

# Notes techniques et réflexions

## Les dangereuses insuffisances du plan de rénovation et de la loi Climat et Résilience

### Annexes

Auteur : Olivier SIDLER

Août 2021

*Expert en énergétique*  
*Fondateur et ex-directeur du bureau d'études ENERTECH*  
125, route de Dieulefit  
26160 FELINES S/RIMANDOULE  
TEL: (33) 04.75.90.18.54  
*email : olivier.sidler@ gmail.com*  
*Blog : <https://leblog.enertech.fr/15-blog-olivier-sidler>*

## TABLE DES MATIERES

<b>Annexe n°1 - Méthode de prévision des consommations d'énergie et des émissions de GES des résidences principales en métropole</b>	4
<b>1 – Détermination de la consommation d'énergie et des émissions de GES des résidences principales en métropole au 1/1/2018</b>	5
1.1 Détermination de la consommation d'énergie à partir des statistiques nationales	5
1.1.1 Les sources de données disponibles	5
1.1.2 Evaluation des consommations de chauffage et d'ECS au 1/1/2018	6
1.2 Détermination des émissions de GES à partir des statistiques nationales	9
<b>2 – Reconstitution de la consommation d'énergie au 1/1/2018</b>	10
2.1 Détermination du nombre de logements par classe énergétique et par énergie avec l'ancienne étiquette	10
2.1.1 Représentation à partir de l'enquête Phébus mise à jour (Phébus+)	10
2.1.2 Représentation à partir de l'étude CGDD/SDES de septembre 2020	14
2.2 Traitement du passage de l'ancienne à la nouvelle étiquette	14
2.2.1 Nombre de logements par classe énergétique et par énergie avec la nouvelle étiquette	14
2.2.2 Consommations d'énergie et émissions de GES caractéristiques des classes énergétiques de la nouvelle étiquette au 1/1/2018	16
2.2.2.1 <i>L'énergie primaire des nouvelles classes énergétiques</i>	16
2.2.2.2 <i>L'énergie finale des nouvelles classes énergétiques</i>	19
2.2.2.3 <i>Les émissions de GES des nouvelles classes énergétiques</i>	20
2.3 Reconstitution des consommations d'énergie et des émissions de GES au 1/1/2018	21
2.3.1 Formulation générale	21
2.3.1.1 <i>L'énergie primaire</i>	21
2.3.1.2 <i>L'énergie finale</i>	21
2.3.1.3 <i>Les émissions de GES</i>	22
2.3.2 Détermination de la surface habitable	22
2.3.3 Les facteurs de pondération par classe énergétique	29
2.3.3.1 <i>La taille des logements</i>	29
2.3.3.2 <i>La température intérieure</i>	31
2.3.3.3 <i>Coefficients de pondération globaux par classe énergétique</i>	32
2.3.4 Les facteurs de correction nécessaires	32
2-3-4-1 <i>La baisse du nombre de degrés.jours et l'augmentation des apports internes</i>	32
2-3-4-2 <i>Diminution des consommations d'énergies finale et primaire entre 1975 et 2018 pour les logements construits avant 1975</i>	34
2-3-4-3 <i>Diminution des consommations d'énergies finale et primaire entre 1975 et 2018 pour les logements neufs</i>	36
2-3-4-4 <i>La prise en compte incorrecte du pouvoir calorifique supérieur des combustibles</i>	38
2-4 Résultats de la reconstitution des consommations au 1/1/2018	39

<b>3 – Modélisation du parc à partir de 2018</b>	42
3-1 Formulation générale	42
3.1.1 L'énergie primaire	42
3.1.2 L'énergie finale	47
3.1.3 Les émissions de GES	47
3-2 Nature de la surface des logements	48
3-3 Hypothèses sur l'évolution des constructions neuves et des logements détruits	48
3-4 Stratégie de rénovation	48
3-5 Evaluation de l'énergie grise et des EGES associées	48
4 – Rappel de la nomenclature générale	51

<b>Annexe n°2 - Expliquer l'évolution de la consommation de chauffage entre 1975 et 2018</b>	54
1 – Les causes de l'évolution	54
2 – Consommation d'énergie finale due à la construction neuve entre 1975 et 2018	55
3 – Impact des degrés jours et des apports internes sur la consommation d'énergie finale de la construction neuve (1975-2018)	57
4 – Impact des degrés jours et des apports internes sur la consommation d'énergie finale du parc de logements d'avant 1975 encore existant en 2017	57
5 – Effacement de consommation lié au passage au chauffage électrique de logements d'avant 1975	57
6 – Consommation évitée par la destruction de logements	58
7 – Energie prise par les pompes à chaleur dans l'environnement	58
8 – Energie produite par condensation de la chaleur latente de la vapeur des fumées	58
9 – Bilan global de la consommation de chauffage	59

**ANNEXE 1 : Méthode de prévision des consommations d'énergie et des émissions de GES des résidences principales en métropole**

# 1 – Détermination de la consommation d'énergie et des émissions de GES des résidences principales en métropole au 1/1/2018

La précision de l'état initial est importante pour la qualité de la prospective.

La procédure proposée ici est de déterminer cette consommation initiale de deux manières qui devraient, en principe, conduire au même résultat. Il s'agit d'abord d'utiliser les chiffres fournis par la statistique nationale (objet du présent paragraphe), et ensuite de « faire parler » les DPE et de voir s'ils fournissent la même information (voir § 2 de cette annexe), ce qui est essentiel puisqu'ils sont amenés à être les indicateurs de l'évolution de ces consommations dans les années à venir. S'il existe des différences sensibles elles devront être expliquées et des procédures de correction devront, si possible, être mises en œuvre. A défaut, ce pourrait être une remise en cause de l'utilisation du DPE comme outil d'évaluation prospective des consommations en France.

## 1.1 Détermination de la consommation d'énergie à partir des statistiques nationales

### 1.1.1 Les sources de données disponibles

L'organisme le plus à même de fournir des sources fiables est le SDES (Service de la donnée et des études statistiques), mais il fait souvent appel au CEREN (Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie) pour les approches sectorielles sur l'énergie. On utilisera également les bilans électriques fournis par RTE. Les valeurs recherchées étant celles au 1/1/2018 on utilisera les bilans énergétiques de l'année 2017.

L'analyse qui suit est construite sur les informations extraites des documents suivants :

- « Bilan énergétique de la France pour 2019 - Annexes »<sup>1</sup> - SDES – Janvier 2021 dans lequel figure l'ensemble des bilans énergétiques des années 2015 à 2019 (Année 2017 p.116).

- « Les consommations d'énergie du parc résidentiel par usage – 2019 »<sup>2</sup>, document conjoint du SDES et du CEREN,

- « Bilan électrique 2017 » et « Bilan électrique 2016 » - RTE

Le périmètre de ces différents bilans et les hypothèses de traitement faites ne sont pas toujours identiques. Aux fins de comparaison, voici les bases communes sur lesquelles nous avons établi les bilans à partir de ces documents :

- périmètre géographique : la France métropolitaine  
- unité utilisée : le TWh pour l'électricité, le TWh pcs pour le gaz et le propane, le TWh pci pour les autres combustibles. A noter que, hormis pour le propane, c'est déjà sur ces bases que sont constitués les bilans du SDES. Avec le développement massif des chaudières à condensation, comptabiliser le gaz et le GPL en énergie sur pci revient à minimiser d'environ 10 % les quantités d'énergie réellement mobilisées (à masse d'énergie

---

<sup>1</sup> [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/datalab\\_84\\_bilan\\_energetique\\_de\\_la\\_france\\_pour\\_2019\\_janvier2021\\_0.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/datalab_84_bilan_energetique_de_la_france_pour_2019_janvier2021_0.pdf)

<sup>2</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel>

primaire identique), ce qui est dangereux, notamment si on envisage des substitutions d'énergie dans le futur.

On notera que le Bilan énergétique de la France pour 2017 traite du parc total de logements (résidences principales et secondaires), alors que le document élaboré avec le CEREN ne porte que sur les résidences principales.

### 1.1.2 Evaluation des consommations de chauffage et d'ECS au 1/1/2018

#### Bilan énergétique physique 2017

Données réelles  
En Mtep

	Charbon	Pétrole brut	Produits pétroliers raffinés	Gaz naturel	Nucléaire	EnR électriques	EnR thermiques et déchets	Électricité	Chaleur commercialisée	Total
Production d'énergie primaire	0,00	0,99	0,00	0,01	103,80	7,28	19,38	0,00	0,00	131,47
Importations	10,12	59,05	41,80	43,16	0,00	0,00	1,78	1,82	0,00	157,72
Exportations	0,00	- 0,12	- 20,53	- 5,42	0,00	0,00	- 0,77	- 5,27	0,00	- 32,12
Soutes maritimes internationales	0,00	0,00	- 1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	- 1,72
Soutes aériennes internationales	0,00	0,00	- 5,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	- 5,61
Variations de stocks (+ = déstockage, - = stockage)	- 0,19	- 0,32	- 0,01	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
<b>Consommation primaire</b>	<b>9,92</b>	<b>59,60</b>	<b>13,93</b>	<b>38,49</b>	<b>103,80</b>	<b>7,28</b>	<b>20,38</b>	<b>- 3,45</b>	<b>0,00</b>	<b>249,95</b>
Écart statistique	0,24	0,08	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	1,84
Production d'électricité	3,55	0,00	1,53	5,54	103,80	7,28	3,06	- 47,88	0,00	76,88
Production de chaleur	0,26	0,00	0,09	1,75	0,00	0,00	2,53	0,00	- 4,09	0,54
Injections de biométhane	0,00	0,00	0,00	- 0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Raffinage de pétrole	0,00	61,08	- 60,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
Autres transformations, transferts	2,97	- 1,56	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,88
Usages internes de la branche énergie	1,46	0,00	1,79	0,54	0,00	0,00	0,00	2,94	0,00	6,73
Pertes de transport et de distribution	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	3,32	0,31	4,07
<b>Consommation nette de la branche énergie</b>	<b>8,48</b>	<b>59,60</b>	<b>- 54,54</b>	<b>8,23</b>	<b>103,80</b>	<b>7,28</b>	<b>5,62</b>	<b>- 41,23</b>	<b>- 3,78</b>	<b>93,46</b>
Industrie	1,06	0,00	2,56	10,53	0,00	0,00	1,70	10,04	1,72	27,61
Transports	0,00	0,00	41,98	0,15	0,00	0,00	3,14	0,91	0,00	46,17
<b>Résidentiel</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>5,16</b>	<b>12,27</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>8,82</b>	<b>13,85</b>	<b>1,25</b>	<b>41,39</b>
Tertiaire	0,04	0,00	3,05	6,15	0,00	0,00	0,80	12,21	0,81	23,06
Agriculture-pêche	0,00	0,00	3,09	0,17	0,00	0,00	0,31	0,77	0,01	4,34
Consommation finale énergétique	1,14	0,00	55,85	29,26	0,00	0,00	14,76	37,78	3,78	142,58
Consommation finale non énergétique	0,30	0,00	12,62	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,09
Consommation finale	1,44	0,00	68,47	30,44	0,00	0,00	14,76	37,78	3,78	156,67

Figure 1.1 : Bilan énergétique de la France 2017 – Source : SDES – Données réelles (non corrigées du climat)

En déduisant de ce bilan la consommation des DOM pour l'année 2017<sup>3</sup> on obtient le bilan des livraisons d'énergie faites au secteur résidentiel (tous logements confondus) exprimées en TWh d'énergie finale (avec l'équivalence 1 Tep pci = 11,628 TWh) :

TWh EF	Charbon	Pétrole	Gaz	GPL	ENR thermiques yc déchets	Electricité	Chaleur commercialisée	Total
Métropole + DOM	0,5	60,0	142,7		102,6	161,1	14,5	481,4
Déduction des DOM	0	0,049	0	0	0,07	0,293	0	0,4
Total métropole	0,5	60,0	142,7	0,0	102,5	160,8	14,5	481,0

Figure 1.2 : Bilan en énergie finale du secteur résidentiel de la France métropolitaine (tous usages) – Année 2017- Source : SDES - Données réelles (non corrigées du climat)

<sup>3</sup> "Bilans énergétiques physiques des DOM de 2013 à 2018.xls" - <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilans-energetiques-des-departements-doutre-mer-de-2013-2018>

Les données sectorielles brutes, par usages, fournies pour l'année 2017 par le CEREN (France métropolitaine, résidences principales) apparaissent dans le tableau de la figure 1.3. A noter l'évaluation de la chaleur prise dans l'environnement par les pompes à chaleur (qui s'apparente donc à une énergie thermique renouvelable) :

Consommation d'énergie par usage À climat réel - en TWh PCS (Gaz) et TWh PCI (autres énergies)											
Usage	Energie	2019			2018			2017			Ensemble
		Appartement	Maison	Ensemble	Appartement	Maison	Ensemble	Appartement	Maison	Ensemble	
Chauffage	Autres énergies	0,259	2,350	2,609	0,258	2,326	2,585	0,265	2,355	2,620	
	Bois	1,886	76,215	78,101	1,876	77,024	78,900	1,943	81,524	83,468	
	Pompes à chaleur	0,331	11,759	12,090	0,285	10,087	10,372	0,269	9,507	9,776	
	Chauffage urbain	12,899	0,000	12,899	13,050	0,000	13,050	13,100	0,000	13,100	
	Electricité	10,045	23,667	33,712	9,960	23,088	33,049	10,310	23,442	33,752	
	<i>dont pompes à chaleur</i>	0,166	5,879	6,045	0,142	5,043	5,186	0,134	4,754	4,888	
	Fioul domestique	4,304	29,814	34,119	4,567	31,377	35,944	5,189	35,386	40,575	
	Gaz naturel	51,251	63,572	114,824	52,317	64,744	117,061	54,765	68,509	123,274	
	Gaz de pétrole liquéfié	0,051	2,657	2,709	0,055	2,781	2,836	0,064	2,975	3,038	
	Toutes énergies*	75,902	203,677	279,579	77,137	204,952	282,089	80,427	216,848	297,275	
Eau chaude sanitaire	Autres énergies	0,021	0,126	0,146	0,020	0,124	0,144	0,020	0,122	0,142	
	Bois	0,012	0,712	0,724	0,012	0,723	0,735	0,013	0,752	0,765	
	Chauffage urbain	3,946	0,000	3,946	3,905	0,000	3,905	3,882	0,000	3,882	
	Electricité	5,546	16,815	22,361	5,568	16,906	22,474	5,592	17,018	22,609	
	Fioul domestique	0,761	4,323	5,084	0,795	4,450	5,245	0,839	4,686	5,525	
	Gaz naturel	8,275	7,857	16,132	8,188	7,789	15,977	8,104	7,731	15,834	
	Gaz de pétrole liquéfié	0,046	0,640	0,686	0,047	0,652	0,699	0,047	0,657	0,704	
	Toutes énergies*	17,780	29,686	47,466	17,716	29,866	47,582	17,685	30,193	47,878	
Cuisson	Electricité	3,630	7,307	10,937	3,609	7,243	10,852	3,590	7,177	10,768	
	Gaz naturel	4,587	4,099	8,687	4,586	4,105	8,691	4,581	4,116	8,697	
	Gaz de pétrole liquéfié	0,709	3,695	4,404	0,732	3,815	4,548	0,755	3,935	4,690	
	Toutes énergies*	8,468	14,691	23,159	8,468	14,753	23,221	8,469	14,817	23,285	
Electricité spécifique	Electricité	22,536	48,127	70,663	22,898	48,160	71,058	22,791	48,619	71,410	
Climatisation	Electricité	0,130	0,968	1,099	0,104	0,774	0,879	0,090	0,670	0,760	

Source : Ceren  
 Note : La ligne "Dont pompes à chaleur" désigne l'électricité consommée par les pompes à chaleur. La ligne "pompes à chaleur" correspond, quant à elle, à la consommation de chaleur produite par les pompes à chaleur, de laquelle est déduite leur consommation d'électricité pour éviter un double compte. Par convention, le CEREN a calculé cette consommation nette comme étant le double de la consommation d'électricité, retenant un coefficient de performance de 3 -  
 \* : les totaux sont en TWh PCI, ainsi ils ne correspondent pas exactement à la somme des lignes qui les précèdent car le gaz naturel est exprimé en TWh PCS  
 Champ : France métropolitaine - ensemble des résidences principales

Figure 1.3 : Consommation d'énergie par usage en TWhpcs (gaz) et TWhpci (autres énergies) – Source : SDES/Ceren (climat réel)

Les différentes consommations fournies par le Ceren dans ce tableau sont ensuite réparties par énergie selon la même structure que celle adoptée précédemment par le SDES, mais en distinguant les consommations 3 usages (chauffage, ECS, rafraîchissement), et les autres consommations (cuisson, électroménager) :

TWh EF	Charbon	Fioul	Gaz	GPL	ENR thermiques yc déchets	Electricité	Chaleur commercialisée	Total
Chauffage	0,4	40,6	123,3	3,3	95,5	33,8	13,1	309,9
ECS	0,1	5,5	15,8	0,8	0,8	22,6	3,9	49,5
Climatisation						0,8		0,8
Total	0,5	46,1	139,1	4,1	96,3	57,1	17,0	360,2
Rajout cuisson et électroménager selon SDES/CEREN								
Cuisson			8,7	5,1		10,8		24,6
Electroménager						71,4		71,4
Total tous usages	0,5	46,1	147,8	9,2	96,3	139,3	17,0	456,1

Source : SDES/Ceren

Figure 1.4 : Structure en énergie finale de la consommation du secteur résidentiel par usage et par énergie selon le Ceren en 2017 (climat réel)

Hypothèses faites pour construire ce tableau :

- la consommation totale de charbon est incluse, pour le Ceren, dans le poste « Autres énergies ». On a donc adopté pour le charbon la consommation annoncée par le SDES en la répartissant à 80 % pour le chauffage et 20% pour l'ECS,

- le poste « ENR thermiques y compris déchets » regroupe les consommations de bois (83,47 TWh), de chaleur prise dans l'environnement par les PAC (9,78 TWh) et le solde du poste « Autres énergies » déduction faite du charbon (2,15 TWh),
- la consommation de GPL a été évaluée sur pcs et non sur pci (comme pour le gaz).

La dernière source d'information utile est celle fournie par usages par RTE pour l'année 2017 :

TWh EF	Charbon	Fioul	Gaz	GPL	ENR thermiques yc déchets	Electricité	Chaleur commercialisée
Chauffage						43,7	
ECS						19,5	
Sous total Ch+ECS						63,2	
Cuisson						11,3	
Autres usages						84	
Total général						158,5	

Source : RTE

**Figure 1.5 : Consommation d'électricité du secteur résidentiel par usage en 2017 – France métropolitaine**

L'observation de ces trois sources d'information fait apparaître que :

- il y a un écart très important entre le total de l'énergie finale distribuée au secteur résidentiel (tous usages) selon le SDES (481,0 TWh) et la valeur estimée par le CEREN (456,1 TWh). Mais le SDES traite de l'ensemble du parc bâti alors que le Ceren n'a comptabilisé que les résidences principales. Or selon d'autres études du Ceren, la consommation tous usages des résidences secondaires est de l'ordre de 10 TWh pci/an. Ce n'est donc pas suffisant pour expliquer l'écart,

- les « produits pétroliers raffinés » comptabilisés par le SDES se retrouvent dans la comptabilité du Ceren sous la forme de fioul et de propane,

- il existe également un écart important entre les consommations d'électricité livrées aux usagers (énergie finale) avancées par RTE (158,5 TWh) et celles évaluées par le Ceren (139,3 TWh) alors que la concordance est bonne avec le SDES (160,8 TWh). Ceci porte à penser que la structure de la consommation électrique proposée par RTE est, légitimement, plus pertinente que celle proposée par le Ceren. Dans le tableau suivant le bilan du Ceren a été corrigé en substituant aux consommations électriques les consommations de chauffage, d'ECS, d'électroménager et autres usages fournies par RTE :

TWh EF	Charbon	Fioul	Gaz	GPL	ENR thermiques yc déchets	Electricité	Chaleur commercialisée	Total
Chauffage	0,4	40,6	123,3	3,3	95,5	43,7	13,1	319,8
ECS	0,1	5,5	15,8	0,8	0,8	19,5	3,9	46,4
Climatisation						0,8		0,8
Total	0,5	46,1	139,1	4,1	96,3	64,0	17,0	367,0
Rajout cuisson et électroménager selon SDES/CEREN								
Cuisson			8,7	5,1		10,8		24,6
Electroménager						84,0		84,0
Total tous usages	0,5	46,1	147,8	9,2	96,3	158,7	17,0	475,6

Sources : Ceren, RTE

**Figure 1.6 : Structure de la consommation du secteur résidentiel par usage et par énergie en 2017**

Ce tableau présente désormais une bonne cohérence avec le tableau des ressources allouées fourni par le SDES puisque l'écart entre les deux (5,4 TWh) est certes plus faible que la consommation des résidences secondaires (environ 10 TWh), mais il reste très satisfaisant. Par voie de conséquence, ce tableau est donc plutôt très légèrement majorant. On reste un peu dubitatif sur les raisons qui font que le Ceren affiche pour le secteur résidentiel une

consommation de gaz et une consommation de chaleur de réseaux supérieures à celles allouées par le SDES (qui comptabilise globalement ce qui a été livré au secteur résidentiel...).

