 :  $0,8 m^3/(h.m^2)$  ;
- RT 2000 :  $1,2 m^3/(h.m^2)$  ;
- Parc ancien : 2,5 (fenêtre sans joint et cheminée sans trappe) à  $1,7 m^3/(h.m^2)$ .

Dans certains logiciels de simulation, il faut préciser un débit moyen d'infiltration, et non pas un coefficient  $q_{4 Pa}$ . La correspondance moyenne entre ce coefficient et le débit d'infiltration moyen est donnée en Figure 7.

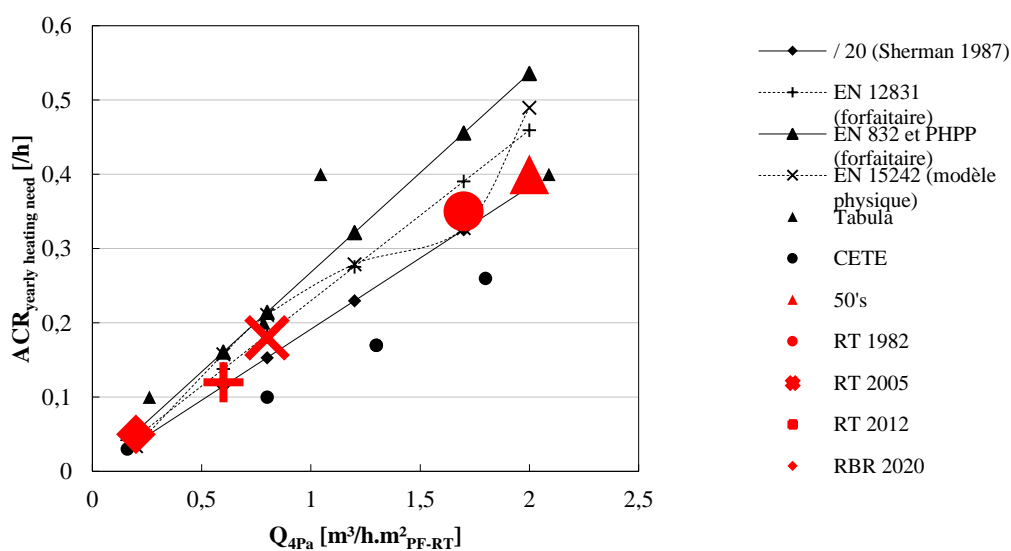


Figure 7 : Correspondance entre le débit d'infiltration moyen et le coefficient  $q_{4 Pa}$  (Chergou et Le Dréau, 2017).

### 3.1.4 Coefficient volumique global de déperdition G

Afin de comparer les déperditions des bâtiments de différentes époques constructives, il est intéressant de calculer un coefficient global de déperdition  $G$  [ $W/m^3.K$ ] pour caractériser les différentes pertes de chaleur sensible du volume chauffé. Sont pris en compte les transferts à travers les parois opaques et vitrées, ainsi que le renouvellement d'air. Les pertes peuvent s'opérer vers l'extérieur ou vers des locaux non chauffés (caves, combles, circulations). Le coefficient volumique global de déperditions  $G$  s'écrit donc :

$$G = \frac{H_{transmission} + H_{renouvellement\ air}}{V_h} \quad (1)$$

Où  $H_{transmission}$  est le coefficient de transmission, comprenant les transferts vers l'extérieur, les locaux non-chauffés et le sol [ $W/K$ ],  $H_{renouvellement\ air}$  est le coefficient de déperdition par ventilation et infiltration [ $W/K$ ] et  $V_h$  est le volume habitable (approximé comme  $SHAB \times HSP$ ) [ $m^3$ ].

Le coefficient  $G$  est donc représentatif de l'isolation thermique de l'habitation vis-à-vis de l'extérieur. Meilleure est l'isolation, plus faible est la valeur de  $G$ .

Les valeurs du coefficient volumique global de déperdition définies dans Tabula ont été comparées à celles issues de la base de données DPE afin de savoir si ces bâtiments pouvaient être considérés comme représentatif d'une période constructive (Figure 8). Les valeurs de cette base de données ont été représentées sous la forme d'un diagramme en boîte à moustache, mettant en évidence différents paramètres de la distribution : le premier quartile (25%), la médiane, le troisième quartile (75%), le minimum/maximum ( $1.5 \times IQR$ ) et les anomalies.

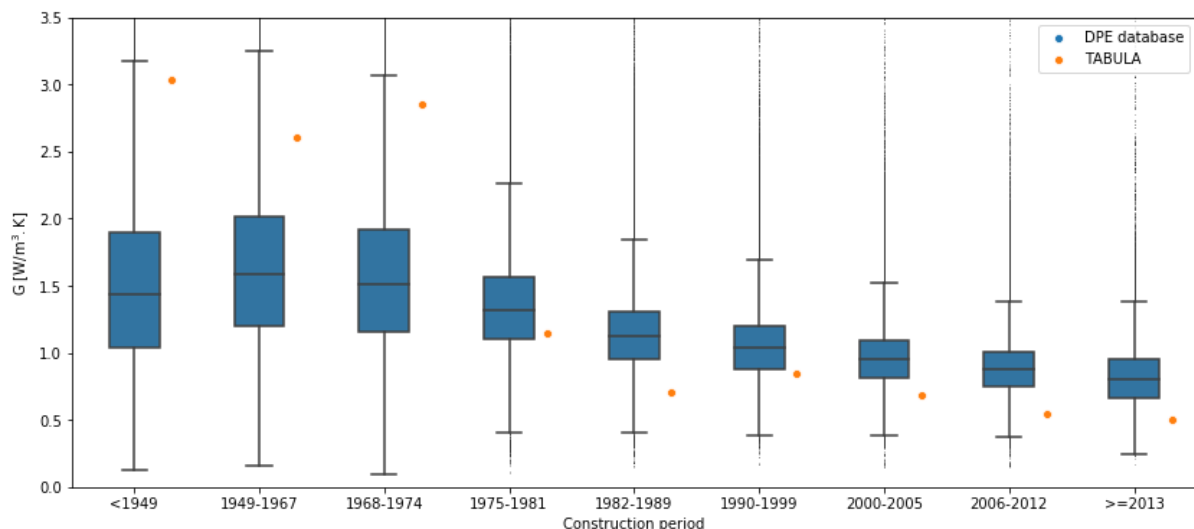


Figure 8 : Comparaison du coefficient  $G$  de la base de données DPE et de Tabula.

NB : Pour les bâtiments construits avant 1949, ces valeurs ne peuvent pas être comparées car les DPE s'effectuent sur les bases de facture pour ce type de bâtiment. Cela révèle un problème de cohérence dans la base de données pour cette tranche d'âge.

Lorsqu'on observe les valeurs du coefficient  $G$  de la base de données DPE, on observe une diminution de la valeur médiane avec la période constructive. Il faut cependant noter la grande diversité des coefficients, avec des écart-types très larges pour les bâtiments anciens. Cela traduit des états de rénovation assez distincts, allant du bâtiment non-rénové jusqu'au bâtiment rénové à un standard très élevé.

En comparant ces deux sources de données, on peut observer que Tabula surestime les déperditions pour les bâtiments avant 1975 et les sous-estime pour les bâtiments construits après 1982. Dans le premier cas, cela s'explique par la non-prise en compte de l'état de rénovation du bâtiment. Le changement des menuiseries et l'isolation de combles font partis des travaux souvent réalisés dans les bâtiments anciens (tâche 2). Dans le second cas, cela peut s'expliquer par le manque d'information des diagnostiqueurs sur la composition du bâtiment (et donc l'usage généralisé de valeurs par défaut, souvent pénalisantes).

## 3.2 Performances énergétiques et environnementales

### 3.2.1 Systèmes de chauffage et de ventilation

Le Tableau 7 présente pour chaque période les systèmes de production et d'émission de la chaleur ainsi que les systèmes de ventilation présents dans les logements du parc français (base de données Tabula). On remarque en particulier l'évolution de systèmes d'émission de chaleur à haute température vers des systèmes à faible température et le passage de la ventilation naturelle à la ventilation mécanique par extraction.

Tableau 7 : Systèmes de chauffage et de ventilation présents dans le parc français.

	<b>CHAUFFAGE</b>	<b>VENTILATION</b>
<b>... 1914</b>	Poêle fioul par pièce, pas de réseau de distribution	Ventilation naturelle
<b>1915 ... 1948</b>	Chaudière fioul standard >1991, 18-30 kW, sans régulation / Radiateurs eau chaude sans robinet thermostatique / Réseau individuelle eau chaude haute température ( $\geq 65^{\circ}\text{C}$ ), non isolé	Ventilation naturelle
<b>1949 ... 1967</b>	Chaudière fioul standard >1991, 18-30 kW, sans régulation / Radiateurs eau chaude sans robinet thermostatique / Réseau individuelle eau chaude haute température ( $\geq 65^{\circ}\text{C}$ ), non isolé	Ventilation naturelle
<b>1968 ... 1974</b>	Chaudière fioul standard >1991, 18-30 kW, sans régulation / Radiateurs eau chaude sans robinet thermostatique / Réseau individuelle eau chaude haute température ( $\geq 65^{\circ}\text{C}$ ), non isolé	Ventilation naturelle
<b>1975 ... 1981</b>	Chaudière fioul standard >1991, 18-30 kW sans régulation / Radiateurs eau chaude avec robinet thermostatique / Réseau individuel eau chaude haute température ( $\geq 65^{\circ}\text{C}$ ), isolé	Ventilation naturelle
<b>1982 ... 1989</b>	Poêle à bois >2001 / Pas de réseau de distribution + Convecteur électrique NFC	Ventilation naturelle
<b>1990 ... 1999</b>	Poêle à bois >2001 / Pas de réseau de distribution + Convecteur électrique NFC	VMC SF autoréglable
<b>2000 ... 2005</b>	Convecteur électrique NFC + Plancher rayonnant électrique avec régulation terminale	VMC SF autoréglable VMC SF hygro B
<b>2006 ... 2012</b>	PAC électrique air/eau avec résistance électrique d'appoint / Réseau individuel eau chaude basse température avec isolation / plancher chauffant basse température avec régulation	VMC SF hygro B
<b>2012</b>	PAC électrique air/eau avec résistance électrique d'appoint / Réseau individuel eau chaude basse température avec isolation / plancher chauffant basse température avec régulation	VMC SF hygro B

### 3.2.2 Besoin et consommation pour le chauffage

La comparaison des besoins de chauffage de la base de données DPE et de Tabula fait apparaître l'importance de prendre en compte l'état de rénovation de l'enveloppe du bâtiment (Figure 9).

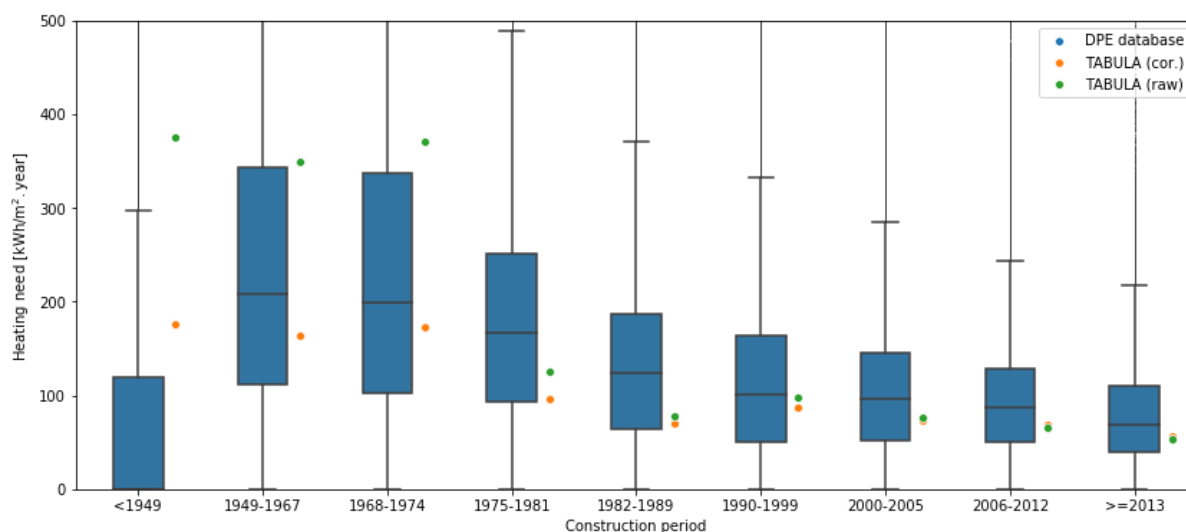


Figure 9 : Comparaison des besoins de chauffage de la base de données DPE et de Tabula.