Sur ces bases, on peut désormais tirer plusieurs conclusions :

- la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel, sur 3 usages, est de **367 TWh/an** en comptabilisant gaz et propane en TWh pcs et toutes les autres énergies en TWh pci. La consommation d'énergie primaire est de 468,1 TWh (mêmes conventions que pour l'énergie finale – et facteur d'énergie primaire de l'électricité pris égal à 2,58). La valeur de l'énergie finale est quasiment la même que celle proposée par l'étude de la DGEC (365,4 TWh/an), mais celle-ci ne comptabilise peut-être pas les gaz sur pcs ce qui pourrait conduire à une minoration des besoins physiques, la différence entre les deux étant de 15 TWh/an.

- le parc comprenant 28,984 M de résidences principales et leur surface habitable moyenne étant à cette date de 81,96 m<sup>2</sup> (source<sup>4</sup>), on en déduit que les consommations spécifiques de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire et de rafraîchissement en énergies finale et primaire (coefficient primaire physique de l'électricité pris égal à 3,0). Mais attention : ces valeurs sont un peu majorantes puisque la totalité du gaz et du GPL est comptabilisée alors que seule environ la moitié est réellement récupérée dans les chaudières qui sont à condensation (surestimation de 2%) :

Usages	Energie Finale [kWhEF/m <sup>2</sup> Shab/an]	Energie Primaire [kWhEP/m <sup>2</sup> Shab/an]
Chauffage	134,8	163,9
ECS	19,6	32,6
Climatisation	0,3	0,8
<b>Ensemble</b>	<b>154,7</b>	<b>197,3</b>

**Figure 1.7 : Consommations spécifiques du parc de résidences principales métropolitaines au 1/1/2018**

- la part de chaque énergie dans la consommation nationale d'énergie pour le chauffage et l'ECS était au 1/1/2018 :

En %	Charbon	Fioul	Gaz	GPL	ENR thermiques yc déchets	Electricité	Chaleur commercialisée	Total
Chauffage	0,1%	12,7%	38,5%	1,0%	29,8%	13,7%	4,1%	100,0%
ECS	0,0%	11,9%	34,1%	1,7%	2,0%	42,0%	8,4%	100,0%
Ensemble ch+ECS	0,1%	12,6%	38,0%	1,1%	26,3%	17,3%	4,6%	100,0%

*Résidences principales – France métropolitaine*

**Figure 1.8 : Part des énergies dans le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire au 1/1/2018**

## 1.2 Détermination des émissions de GES à partir des statistiques nationales

La détermination des émissions de GES à partir de la comptabilité nationale a été intégrée au §3.1 du rapport.

<sup>4</sup> Voir § 2.3.2

## 2 – Reconstitution de la consommation d'énergie au 1/1/2018

L'objet est ici de reconstruire la consommation d'énergie finale de l'année 2017 à partir des informations données par les DPE et des caractéristiques dimensionnelles des parcs de logements (nombre de logements et surface).

### 2.1 Détermination du nombre de logements par classe énergétique et par énergie avec l'ancienne étiquette

Il existe aujourd'hui deux études assez divergentes déterminant le nombre de logements par classe énergétique à partir de l'étiquette existant jusqu'à 30/6/2021 : l'enquête Phébus réalisée en 2013 et l'étude publiée en septembre 2020 par le CGDD<sup>5</sup>. L'objet n'est pas ici d'émettre un avis sur la qualité et la pertinence de ces deux études, mais plutôt de construire un outil qui permettra la simulation du parc au moyen des conclusions de l'une et de l'autre de ces études de manière à pouvoir évaluer leur influence.

#### 2.1.1 Représentation à partir de l'enquête Phébus mise à jour (Phébus+)

L'enquête Phébus repose sur la réalisation de 2400 DPE (uniquement au moyen de l'évaluation par calcul même dans les logements d'avant 1948) durant l'année 2012. Le travail a été effectué par les ingénieurs du bureau de contrôle Veritas. Il faut donc mettre à jour le nombre de logements dans chaque classe énergétique, puisque depuis 2012 un certain nombre de logements neufs ont été construits et soumis à la RT 2012, et des logements généralement de classes E à G ont été démolis. Il convient donc de corriger le nombre de logements par classe énergétique et de déterminer leur nombre par type d'énergie dans chaque classe.

Pour être complet, il faut signaler qu'il existe également des changements de classe consécutifs à des améliorations de la performance énergétique (rénovation). Mais ces changements ont été peu nombreux dans la période 2013-2018 durant laquelle il n'y eut pas de plan national de rénovation. Si on s'en tient aux chiffres de l'observatoire BBC Effinergie, seules 93 700 rénovations BBC ont été réalisées entre 2013 et 2017.

L'objectif est de disposer à la date du 1/1/2018, d'un tableau fournissant le nombre de logements par classe énergétique et par énergie.

Il faut commencer par calculer le nombre de logements dans chaque classe énergétique à partir de la situation en 2012 (date de réalisation de l'étude Phébus), jusqu'au 1/1/2018. Dans cet intervalle, le parc de logements selon l'INSEE est passé de 27 827 000 à 28 984 000 logements. Dans le même temps on a démolé en moyenne un peu plus de 31 230 logements par an<sup>6</sup> (a priori de façon égale entre les classes E à G) qu'il a fallu bien sûr reconstruire pour maintenir l'offre.

L'analyse de tous les permis de construire de l'année 2015 (année médiane) à partir de la base Sit@del<sup>7</sup> en fonction de leur zone climatique et des surfaces a permis de déterminer

---

<sup>5</sup> « Le parc de logements par classe de consommation énergétique » - CGDD/SDES – Septembre 2020

<sup>6</sup> Voir § 1.5 du rapport

<sup>7</sup> <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/statistiques-sur-les-permis-de-construire-pc-permis-damenager-pa-et-declaration-prealable-dp-base-sitadel/>

avec précision quelle était la part des logements de classes A, B et C (ancienne étiquette), en distinguant la part des maisons individuelles et celle des logements collectifs :

	Ensemble	dont MI	dont LC
Pourcentage des logements neufs en classe A :	30,0%	21,6%	8,4%
Pourcentage des logements neufs en classe B :	64,4%	20,1%	44,2%
Pourcentage des logements neufs en classe C :	5,7%	2,3%	3,4%
Total	100,0%	44,0%	56,0%

**Figure 1.9 : Pourcentage de logements neufs entre [2013 et 2017] dans les classes énergétiques A, B et C – Ancienne étiquette**

L'ensemble de ces éléments permet de déterminer le nombre de logements par classe énergétique au 1/1/2018 :

Classes	Taux Phébus 2012	Nbr logements au 1/1/2013	Variation 2018/2013	Structure parc au 1/1/2018
A	0,31%	84 925	393 427	478 352
B	2,03%	566 165	845 166	1 411 331
C	11,90%	3 312 064	74 562	3 386 626
D	24,52%	6 822 286		6 822 286
E	30,01%	8 350 931	-52 052	8 298 879
F	15,67%	4 359 469	-52 052	4 307 417
G	15,56%	4 331 161	-52 052	4 279 109
Total	100,00%	27 827 000	1 157 000	28 984 000

Source : Revue du CGDD - Janvier 2015 - Tableau 1 p.49

**Figure 1.10 : Nombre de logements par classe énergétique au 1/1/2018 selon enquête Phébus corrigée (Phébus+) – Ancienne étiquette**

On dispose ensuite de la part globale de chaque énergie (en % de la surface du parc) au 1/1/2013 et au 1/1/2018 :

	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres	Total
2013	36,8%	34,9%	13,1%	9,9%	5,3%	100,0%
2018	31,4%	36,3%	9,1%	18,8%	4,3%	100,0%

Source : SDES/CEREN

**Figure 1.11 : Part globale de chaque énergie (en % de la surface du parc)**

Dans la suite du texte, les taux figurant dans ce tableau pour l'année 2013 et pour l'année 2018 s'écrivent  $t_{13i}$  et  $t_{18i}$  en se référant à chacune des années et à l'énergie « i ».

Une autre information de l'enquête Phébus va être utile : la répartition de chaque étiquette en fonction de l'énergie principale de chauffage au 1/1/2013 :

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres
A	0,3%	0,3%	0,4%	0,8%	0,0%
B	0,8%	3,2%	1,7%	2,3%	3,9%
C	6,6%	19,0%	8,3%	7,0%	7,2%
D	21,3%	28,4%	20,4%	19,3%	34,2%
E	31,3%	27,6%	29,5%	32,0%	46,0%
F	18,3%	11,2%	23,4%	18,6%	5,8%
G	21,5%	10,2%	16,2%	19,9%	2,9%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Source : Revue du CGDD - Janvier 2015

**Figure 1.12 : Structure par classe énergétique de l'énergie principale de chauffage au 1/1/2013 – Ancienne étiquette**

Si on note  $t_{13ji}$  les coefficients de ce tableau, l'indice « i » se référant à l'énergie et l'indice « j » à la classe énergétique, on peut désormais déterminer le pourcentage de logements du parc pour chaque classe énergétique et pour chaque énergie au 1/1/2013. Si l'on note ces taux  $k_{13ji}$ , on aura :

$$k_{13ji} = t_{13i} \times t_{13ji}$$

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres	Total
A	0,11%	0,11%	0,05%	0,08%	0,00%	0,35%
B	0,30%	1,13%	0,22%	0,23%	0,21%	2,09%
C	2,41%	6,65%	1,09%	0,69%	0,38%	11,23%
D	7,83%	9,90%	2,68%	1,91%	1,81%	24,13%
E	11,50%	9,62%	3,87%	3,16%	2,44%	30,59%
F	6,75%	3,92%	3,07%	1,85%	0,31%	15,90%
G	7,90%	3,57%	2,12%	1,97%	0,16%	15,73%
Total	36,80%	34,90%	13,10%	9,90%	5,30%	100,00%

**Figure 1.13 : Pourcentage de logements du parc par classe énergétique et par énergie de chauffage au 1/1/2013 ( $k_{13ji}$ ) – Ancienne étiquette**

On peut désormais déterminer, au 1/1/2013, quel est le nombre de logements par classe énergétique et par énergie. Si  $N_{13ji}$  représente un élément de ce tableau, on a simplement :

$$N_{13ji} = k_{13ji} \times N_{13j} / (\sum_i k_{13ji})$$

où :

- $k_{13ji}$  : donné par le tableau de la figure 1.13
- $N_{13j}$  : nombre de logements au 1/1/13 en classe « j » fourni par les éléments de la troisième colonne du tableau de la figure 1.10 (« nombre de logements au 1/1/2013 »)
- $\sum_i k_{13ji}$  : total des  $k_{13ji}$ , pour chaque classe énergétique (sa valeur figure en dernière colonne du tableau de la figure 1.13).

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres	Total
A	27 067	25 800	12 757	19 301	0	84 925
B	80 581	307 232	60 529	61 950	55 872	566 165
C	711 452	1 961 382	321 129	204 880	113 221	3 312 064
D	2 212 982	2 799 146	756 302	541 279	512 578	6 822 286
E	3 139 805	2 625 923	1 056 167	863 973	665 062	8 350 931
F	1 851 629	1 076 410	841 527	506 016	83 887	4 359 469
G	2 176 072	983 529	585 030	543 645	42 884	4 331 161
Total	10 199 589	9 779 422	3 633 442	2 741 043	1 473 504	27 827 000

**Figure 1.14 : Nombre de logements  $N_{13ji}$  par classe énergétique et par énergie déduit de l'enquête Phébus+ au 1/1/2013 – Ancienne étiquette**

Il reste désormais à ajouter dans chaque case de ce tableau les logements construits entre [2013 et 2017], en fonction bien sûr du type d'énergie dont ils disposent pour le chauffage.

On a besoin pour cela de la répartition des énergies de chauffage, en maison et en logement collectif. Les données sont celles de la construction neuve pour l'année 2017 :

	Ensemble	Maisons individuelles	Logements collectifs
Autres énergies	2,3%	5,0%	0,0%
Bois*	5,4%	11,6%	0,0%
Chauffage urbain	10,3%	0	19,3%
Electricité Joule	21,0%	24,8%	17,7%
Pompes à chaleur	15,6%	32,5%	0,8%
Fioul domestique	0,0%	0,0%	0,0%
Gaz naturel	45,3%	26,0%	62,3%
Gaz de pétrole liquéfié	0,1%	0,1%	0,0%
en % du nbre logements	100,0%	100,0%	100,0%

Source : SDES "Consommation énergie parc résidentiel-2019"

**Figure 1.15 : Pourcentage de chaque énergie principale de chauffage en maison individuelle et en logement collectif en construction neuve pour l'année 2017**

Soit  $k_{Mji}$  et  $k_{LCi}$  les taux figurant pour l'énergie « i » dans l'avant dernière et la dernière colonne de ce tableau. Avec l'ensemble des conventions d'écriture précédentes on peut calculer le nombre de logements  $N_{18ji}$  par classe énergétique et par énergie au 1/1/2018 :

$$N_{18ji} = N_{13ji} \times t_{18i} / t_{13i} + \Delta N_j \times (t_{Mji} \times k_{Mji} + t_{LCj} \times k_{LCi})$$

où :

- $N_{13ji}$  : nombre de logements par classe énergétique et par énergie au 1/1/2013 donné par le tableau de la figure 1.14
- $t_{18i}$  et  $t_{13i}$  : part de chaque énergie en 2018 et en 2013 donnée par la figure 1.11
- $\Delta N_j$  : croissance du nombre de logements de la classe énergétique « j » entre [2013-2017] fournie par l'avant dernière colonne du tableau de la figure 1.10
- $t_{Mji}$  : part des maisons individuelles dans l'ensemble des logements de classe « j » construits entre [2013 et 2018] : c'est le rapport des éléments de la colonne 2 à ceux de la colonne 1 dans le tableau de la figure 1.9
- $t_{LCj}$  : part des logements collectifs dans l'ensemble des logements de classe « j » construits entre [2013 et 2018] : c'est le rapport des éléments de la colonne 3 à ceux de la colonne 1 dans le tableau de la figure 1.9
- $k_{Mji}$  et  $k_{LCi}$  : éléments de l'avant dernière et de la dernière colonne du tableau de la figure 1.15

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres	Total logements
A	205 969	168 940	8 896	69 436	35 694	488 936
B	327 580	749 787	42 210	148 267	171 173	1 439 016
C	633 265	2 074 174	223 942	392 745	102 834	3 426 960
D	1 890 619	2 909 415	527 412	1 028 425	419 781	6 775 652
E	2 662 863	2 713 001	729 942	1 636 155	540 514	8 282 476
F	1 559 796	1 105 962	576 797	955 383	67 698	4 265 636
G	1 832 934	1 010 454	400 944	1 026 387	34 605	4 305 324
Total	9 113 027	10 731 733	2 510 142	5 256 798	1 372 300	28 984 000

**Figure 1.16 : Nombre de logements  $N_{18ji}$  par classe énergétique et par énergie déduit de l'enquête Phébus+ au 1/1/2018 – Ancienne étiquette**

On notera qu'il existe de très petits écarts dans le nombre total de logements par classe énergétique par comparaison avec le tableau de la figure 1.10. Ils sont inévitables et dus aux arrondis et précisions sur les différents taux de structure.

## 2.1.2 Représentation à partir de l'étude CGDD/SDES de septembre 2020<sup>8</sup>

Le rapport de l'étude en référence fournit uniquement le nombre de logements par classe énergétique. Il n'y a aucune information dans le domaine public sur la répartition des différentes énergie par classe énergétique. En conséquence, nous avons utilisé la structure apparaissant dans le tableau de la figure 1.16 et l'avons appliquée aux nombres de logements par classe énergétique de l'étude CGDD/SDES. Les deux études diffèrent essentiellement par le nombre de logements dans les classes E à G, mais probablement peu par la structure des énergies principales de chauffage. Mais le nombre de logements au 1/1/2018 auquel arrive cette étude est un peu différent de celui fournit aujourd'hui par l'INSEE. Donc nous avons appliqué un prorata de correction pour que les deux « échantillons » (Phébus+ et CGDD/SDES) aient le même nombre de logements. Ces ajustements conduisent à de petites différences mineures sur le nombre de logements par classe énergétique comme le montre la comparaison des deux dernières colonnes du tableau de la figure 1.17 :

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	Autres	Total apres correction	CGDD/SDES origine
A	240 013	164 655	10 148	81 378	35 168	531 362	520 000
B	341 706	654 157	43 100	155 549	150 971	1 345 484	1 370 000
C	1 044 941	2 862 593	361 713	651 786	143 472	5 064 505	5 161 000
D	2 993 378	3 852 753	817 393	1 637 638	561 957	9 863 119	9 791 000
E	2 463 393	2 099 147	660 993	1 522 290	422 780	7 168 603	6 993 000
F	1 232 401	730 857	446 098	759 188	45 226	3 213 769	3 076 000
G	797 195	367 572	170 697	448 969	12 726	1 797 159	1 709 000
Total	9 113 027	10 731 733	2 510 142	5 256 798	1 372 300	28 984 000	28 620 000

*Figure 1.17 : Nombre de logements par classe énergétique et par énergie déduit de l'étude CGDD/SDES au 1/1/2018 – Ancienne étiquette*

## 2.2 Traitement du passage de l'ancienne à la nouvelle étiquette

### 2.2.1 Nombre de logements par classe énergétique et par énergie avec la nouvelle étiquette

L'état des lieux établi avec le DPE jusqu'à présent l'a été avec l'étiquette en vigueur jusqu'au 30/6/2021. La nouvelle étiquette va désormais servir au pilotage de la stratégie de rénovation puisque la plupart des éléments législatifs (Loi Climat et Résilience, etc) s'appuient sur les différentes classes énergétiques de la nouvelle étiquette. Il convient donc en premier lieu de convertir les nombres de logements de chacune des classes énergétiques des tableaux des figures 1.16 et 1.17 pour tenir compte de ce changement.

L'ancienne étiquette ne comportait que les usages chauffage, production ECS et rafraîchissement. On a considéré que la valeur moyenne représentative de chaque classe énergétique était égale à la moyenne des bornes basse et haute, sauf pour les classes A et G où la valeur adoptée est celle de la borne haute pour la classe A (50 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an) et de la borne basse pour la classe G (450 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an. À ces trois usages on rajoute la consommation estimée de l'éclairage et des auxiliaires de chauffage et de ventilation. Les campagnes de mesures permettent d'avoir une bonne idée de leurs valeurs qui ne sont évidemment pas les mêmes pour les logements de classe A et ceux de classe G. On dispose alors de la consommation d'énergie primaire qu'auraient les classes énergétiques de l'ancienne étiquette pour les cinq usages de la nouvelle. Il ne reste plus qu'à déterminer, en fonction des consommations des différentes

<sup>8</sup> « Le parc de logements par classe de consommation énergétique » - CGDD – Septembre 2020

énergies nécessaires pour le chauffage, la production d'ECS, le rafraîchissement (supposé négligeable pour l'instant), l'éclairage et les auxiliaires, quelles sont les émissions de GES. Il suffit alors de comparer ces deux valeurs (énergie primaire, émissions de GES) aux valeurs seuils de la nouvelle étiquette ce qui permet de définir ce que deviennent les logements des anciennes classes énergétiques dans la nouvelle étiquette.

Classes Ancienne étiquette	Energie primaire [kWh/m²Shab/an]			EGES ancienne étiquette pour 5 usages [kgCO2/m²Shab/an]				
	Conso moy 3u	Conso éclairage+aux	Consommation "5 usages" Ancienne étiquette	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres
A	50	15	65	2,71	12,34	17,19	2,34	9,64
B	70	15	85	3,39	16,88	23,67	2,88	13,1
C	120	20	140	5,44	28,56	40,2	4,56	22,08
D	190	20	210	7,85	44,45	62,88	6,45	34,19
E	280	25	305	11,27	65,21	92,37	9,21	50,09
F	390	25	415	15,05	90,18	128,01	12,18	69,12
G	450	30	480	17,44	104,13	147,78	14,13	79,83

**Figure 1.18 : Calcul de l'énergie primaire et des EGES des classes de l'ancienne étiquette pour les 5 usages de la nouvelle étiquette**

D'où le tableau de correspondance entre les classes énergétiques de l'ancienne et de la nouvelle étiquette :

Ancienne étiquette	Nouvelle étiquette				
	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres
A	A	C	C	A	B
B	B	C	C	B	C
C	C	C	D	C	C
D	D	D	E	D	D
E	E	E	F	E	E
F	F	F	G	F	F
G	G	G	G	G	G

**Figure 1.19 : Correspondance entre les classes énergétiques de l'ancienne et de la nouvelle étiquette**

On peut maintenant établir le nombre de logements par classe énergétique et par énergie, selon les critères de la nouvelle étiquette, pour les descriptions du parc de logements définies par l'enquête Phébus d'une part et par l'étude CGDD/SDES (transformation des tableaux des figures 1.16 et 1.17) :

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	Autres	Total
A	205 969	0	0	69 436	0	275 405
B	327 580	0	0	148 267	35 694	511 540
C	633 265	2 992 901	51 106	392 745	274 007	4 344 025
D	1 890 619	2 909 415	223 942	1 028 425	419 781	6 472 182
E	2 662 863	2 713 001	527 412	1 636 155	540 514	8 079 946
F	1 559 796	1 105 962	729 942	955 383	67 698	4 418 782
G	1 832 934	1 010 454	977 740	1 026 387	34 605	4 882 120
Total :	9 113 027	10 731 733	2 510 142	5 256 798	1 372 300	28 984 000

**Figure 1.20 : Nombre de logements par classe énergétique et par énergie déduit de l'enquête Phébus+ au 1/1/2018 Nouvelle étiquette**

Classes	Elec	Gaz	Fioul	Bois	Autres	Total
A	240 013	0	0	81 378	0	321 392
B	341 706	0	0	155 549	35 168	532 423
C	1 044 941	3 681 405	53 248	651 786	294 443	5 725 823
D	2 993 378	3 852 753	361 713	1 637 638	561 957	9 407 439
E	2 463 393	2 099 147	817 393	1 522 290	422 780	7 325 003
F	1 232 401	730 857	660 993	759 188	45 226	3 428 664
G	797 195	367 572	616 795	448 969	12 726	2 243 257
Total :	9 113 027	10 731 733	2 510 142	5 256 798	1 372 300	28 984 000

**Figure 1.21 : Nombre de logements par classe énergétique et par énergie déduit de l'étude CGDD/SDES au 1/1/2018 – Nouvelle étiquette**

Dans l'étude, les tableaux de répartition des figures 1.16 et 1.17 (Structure avec ancienne étiquette selon Phébus et selon CGDD/SDES) seront utilisés pour déterminer, à partir des DPE, la consommation du parc au 1/1/2018, mais les tableaux des figures 1.20 et 1.21 seront utilisés pour l'analyse de l'évolution future.

### **2.2.2 Consommations d'énergie et émissions de GES caractéristiques des classes énergétiques de la nouvelle étiquette au 1/1/2018**

Lorsqu'un logement chauffé au gaz, en classe A avec l'ancienne étiquette, passe en classe C de la nouvelle étiquette (à cause du niveau de ses EGES), sa consommation d'énergie reste caractérisée par l'ancienne étiquette, à savoir moins de 50 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an, et elle ne peut pas être caractérisée par la valeur moyenne des bornes haute et basse de la classe C (déduction faite de l'éclairage et des auxiliaires) de la nouvelle étiquette. Il est donc nécessaire lors de chaque transfert de logements d'une classe énergétique de l'ancienne étiquette à une classe de la nouvelle étiquette, de déterminer quelle est la consommation caractéristique de ce transfert qui constituera à ce moment-là (1/1/2018) la consommation caractéristique de la classe énergétique de la nouvelle étiquette. Autrement dit, les consommations énergétiques caractéristiques des classes de la nouvelle étiquette doivent être déterminées, au départ, au moyen des consommations moyennes de chaque classe énergétique de l'ancienne étiquette et du nombre de logements impliqués dans le transfert, pour chaque énergie. Par la suite, la consommation moyenne de chaque classe de la nouvelle étiquette évoluera en fonction des constructions neuves et des rénovations. **Tout le paragraphe qui suit ne concerne donc les caractéristiques des nouvelles classes énergétiques qu'au moment du passage de l'ancienne à la nouvelle étiquette.**

Dans les déterminants de la consommation existante, il a bien sûr le niveau de la consommation d'énergie fixé par la classe énergétique dans laquelle se trouvent les logements, mais il y a aussi, comme on le verra au § 2.3.3.3, des coefficients de pondération propres à chaque classe énergétique. L'ensemble doit faire partie de l'opération lors du transfert vers les classes de la nouvelle étiquette.

#### **2.2.2.1 L'énergie primaire des nouvelles classes énergétiques**

Au moment de la migration de l'ancienne étiquette vers la nouvelle, l'énergie primaire spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette s'écrit :

$$epe_{2021\ k} = \sum_i epe_{2021\ k,i} \times t_{k,i}$$

où :

- $epe_{2021\ k}$  : Energie primaire spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021),
- $epe_{2021\ k,i}$  : Energie primaire spécifique moyenne de l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021),
- $t_{k,i}$  : taux de logements chauffés avec l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » (nouvelle étiquette). Ils se calculent à partir des valeurs figurant dans les tableaux des figures 1.20 et 1.21. Si les éléments de ces tableaux sont baptisés  $N_{ji}$ , on a alors simplement  $t_{k,i} = N_{ji}/N_{c\ k}$ .
- $N_{c\ k}$  : Nombre total de logements dans la classe énergétique « k ». Selon le modèle de parc utilisé,  $N_{c\ k}$  figure en dernière colonne des tableaux des figures 1.20 et 1.21.

Le terme  $epe_{2021\ k,i}$  vaut :

$$epe_{2021\ k,i} = (\sum_{j=1\ à\ 7} N_{k,j,i} \times epe_{2018\ j} \times f_j) / (\sum_{j=1\ à\ 7} N_{k,j,i})$$

où :

- $N_{k,j,i}$  : nombre de logements de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette, provenant de la classe énergétique « j » de l'ancienne étiquette, pour l'énergie « i ». Il s'agit des éléments des tableaux des figures 1.16 et 1.17.
- $epe_{2018\ j}$  = Energie primaire spécifique moyenne de la classe énergétique « j » de l'ancienne étiquette (définie par l'indice 2018),

Ancienne étiquette	A	B	C	D	E	F	G
EP moyen kWhEP/m <sup>2</sup> Shab/an	50	70	120	190	280	390	450

**Figure 1.22 : Consommation moyenne d'énergie primaire spécifique par classe énergétique ( $epe_{2018\ j}$ ) – Ancienne étiquette**

- $f_j$  : facteur de pondération de la consommation d'énergie de la classe énergétique « j »

Illustrons ce calcul, qui peut paraître compliqué, par un exemple. Dans le tableau de la figure 1.19, on veut calculer l'énergie primaire spécifique de la nouvelle classe C ( $epe_{2021\ 3}$ ) pour le parc décrit selon modèle CGDD/SDES :

Ancienne étiquette	Nouvelle étiquette				
	Elec	Gaz	Fioul	Bois	RCU+GPL +autres
A	A	C	C	A	B
B	B	C	C	B	C
C	C	C	D	C	C
D	D	D	E	D	D
E	E	E	F	E	E
F	F	F	G	F	F
G	G	G	G	G	G

Ce tableau montre que pour l'électricité, les logements qui sont en classe C sont ceux qui étaient déjà en classe C avec l'ancienne étiquette. Mais pour le gaz, les logements qui sont dans la nouvelle classe C sont ceux qui étaient avec l'ancienne étiquette dans les classes A, B et C.

L'énergie primaire spécifique moyenne des classes énergétiques A, B et C de l'ancienne étiquette vaut respectivement 50, 70 et 120 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an (pour chauffage et ECS, on néglige le rafraîchissement).

L'énergie primaire spécifique pondérée (coefficient de pondération en rouge, voir § 2.3.3.3) pour les différentes énergies vaut :

- électricité -  $epe_{2021\ 3,1} = (120 \times 1,056 \times 1\ 044\ 941) / 1\ 044\ 941$   
 $= 126,7\ kWh/m^2_{Shab/an}$

1,056 est le coefficient de pondération de la classe C.

- gaz -  $epe_{2021\ 3,2} = ((50 \times 164\ 655 \times 1,053 + 70 \times 654\ 157 \times 1,062 + 120 \times 2\ 862\ 593 \times 1,056) / 3\ 681\ 405 = 114,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$

- fioul -  $epe_{2021\ 3,3} = (50 \times 10\ 148 \times 1,053 + 70 \times 43\ 100 \times 1,062) / 53\ 248 = 70,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$

- bois -  $epe_{2021\ 3,4} = 120 \times 1,056 = 126,7 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$

- autres -  $epe_{2021\ 3,5} = (70 \times 150\ 971 \times 1,062 + 120 \times 143\ 472 \times 1,056) / 294\ 443 = 99,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$

Avec le taux de logements chauffés par chaque énergie dans le total des logements de la classe C de la nouvelle étiquette (calculé à partir de la figure 1.17 : 18,2 % pour l'électricité, 64,3% pour le gaz, 0,9% pour le fioul, 11,4 % pour le bois et 5,1 % pour les autres énergies), on obtient finalement la valeur de l'énergie primaire spécifique de la classe C de la nouvelle étiquette :

$epe_{2021\ 3} = 126,7 \times 0,182 + 114,1 \times 0,643 + 70,2 \times 0,009 + 126,7 \times 0,114 + 99,8 \times 0,051 = 116,7 \text{ kWh/m}^2_{\text{Shab}}/\text{an}$

Classes éner.g.	A	B	C	Sources			
epe <sub>2018</sub>	50	70	120	Tableau figure 1.22			
f pondération	1,053	1,062	1,056	Tableau figure 1.41			
f x epe <sub>2018</sub>	52,6	74,3	126,7				
Energie	Nombre de logements			Total logements	epe <sub>2021 3,j</sub>	t k,l calculé à partir tableau figure 1.21	epe <sub>2021 3</sub>
Electricité	0	0	1 044 941	1 044 941	126,7	0,182	23,1
Gaz	164 655	654 157	2 862 593	3 681 405	114,1	0,643	73,3
Fioul	10148	43100	0	53 248	70,2	0,009	0,7
Bois	0	0	651786	651 786	126,7	0,114	14,4
Autres	0	150971	143472	294 443	99,8	0,051	5,1
Source : tableau de la figure 1.17					<b>epe<sub>2021 3</sub></b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>/an]</b>	<b>116,7</b>

Figure 1.23: Processus de calcul de l'exemple précédent

Cette valeur de 116,7 kWh/m<sup>2</sup>/an est très différente de la moyenne des bornes haute et basse pondérée de la classe C (((180+110)/2 – 20) x 1,056 = 132 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an). On peut donc commettre une erreur importante en ne prenant pas le soin de recalculer pour chaque classe de la nouvelle étiquette la valeur de l'énergie primaire spécifique existant au moment du changement d'étiquette pour le chauffage et la production d'ECS.

Voici les valeurs obtenues sur l'ensemble des nouvelles classes énergétiques, pour le parc traité selon CGDD/SDES et selon Phébus+ :

Classes énergétiques nouvelle étiquette		A	B	C	D	E	F	G
Valeur moy [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an]		70	90	145	215	290	375	>420
Eclairage+Aux+rafraîchissement [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an]		15	15	20	20	25	25	30
Solde chauffage +ECS [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an]		55	75	125	195	265	350	>390
Avec parc selon Phébus+	Solde chauffage +ECS [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an] pondéré Phébus	58,6	80,7	133,7	196,6	255,6	319,7	>344,4
	Valeurs pondérées avec parc selon Phébus+ après migration de l'ancienne à la nouvelle étiquette	53,4	73,8	113,6	189,6	265,3	342,3	>393,3
Avec parc selon CGDD	Solde chauffage +ECS [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an] pondéré SDES	57,9	79,6	132,0	194,0	252,3	315,5	>339,9
	Valeurs pondérées avec parc selon CGDD/SDES après migration de l'ancienne à la nouvelle étiquette	52,6	72,9	116,7	186,7	258	335,1	>384,4

Figure 1.24 : Consommations d'énergie primaire spécifique chauffage+ECS obtenues par migration des classes de l'ancienne étiquette (lignes 5 et 7 du tableau) et par la valeur moyenne des seuils de classes de la nouvelle étiquette (ligne 3)

La troisième ligne du tableau de la figure 1.24 fournit la valeur moyenne des consommations d'énergie primaire spécifique pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire obtenue en faisant la moyenne des bornes hautes et basses de chaque classe après déduction des consommations de l'éclairage, des auxiliaires et du rafraîchissement (considéré comme négligeable). Ces valeurs doivent être ensuite pondérées (coefficients de pondération dans le tableau du § 2.3 .3.3) afin de pouvoir être comparées aux valeurs des consommations issues de la migration de l'ancienne vers la nouvelle étiquette (méthode de calcul présentée ci-dessus).

Les lignes 4 et 5 (couleur bleue) du tableau de la figure 1 .24 fournissent, pour le modèle de parc selon Phébus+, les valeurs qui seraient celles issues des seuils pondérés de la nouvelle étiquette (ligne 4) et celles issues de la migration des logements de l'ancienne vers la nouvelle étiquette. Les lignes 6 et 7 (rouge), correspondent à la description du parc selon CGDD/SDES.

On observe que, quel que soit le modèle de représentation du parc de logements (Phébus+ ou CGDD/SDES), la consommation réelle est toujours inférieure à la consommation obtenue par moyenne des bornes de chaque classe énergétique pour les classes A à D, mais elle est au contraire plus importante, et dans certains cas de façon très marquée, pour les classes E à G. Pour les logements en classe G l'écart est même considérable. Comme les nombres de logements dans les classes E à G sont très élevés, mais aussi très différenciés selon le modèle de représentation du parc, il est à prévoir que cette correction importante conduira à augmenter significativement la consommation totale d'énergie primaire du parc de logements au moment du changement d'étiquette par comparaison à une absence de correction, et cette augmentation sera plus forte avec le modèle de parc selon Phébus+ dans lequel le poids des logements de classes F et G est beaucoup plus important que dans le modèle CGDD/SDES. Mais comme ce sont en priorité les classes F et G qui seront rénovées, on peut aussi prévoir que cette correction va augmenter les économies d'énergie qu'il est possible de réaliser. Ceci est la conséquence des modifications importantes apportées dans la nouvelle étiquette aux valeurs seuils des classes F et G qui ont été sensiblement abaissées, à vrai dire sans grande justification.

### **2.2.2.2 L'énergie finale des nouvelles classes énergétiques**

L'énergie finale spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette se déduit du calcul de l'énergie primaire et s'écrit :

$$efe_{2021\ k} = \sum_i (epe_{2021\ k,i} / Fep_i \times t_{k,i})$$

où :

- $efe_{2021\ k}$  : énergie finale spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021),
- $epe_{2021\ k,i}$  : énergie primaire spécifique moyenne de l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) calculée au § précédent,
- $t_{k,i}$ ,  $Nc_k$  : mêmes définitions qu'au paragraphe précédent.
- $Fep_i$  : facteur d'énergie primaire de l'énergie « i ». En pratique, seule l'électricité a un  $Fep$  différent de 1 (qui est paramétrable dans la présente étude).

Voici les valeurs de l'énergie finale spécifique moyenne pondérées de chaque classe énergétique de la nouvelle étiquette obtenues pour les deux modèles de représentation de parc, et pour une valeur de Fep de l'électricité de 2,58 :

Classes énergétiques nouvelle étiquette	A	B	C	D	E	F	G
Valeurs avec parc selon Phébus+	28,9	44,3	102,2	155,3	210,7	265,2	301,8
Valeurs avec parc selon CGDD/SDES	28,6	43,7	102,5	149,8	203,1	257,7	299,1

En kWh/m<sup>2</sup>/an

**Figure 1.25 : Consommations d'énergie finale spécifique chauffage+ECS (efe<sub>2021</sub>) de la nouvelle étiquette déterminées par migration des classes de l'ancienne étiquette en fonction du modèle de représentation de parc**

### 2.2.2.3 Les émissions de GES des nouvelles classes énergétiques

Les émissions de GES spécifiques moyennes de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette se déduisent des valeurs d'énergie finale spécifique de chaque énergie. Mais il faut toutefois distinguer la partie de l'énergie finale contribuant au chauffage de celle contribuant à la production d'ECS car, essentiellement pour l'électricité, le contenu carbone du kWh n'est pas le même pour les deux fonctions. En généralisant, l'écriture est donc la suivante :

$$egese_{2021\ k} = \sum_i ( ((epe_{2021\ k,i} / Fep_i - ef_{ecs\ i}) \times cco_{2\ i\ ch} + ef_{ecs\ i} \times cco_{2\ i\ ecs} ) \times t_{k,i} )$$

où :

- $egese_{2021\ k}$  : émissions de GES spécifiques moyennes de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021),
- $epe_{2021\ k,i}$  : énergie primaire spécifique moyenne de l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) calculée au § 2.2.2.1,
- $ef_{ecs\ i}$  : énergie finale associée à la production d'eau chaude sanitaire avec l'énergie i. En pratique cette distinction entre ECS et chauffage n'existe que pour l'électricité. Pour celle-ci, la valeur de  $ef_{ecs}$  est de 7 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les classes A et B (on suppose que les logements sont alors équipés de chauffe-eau thermodynamiques) et de 17,5 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les autres logements (ballons classiques).
- $t_{k,i}$ ,  $Fep_i$  : mêmes définitions qu'au paragraphe précédent.
- $cco_{2\ i\ ch}$  : contenu CO<sub>2eq</sub> du kWh chauffage pour l'énergie « i » (électricité : énergie indice 1)
- $cco_{2\ i\ ecs}$  : contenu CO<sub>2eq</sub> du kWh ECS pour l'énergie « i »
- pour les énergies autres que l'électricité,  $cco_{2\ i\ ch} = cco_{2\ i\ ecs}$

Voici les valeurs des émissions spécifiques moyennes de chaque classe énergétique de la nouvelle étiquette (au moment du transfert de l'ancienne vers la nouvelle étiquette) obtenues pour les deux modèles de représentation de parc, avec les valeurs de contenu carbone de l'ancien DPE et une valeur de Fep de l'électricité de 2,58 :

Classes énergétiques nouvelle étiquette	A	B	C	D	E	F	G
Valeurs avec parc selon Phébus+	2,2	3,7	20,3	27,3	34,3	44,1	52,8
Valeurs avec parc selon CGDD/SDES	2,2	3,6	19,6	25,4	33	42,7	55,3

En kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an

**Figure 1.26 : Emissions de GES spécifiques chauffage+ECS (eges<sub>2021</sub>) de la nouvelle étiquette déterminées par migration des classes de l'ancienne étiquette en fonction du modèle de représentation de parc**

## 2.3 Reconstitution des consommations d'énergie et des émissions de GES au 1/1/2018

**Remarque préalable :** la reconstitution des consommations et des émissions au 1/1/2018 s'appuie sur les caractéristiques des différentes classes énergétiques. Tous les diagnostics ont été conduits avec l'ancienne étiquette. Il est donc légitime d'utiliser les caractéristiques de celle-ci dans les évaluations. Mais on pourrait aussi procéder avec la nouvelle étiquette, à condition d'utiliser les résultats du paragraphe précédent, les deux démarches devant conduire à des résultats très proches. Les caractéristiques de l'ancienne étiquette sont indicées « 2018 » et celle de la nouvelle « 2021 ».