Les valeurs corrigées de Tabula et de la base de données DPE sont similaires à celle mentionnée dans le rapport du programme PACTE, « Analyse détaillée du parc résidentiel existant » (Tableau 8).

Tableau 8 : Identification des types de maisons individuelles présentes dans le parc résidentiel (PACTE, 2017)

PÉRIODES	TYPES	DONNÉES SUR LE PARC DE MAISONS INDIVIDUELLES		
		Nombre de logements du parc de MI (%)	Consommations énergétiques finales tous usages (%)	Consommations énergétiques de chauffage <sup>A</sup> (kWhet/m².an)
« Ancien » Avant 1948	Maison rurale	10 %	10 %	175
	Maison bourgeoise	1 %	2 %	139
	Maison de bourg	13 %	12 %	167
	Villa éclectique	4 %	6 %	183
	Pavillon de banlieue	11 %	13 %	202
« Récent non isolé » 1948 – 1974	Pavillon de la reconstruction	13 %	15 %	209
	Pavillon 1968 – 1974	10 %	11 %	164
« Récent isolé » 1975 – 2000	Pavillon 1975 – 1981	13 %	12 %	134
	Pavillon 1982 – 1989	12 %	10 %	100
	Pavillon 1990 – 2000	12 %	10 %	89

<sup>A</sup> Cf Consommation énergétique de chauffage pour l'ensemble du parc (résidences principales, résidences secondaires, logements vacants).

### 3.2.3 Consommation énergétique 3 usages (chauffage, refroidissement, ECS)

La Figure 10 compare la consommation énergétique (en énergie primaire) « 3 usages » de la base de données DPE aux bâtiments définis dans Tabula. Comme indiqué précédemment, la prise en compte de l'état de rénovation des anciens bâtiments est importante. Pour les bâtiments plus récents, les statistiques nationales semblent indiquer des consommations énergétiques légèrement plus importantes que le bâtiment de référence.



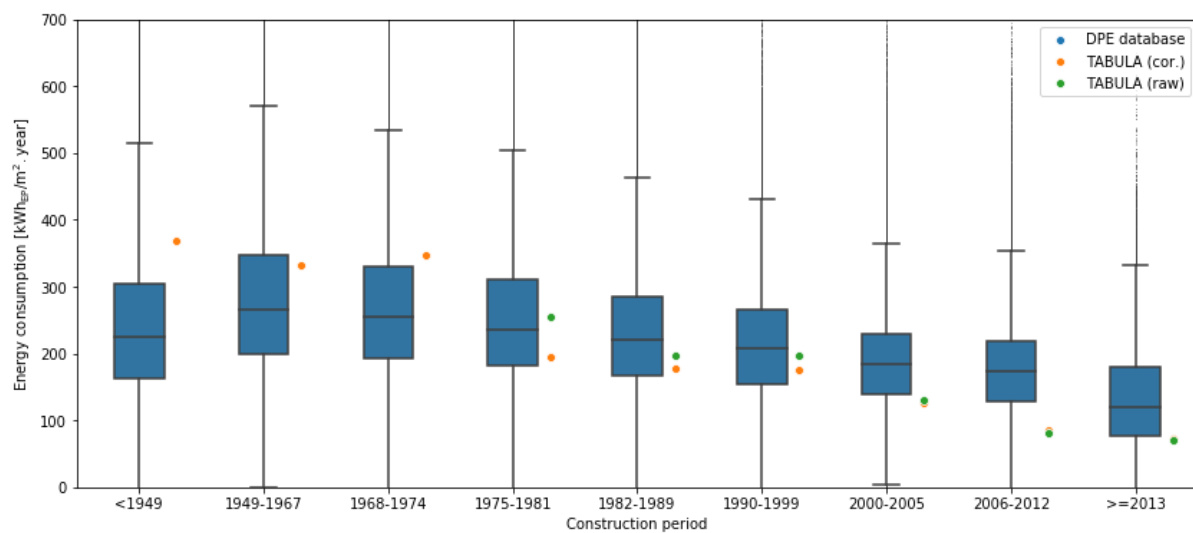


Figure 10 : Comparaison de la consommation énergétique « 3usages » de la base de données DPE et de Tabula.

## 4 Qualité environnementale intérieure du parc de logements

Le baromètre QUALITEL (2017) évalue la qualité des logements du parc français selon différents critères tels que l'isolation acoustique, l'aération ou la ventilation, le niveau d'humidité, le niveau de consommation énergétique, le confort thermique... Il ressort de leur étude de 2017, les différents points suivants :

- La moitié des Français déclare avoir parfois ou souvent trop froid en hiver, la même proportion dit avoir trop chaud en été. Ceux qui vivent en appartement sont particulièrement affectés (41 % d'insatisfaction contre 26 % en maison).
- Un Français sur cinq se plaint d'une mauvaise aération / ventilation au sein de son logement : 35% des locataires et 13% des propriétaires. De plus, cet inconfort est très directement lié à la surface du logement : 20 % des occupants de logements de moins de 75 m<sup>2</sup> affirment même que l'air qu'ils respirent dans leur logement « n'est pas sain ».
- 30% des Français se plaignent de problème de bruit : 7% pour les habitants de maisons individuelles, 21% pour ceux en appartements et 31% pour ceux en studios.
- La qualité globale du logement varie en fonction de l'année de construction du logement (Tableau 9).

Tableau 9 : Qualité perçue en fonction de l'année de construction du logement.

	Note (/10)
<b>Avant 1900</b>	<b>6,7</b>
<b>1900 – 1944</b>	<b>6,2</b>
<b>1945 – 1979</b>	<b>6,2</b>
<b>1980 – 2007</b>	<b>7,0</b>
<b>Après 2007</b>	<b>7,6</b>

De plus, l'étude de l'INSEE (2013) montre que 10 % du parc, soit 2,8 millions de logements, présentent au moins trois défauts (Tableau 10). Près de la moitié d'entre eux (1,3 million) sont situés dans les agglomérations de plus de 200 000 habitants ou dans l'unité urbaine de Paris (qui ensemble représentent 42 % des résidences principales). Une autre part importante de ces logements (560 000 logements soit 20 %) se trouvent dans des communes rurales.

Part des logements comportant des défauts

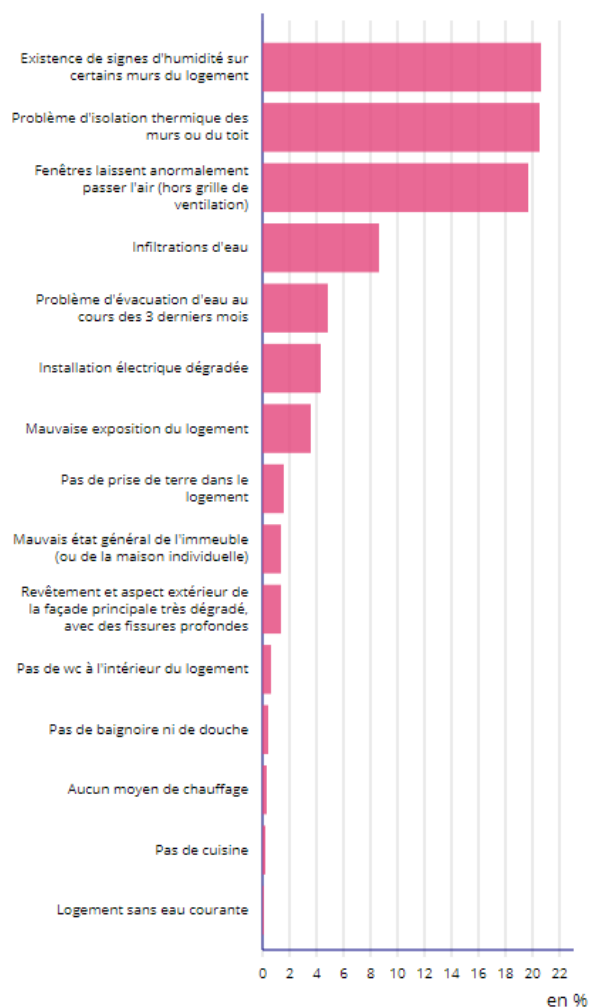


Figure 11: Part des logements comportant des défauts (INSEE, 2013).

Tableau 10 : Nombre de défauts graves de confort selon l'âge des logements.

	Ensemble	Aucun défaut	Un défaut	Deux défauts ou plus
<b>Avant 1949</b>	<b>100,0</b>	67,4	26,2	6,5
<b>1949-1998</b>	<b>100,0</b>	80,7	16,8	2,5
<b>1999 et après</b>	<b>100,0</b>	83,1	15,6	1,3

#### 4.1 Confort thermique

Une corrélation importante entre l'année de construction et l'inconfort hivernal peut être observé, notamment pour les bâtiments construits avant 1974 (Tableau 11). Deux autres paramètres influencent le confort :

- Le statut de l'occupant du logement : les locataires (secteur social et loyer libre ou loi 1948) sont deux fois plus touchés par l'inconfort hivernal ;
- Le revenu du foyer (Tableau 12).

Tableau 11 : Confort thermique des ménages selon l'année d'achèvement de l'immeuble (INSEE, 2013).

	Avant 1949	De 1949 à 1974	De 1975 à 1981	De 1982 à 1989	De 1990 à 1998	1999 ou après
<b>Ménages ayant souffert du froid pendant au moins 24 heures l'hiver précédent</b>	20%	27%	8%	5%	5%	6%
<b>Froid dû à des installations insuffisantes</b>	6%	7%	2%	1%	2%	1%
<b>Froid dû à des raisons financières</b>	3%	4%	1%	1%	1%	1%
<b>Froid dû à une panne de l'installation</b>	5%	4%	2%	2%	1%	2%
<b>Froid dû à une mauvaise isolation du logement</b>	10%	12%	3%	2%	2%	2%

Tableau 12 : Confort thermique des ménages selon le revenu annuel total par UC (INSEE, 2013).

	1er quartile de revenu annuel par UC	2e quartile de revenu annuel par UC	3e quartile de revenu annuel par UC	4e quartile de revenu annuel par UC
<b>Ménages ayant souffert du froid pendant au moins 24 heures l'hiver précédent</b>	29%	20%	18%	13%

## 4.2 Qualité de l'air intérieur

### 4.2.1 Etat des lieux

En France, les campagnes de mesure de la QAI, organisées par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), font référence vis-à-vis de l'état des lieux de l'air des environnements intérieurs. La Campagne Nationale sur les Logements (CNL) a permis de connaître les niveaux de concentration en polluants des logements en France (Kirchner et al., 2006).

La Figure 12 donne un aperçu des concentrations intérieures mesurées lors de la CNL au sein du parc de logements en France, pour le cas des Composés Organiques Volatils (COVs). L'ensemble de ces polluants présentent des concentrations intérieures médianes supérieures aux niveaux extérieurs, démontrant leur origine majoritairement intérieure. Pour les aldéhydes, plus de 99% des logements étudiés vérifient ces observations (Figure 13). Ainsi ces concentrations sont peu influencées par l'environnement urbain ou rural des logements, sauf pour le cas du tétrachloroéthylène dont l'origine est liée à des activités locales (nettoyages à sec) plus présentes en ville (Langer et al., 2016).

Que ce soit vis-à-vis des pollutions particulières ou en COVs, les niveaux mesurés dépendent peu des périodes de l'année bien que généralement supérieures en période de chauffe (cependant le formaldéhyde constitue un contre-exemple) (Figure 14).