### 2.3.1 Formulation générale

#### 2.3.1.1 L'énergie primaire

L'information de base affichée par l'appartenance d'un logement à une classe énergétique est la consommation d'énergie primaire. À partir d'elle on pourra déduire l'énergie finale et les émissions de GES, à condition de reprendre les mêmes coefficients de conversion que le diagnostiqueur puisque celui-ci est parti de la consommation d'énergie finale qu'il a calculée. Dans ce qui suit la référence est l'ancienne étiquette.

La formulation générale est la suivante :

$$EP_{2018} = S_{2018} \times (\sum_j epe_{2018 j} \times Nc_j \times f_j) - C_{EP} \quad [1]$$

où :

- $EP_{2018}$  : énergie primaire consommée par les 3 usages conventionnels dans l'année 2017 (état au 1/1/2018),
- $S_{2018}$  : surface habitable moyenne d'un logement du parc au 1/1/2018. Elle sera déterminée au § 2.3.2 de la présente annexe.
- $epe_{2018 j}$  : énergie primaire spécifique moyenne caractérisant la classe énergétique « j » de l'ancienne étiquette (indice 2018) – Voir tableau de la figure 1.22.
- $Nc_j$  : nombre de logements dans la classe énergétique « j ». Selon le modèle de parc utilisé  $Nc_j$  figure en dernière colonne des tableaux des figures 1.16 et 1.17.
- $f_j$  : facteurs de pondération des consommations et des émissions de la classe énergétique « j ». Ils seront déterminés au § 2.3.3.3 de la présente annexe.
- $C_{EP}$  : correction globale de consommation d'énergie primaire à appliquer (si elle existe) au 1/1/2018. Ce point sera examiné au § 2.3.4 de la présente annexe.

#### 2.3.1.2 L'énergie finale

De la même manière l'expression de l'énergie finale au 1/1/2018 s'écrit :

$$EF_{2018} = S_{2018} \times (\sum_j epe_{2018 j} \times Nc_j \times f_j \times \sum_i (t_{ji} / Fep_i)) - C_{EF} \quad [2]$$

où :

- $EF_{2018}$  : énergie finale consommée par les 3 usages conventionnels dans l'année 2017
- $S_{2018}$ ,  $epe_{2018 j}$ ,  $Nc_j$ ,  $Fep_i$  et  $f_j$  ont la même définition que précédemment
- $t_{ji}$  : taux de logements chauffés avec l'énergie « i » dans la classe énergétique « j ». Ils se calculent à partir des valeurs figurant dans les tableaux des figures 1.16 et 1.17. Les éléments de ces tableaux sont baptisés  $N_{ji}$ . On a alors simplement  $t_{ji} = N_{ji} / Nc_j$ .

-  $C_{EF}$  : correction globale de consommation d'énergie finale à appliquer au 1/1/2018 (si elle existe). Ce point sera examiné au § 2.3.4 de la présente annexe.

### 2.3.1.3 Les émissions de GES

Les émissions de GES au 1/1/2018 se déduisent directement des consommations d'énergie finale, mais elles nécessitent, dans le cas spécifique de l'électricité, de distinguer les usages chauffage et ECS (le refroidissement est encore négligeable en 2017 dans le parc de logements) :

$$EGES_{2018} = S_{2018} \times (\sum_j (\sum_i eges_{ji} \times t_{ji}) \times N_j \times f_j) - C_{EGES} \quad [3]$$

Aux définitions précédentes s'ajoutent :

-  $EGES_{2018}$  : émissions de GES des 3 usages conventionnels dans l'année 2017

-  $eges_{ji}$  : émissions de GES de l'énergie « i » associée au niveau moyen d'énergie primaire de la classe énergétique « j ». Le calcul se conduit différemment pour l'électricité et pour les autres énergies :

■ Electricité (indice  $i=1$ ) : pour la classe énergétique « j », l'émission de GES spécifique de l'électricité vaut :

$$eges_{j1} = (ep_{j1} / Fep_1 - ef_{ecs}) \times cco_{2.1ch} + ef_{ecs} \times cco_{2.1ecs} \quad [kgCO_2/m^2_{Shab}/an]$$

où :

-  $Fep_1$  : coefficient d'énergie primaire de l'électricité

-  $ef_{ecs}$  : Consommation spécifique d'énergie finale pour l'eau chaude électrique. Voir §

2.2.3.

-  $cco_{2.1ch}$  : contenu  $CO_{2eq}$  du kWh chauffage électrique (énergie indice 1)

-  $cco_{2.1ecs}$  : contenu  $CO_{2eq}$  du kWh ECS électrique

■ Autres énergies (indice « i » autre que 1) : pour les autres énergies il n'y a pas de distinction entre le chauffage et la production ECS, si bien qu'on a simplement :

$$eges_{ji} = ep_j / Fep_i \times cco_{2i}$$

où, pour l'énergie « i »,  $Fep_i$  est le coefficient d'énergie primaire (qui vaut 1 par convention) et  $cco_{2i}$  le contenu  $CO_{2eq}$  du kWh d'énergie finale (pas de différence entre chauffage et ECS).

-  $C_{EGES}$  : correction globale des émissions de GES à appliquer au 1/1/2018 (si elle existe). Ce point sera examiné au § 2.3.4 de la présente annexe.

### 2.3.2 Détermination de la surface habitable

L'évolution de la surface habitable du parc bâti est une donnée essentielle pour analyser les transformations de la consommation de chauffage de ce parc. Mais curieusement, c'est la recherche de cette information d'apparence très simple qui pose aujourd'hui le plus de problèmes et peut-être surtout, le plus d'interrogations.

Les principaux organismes concernés (INSEE, SDES) publient régulièrement des informations sur « la surface moyenne des logements » et la première difficulté rencontrée tient au fait que les documents publiés ne précisent pas toujours le « périmètre » pris en compte pour le calcul statistique. On trouve par exemple des données relatives :

- à la France entière (France métropolitaine +DOM) avec ou sans Mayotte

- à la seule France métropolitaine,

- sans aucune précision sur le périmètre géographique,

- aux résidences principales seules (sans que le périmètre géographique soit souvent précisé), où à tous logements (sans que ceci soit bien souvent indiqué), aux maisons individuelles et aux logements collectifs (sans qu'on sache s'il s'agit seulement des résidences principales, ou aussi des résidences secondaires), voire même aux « logements ordinaires » (ce sont tous les logements à l'exception des résidences pour personnes âgées, des foyers, etc).

- sur certains documents on peut même lire que le terme « logements collectifs » inclut les « résidences »,

- certaines statistiques sont données au 1er janvier de l'année, d'autres au 1er juillet.

Un progrès certain consisterait à ce qu'à l'avenir ce périmètre soit indiqué de manière exhaustive, précise, avec des termes eux-mêmes parfaitement définis.

Mais la nature des surfaces évaluées n'est jamais précisée. Pourtant les professionnels du bâtiment distinguent la Shon (Surface hors œuvre nette), la Shon RT, la Shab (surface habitable), la surface utile, voire la surface chauffée, la surface de plancher et bien d'autres encore. Ne serait-ce qu'entre la Shon et la Shab il existe un écart de 10%. Il apparaît donc pertinent de se demander quelle est la nature des surfaces figurant dans les statistiques de l'INSEE. La seule référence trouvée sur ce sujet figure en p.16 du « Compte du logement 2014 » publié par le CGDD :

#### Shon – Surface plancher

Suite à l'ordonnance n° 2011-1539, à partir du 1<sup>er</sup> mars 2012 la « surface de plancher » est l'unique référence pour l'application de l'ensemble des règles d'urbanisme. La mesure de la surface plancher pour un logement ou un permis diffère de l'ancienne mesure en Shon (surface hors œuvre nette) et induit une rupture dans les séries établies à partir de la base Sit@del2. Afin de reconstruire des séries homogènes (en surface de plancher), des coefficients ont été appliqués aux permis anciens, permettant de traduire une Shon en surface plancher, et ce en fonction de leur date de dépôt (antérieure ou postérieure à la date d'application de la nouvelle norme de surface). Les dates de dépôts ne correspondant pas à la date réelle d'autorisation, la déformation est étalée sur l'ensemble des permis autorisés en 2012. Le *graphique R2.4* montre le résultat de cette rétropolation par type de logement.

On apprend que jusqu'en 2012 les surfaces étaient de la Shon, mais qu'à partir de 2013 elles ont été remplacées par de la surface de plancher (sans que ces distinctions apparaissent une seule fois dans les très nombreuses statistiques consultées). La surface de plancher correspond à la somme des surfaces de tous les niveaux construits, clos et couvert, **dont la hauteur de plafond est supérieure à 1,80 m.**

Elle se mesure au nu intérieur des murs de façades de la construction : elle ne prend ainsi pas en compte l'épaisseur des murs extérieurs, porteurs ou non, et quel que soit le matériau dont ils sont constitués (brique, verre, pierre,...). L'épaisseur des matériaux isolants doit également être déduite.

Rappelons que la surface de plancher s'obtient après déduction des surfaces suivantes :

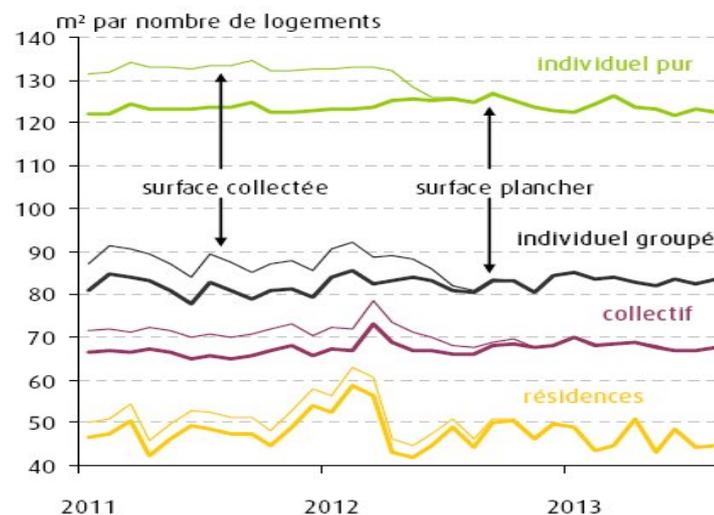
- Surfaces correspondant à l'épaisseur des murs entourant les embrasures des portes et fenêtres donnant sur l'extérieur
- Vides et trémies (qui correspondent aux escaliers et ascenseurs)
- Surfaces de plancher d'une hauteur sous plafond inférieure ou égale à 1,80 m
- Surfaces de plancher aménagées pour le stationnement des véhicules motorisés ou non, y compris les rampes d'accès et les aires de manœuvres
- Surfaces de plancher des combles non aménageables pour l'habitation ou pour des activités à caractère professionnel, artisanal, industriel ou commercial (par exemple,

des combles avec un encombrement de la charpente important ou un plancher qui ne peut pas supporter des charges)

La surface de plancher est un peu plus importante que la surface habitable puisque celle-ci est la surface de plancher construite, après déduction des surfaces occupées par les murs, cloisons, marches et cages d'escalier, gaines, ébrasements de portes et de fenêtres (pour voir les différences entre les types de surfaces, consulter : <https://perie-archi.fr/comparatif-calcul-surfaces-reglementaires/>).

Cette distinction est importante puisque la référence du DPE et de la RE 2020 est la surface habitable.... **Il s'ensuit que toutes les « surfaces » publiées pour caractériser le parc bâti ne sont pas utilisables dans la prospective énergétique sans une tentative de correction.** Au demeurant, certains services ont amorcé des corrections pour passer de la Shon à la surface de plancher, comme en témoigne cet extrait du « Compte du logement 2014 », p.17, publié par le SDES :

#### R2.4 Rétropolation des surfaces plancher



Champ : logements terminés en France.

Source : CSL2013 d'après SOeS-Sit@del2 base au 30/09/13

Figure 1.26 : Rétropolation des surfaces de plancher avec un coefficient de 0,925

Tous les documents publiés avant 2012 incluent donc des surfaces exprimées en Shon qu'il faudrait donc transformer en Shab en les multipliant par un coefficient moyen de 0,90. Ceci correspond à ce que l'on observe en général (mais avec des différences entre maisons individuelles et logements collectifs) et se trouve corroboré par les coefficients de correction adoptés par le SDES lors de la réropolation de la figure précédente pour passer de la Shon à la surface de plancher :  $S_{\text{plancher}}/\text{SHON} = 0,925$ . La Shab étant inférieure à la surface de plancher il est donc légitime d'adopter un coefficient inférieur, en moyenne, à ces valeurs. Ce sera  $\text{Shab}/\text{Shon} = 0,90$ .

Pour pouvoir évaluer la consommation des logements construits à partir de 1974 jusqu'à aujourd'hui, il faut connaître la surface habitable moyenne des logements neufs année par année. C'est à partir de cette information et de la consommation spécifique de chauffage (qui est exprimée en fonction de la surface habitable) que l'on pourra en déduire la consommation totale du parc récemment bâti (celui d'après 1974).

Les recherches effectuées font apparaître une très grande hétérogénéité dans les résultats comme en témoigne les différents extraits qui suivent :

**Entre 1996 et 2002, la surface moyenne des logements augmente pour les propriétaires et diminue pour les locataires**

Entre 1996 et 2002, la surface moyenne des logements habités par les propriétaires augmente assez nettement, passant de 103,9 m<sup>2</sup> en 1996 à 106,6 m<sup>2</sup> en 2002 alors que pendant le même temps, la surface des logements habités par les locataires baisse, passant de 69,2 m<sup>2</sup> à 67,2 m<sup>2</sup>. Ce recul de la surface des logements occupés par des locataires succède à une période de croissance continue entre 1984 et 1992, puis à une stabilisation entre 1992 et 1996 pour le parc locatif privé.

Les locataires habitent dans des logements plus petits, parce qu'ils habitent aussi plus souvent que par le passé dans des logements collectifs. En 2001, 67 % habitent dans des logements collectifs alors qu'ils étaient seulement 64 % cinq ans plus tôt. A ce choix d'un mode d'habitat différent, s'ajoute le fait que la taille moyenne tant de l'appartement loué que de la maison louée baisse (respectivement de -1,8 % et -1,1 %).

En revanche, la proportion de ménages propriétaires dans des logements collectifs reste stable, autour de 19 % sur toute la période.

**Tableau 2.20 : Surface des logements des résidences principales selon les filières**

Surface moyenne des logements en m <sup>2</sup> selon les filières						
	1984	1988	1992	1996	2001	2001/1996
<b>Locataire</b>	<b>67,3</b>	<b>68,1</b>	<b>68,7</b>	<b>69,2</b>	<b>67,7</b>	<b>-2,1 %</b>
privé	65,5	66,9	67,5	67,7	65,4	-3,5 %
social	70,1	70,0	70,5	71,1	70,8	-0,4 %
<b>Propriétaire</b>	<b>96,0</b>	<b>99,0</b>	<b>101,4</b>	<b>103,9</b>	<b>106,6</b>	<b>+2,5 %</b>
Accédant <sup>(1)</sup>	102,6	105,1	106,6	108,4	108,3	-0,1 %
non accédant <sup>(1)</sup>	90,1	93,4	97,4	100,8	105,5	+4,7 %
<b>Ensemble</b>	<b>82,0</b>	<b>84,8</b>	<b>86,4</b>	<b>88,1</b>	<b>89,6</b>	<b>+1,7 %</b>

Part des logements collectifs selon les filières						
	1984	1988	1992	1996	2001	Écarts 2001-1996
Locataire privé	64,4 %	62,8 %	63,2 %	64,4 %	67,3 %	-2,9 %
Propriétaire	18,9 %	18,8 %	18,9 %	19,1 %	19,2 %	+0,1 %

Source : Enquêtes logements 1984, 1988, 1992, 1996 et 2001.

Champ : Ensemble des résidences principales en métropole.

(1) Un propriétaire accédant est un propriétaire ayant un prêt en cours pour le financement de son logement.

Source : Compte du logement 2003 – p.48 – CDAT – Ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer

**Figure 1.27 : Surface moyenne du parc bâti de 1984 à 2001**

On ne dispose ici que de la surface moyenne de l'ensemble du parc. Mais on ne connaît pas la nature de la surface. S'agissant d'un document datant de 2003, on peut en conclure qu'il s'agit de Shon.

Le second document, extrait de « Les conditions du logement fin 2013 » - INSEE, affiche les mêmes valeurs que celui de la figure précédente alors qu'il a été publié en 2014 et aurait dû faire l'objet de rétrapolations. Il invite donc à la prudence dans l'utilisation des surfaces même pour des publications postérieures à 2012 :

Extrait du document "Les conditions du logement fin 2013" - INSEE -ref ip1546.xls							
Figure 3 complémentaire - Indicateurs de taille et d'occupation des logements, selon le type d'habitat							
	1984	1988	1992	1996	2001	2006	2013
<b>Par logement</b>							
<b>Surface moyenne en mètres carrés</b>	<b>82,0</b>	<b>84,8</b>	<b>86,4</b>	<b>88,1</b>	<b>89,6</b>	<b>91,2</b>	<b>90,9</b>
Individuel	96,4	100,0	102,5	105,4	108,1	111,1	112,2
Collectif	65,1	66,0	66,1	65,8	65,2	65,6	63,0

**Figure 1.28 : Surface moyenne du parc bâti de 1984 à 2013**

Le troisième document est tiré de l'enquête logement 2002 faite par l'Insee :

**Figure 3 - Proportion de logement individuels et surface moyenne des logements en 2002 selon la période de construction**

	Proportion de maisons individuelles (en %)	Surface moyenne des logements (en m <sup>2</sup> )		
		Individuel	Collectif	Ensemble
Jusqu'en 1948	64,8	107,5	60,5	91,0
de 1949 à 1974	41,3	102,8	68,3	82,6
de 1975 à 1981	60,4	112,9	68,3	95,3
de 1982 à 1992	66,0	110,9	64,8	95,3
de 1993 à 1996	57,6	113,2	59,9	90,6
de 1997 à 2001	62,2	114,4	60,5	94,0
<b>Ensemble</b>	<b>56,6</b>	<b>108,3</b>	<b>65,2</b>	<b>89,6</b>

Source : enquête Logement 2002, Insee.