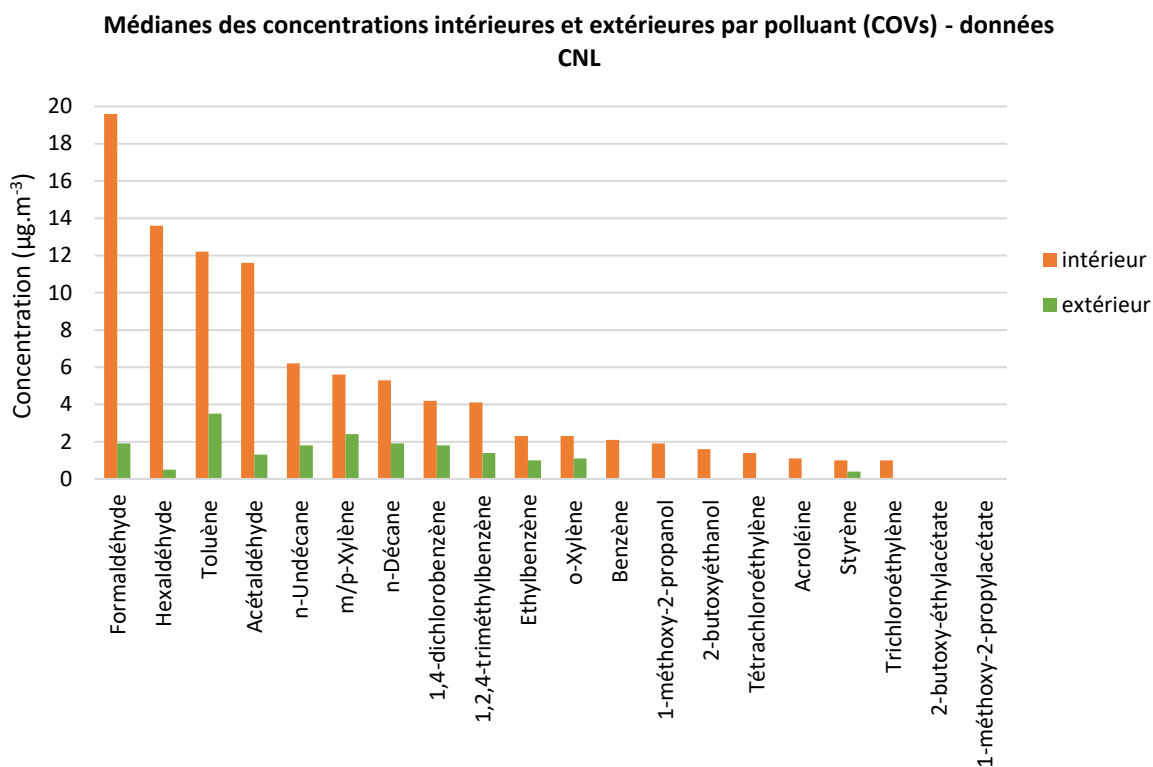


Figure 12 : Médianes des concentrations intérieures et extérieures par polluant (COVs) – à partir des données de la CNL (Kirchner et al., 2006).

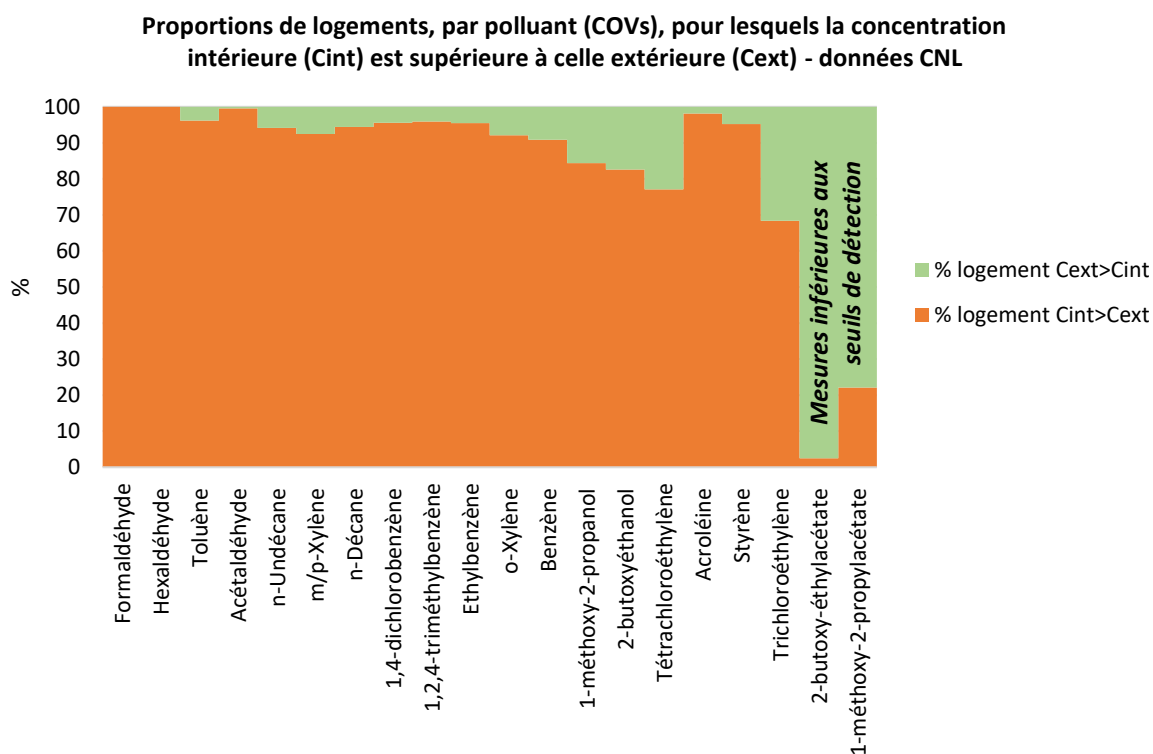


Figure 13 : Proportions de logements, par polluant (COVs), pour lesquels la concentration intérieure (C<sub>int</sub>) est supérieure à celle extérieure (C<sub>ext</sub>) – à partir des données de la CNL (Kirchner et al., 2006).