Extrait de « Evolution sur 50 ans des conditions de logement » - Alain Jacquot - INSEE

**Figure 1.29 : Surface des logements par année de construction**

Ce document est cohérent avec les précédents (bien qu'il ne soit pas précisé s'il s'agit des seules résidences principales ou de tout le parc de logements) puisque la surface moyenne du parc vers 2001-2002 est la même. Il donne des indications sur les surfaces par année de construction. Compte tenu de la date de publication, il s'agit à nouveau de Shon.

En revanche, cet extrait du « Compte du logement 1998 » p.153 établi à la date du 1/1/1995 diffère totalement des valeurs affichées sur les figures 1.28 et 1.29 puisque la surface moyenne du parc (qui est de la Shon) est de 85,4 m<sup>2</sup> au lieu d'environ 88 :

**TABLEAU D2.2 - CARACTÉRISTIQUES DU PARC DE LOGEMENT AU 1<sup>ER</sup> JANVIER 1995**

	Surface moyenne par logement en m <sup>2</sup>		Age du parc en %			Répartition par type d'immeuble en %		Nombre moyen de pers. par logement
	Ensemble du parc	Nouveaux logements	avant 1945	1945-1970	1970 et après	Individuel	Collectif	
Allemagne								
Länder de l'Ouest	86,7	89,4	33	49	18	50	50	2,3
Länder de l'Est	64,4	94,9	n.d.	n.d.	n.d.	43	57	2,5
Autriche	85,3	97,0	30	32	38	63	37	2,4
Belgique	86,3	n.d.	50	33	17	73	27	2,5
Danemark	107,0	95,0	40	29	31	61	39	2,2
Espagne	85,3	91,9	22	34	44	37	63	3,2
Finlande	74,8	80,3	n.d.	n.d.	55	57	43	2,3
France	85,4	96,9	43	31	26	58	42	2,5
Italie	92,3	93,1	30	40	30	n.d.	n.d.	2,2
Pays-Bas	98,6	81,0	28	35	37	71	29	2,5
Royaume-Uni	79,7	76,0	48	32	20	81	19	2,4
Suède	92,0	71,3	28	42	30	46	54	2,1

Source : Statistiques sur le logement dans l'Union européenne.

Extrait du « Compte du logement 1998 » p.153

**Figure 1.30 : Surface moyenne des logements en France au 1/1/1995**

Le document potentiellement le plus intéressant est extrait du rapport sur « Les conditions de logement en France – Edition 2017 » - INSEE (p.97). Le tableau suivant affiche des surfaces beaucoup plus faibles.

## 2. Caractéristiques des logements par période de construction

	Nombre de pièces <sup>1</sup> (en %)						Ensemble	Nombre moyen de pièces	Surface moyenne (en m <sup>2</sup> )
	1	2	3	4	5	6 ou plus			
Avant 1949	12,3	20,5	26,4	20,0	11,5	9,4	100,0	3,3	81,5
De 1949 à 1974	7,4	12,5	26,4	30,7	15,9	7,0	100,0	3,6	76,0
De 1975 à 1998	10,4	14,4	19,2	27,4	19,0	9,6	100,0	3,6	84,0
De 1999 à 2013	6,7	16,7	23,7	28,4	16,7	7,8	100,0	3,6	87,3
<b>Ensemble des logements<sup>2</sup></b>	<b>9,9</b>	<b>16,5</b>	<b>24,2</b>	<b>25,8</b>	<b>15,1</b>	<b>8,5</b>	<b>100,0</b>	<b>3,5</b>	<b>81,3</b>

1. Pièces d'habitation, à l'exclusion des cuisines, salle de bain, douche, cabinet de toilette, etc.

2. Y compris les logements dont la période de construction est inconnue (2 % des logements).

Champ : France métropolitaine.

Lecture : 12,3 % des logements construits avant 1949 comptent une pièce d'habitation.

Source : SOeS-DGFIP, Filocom 2013.

Extrait de « Les conditions de logement en France - Edition 2017 » - INSEE

### Figure 1.31 : Surfaces habitables moyennes des logements du parc par année de construction

Il s'agit en effet de surfaces issues du fichier de logements par commune (Filocom) qui sont des surfaces habitables et diffèrent des surfaces de l'INSEE comme le précise cet extrait du document « Chiffres et statistiques n°343 – Août 2012 » du CGDD (p.6) :

Les concepts et les modes de collecte diffèrent de ceux en usage pour les recensements conduits par l'Insee, ce qui peut expliquer quelques différences de résultats avec la source recensement. Ainsi, le nombre de pièces dans le fichier Filocom exclut les cuisines alors qu'elles sont intégrées dans le recensement dès lors qu'elles sont de surface supérieure à 11 m<sup>2</sup>. De même, la surface des logements est différente de celle qui ressort de l'enquête nationale Logement menée par l'Insee. Dans cette dernière, les informations sur la surface, qui sont déclaratives, sont arrondies pour une majorité d'entre elles et ressortent supérieures à celle de Filocom en moyenne.

#### Définitions retenues des seuils de sur-occupation

Dans Filocom, la sur-occupation est définie par convention de la façon suivante :

- Sur-occupation lourde : surface < 9 n
- Sur-occupation légère : 9 n < surface < 16 + 11 (n-1)
- Où n est le nombre de personnes occupant le logement. la surface est la surface habitable exprimée en m<sup>2</sup>.

En revanche le document ne précise pas s'il s'agit des seules résidences principales ou de tout le parc de logements. **A la date de 2013, la surface habitable du parc de logements serait donc de 81,3 m<sup>2</sup>**, valeur très différente des 90,9 m<sup>2</sup> indiquée en figure 1.28 pour la même date. Le rapport des deux valeurs vaut 0,8944. C'est bien la valeur du rapport caractéristique entre la Shab et la Shon.

A ce stade de l'analyse, force est de constater que l'on ne dispose pas d'une source claire et sans ambiguïté fournissant l'information que l'on recherche : la surface habitable des logements. Et la frustration est d'autant plus grande si on considère qu'il serait nécessaire de disposer de l'évolution de la surface habitable du parc de logements depuis 1975 jusqu'à aujourd'hui afin de pouvoir évaluer la consommation d'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire sur cette période consécutive à la première réglementation thermique en France.

Nous avons donc tenté de reconstituer année par année, depuis 1975 jusqu'en 2018, la surface habitable des logements neufs qui, combinée au nombre de logements construits chaque année, a permis de déterminer l'évolution de la surface habitable totale du parc et donc aussi de la surface habitable moyenne d'un logement du parc. Cette information essentielle a permis ensuite, compte tenu des niveaux de consommation spécifique (rapportée à la surface habitable),

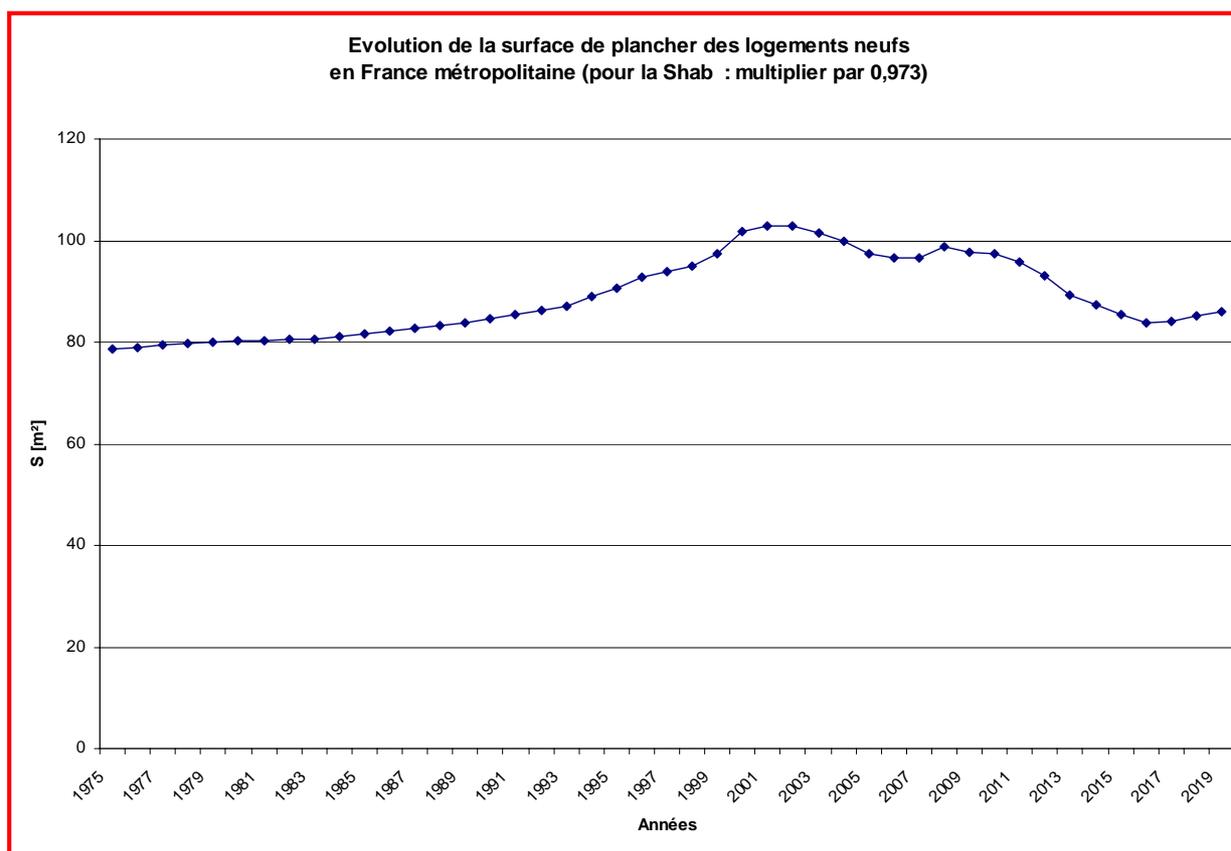
de déterminer la consommation nationale pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire année par année.

Le point de départ est la surface moyenne des résidences principales au 1/1/1975. Elle est obtenue à partir des deux premières valeurs de la colonne de droite du tableau de la figure 1.31 et du nombre de résidences principales à cette date construites avant 1949 et de 1949 à 1974. Ces données sont fournies par le recensement de 1999<sup>9</sup> :

Années de construction	<1915	1915-1948	1949-1967	1968-1974
Nombre résidences principales construites	4 938 100	2 885 850	4 421 781	3 435 842
Shab moyenne [m <sup>2</sup> ]	81,50		76,00	
Surface habitable moy des résidences principales au 1/1/1975 [m <sup>2</sup> ] :				78,74

**Figure 1.32 : Surface habitable moyenne des résidences principales au 1/1/1975**

La base de données Sitadel<sup>10</sup> rend disponible l'ensemble des permis de construire depuis 1994 jusqu'à 2018 en fournissant par type de logement la surface de plancher correspondante (le défaut est de ne pas pouvoir séparer les résidences principales et secondaires). La période entre 1975 et 1994 a été reconstruite de telle sorte à respecter la surface moyenne des constructions neuves dans cet intervalle (84,0 m<sup>2</sup> dans le tableau de la figure 1.31, et 84,07 m<sup>2</sup> dans la reconstitution) :



**Figure 1.33 : Surface de plancher moyenne des logements neufs par année**

<sup>9</sup> « Mars 1999 - Recensement de la population - tableaux références analyses » - INSEE – p.23

<sup>10</sup> <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/statistiques-sur-les-permis-de-construire-pc-permis-damenager-pa-et-declaration-prealable-dp-base-sitadel/>

Il est désormais possible de déterminer année par année la surface moyenne de plancher d'un logement du parc grâce à la connaissance du nombre annuel de logements neufs :

Années	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Surf logts neufs [m <sup>2</sup> plancher]	78,74	80,14	81,68	84,66	90,54	101,75	97,32	97,55	95,87	93,08	89,16	87,47	85,50	83,85	84,15	85,08
Surf moyenne parc [m <sup>2</sup> plancher]	78,74	78,82	78,99	79,31	79,94	81,19	82,79	83,78	83,93	84,06	84,13	84,18	84,21	84,22	84,24	84,26

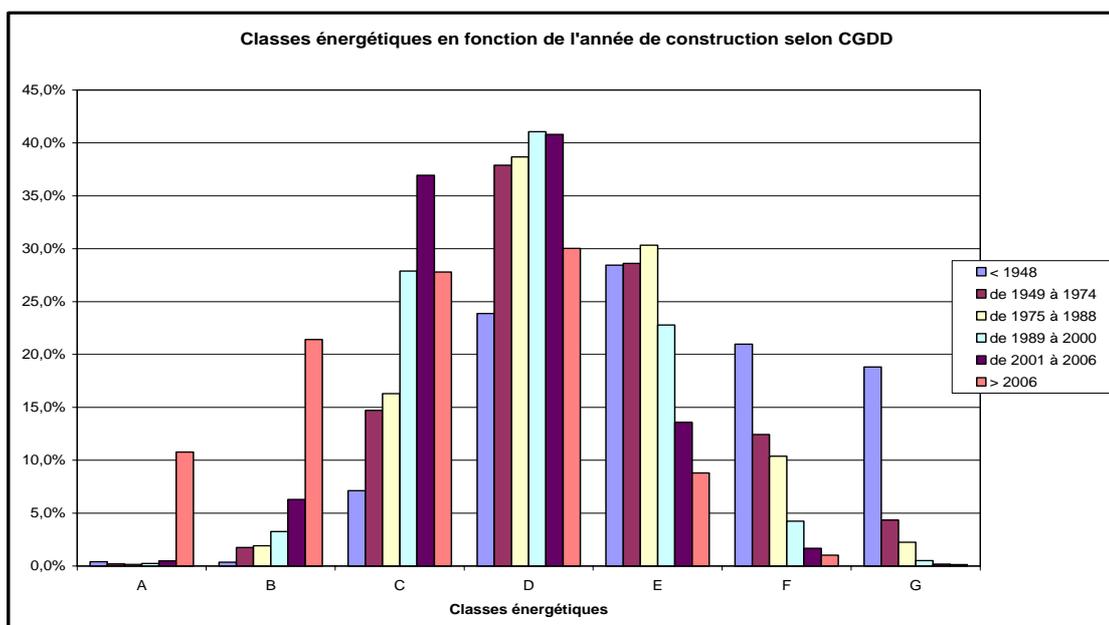
**Figure 1.34 : Surface de plancher moyenne des logements neufs par année et surface moyenne de plancher d'un logement du parc**

Au 1/1/2018, la surface moyenne de plancher est de 84,24 m<sup>2</sup>. On obtient la surface habitable en multipliant par le ratio 0,90/0,925 (= 0,973). La surface habitable moyenne d'une résidence principale au 1/1/2018 (valeur de l'année 2017) est donc de **81,96 m<sup>2</sup>**.

## 2.3.3 Les facteurs de pondération par classe énergétique

### 2.3.3.1 La taille des logements

L'étude CGDD/SDES<sup>11</sup> a pu établir un lien entre la classe énergétique des logements et leur année de construction (figures 1.35 et 1.36) :



**Figure 1.35 : Structure du parc de logements en fonction des différentes classes énergétiques (Source : CGDD)**

Classe	<49	49 à 74	75 à 88	89 à 00	01 à 06	> 06	Ensemble
A	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	85,0%	100,0%
B	1,4%	5,0%	5,6%	9,7%	17,2%	61,1%	100,0%
C	6,1%	8,2%	9,4%	23,0%	30,3%	23,0%	100,0%
D	11,3%	17,9%	18,4%	19,2%	19,1%	14,1%	100,0%
E	21,5%	21,5%	23,0%	17,5%	10,5%	6,0%	100,0%
F	43,0%	23,5%	20,0%	8,0%	3,5%	2,0%	100,0%
G	68,0%	17,0%	10,0%	3,5%	1,0%	0,5%	100,0%

En % Source : CGDD/SDES - Etude septembre 2020

**Figure 1.36 : Structure du parc de logements en fonction des différentes classes énergétiques (Source : CGDD)**

<sup>11</sup> « Le parc de logements par classe de consommation énergétique » - CGDD/SDES – Septembre 2020

En couplant ces informations avec la surface de plancher déterminé par année au paragraphe précédent il est possible de calculer la surface moyenne des logements de chaque classe énergétique.

Soit  $T_{j,a}$  les éléments du tableau de la figure 1.36 définissant le taux des logements de la classe « j » construits dans la période « a ». Soit  $S_a$  la surface moyenne de plancher des logements pendant la période de construction « a ». La surface moyenne de plancher  $S_j$  des logements de la classe énergétique « j » s'écrira simplement :

$$S_j = \sum_a T_{j,a} \times S_a \quad [4]$$

Les surfaces moyennes de plancher des logements neufs adoptées pour chaque période de construction ( $S_a$ ) sont les suivantes :

Années	<49	49 à 74	75 à 88	89 à 00	01 à 06	> 06
$S_a$ [m <sup>2</sup> ]	78,74	78,74	80,65	90,66	100,12	91,79

**Figure 1.37 : Structure moyenne de plancher des logements neufs par période de construction**

Les surfaces moyennes de plancher par classe énergétique valent donc :

Classe	Splancher [m <sup>2</sup> ]
A	90,89
B	91,65
C	91,14
D	87,30
E	84,29
F	81,08
G	79,63

**Figure 1.38 : Surface de plancher moyenne des logements par classe énergétique**

Chaque modèle de description du parc (Phébus+ ou CGDD/SDES) doit donc être associé à des coefficients de pondération pour chaque classe énergétique, contenu de la surface moyenne qui est la sienne, déterminée à partir du nombre de logements dans chaque classe énergétique, des périodes de construction des logements qui les composent et des surfaces moyennes par période de construction.

La surface de plancher moyenne d'un logement du parc vaut 85,22 m<sup>2</sup> pour Phébus+ et 86,34 m<sup>2</sup> pour CGDD/SDES, ce qui prouve bien qu'une correction est nécessaire pour que la surface moyenne soit de 84,26 m<sup>2</sup> comme défini au paragraphe précédent.

Ces coefficients de pondération sont, pour chaque classe énergétique, le rapport de la surface moyenne effective (figure 1.38) à la surface moyenne des logements du parc pour chacun des modèles de représentation de celui-ci :

	A	B	C	D	E	F	G
Phébus+	1,068	1,077	1,071	1,026	0,990	0,953	0,935
CGDD	1,053	1,062	1,056	1,011	0,976	0,939	0,922

**Figure 1.39 : Coefficients de pondération de surface par classe énergétique en fonction du modèle de parc (ancienne étiquette)**

Ces coefficients ont été établis pour les parcs décrits avec l'ancienne étiquette (voir tableaux des figures 1.16 et 1.17). Ils sont donc parfaitement adaptés à toute analyse du passé. Mais en toute rigueur il faudrait utiliser des coefficients recalculés avec la nouvelle étiquette pour les simulations sur les années futures. C'est en fait inutile car l'écart n'est que de 2 ou 3 pour mille.

### 2.3.3.2 La température intérieure

On peut se demander si la température de chauffage est la même quelle que soit la classe énergétique....

Voilà ce qu'on peut lire dans un récent article<sup>12</sup> : « *S'il existe un relatif consensus pour définir certaines variables comme déterminantes pour expliquer les températures dans les logements, des divergences apparaissent sur certains points.*

*Parmi les références bibliographiques examinées, un consensus existe pour dire que la date de construction du logement impacte le niveau de température. Ce dernier aurait tendance à être plus élevé dans les logements les plus récents ».*

Le même article précise encore que « *Plus la date de construction du logement est récente, plus la part des ménages qui se chauffent à plus de 19 °C est importante. C'est le cas pour 84 % des ménages qui chauffent leur séjour à plus de 19°C dans un logement construit après 1974. Ils sont respectivement 63 % et 57 % dans la cuisine et dans la chambre. Dans les logements construits entre 1949 et 1974, ils sont 73 % à se chauffer au-dessus de 19°C dans le séjour. Enfin, dans les logements construits avant 1949, ils sont respectivement 69 %, 44 % et 33 % à se chauffer à plus de 19°C dans le séjour, la chambre et la cuisine ».*

Si on examine le graphique de la figure 1.35 ou le tableau de la figure 1.36, on voit que les logements des classes E, F et G sont les plus anciens.