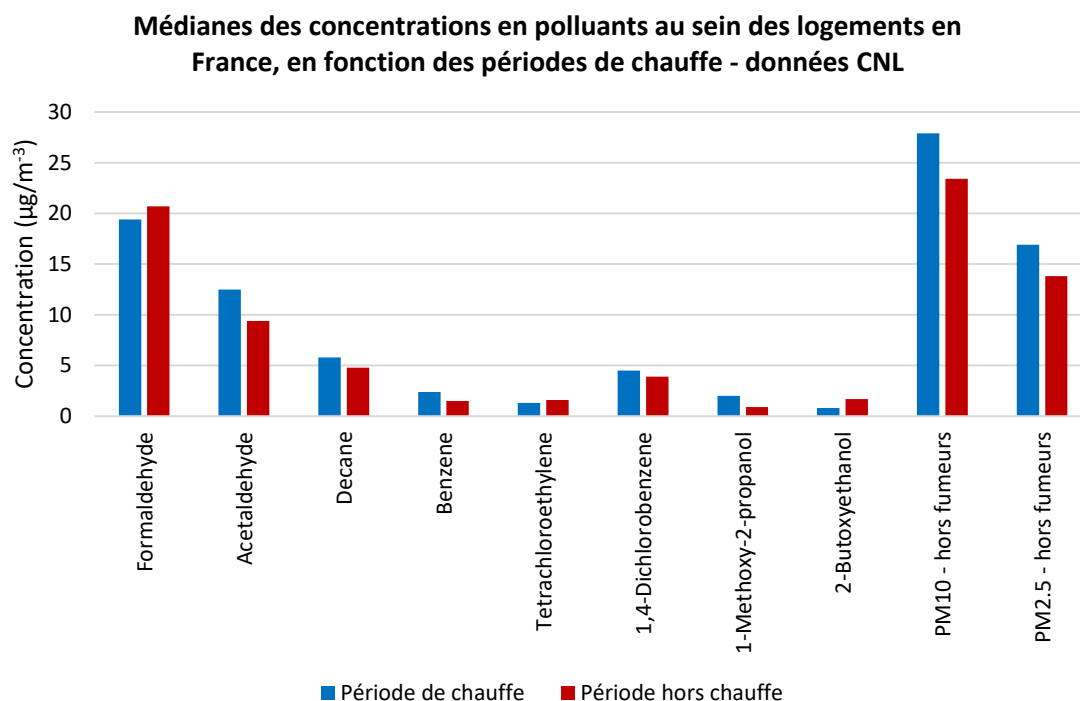


Figure 14 : Médianes des concentrations en polluants au sein des logements en France, en fonction des périodes de chauffe – à partir des données de la CNL (Kirchner et al., 2006 ; Langer et al., 2016).

#### 4.2.2 Influence de l'année de construction des bâtiments sur les pollutions intérieures

Une étude statistique des données de la CNL par Langer et al. (2016) n'a pas montré de corrélation importante entre la date de construction du logement et les niveaux de concentration en COVs au sein des logements. Seul le formaldéhyde montre une tendance à l'augmentation pour les logements de la période 1990-2004 (Figure 15).

Cette tendance ne semble cependant pas se prolonger au sein des constructions les plus récentes. En effet, la campagne de mesures conduite par Derbez et al. (2015), sur des bâtiments récents, a été ici exploitée afin de compléter l'échantillonnage de la CNL qui concerne uniquement les logements du parc français, construits avant 2004. Celle-ci porte sur 32 logements au sein de 16 bâtiments de PREBAT (Plateforme de Recherche et d'Expérimentation sur l'Énergie dans le Bâtiment) dont 10 ont été construits après 2008 (norme RT2005 mais répondant aux normes de perméabilité à l'air de la RT2012 pour le collectif) et 6 ont été réhabilités entre 2010-2013. Les mesures au sein de ces logements montrent des teneurs en formaldéhyde semblables à celles observées au sein des bâtiments construits avant 1990 (Figure 15).

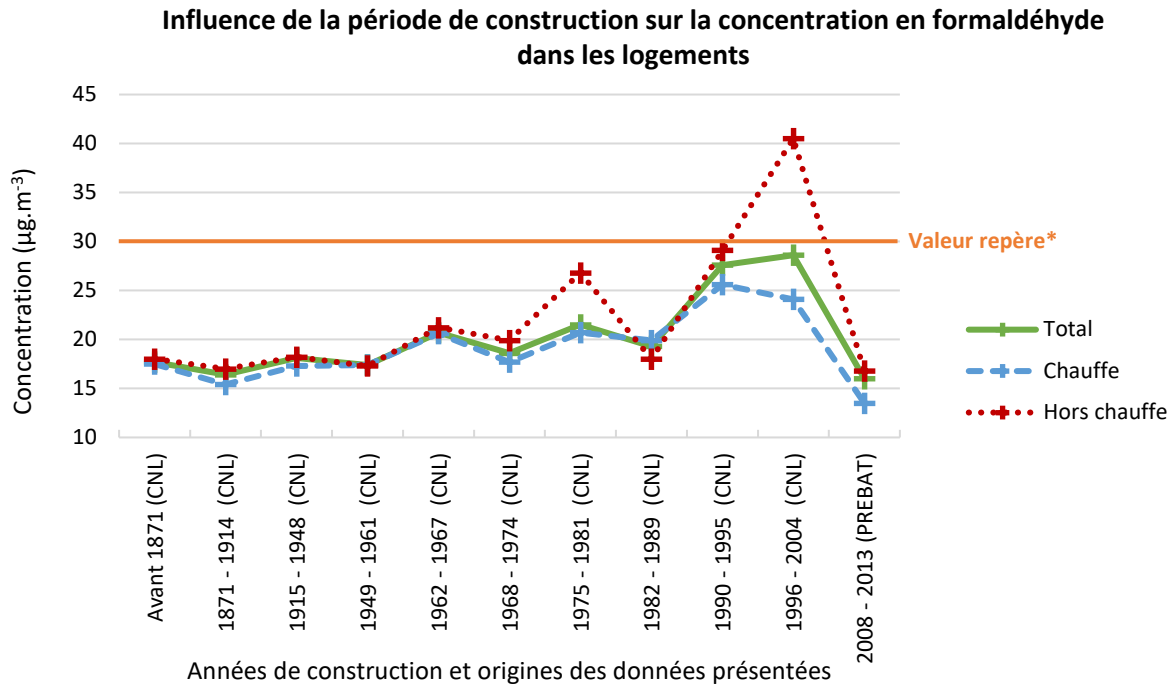


Figure 15 : Influence de la période de construction sur la concentration en formaldéhyde dans les logements. Données de la CNL et issues d'une étude de bâtiments PREBAT (Derbez et al., 2015). \*Valeur repère de 30 µg.m<sup>-3</sup> : valeur maximale proposée par le projet européen INDEX.

L'annexe 68 de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a récemment compilé les niveaux de concentration en polluants à l'intérieur des logements pour différents pays dont la France. Le graphe Figure 16 présente une comparaison entre les niveaux mesurés dans les logements construits avant 2006 (CNL - Kirchner et al., 2006) et ceux réalisés après 2012 (BPE-OQAI – Derbez et al., 2015). Une légère diminution de concentration de la plupart des polluants est observée avec quelques exceptions pour certains polluants (alpha-pinène, d-limonène et hexanal) qui proviennent de la structure en bois des constructions à basse consommation énergétique post 2012.