Il est délicat d'estimer avec précision l'impact de ces comportements. Mais il est certain que les logements des classes E à G, surtout F et G, sont un peu moins chauffés en moyenne que ceux des autres classes énergétiques.

On lit également dans ce document que « *La date de construction des logements est une variable explicative significative pour le séjour et la chambre. Dans la chambre, la température moyenne des ménages vivant dans un bâtiment construit entre 1949 et 1974 est supérieure d'environ 0,6°C à celle des bâtiments construits avant 1945. Cette température est supérieure de 0,95°C et 0,6°C respectivement dans les chambres et séjours des bâtiments construits après 1975 ».*

En d'autres termes, si on considère la température dans les locaux construits après 1975 comme « la norme », alors la température dans les logements construits entre 1949 et 1974 est inférieure de 0,6°C, et elle est inférieure à 0,95°C dans les logements construits avant 1949.

Que représente 1°C d'écart en moyenne en France ? En 2017, selon le SDES et météo France, il y a en moyenne 2 412 dju de base 20°C (qui est la température moyenne dans les logements). Baisser la température de 1°C réduit le nombre de degrés.jours de 178. En valeur relative, la baisse d'un degré conduit donc à une baisse de charge de 7,5 %.

Statistiquement, 68 % des logements en classe G datant d'avant 1974 ont donc une température inférieure de 0,95°C à la valeur moyenne, ce qui conduit à une baisse de charge de 7,0 % pour cette partie du parc. Mais il y a aussi 17% des logements datant de la période 1949-1974 dont la température est inférieure de 0,6°C à la valeur moyenne. Soit une baisse de charge d'environ 4,4%. On peut donc considérer que dans leur globalité les logements de la classe G sont affectés par une baisse de charge de 5,5% due à une température de chauffage moindre. Le même raisonnement appliqué aux logements des classes F, E et D conduit à des baisses de charge respectivement 4,0 %, 2,5% et 1,6%.

---

<sup>12</sup> « Les déterminants de la température de chauffage des logements : entre consensus et incertitudes » - La Revue du CGDD – Janvier 2015

Les coefficients de pondération de température valent donc :

Classes	A	B	C	D	E	F	G
Coefficient de pondération de température [%]	1	1	1	0,984	0,975	0,959	0,945

Figure 1.40 : Coefficients de pondération de température par classe énergétique

### 2.3.3.3 Coefficients de pondération globaux par classe énergétique

La combinaison des deux types de pondération analysés précédemment conduit à définir un coefficient unique de pondération en fonction du type de description du parc :

	A	B	C	D	E	F	G
Phébus+	1,068	1,077	1,071	1,009	0,966	0,914	0,884
CGDD	1,053	1,062	1,056	0,995	0,952	0,901	0,872

Figure 1.41 : Coefficients de pondération globaux par classe énergétique

### 2.3.4 Les facteurs de correction nécessaires

#### 2-3-4-1 La baisse du nombre de degrés.jours et l'augmentation des apports internes

Depuis la première réglementation thermique en 1974-75, le réchauffement climatique a déjà produit des effets très significatifs en matière de température hivernale en France métropolitaine. Si on continue à utiliser les degrés jours correspondants à des chroniques datant des années 70, il faut s'attendre à une surestimation des consommations relativement importantes. En l'occurrence, les DPE sur lesquels se construisent les bilans actuels utilisent une base de degrés jours relativement ancienne qui est une cause importante de la surévaluation des consommations actuelles.

La figure 1.42 représente l'évolution des degrés jours de base 17 entre 1970 et 2020 :

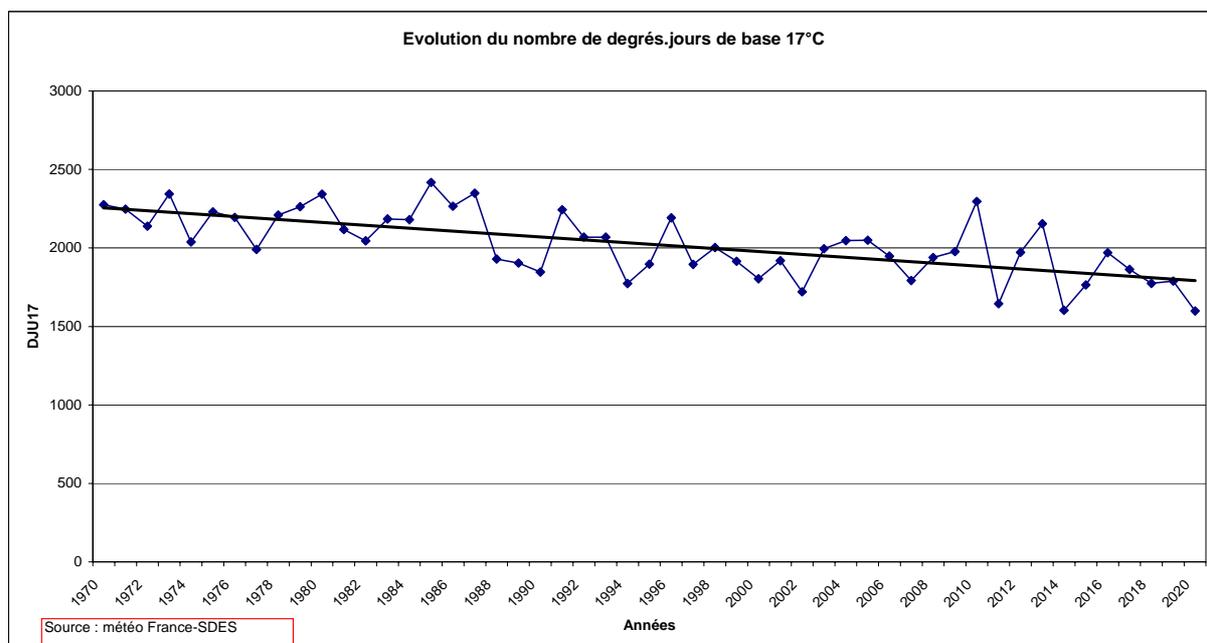


Figure 1.42 : Evolution du nombre de degrés.jours moyen de base 17 en France depuis 1970

Le nombre de degrés jours de base 17 en fonction de l'année peut s'approximer par la relation :

$$DJU_{17} = 2\,264,8 - 9,2891 \times (T - 1970) \quad [5]$$

où Test l'année calendaire.

Le second élément assez perturbateur à cause de sa profonde évolution depuis 1975 est constitué par les apports internes. Il s'agit des apports de chaleur à l'intérieur du logement dus aux apports humains (mais ceux-ci n'ont pas changé depuis 1975) et surtout aux apports électroménagers. Or la consommation électroménagère a pratiquement triplé durant les 50 dernières années, et l'essentiel de cette consommation finit en chaleur. Elle vient donc en déduction de la consommation de chauffage, même si seulement une fraction (importante) de cette chaleur est cédée au logement (en hiver).

En 1973 la consommation électrodomestique était de 13 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an<sup>13</sup>, alors qu'elle est aujourd'hui plutôt de 33 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an. Si on considère que la récupération de chaleur ne peut se faire que pendant la moitié de l'année (période de chauffage) et que le taux de récupération est de 70 %, les apports internes récupérés il y a 50 ans étaient de l'ordre de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/an. Aujourd'hui les simulations dynamiques montrent, qu'avec un équipement électrodomestique actuel, les apports internes récupérés sont de l'ordre de 13 kWh/m<sup>2</sup>/an.

Il convient donc maintenant de voir comment ces deux effets, la baisse des degrés jours et l'augmentation des apports internes, ont fait évoluer le calcul de la consommation du parc de bâtiments d'avant 1975, entre 1975 et 2018, toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire en supposant aucune modification de ce parc (l'effet des travaux d'amélioration sera pris en compte par ailleurs). Les logements démolis seront évidemment déduits. On s'appuiera sur un modèle de consommation simple et connu de tous les énergéticiens du bâtiment. On l'appliquera ici à l'ensemble du parc de logements comme s'il s'agissait d'un seul bâtiment.

La consommation de chauffage sur une année de ce « gros » bâtiment s'écrit :

$$EF_{ch} = [G \times V \times N_{dj} \times 0,024 - (A_s + A_i)] \times i / \eta \quad [\text{kWh/an}]$$

où :

- $EF_{ch}$  : consommation d'énergie finale de chauffage du parc [kWh/an]
- $G$  : coefficient de déperdition volumique du « gros » bâtiment [W/m<sup>3</sup>/K]
- $V$  : Volume habitable [m<sup>3</sup>]
- $N_{dj}$  : nombre de degrés jours de base égale à la température intérieure de consigne
- $A_s$  : apports solaires récupérés [kWh/an]
- $A_i$  : apports internes récupérés [kWh/an]
- $i$  : coefficient d'intermittence
- $\eta$  : rendement global de l'installation de chauffage (il n'y a en 1975 pratiquement que des générateurs à combustion, et encore très peu de chauffage électrique).

Si «  $ef_{ch}$  » est la consommation spécifique d'énergie finale de chauffage du parc (en kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an),  $a_s$  et  $a_i$  les apports solaires et internes surfaciques, et «  $h$  » la hauteur moyenne sous plafond dans les bâtiments l'expression précédente peut s'écrire :

$$ef_{ch} = [G \times h \times N_{dj} \times 0,024 - (a_s + a_i)] \times i / \eta \quad [\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{shab}}/\text{an}]$$

<sup>13</sup> Source : ADEME « Chiffres clés du bâtiment 2010 »

La diminution de consommation spécifique d'énergie finale entre 1974 et 2017 due aux phénomènes perturbateurs s'écrit :

$$\Delta ef_{ch} = ef_{ch1974} - ef_{ch2017} = ef_{ch1974} \times (1 - ef_{ch2017}/ef_{ch1974}) \quad \text{posons } \alpha = ef_{ch2017}/ef_{ch1974}$$

d'où  $\Delta e = (1 - \alpha) \times ef_{ch1974}$

$$\alpha = (N_{dj2017} - (a_i + a_s)_{2017}/(0,024 \times G \times h)) / (N_{dj1974} - (a_i + a_s)_{1974}/(0,024 \times G \times h)) \quad [6]$$

$\alpha$  est le facteur de réduction de consommation cherché.

Il reste à déterminer la valeur globale du coefficient G en 1974. Elle s'exprime à partir des données connues de 1974 et de l'expression de la page précédente :

$$G = (\eta \times ef_{ch1974} / i + (a_i + a_s)_{1974}) / (h \times N_{dj1974} \times 0,024)$$

On dispose désormais de tous les éléments nécessaires. Numériquement :

-  $ef_{ch1974} = EF_{ch\ 1974} / S_{1974}$  où  $EF_{ch\ 1974}$  est la consommation d'énergie finale de chauffage des résidences principales pendant l'année 1974 et  $S_{1974}$  la surface habitable du parc cette année là. Par interpolation entre les valeurs de 1973 et 1979<sup>14</sup>  $EF_{ch\ 1974}$  vaut 394,5 TWh. La surface habitable du parc est le produit du nombre de résidences principales (17,745 millions au 1/1/1975 selon l'INSEE), par la surface habitable moyenne d'un logement (76,61 m<sup>2</sup> - voir § 2.3.2). D'où  $ef_{ch1974} = 290,1 \text{ kWh/m}^2_{Shab}/an$ .

-  $\eta$  : 0,65. Le rendement global des installations n'était pas très bon en 1974.

-  $i$  : 0,85

-  $ai_{1974}$  : on a vu qu'en 1974 les apports internes récupérés valaient environ 4,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an ,

-  $ai_{2017}$  : sa valeur actuelle, comme indiqué précédemment, vaut 13 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an,

-  $a_s$  : les simulations dynamiques montre que les apports solaires récupérés sont en moyenne de 16 kWh/m<sup>2</sup><sub>Shab</sub>/an, que ce soit en 1974 ou en 2017,

-  $h$  : la hauteur sous plafond moyenne est de 2,5 m,

-  $N_{dj1974}$  : la valeur des degrés jours de base 19 (pour une température de consigne moyenne de 19°C) se calcule à partir de la relation donnant les degrés jours de base 17 puis d'une correction pour tenir compte de la différence de la durée de la saison de chauffage : 2 658

-  $N_{dj2017}$  : toujours en base 19, il se calcule de la même manière et vaut 2 174

Dans ces conditions on peut conclure que :

-  $G = 1,52 \text{ W/m}^3\text{K}$

-  $\alpha = 0,763$

La réduction de consommation « naturelle » entre 1974 et 2017 vaut  $(1 - \alpha)$  soit 23,7 %.

### **2-3-4-2 Diminution des consommations d'énergies finale et primaire entre 1975 et 2018 pour les logements construits avant 1975**

Le parc des logements construits avant 1975 n'est pas le même que celui subsistant en 2018. Entre ces deux dates, 2,657 millions de ces logements ont été détruits, et 4 millions d'autres, chauffés auparavant par combustible, le sont désormais par un chauffage électrique.

<sup>14</sup> Source : CDF, Ceren, EDF, GDF dans "L'énergie - Ed 2002"p177

Lorsqu'un logement précédemment chauffé par combustible est équipé de convecteurs électriques, ses déperditions sont inchangées, mais le rendement local du chauffage électrique (environ 95 %) est très supérieur à celui d'un chauffage central (environ 65 % à l'époque). Il s'ensuit que l'énergie finale observée après cette transformation est très sensiblement inférieure à l'énergie finale existant avant. Si  $k_{rend} = 0,65/0,95 = 0,684$  (rapport des rendements), la consommation finale est égale à  $k_{rend} \times$  consommation initiale. Il s'agit là d'un « effacement » de consommation au niveau du logement qui a permis de réduire le niveau d'énergie finale liée au chauffage à l'échelle nationale (de 28 TWh/an). Mais, physiquement, il n'y a pas de miracle : les pertes de la génération de chaleur par combustible sont remplacées par les pertes de production de l'électricité qui sont délocalisées dans la centrale thermique, où elles sont d'ailleurs beaucoup plus importantes (rendement de 31 % dans une centrale nucléaire).

La conséquence de ce qui précède est qu'en 2017, toutes choses égales par ailleurs, la consommation d'énergie finale de chauffage des logements construits avant 1975 n'est plus de 394,5 TWh, mais elle est diminuée de la part des logements démolis ( $394,5 \times 2,657 / 17,745 = 59,1$  TWh) et de l'effacement de consommation lié au passage de 4 millions de logements au chauffage électrique ( $394,5 \times 4/17,745 \times (1 - 0,684) = 28,1$  TWh), soit au total une baisse de 87,2 TWh ramenant le niveau de consommation à 307,3 TWh. C'est donc sur cette valeur que l'on peut maintenant appliquer le coefficient de réduction de consommation due à la diminution du nombre de degrés jours et à l'augmentation des apports internes. Toutefois, on va distinguer la part du chauffage électrique et celle des combustibles, de manière à pouvoir déterminer ensuite la diminution d'énergie primaire correspondante.

L'évaluation est faite sur les bases suivantes :

- $N_{1975}$  : parc de résidences principales au 1/1/1975
- $N_{démol}$  : nombre de logements datant d'avant le 1/1/1975 détruits entre le 1/1/1975 et le 1/1/2018,
- $N_{élec<1975}$  : nombre de logements datant d'avant 1975 équipés aujourd'hui de chauffage électrique,
- $Fep_{1,2017}$  : facteur d'énergie primaire de l'électricité en 2017 (indice  $i=1$  pour l'électricité).

Les parts de l'énergie finale totale concernant les combustibles et l'électricité s'écrivent :

- part combustibles :  $(N_{1975} - (N_{démol} + N_{élec<1975})) / N_{1975}$  soit  $1 - (N_{démol} + N_{élec<1975}) / N_{1975}$
- part électricité :  $k_{rend} \times N_{élec<1975} / N_{1975}$

d'où la diminution d'énergie finale due à la modification des degrés jours et des apports internes :

$$C_{EF<1975} = EF_{ch\ 1974} \times (1 - \alpha) \times (1 - (N_{démol} + N_{élec<1975}) / N_{1975} + k_{rend} \times N_{élec<1975} / N_{1975}) \quad [7]$$

La diminution d'énergie primaire correspondant se déduit facilement :

$$C_{EP<1975} = EF_{ch\ 1974} \times (1 - \alpha) \times (1 - (N_{démol} + N_{élec<1975}) / N_{1975} + k_{rend} \times Fep_{1,2017} \times N_{élec<1975} / N_{1975}) \quad [8]$$

Numériquement :

- $EF_{ch\ 1974} = 394,5$  TWh
- $\alpha = 0,763$
- $N_{1975} = 17,745$  millions de logements (source INSEE)

- $N_{\text{démol}} = 2,657$  millions (voir source dans § 1.5 du rapport)
- $N_{\text{élec}<1975}$  : environ 4 millions
- $k_{\text{rend}} = 0,65/0,95 = 0,684$
- $F_{\text{ep},2017} = 2,75$  (source : DGEC – Voir figure 1.6 du rapport)

D'où :

$$C_{\text{EF}<1975} = 72,8 \text{ TWh/an}$$

$$C_{\text{EP}<1975} = 98,1 \text{ TWh/an}$$

### **2-3-4-3 Diminution des consommations d'énergies finale et primaire entre 1975 et 2018 pour les logements neufs**

La détermination de ces réductions de consommation est plus compliquée que dans le cas précédent car elle nécessite de reconstruire les chroniques passées de la construction de 1975 à 2018. Pour cela il faut déterminer la surface habitable des logements neufs année par année, le niveau de consommation de chauffage par période de construction (en fonction des contraintes réglementaires) et il faut connaître le nombre annuel de logements neufs (ce qui suppose de connaître chaque année l'accroissement du parc et le nombre de logements détruits). Ce travail sera présenté en Annexe 2.

Enfin, il faut linéariser le coefficient de réduction des consommations déterminé au paragraphe précédent en le faisant varier depuis sa valeur maximum pour les logements construits en 1975, à zéro pour ceux construits en 2017.

Si on pose :

- $N_p$  : nombre de logements neufs dans la période p
- $S_p$  : Surface habitable moyenne des logements neufs construits dans la période p
- $ef_{\text{ch } p}$  : la consommation (énergie finale) spécifique de chauffage (imposée par la réglementation) dans la période p
- $1 - \alpha$  : le taux de variation de consommation nominal due à la modification des degrés jours et des apports internes
- $n_{\text{moyen}}$  : la moyenne des bornes annuelles haute et basse de la période p (par exemple  $(1975+1981)/2$  pour la période 1975-1981)

On a alors simplement :

$$C_{\text{EF}>1975} = \sum_p N_p \times S_p \times ef_{\text{ch } p} \times (1 - \alpha) \times (1 - (n_{\text{moyen}} - 1975)/(2018 - 1975)) \quad [9]$$

Ce calcul conduit à une valeur  $C_{\text{EF}>1975} = 22,4 \text{ TWh/an}$

Pour calculer la diminution d'énergie primaire correspondante il faut évaluer la part de la « charge » due aux logements chauffés par combustibles et celle due à l'électricité.