## Concentration à l'intérieur des logements en France

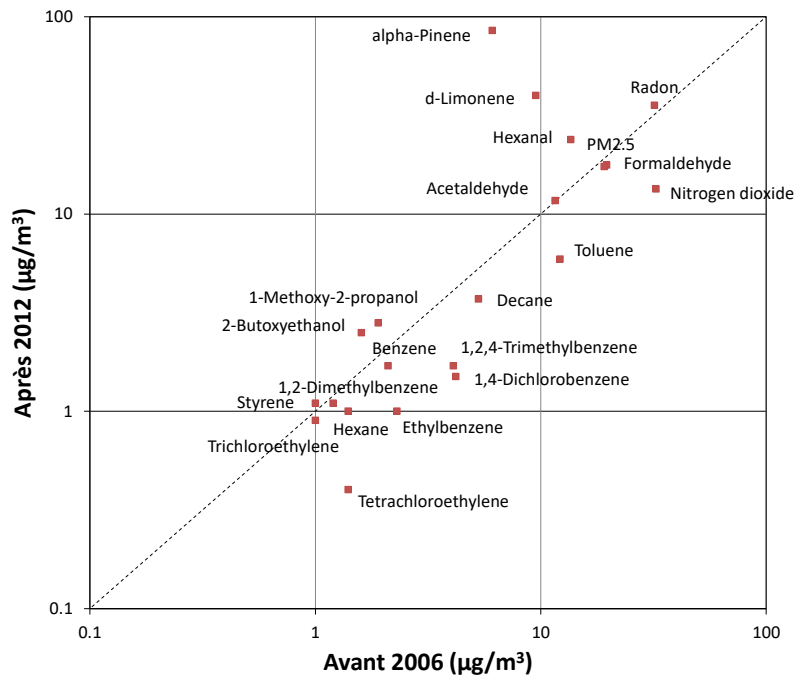


Figure 16 : Comparaison entre la concentration à l'intérieur des logements construits avant 2006 et ceux répondant à des normes récentes type RT2012 (Annexe 68 de l'AIE).

### 4.3 Confort acoustique

L'association QUALITEL (2018) a réalisé des audits auprès des occupants de dix bâtiments de logements sociaux, dont l'année de construction variait entre 1730 et 1974. Les résultats ont montré que près de 70 % des personnes étaient insatisfaites de la qualité acoustique de leur logement. La Figure 17 présente les bruits à l'origine de l'inconfort relevé parmi les occupants. L'enquête a également montré que, pour les bâtiments récents (dont l'année de construction est postérieure à la réglementation acoustique de 1999), les insatisfaits ne représentent plus que 25 % environ.

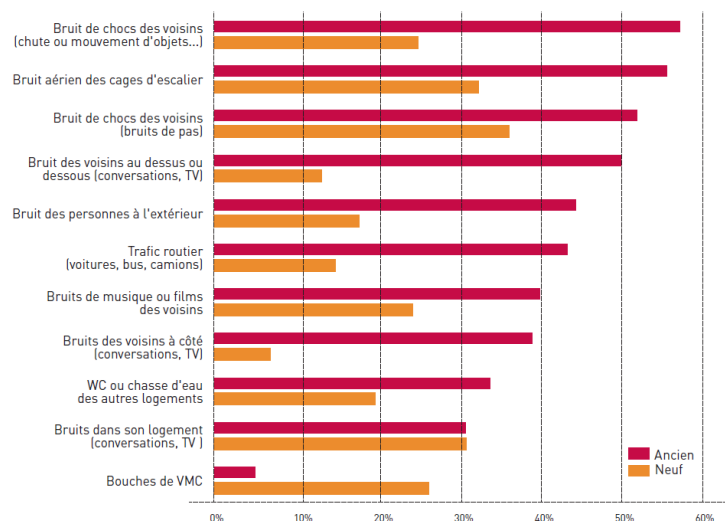


Figure 17 : Pourcentage de personnes gênées par type de bruits dans les logements collectifs (QUALITEL, 2018).



Les résultats du baromètre QUALITEL (2019) permet de comparer le confort acoustique dans les logements collectifs et dans les maisons individuelles par rapport à la satisfaction de l'isolation par rapport au bruit (Figure 18). Le confort acoustique dans les maisons individuelles (81% de satisfaction) est supérieur à celui dans les logements collectifs (50%). On remarque une légère amélioration des conditions pour les bâtiments les plus récents (Figure 19). Par rapport au niveau de bruit de la rue, les bâtiments récents montrent une augmentation des cas de gênes (12% à 15%) et d'amélioration (37-39% à 48%). Enfin, la gêne due au bruit des équipements est bien supérieure dans les bâtiments récents (Figure 21).

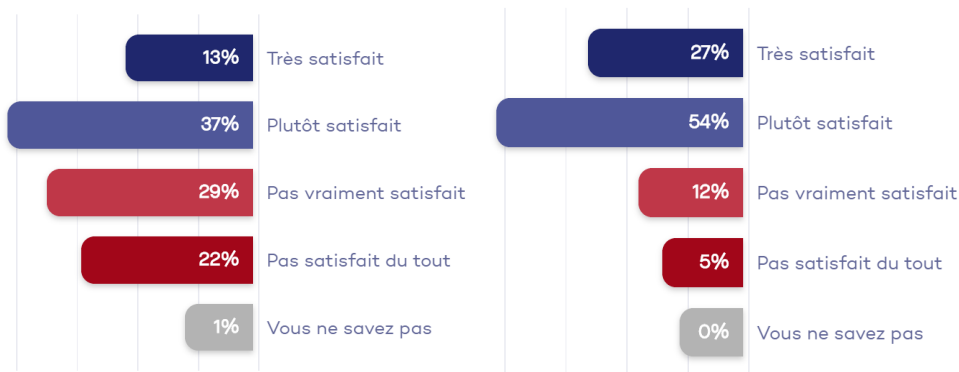


Figure 18 : Satisfaction de l'isolation par rapport au bruit dans les logements collectifs (à gauche) et dans les maisons individuelles (à droite) (QUALITEL, 2019).

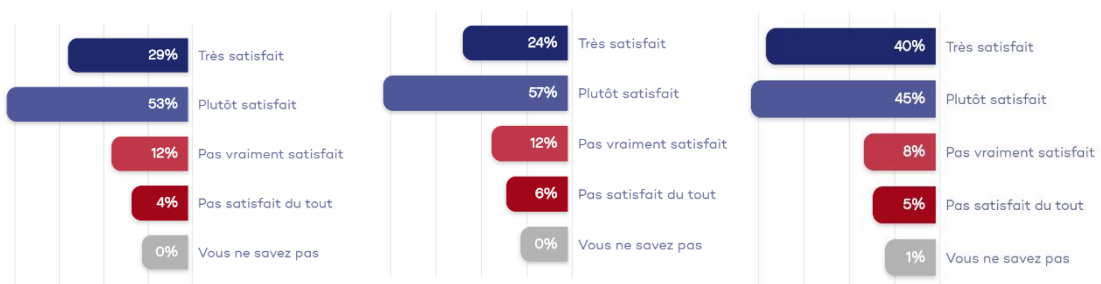


Figure 19 : Satisfaction de l'isolation par rapport au bruit dans les maisons individuelles avant 1945 (à gauche), entre 1945 et 2009 (au milieu) et après 1999 (à droite) (QUALITEL, 2019).