Soit, en sus des paramètres définis ci-dessus :

- $N_{2018}$  : parc de résidences principales au 1/1/2018
- $N_{\text{élec } 2018}$  : nombre de logements avec chauffage électrique en France au 1/1/2018
- $N_{\text{neuf}}$  : nombre total de logements construits entre 1975 et 2018
- $N_{\text{élec } >1975}$  : nombre de logements construits entre 1975 et 2018 chauffés par l'électricité au 1/1/2018
- $N_{\text{comb}}$  : nombre de logements construits entre 1975 et 2018 chauffés par combustible au 1/1/2018

Ces paramètres sont liés par les relations simples :

$$\begin{aligned} N_{\text{neuf}} &= N_{2018} - N_{1975} + N_{\text{démol}} \\ N_{\text{élec >1975}} &= N_{\text{élec 2018}} - N_{\text{élec <1975}} \\ N_{\text{comb}} &= N_{\text{neuf}} - N_{\text{élec >1975}} \end{aligned}$$

Tel qu'exprimé dans la relation [9],  $C_{\text{EF}>1975}$  est de la forme :

$$C_{\text{EF}>1975} = K \times \Delta \text{ef}_{\text{ch}}$$

$\Delta \text{ef}_{\text{ch}}$  correspondant à la diminution de la consommation d'énergie finale spécifique de chauffage consécutive à la diminution des degrés jours et à la hausse des apports internes dans la période 1975-2018.

Mais on peut aussi décomposer cette diminution de consommation :

$$\Delta \text{ef}_{\text{ch}} = N_{\text{comb}} / N_{\text{neuf}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} + N_{\text{élec >1975}} / N_{\text{neuf}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch e}}$$

où  $\Delta \text{ef}_{\text{ch c}}$  et  $\Delta \text{ef}_{\text{ch e}}$  sont les diminutions de consommation d'énergie finale spécifique de chauffage entre 1975 et 2018 pour les combustibles et pour l'électricité.

On peut donc écrire que  $C_{\text{EF}>1975} = K / N_{\text{neuf}} \times (N_{\text{comb}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} + N_{\text{élec >1975}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch e}})$

Cette forme fait apparaître la part relative aux combustibles et celle relative au chauffage électrique, si bien qu'on peut en déduire l'expression de  $C_{\text{EP}>1975}$  :

$$C_{\text{EP}>1975} = K / N_{\text{neuf}} \times (N_{\text{comb}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} + F_{\text{ep1,2017}} \times N_{\text{élec >1975}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch e}})$$

Mais il existe d'autre part une relation simple entre  $\Delta \text{ef}_{\text{ch c}}$  et  $\Delta \text{ef}_{\text{ch e}}$  : en effet, les logements chauffés à l'électricité ont été un peu mieux isolés jusqu'en 2000 (par contrainte réglementaire) et on va donc supposer que l'énergie spécifique perdue en moyenne par un logement chauffé par combustible (par les parois et par renouvellement d'air) est supérieure de 10% à celle perdue dans un logement chauffé à l'électricité. Ce qui se traduit par la relation :

$$\Delta \text{ef}_{\text{ch e}} = \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} \times (\eta_c / \eta_e) / 1,1$$

Mais  $\eta_c / \eta_e = k_{\text{rend}}$  et si on pose  $k'_{\text{rend}} = k_{\text{rend}} / 1,1$  il reste :  $\Delta \text{ef}_{\text{ch e}} = \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} \times k'_{\text{rend}}$

Ce qui permet de transformer l'écriture de deux expressions :

- celle de  $C_{\text{EF}>1975}$  :

$$C_{\text{EF}>1975} = K / N_{\text{neuf}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} \times (N_{\text{comb}} + k'_{\text{rend}} \times N_{\text{élec >1975}})$$
 d'où on déduit que :

$$\Delta \text{ef}_{\text{ch c}} = C_{\text{EF}>1975} / K \times N_{\text{neuf}} / (N_{\text{comb}} + k'_{\text{rend}} \times N_{\text{élec >1975}})$$

- et celle de  $C_{\text{EP}>1975}$  :

$$C_{\text{EP}>1975} = K / N_{\text{neuf}} \times \Delta \text{ef}_{\text{ch c}} \times (N_{\text{comb}} + F_{\text{ep1,2017}} \times k'_{\text{rend}} \times N_{\text{élec >1975}})$$

et en remplaçant  $\Delta \text{ef}_{\text{ch c}}$  par son expression en fonction de  $C_{\text{EF}>1975}$  on obtient finalement la relation recherchée :

$$C_{\text{EP}>1975} = C_{\text{EF}>1975} \times (N_{\text{comb}} + F_{\text{ep1,2017}} \times k_{\text{rend}} \times N_{\text{élec >1975}}) / (N_{\text{comb}} + k_{\text{rend}} \times N_{\text{élec >1975}})$$

Ou encore :

$$C_{EP>1975} = C_{EF>1975} \times (1 + (k_{rend}' \times N_{élec>1975} \times (Fep_{1,2017} - 1)) / (N_{neuf} - N_{élec>1975} \times (1 - k_{rend}')) \quad [10]$$

Numériquement :

- $N_{2018} = 28,984$  millions de logements (source INSEE),
- $N_{élec\ 2018} = 9,113$  millions (voir tableaux des figures 1.16 ou 1.17)

les autres valeurs sont les mêmes que précédemment. D'où :

$$C_{EP>1975} = 32,8 \text{ TWh/an}$$

Il reste à déterminer la réduction des EGES induite par la diminution de l'énergie finale. Elle peut facilement se calculer à partir du montant actuel constaté d'EGES (voir § 3.1 du rapport) et du niveau de consommation d'énergie finale pour le chauffage tel que défini dans le tableau de la figure 1.6 de la présente annexe :

$$C_{EGES} = 51,32 \times (C_{EF<1975} + C_{EP>1975}) / 319,8 \quad [11]$$

D'où :

$$C_{EGES} = 15,3 \text{ Mt CO}_2\text{eq/an}$$

En résumé :

Les diminutions de consommation et d'émissions « naturelles » dues à la baisse du nombre de degrés jours et à la hausse des apports internes sont les suivantes :

Parcs	Energie finale [TWh/an]	Energie primaire [TWh/an]	EGES [Mt CO <sub>2</sub> eq/an]
Logements construits avant 1975	72,8	98,1	11,7
Logements construits entre 1975 et 2018	22,4	32,8	3,6
<b>Total [TWh/an]</b>	<b>95,2</b>	<b>130,9</b>	<b>15,3</b>

**Figure 1.43 : Diminutions des consommations d'énergies finale et primaire de chauffage et des émissions de GES dues à la réduction du nombre de degrés jours et à l'augmentation des apports internes depuis 1975**

Rapportées à la consommation de chauffage de l'année 1974 (394,5 TWh) ces diminutions naturelles sont considérables. Il est donc normal que les calculs effectués sur le parc actuel (qui inclut les bâtiments d'avant 1974) avec d'anciennes données météo soient assez éloignés des consommations réellement constatées.

#### **2-3-4-4 La prise en compte incorrecte du pouvoir calorifique supérieur des combustibles**

Le DPE a un gros défaut : toutes les énergies y sont exprimées sur pci, c'est-à-dire sur le pouvoir calorifique inférieur des combustibles. Or aujourd'hui, environ 50 % des chaudières gaz et GPL sont des chaudières à condensation. Il s'ensuit que, lorsqu'elles brûlent un mètre cube de gaz naturel, elles produisent, au rendement près, 11 kWh de chaleur mais le DPE n'en comptabilise que 10 alors que les pertes de chaleur du bâtiment à travers les parois et le renouvellement d'air ont bien été de 11 kWh. Il y a donc là une sous-estimation de 10 % des besoins réels du bâtiment. Cette situation est préjudiciable dans les simulations exploratoires du

futur si on s'appuie sur cette consommation sous-évaluée pour estimer la consommation d'une substitution énergétique. À titre d'exemple, si on veut remplacer des chaudières gaz par un chauffage électrique, on va sous-estimer les besoins futurs en électricité de 10%.

Dans un passé relativement récent, on avait pris l'habitude d'exprimer tous les rendements de chaudières par rapport au pouvoir calorifique inférieur, parce qu'on ne savait pas récupérer la chaleur latente de la vapeur contenue dans les fumées. Mais lorsqu'on a pu le faire, on s'est retrouvé avec des rendements dépassant 100 % qui n'avaient donc plus aucun sens. Comme tous des combustibles libèrent de la vapeur d'eau lors de leur combustion, il arrivera tôt ou tard que les technologies de condensation seront généralisées. C'est déjà vrai depuis 1980 pour le gaz naturel et le GPL, mais il existe aussi des chaudières bois et des chaudières fioul à condensation. Il serait donc pertinent, afin de ne pas se mentir, de commencer à exprimer l'ensemble des consommations en fonction du pouvoir calorifique supérieur des combustibles, même si dans l'avenir la contribution de certains d'entre eux au chauffage des bâtiments est appelée à se réduire de façon importante.

Dans la comptabilité énergétique nationale qu'il établit, le CEREN exprime les consommations du poste « gaz » par rapport au pcs, mais utilise son pci dans les bilans énergétiques annuels, ce qui n'a pas beaucoup de sens. Les bilans nationaux doivent comptabiliser la ressource mobilisée, et donc raisonner en pcs. C'est la raison pour laquelle dans le tableau de la figure 1.6 nous avons comptabilisé le gaz et le GPL en pcs, ce qui a conduit pour le chauffage à une consommation nationale d'énergie finale de 319,8 TWh (dont 126,6 TWh<sub>pcs</sub> de gaz et de GPL), et à une consommation des trois usages de 367,0 TWh. Mais les DPE, exprimés sur pci, ne totaliseront au mieux que 114,4 TWh<sub>pci</sub> de gaz et de propane et seulement 307,6 TWh<sub>pci</sub> pour le chauffage.

Ceci pose un problème méthodologique. Dans l'annexe 2 nous chercherons à établir un bilan physique, ce qui nécessitera à ce titre de ne prendre en compte que la consommation sur pcs des chaudières à condensation. Celles-ci représentent environ 50 % des chaudières installées. L'enjeu est donc de 6,2 TWh. Ce qui signifie que la consommation d'énergie finale cible pour le chauffage sera en réalité de 313,6 TWh. Rappelons que cette consommation a été établie en tenant compte, au titre des apports de chaleur renouvelable, des 9,8 TWh pris dans l'environnement par les pompes à chaleur, et que cette consommation ne sera pas non plus « vue » par les DPE. Ceux-ci ne « verront » finalement que  $367,0 - 6,2 - 9,8 = 351,0$  TWh pour le chauffage et la production d'ECS.

## **2-4 Résultats de la reconstitution des consommations au 1/1/2018**

La reconstitution des consommations et des émissions au 1/1/2018 doit permettre de vérifier que le modèle mis en place est fiable et conduit à des résultats qui ne s'éloignent pas de plus de 5 à 10% de la réalité.

La seule information dont on dispose est constituée par les DPE réalisés jusqu'à présent. Les diagnostiqueurs ont déterminé des consommations d'énergie finale. Par le jeu de coefficients, ils en ont déduit des consommations d'énergie primaire qui ont structuré le classement énergétique.

Méthodologiquement, il faut retourner aux sources de l'information afin de déterminer les quantités d'énergie finale relevées, et pour cela on ne peut qu'utiliser les mêmes paramètres que les diagnostiqueurs, à savoir :

- coefficient d'énergie primaire pour l'électricité : 2,58 (et non 2,3)
- coefficient d'énergie primaire pour toutes les autres énergies : 1,0
- un contenu CO<sub>2</sub> du kWh chauffage électrique de 180 g

- un contenu CO2 des kWh chauffage et ECS donné par l'annexe 4 de l'arrêté du 15/9/2006 consolidé :

En kg CO2/kWhpci d'énergie finale	CHAUFFAGE	PRODUCTION D'EAU chaude sanitaire	REFROIDISSEMENT
Bois, biomasse	0,013	0,013	
Gaz naturel	0,234	0,234	0,234
Fioul domestique	0,300	0,300	0,300
Charbon	0,384	0,384	
Gaz propane ou butane	0,274	0,274	0,274
Autres combustibles fossiles	0,320	0,320	
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0	0	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment)	0,180	0,040	0,040

Source : Annexe 4 - §1.1 de l'arrêté consolidé du 15/9/2006

Comme on travaille sur l'ensemble du parc, la surface à prendre en compte est bien sûr la surface habitable puisque c'est à elle que sont référées les consommations et les émissions du DPE. La valeur adoptée est celle de la surface habitable moyenne des logements du parc au 1/1/2018 déterminée en fin du § 2.3.2 : 81,96 m<sup>2</sup>.

Concernant la structure du parc, on peut faire une simulation avec le modèle fourni par l'étude CGDD/SDES, ou avec le modèle de l'enquête Phébus+.

On peut aussi utiliser soit la classification selon l'ancienne étiquette, soit avec la nouvelle (les résultats sont les mêmes).

On dispose désormais de tous les éléments permettant de faire un bilan conformément aux relations générales présentées au § 2.3 .1.

Présentation des résultats.

Rappel préalable des valeurs cibles observées :

- Energie finale : les DPE ne « voit » pas l'apport de chaleur latente des chaudières à condensation ni les 9,8 TWh de chaleur pris dans l'environnement par les pompes à chaleur. Si bien que la « cible » de consommation « visible » par les DPE vaut 351 TWh/an.

- Energie primaire : dans le DPE elle ne se mesure pas mais se calcule à partir des énergies finales et du facteur d'énergie primaire des différentes énergies qui sont conventionnels (en fait seule l'électricité est concernée). Avec le facteur d'énergie primaire de l'électricité de 2,58 utilisé dans l'ancien DPE, la partie de la consommation « visible » par le DPE conduit à une consommation d'énergie primaire de 444,8 TWh. A défaut, la vraie valeur (non visible par le DPE), est de 451,2 TWh en l'absence de la chaleur de l'environnement apportée par les PAC, ou 461,0 TWh si on inclut cette chaleur.

- EGES : les EGES pour les usages du DPE et pour les résidences principales ont été évaluées au §3.1 du rapport (figure 3.3). Elles sont de 58,68 Mt CO<sub>2</sub>. Il s'agit ici d'une valeur physique observée et non du produit d'un calcul. Ce qui renvoie à la valeur choisie pour le contenu carbone des différents kWh.

Ce qui suit concerne les trois usages chauffage, production d'ECS et rafraîchissement (même si celui-ci est encore négligeable).

## Cas 1 – Parc selon CGDD/SDES – Ensemble des paramètres de l’ancien DPE

Etat initial au 1/1/2018	EP	EF	EGES	Etiquette
Conso [TWh/an] Mt CO2/an	392,1	320,4	55,7	Ancienne
Conso/m <sup>2</sup>	165,0	134,9	23,5	
Conso [TWh/an] Mt CO2/an	392,1	320,4	55,7	Nouvelle
Conso/m <sup>2</sup>	165,1	134,9	23,4	

**Figure 1.44 : consommations et émissions du parc selon DPE – Modèle de parc selon CGDD/SDES et ensemble des paramètres de l’ancien DPE**

## Cas 2 – Parc selon enquête Phébus+ – Ensemble des paramètres de l’ancien DPE

Etat initial au 1/1/2018	EP	EF	EGES	Etiquette
Conso [TWh/an] Mt CO2/an	471,3	382,3	66,5	Ancienne
Conso/m <sup>2</sup>	198,4	160,9	28,0	
Conso [TWh/an] Mt CO2/an	471,5	382,4	66,4	Nouvelle
Conso/m <sup>2</sup>	198,5	161,0	28,0	

**Figure 1.45 : consommations et émissions du parc selon DPE – Modèle de parc selon enquête Phébus+ et ensemble des paramètres de l’ancien DPE**

On observe que :

1 – Les résultats obtenus avec l’ancienne ou avec la nouvelle étiquette sont identiques. Ce qui est satisfaisant, mais n’a pu être obtenu que par un traitement « laborieux » des migrations des différentes classes énergétiques de l’ancienne vers la nouvelle étiquette. La méthodologie de passage de l’une à l’autre est donc correcte.

2 – Aucun des deux modèles de parc n’est vraiment très proche de la valeur cible d’énergie finale. Le modèle Phébus conduit à des consommations d’énergie finale supérieure de 8,9 % à la valeur « vue » par les DPE (et supérieure de 4,2% à la valeur réelle (367 TWh/an)). Quant au modèle CGDD/SDES, il conduit à une valeur inférieure de 8,7 % à la valeur « vue » par les DPE (et inférieure de 12,7% à la valeur réelle). Mais on doit aussi considérer que le DPE est un mode d’évaluation des consommations quand même relativement approximatif. Il faut donc rester prudent....

3 – La valeur cible d’énergie finale se trouve pratiquement être la moyenne des valeurs obtenues par les deux approches. Ce qui laisse à penser que le parc « réel » pourrait se situer entre les deux modèles proposés.

4 – Malgré le soin apporté aux analyses et à la modélisation, il reste de nombreuses incertitudes. Il faut donc considérer ces résultats comme globalement satisfaisants dans la mesure où ils se situent l’un et l’autre à moins de 10% de la valeur physiquement observée (qui elle aussi a supposé un certain nombre d’hypothèses). La suite de l’étude va surtout procéder par analyse différentielle de l’évolution, ce qui fournira des résultats fiables.

5 – Le niveau d’EGES fourni dans ces résultats est construit (tout comme la valeur « cible ») à partir de certaines valeurs conventionnelles parfois un peu éloignées de la réalité. Si, pour le kWh chauffage électrique, la valeur de 79 gCO<sub>2</sub> n’est pas du tout réaliste, celle de 180 g ne l’est plus non plus. Nous avons indiqué qu’une valeur de 125 g devait aujourd’hui être plus représentative de la réalité. Si on utilise cette valeur, les EGES passent de 55,7 à 51,4 MtCO<sub>2</sub> pour

le modèle CGDD/SDES (soit -12,4% sur la valeur observée), et de 66,5 à 61,4 Mt CO2 pour le modèle Phébus+ (soit à + 4,6 % de la valeur observée).

De toutes ces observations, on peut conclure que le modèle proposé pour la détermination de l'énergie finale et des émissions de gaz à effet de serre est d'une précision acceptable, même s'il n'est pas parfait, pour envisager d'évaluer les tendances futures à partir de ce « point zéro ».

### **3 – Modélisation du parc à partir de 2018**

La modélisation du parc va permettre de connaître l'évolution de la consommation en fonction des stratégies de rénovation explorées. Ces stratégies consistent à définir pour chaque classe énergétique d'origine, quel pourcentage de celle-ci sera rénové pour atteindre chacune des classes énergétiques plus performantes. Partant par exemple des logements en classe D, on ne peut aller qu'en classes A à C, voire rester pour partie en D.

Mais cette évolution tient compte de l'état de répartition des différentes énergies de chauffage dans les logements de la classe d'origine, et de la part de ces énergies une fois ces logements rénovés.

Dans ce qui suit on a fait les hypothèses suivantes :

- aucune correction sur le nombre de degrés jours n'est prévue après 2018. On a supposé que le nouveau DPE intègrait des données météo actuelles,
- le nombre de bâtiments démolis chaque année est un des paramètres de la simulation. Mais l'hypothèse est faite que tous les bâtiments démolis sont des bâtiments datant d'avant 1975, et que les bâtiments démolis se trouvent à parts égales dans les classes E, F et G,
- la surface habitable des logements futurs est supposée égale à la surface moyenne des logements du parc actuel,
- le fioul a totalement disparu des logements en 2028,
- on ne rénove pas les logements de classe A, et on ne modifie pas non plus la nature de leur équipement de chauffage,
- tous les calculs portent sur les seuls usages chauffage et production d'eau chaude sanitaire. L'usage rafraîchissement, encore très marginal, n'a pas été évalué faute de données pertinentes.

#### **3-1 Formulation générale**

##### **3.1.1 L'énergie primaire**

L'évaluation des économies réalisées est déterminée par différence entre la consommation d'origine du parc de logements et la consommation après rénovation. La consommation d'origine a été déterminée plus haut (formule [1] aux § 2.3.1.1 et suivants). Ce qui suit va permettre d'évaluer la consommation (chauffage+ECS) après rénovation.