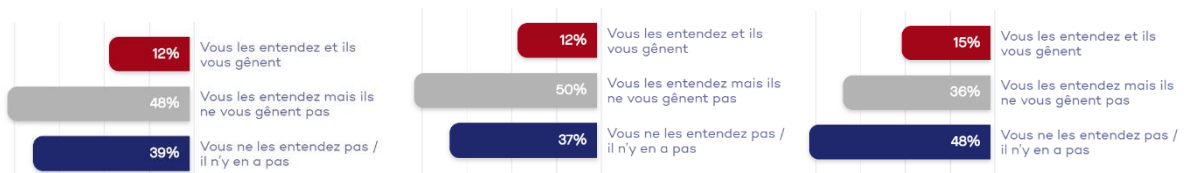


Figure 20 : Gênes dues aux bruits de la rue dans les maisons individuelles avant 1945 (à gauche), entre 1945 et 2009 (au milieu) et après 2009 (à droite) (QUALITEL, 2019).

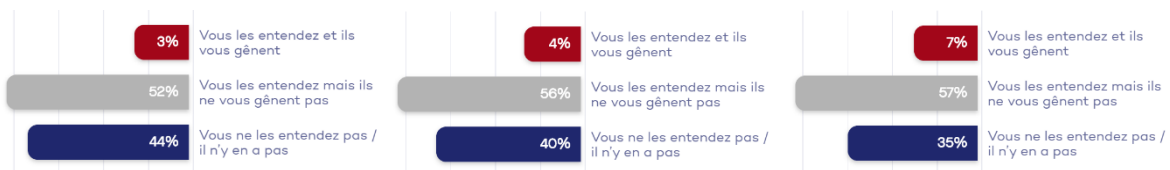


Figure 21 : Gênes dues aux bruits d'équipements dans les maisons individuelles avant 1945 (à gauche), entre 1945 et 2009 (au milieu) et après 2009 (à droite) (QUALITEL, 2019).

## Conclusion/Synthèse pour le projet Smart-Réno

En ce qui concerne les données relatives à la caractérisation des maisons individuelles en termes de description constructives de l'enveloppe et des systèmes de chauffage et de ventilation, il ressort de notre analyse que les informations de la base de données Tabula sont utilisables pour le projet Smart-Réno. On notera cependant que l'état de rénovation des bâtiments construits avant 1975 devra être pris en compte.

Du point de vue du confort thermique, une amélioration constante est observée depuis les bâtiments anciens inconfortables vers des bâtiments récents limitant les gênes dues au froid. Une tendance similaire est notée en ce qui concerne la QAI mais uniquement pour les bâtiments les plus récents ; amélioration qui s'explique par la diminution des sources de polluants à l'intérieur des logements et une meilleure maîtrise de la ventilation. On peut donc s'attendre à un effet bénéfique de la rénovation énergétique des bâtiments anciens pour ces deux postes. En ce qui concerne le confort acoustique, une nette différence est observée entre maisons individuelles et logements collectifs qui présentent respectivement 19% et 50% d'inconfort. Le potentiel d'amélioration du confort acoustique par la rénovation énergétique pour les maisons individuelles sera ainsi moins élevé.

## Références :

- ADEME. 2019. Observatoire des Diagnostics de performance énergétique (DPE). <https://data.ademe.fr/datasets/dpe-des-logements>
- Bailly A, Guyot G, Leprince V. 2015. 6 years of envelope airtightness measurements performed by French certified operators: analyses of about 65,000 tests. Proceedings of the 36th AIVC – 5th TightVent – 3rd Venticool Conference, 2015, Madrid, Spain.
- Derbez M., Wyart G., Douchin F., Lucas J.p., Ramalho O., Ribéron J., Kirchner S., Mandin C., 2015. Base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants de bâtiments performants en énergie - Description des premiers résultats de la qualité de l'air intérieur et du confort de bâtiments d'habitation performants en énergie. Rapport CSTB-OQAI/2015-012.
- CEREN. 2018. Secteur résidentiel - suivi du parc et des consommations d'énergie. <https://www.ceren.fr/publications/les-publications-du-ceren/>
- Chergou Y., Le Dréau J., 2017. Développement de critères d'évaluation de la flexibilité énergétique des bâtiments. Rapport de stage Master 2.
- European Union. 2009. TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment). <http://episcopes.eu/building-typology/country/fr/>
- INSEE, SDES. 2018. Parc de résidences en habitat collectif ou individuel en 2018 - estimation annuelle du parc de logements. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2412780>
- INSEE. 2013. Les conditions de logement en 2013. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1912749>
- Kirchner S. et al., 2006. Campagne Nationale Logements : état de l'art de la qualité de l'air dans les logements français – rapport final.
- Langer S., Ramalho O., Derbez M., Ribéron J., Kirchner S., Mandin C., 2016. Indoor environmental quality in French dwellings and building characteristics. *Atmospheric Environment*, 128, 82-91.
- Ministère en charge de la construction et de l'énergie. 2012. Méthode 3CL-DPE (version 1.3 du 17 octobre 2012).
- Moujalled B, Leprince V, Bailly Mélois A. 2018. French database of building airtightness, statistical analyses of about 215,000 measurements: impacts of building characteristics and seasonal variations. Proceedings of the 39th AIVC - 7th TightVent & 5th Venticool Conference Smart ventilation for buildings, 18-19 September 2018, Juan-les-Pins, France.
- PACTE. 2017. Analyse détaillée du parc résidentiel existant. <https://www.programmepacte.fr/analyse-detailee-du-parc-residentiel-existant-rapport>
- QUALITEL. 2017. Baromètre Qualitel : évaluation de la qualité de vie à la maison, 58p.
- QUALITEL. 2018. Guide acoustique sur la rénovation : améliorer l'acoustique des logements collectifs, 68p.
- QUALITEL. 2019. Baromètre Qualitel : évaluation de la qualité de vie à la maison, <https://www.qualitel.org/jevalue-mon-logement/enquete/qualiscore/>
- Rochard U., Shanthirablan S., Brejon C., Chateau Le Bras M. 2015. Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France.
- SOeS. 2013. PHEBUS (Performance de l'Habitat, Equipements, Besoins et USages de l'énergie). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-performance-de-lhabitat-equipements-besoins-et-usages-de-lenergie-phebus>