Tous les phénomènes sont supposés linéaires dans la période d'étude.

La consommation d'énergie primaire de l'ensemble du parc après rénovation s'écrit :

$$EP_R = \sum_j EP_{Rj}$$

où  $EP_{Rj}$  est la consommation d'énergie primaire après rénovation du parc des logements qui étaient de classe énergétique « j » avant rénovation.

$$EP_{Rj} = \sum_j (Nc_j \times S_{2018} - N_{dem_j} \times S_{1975}) \times ep_{reno_j} \quad [12]$$

où :

- $S_{2018}$  : Surface habitable moyenne d'un logement du parc au 1/1/2018. Elle vaut : 81,96 m<sup>2</sup> (voir § 2.3.2 de la présente annexe),
- $S_{1975}$  : Surface habitable moyenne d'un logement au 1/1/1975. Elle vaut : 76,61 m<sup>2</sup>.
- $Nc_j$  : Nombre de logements dans la classe énergétique « j ». Selon le modèle de parc utilisé  $Nc_j$  se trouve dans la dernière colonne des tableaux des figures 1.16 et 1.17.
- $N_{dem_j}$  : nombre de logements de la classe « j » datant d'avant le 1/1/1975 détruits dans la période d'étude (ici 2021-2028),
- $ep_{reno_j}$  : la consommation spécifique d'énergie primaire après rénovation du parc de logements qui était de classe énergétique « j » avant rénovation (en kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>/an).

Le calcul de  $ep_{reno_j}$  dépend directement de la « stratégie de rénovation ». Celle-ci définit, pour tous les logements d'une classe énergétique d'origine « j » quel est le pourcentage qui sera rénové dans chacune des classes énergétiques plus performantes que la classe « j ». Ces pourcentages sont définis dans un tableau dont les éléments sont  $R_{j,l}$  « j » étant la classe énergétique avant rénovation, et « l » la classe énergétique après rénovation :

		Classes énergétiques après rénovation								
		Indice l (après réno)	1	2	3	4	5	6	7	
		Indice j (avant réno)	Classes énergétiques	A	B	C	D	E	F	G
Classes énergétiques avant rénovation	1	A								
	2	B					R <sub>25</sub>			
	3	C		R <sub>32</sub>						
	4	D								
	5	E								
	6	F								
	7	G								

**Figure 1.46 : Tableau de stratégie de rénovation définissant les taux de rénovation  $R_{j,l}$  atteint dans les différentes classes énergétiques, en fonction de la classe énergétique d'origine**

Le terme  $ep_{reno_j}$  s'écrit :

$$ep_{reno_j} = R_{j,j} \times epe_{2021_j} \times f(C_{EP}) + \sum_{l=1}^{j-1} (R_{j,l} \times f_l \times \sum_i (tr_{j,i} \times ep_{dpe_{i,l}})) \quad [13]$$

Le terme  $R_{j,j} \times epe_{2021_j} \times f(C_{EP})$  correspond à la consommation des logements de la classe « j » avant rénovation qui n'ont pas été rénovés dans le cadre de la stratégie de rénovation ( $R_{j,j}$  est non nul).

Le terme  $\sum_{i=1}^j (R_{j,i} \times f_i \times \sum_i (tr_{j,i} \times epdpe_{i,j}))$  correspond à l'énergie primaire spécifique après rénovation de la partie rénovée du parc de logements dont la classe avant rénovation était « j ».

Dans cette expression :

■ **R<sub>j,i</sub> ou R<sub>ji</sub>** : taux des logements de la classe énergétique d'origine « j » rénovés en classe énergétique « i ». Sont définis par la stratégie de rénovation. A titre d'exemple voici le tableau correspondant au second scénario de rénovation proposé dans le rapport :

Classe avant réno	Classe après rénovation						
	A	B	C	D	E	F	G
A	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
B	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
C	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
D	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
E	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
F	5%	80%	5%	5%	5%	0%	0,0%
G	5%	80%	5%	3%	3%	5%	0,0%

Figure 1.47 : Exemple de tableau de stratégie de rénovation (second scénario de l'étude)

Dans ce tableau R<sub>1,1</sub> ; R<sub>2,2</sub> ; R<sub>3,3</sub>...R<sub>5,5</sub> (ce sont les R<sub>ji</sub>) valent tous 100% : le scénario de rénovation ne prévoit donc pas de rénover les logements de classes initiales A à E. Seules les classes F et G font l'objet de rénovation : à titre d'exemple pour la classe initiale G (j=7) le tableau fournit R<sub>7,1</sub> = 5% ; R<sub>7,2</sub> = 80% ; R<sub>7,6</sub> = 5% ; etc.

■ **epe<sub>2021 j</sub>** : la consommation d'énergie primaire spécifique effective (donc avec coefficients de pondération) du parc de logements de classe « j » au 1/1/2018 (donc forcément avant rénovation) pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (voir § 2.2.2.1).

	Classes énergétiques nouvelle étiquette	A	B	C	D	E	F	G
	Index j	1	2	3	4	5	6	7
Parc selon Phébus	Valeurs pondérées avec parc selon Phébus+ après migration de l'ancienne à la nouvelle étiquette	53,4	73,8	113,6	189,6	265,3	342,3	>393,3
Parc selon SDES	Valeurs pondérées avec parc selon CGDD/SDES après migration de l'ancienne à la nouvelle étiquette	52,6	72,9	116,7	186,7	258	335,1	>384,4

Figure 1.48 Valeurs de epe<sub>2021 j</sub> extraites du tableau de la figure 1.24

■ **f (C<sub>EP</sub>)** : facteur de correction. Identique pour toutes les classes énergétiques, il réduit chacune d'entre elle pour tenir compte de la diminution d'énergie primaire (C<sub>EP</sub>) liée à la réduction du nombre de degrés jours et à l'augmentation des apports internes (voir calcul au § 2.3.4) :  $f(C_{EP}) = 1 - C_{EP} / S_{hab} \times (\sum_j epe_{2018 j} \times Nc_j \times f_j)$

■ **f<sub>i</sub>** : facteurs de pondération spécifique à chaque classe énergétique (voir tableau de la figure 1.41)

■ **tr<sub>j,i</sub>** : part de l'énergie « i » dans le parc des logements rénovés désormais en classe énergétique « j ». Ce terme est calculé sur les bases suivantes :

- avant rénovation cette structure est définie par  $t_{j,i}$  (voir définition et calcul au § 2.2.2.1 à partir des tableaux des figures 1.20 et 1.21),

- la contrainte forte est la part de l'électricité dans les logements une fois rénovés (stratégie de la DGEC). Cette contrainte se traduit par un taux  $tr_{j,1}$  qui est le même pour toutes les classes énergétiques « j » après rénovation,

- la part du fioul est systématiquement ramenée à zéro :  $tr_{j,3} = 0$  pour tout « j »
- la part du bois et des dérivés est inchangée :  $t_{j,4} = tr_{j,4}$  pour tout « j »
- la part du gaz et des autres énergies se détermine au prorata de leur part avant rénovation ( $t_{j,2}$  et  $t_{j,5}$ ) et de l'augmentation nécessaire de la part de l'électricité, compte tenu de la disparition du fioul. L'indice « i » valant 1 pour l'électricité, 2 pour le gaz, 3 pour le fioul, 4 pour le bois et 5 pour les autres énergies, on a :

$$tr_{j,i} = t_{j,i} \times (1 - (tr_{j,1} - t_{j,1} - t_{j,3}) / (t_{j,2} + t_{j,5})) \quad \text{pour } i = 2 \text{ ou } 5$$

Avec l'hypothèse d'une part de l'électricité de 80 % (hypothèse DGEC) lors des rénovations, et les valeurs de  $t_{j,i}$  avant rénovation, le tableau des  $tr_{j,i}$  est le suivant :

Indice j	Classes après rénovation	Energie après rénovation indice i				
		1	2	3	4	5
		Elec	Gaz	Fioul	Bois	Autres
1	<b>A</b>					
2	<b>B</b>	71	0	0	29	0
3	<b>C</b>	80	10	0	9	0,9
4	<b>D</b>	80	3,6	0	15,9	0,5
5	<b>E</b>	79,8	0	0	20,2	0
6	<b>F</b>	78,4	0	0	21,6	0
7	<b>G</b>	79	0	0	21	0

En %

**Figure 1.49 : Part de chaque énergie ( $tr_{j,i}$ ) par classe énergétique atteinte lors des rénovations avec part électricité = 80 %**

■ **epdpe<sub>i,l</sub>** : valeur de l'énergie primaire maximale pour l'énergie « i » dans la classe énergétique « l » après rénovation, telle que déduite de la nouvelle étiquette. Cette étiquette a une double contrainte : en énergie et en EGES. Si bien que la valeur de **epdpe<sub>i,l</sub>** pour une classe donnée ne sera pas forcément égale à la contrainte énergétique de la classe mais pourra avoir une valeur inférieure imposée par la contrainte en EGES.

S'agissant d'un objectif à atteindre par une rénovation, les valeurs à considérer, que ce soit pour la contrainte en énergie primaire ou en eges, seront toujours celles des bornes hautes de chaque classe énergétique. En effet, l'expérience montre qu'aucun propriétaire ne se place *a priori* au-delà des contraintes réglementaires....

Il faut donc définir, pour chaque classe énergétique, la contrainte « cible » pour le chauffage et la production d'ECS que ce soit pour l'énergie primaire (**ep<sub>cible l</sub>**) ou pour les émissions de GES (**eges<sub>cible l</sub>**). Pour cela il suffit de déduire aux valeurs brutes des bornes hautes de l'énergie, l'énergie primaire des usages spécifiques de l'électricité (éclairage et auxiliaires), et des bornes hautes des EGES les émissions associées à ces usages spécifiques.

$$\text{Posons } r = \text{eges}_{\text{cible l}} / \text{ep}_{\text{cible l}}$$

Pour l'énergie « i » dans la classe énergétique « l » après rénovation on vérifie que :

$$\text{Si } \text{cco}_{2 i} \leq r \quad \text{alors } \text{epdpe}_{i,l} = \text{ep}_{\text{cible l}} \quad \text{et} \quad \text{egesdpe}_{i,l} = \text{ep}_{\text{cible l}} \times \text{cco}_{2 i}$$

$$\text{Si } \text{cco}_{2 i} > r \quad \text{alors } \text{epdpe}_{i,l} = \text{eges}_{\text{cible l}} / \text{cco}_{2 i} \quad \text{et} \quad \text{egesdpe}_{i,l} = \text{eges}_{\text{cible l}}$$

Le cas de l'électricité est à part puisque les contenus carbone du chauffage et de l'ECS ne sont pas identiques, il est nécessaire de les distinguer. Mais dans le cas de l'électricité, on a toujours **epdpe<sub>i,l</sub> = ep<sub>cible l</sub>**. A noter que la classe G n'est pas un objectif de rénovation et ne figure donc pas dans le tableau qui suit.

	A	B	C	D	E	F
Borne haute énergie primaire [kWh/m <sup>2</sup> /an]	70	110	180	250	330	420
Déduire élec spécifique [kWh/m <sup>2</sup> /an]	15	15	20	20	25	25
<b>ep</b> cible I [kWh/m <sup>2</sup> /an]	<b>55</b>	<b>95</b>	<b>160</b>	<b>230</b>	<b>305</b>	<b>395</b>
Borne haute émission GES [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an]	6	11	30	50	70	100
Déduire élec spécifique [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /an]	0,99	0,99	1,32	1,32	1,65	1,65
<b>eges</b> cible I [kWh/m <sup>2</sup> /an]	<b>5,01</b>	<b>10,01</b>	<b>28,68</b>	<b>48,68</b>	<b>68,35</b>	<b>98,35</b>
"r" maximum [kg CO <sub>2</sub> /kWh]	0,091	0,105	0,179	0,212	0,224	0,249

Figure 1.50 : Valeur cible en énergie primaire et en émissions de GES pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire lors des rénovations (nouvelle étiquette)

Avec les contenus carbone du DPE, mais une valeur de 125 g de CO<sub>2</sub> pour le contenu carbone du kWh chauffage électrique, on obtient les valeurs de  $epdpe_{i,l}$  et  $egesdpe_{i,l}$  suivantes :

		A	B	C	D	E	F
Electricité	$epdpe_{1,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	55	95	160	230	305	395
	$egesdpe_{1,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	2,24	4,18	6,70	10,09	13,73	18,09
Gaz	$epdpe_{2,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	22,07	44,10	126,34	214,45	301,10	395,00
	$egesdpe_{2,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	5,01	10,01	28,68	48,68	68,35	98,35
Fioul	$epdpe_{3,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	15,46	30,90	88,52	150,25	210,96	303,55
	$egesdpe_{3,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	5,01	10,01	28,68	48,68	68,35	98,35
Bois	$epdpe_{4,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	55	95	160	230	305	395
	$egesdpe_{4,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	1,49	2,57	4,32	6,21	8,24	10,67
Autres	$epdpe_{5,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	28,96	57,86	160,00	230,00	305,00	395,00
	$egesdpe_{5,l}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	5,01	10,01	28,68	48,68	68,35	98,35

Figure 1.51 : Valeur  $epdpe_{i,l}$  et  $egesdpe_{i,l}$  pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire lors des rénovations (nouvelle étiquette)

Pour illustrer cet ensemble de calculs un peu sensible, voici comment se présente par exemple le cas de toutes les possibilités de la rénovation d'un logement initialement en classe D. Il peut atteindre les classes A, B, ou C pour lesquelles les bilans sont les suivants :

		Classes après rénovation											
		A				B				C			
Classe avant rénovation		$epdpe$	$egesdpe$	$t_{i,j}$	$tr_{i,j}$	$epdpe$	$egesdpe$	$t_{i,j}$	$tr_{i,j}$	$epdpe$	$egesdpe$	$t_{i,j}$	$tr_{i,j}$
<b>D</b>	Electricité	55	2,24	29,2%	80%	95	4,18	29,2%	80%	160,0	6,70	29,2%	80%
	Gaz	22,1	5,01	45,0%	3,6%	44,1	10,01	45,0%	3,6%	126,3	28,7	45,0%	3,6%
	Fioul	15,5	5,01	3,5%	0,0%	30,9	10,01	3,5%	0,0%	88,5	28,68	3,5%	0,0%
	Bois	55,0	1,49	15,9%	15,9%	95,0	2,57	15,9%	15,9%	160,0	4,32	15,9%	15,9%
	Autres	29,0	5,01	6,5%	0,5%	57,9	10,01	6,5%	0,5%	160,0	28,7	6,5%	0,5%
	EP - EF	53,7	26,7			93,0	46,4			158,8	80,4		
	EGES	2,24				4,17				7,22			

Figure 1.52 : Détermination des termes de bilan  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times epdpe_{i,l})$ ,  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times efdpe_{i,l})$  et  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times egessdpe_{i,l})$

Ce type de tableau détermine pour chaque classe atteinte après rénovation la valeur de  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times epdpe_{i,l})$ , mais aussi  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times efdpe_{i,l})$  et  $\Sigma_i (tr_{j,i} \times egessdpe_{i,l})$ . Par exemple pour la partie de logements rénovés en classe B on a (en rouge – partie basse) :

- $\Sigma_i (tr_{j,i} \times epdpe_{i,l}) = 93,0$  kWh/m<sup>2</sup>/an
- $\Sigma_i (tr_{j,i} \times efdpe_{i,l}) = 46,4$  kWh/m<sup>2</sup>/an
- $\Sigma_i (tr_{j,i} \times egessdpe_{i,l}) = 4,17$  kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an

Lorsqu'une partie du parc de logements initialement en classe D (nouvelle étiquette) est rénovée en classe B, sa consommation moyenne d'énergie primaire (pour chauffage + ECS), avant pondération spécifique à chaque classe énergétique (figure 1.41), est alors de 93,0 kWhEP/m<sup>2</sup>/an, celle d'énergie finale est de 46,4 kWhEF/m<sup>2</sup>/an et les émissions de GES sont de 4,17 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an.

### 3.1.2 L'énergie finale

Le calcul de l'énergie finale est en tous points similaire à celui de l'énergie primaire. L'énergie finale se déduit de celle-ci au moyen des facteurs d'énergie primaire qui valent, par convention, 1,0 pour toutes les énergies sauf pour l'électricité. Pour celle-ci il est nécessaire de distinguer les consommations de chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

La consommation d'énergie finale de l'ensemble du parc après rénovation s'écrit :

$$EF_R = \sum_j EF_{Rj}$$

où  $EF_{Rj}$  est la consommation d'énergie finale après rénovation du parc des logements qui étaient de classe énergétique « j » avant rénovation.

$$EF_{Rj} = \sum_j (Nc_j \times S_{2018} - N_{demj} \times S_{1975}) \times ef_{reno j} \quad [14]$$

Le terme  $ef_{reno j}$  s'écrit :

$$ef_{reno j} = R_{j,j} \times efe_{2021 j} \times f(C_{EF}) + \sum_{l=1}^{j-1} (R_{j,l} \times f_l \times \sum_i (tr_{j,i} \times efdpe_{i,l})) \quad [15]$$

Le terme  $efe_{2021 j}$  a été déterminé au § 2.2.2.2 et les résultats figurent dans le tableau de la figure 1.25. Le facteur de correction  $f(C_{EF})$  est de même nature que  $f(C_{EP})$  pour l'énergie primaire. Le terme  $\sum_i (tr_{j,i} \times efdpe_{i,l})$  a été calculé au paragraphe précédent.

### 3.1.3 Les émissions de GES

La méthodologie de calcul est la même que pour l'énergie finale et l'énergie primaire.

Les émissions de GES de l'ensemble du parc après rénovation s'écrivent :

$$EGES_R = \sum_j EGES_{Rj}$$

où  $EGES_{Rj}$  est l'émission de GES après rénovation du parc des logements qui étaient de classe énergétique « j » avant rénovation.

$$EGES_{Rj} = \sum_j (Nc_j \times S_{2018} - N_{demj} \times S_{1975}) \times eges_{reno j} \quad [14]$$

Le terme  $eges_{reno j}$  s'écrit :

$$eges_{reno j} = R_{j,j} \times egese_{2021 j} \times f(C_{EGES}) + \sum_{l=1}^{j-1} (R_{j,l} \times f_l \times \sum_i (tr_{j,i} \times egesdpe_{i,l})) \quad [15]$$

Le terme  $egese_{2021 j}$  a été déterminé au § 2.2.2.3 et les résultats figurent dans le tableau de la figure 1.26. Le facteur de correction  $f(C_{EGES})$  est de même nature que  $f(C_{EP})$  pour l'énergie primaire. Le terme  $\sum_i (tr_{j,i} \times egesdpe_{i,l})$  a été calculé au paragraphe précédent.

### **3-2 Nature de la surface des logements**

Dans tout ce qui précède, on a mis en évidence le fait que seule la surface habitable des logements pouvait être utilisée dans les modélisations puisque toutes les obligations réglementaires se réfèrent à elle. Dans le modèle proposé, c'est donc la surface habitable qui sera toujours utilisée. Toutefois, cette surface reste paramétrable et il est donc possible de simuler n'importe quelle autre valeur, celle-ci restant traitée avec les mêmes indicateurs spécifiques qui la « verront » comme de la surface habitable avec toutes les conséquences que cela implique sur le résultat.

### **3-3 Hypothèses sur l'évolution des constructions neuves et des logements détruits**

Le modèle permet le paramétrage du nombre de logements neufs construits chaque année et du nombre de logements détruits. Pour ce paramétrage on fait les hypothèses suivantes :

- dans sa configuration actuelle le modèle linéarise tous les paramètres sur la durée de l'étude. Il y a donc le même nombre de logements construits chaque année et le même nombre de logements détruits.

- Pour ceux-ci, l'hypothèse est faite qu'il ne s'agit que de logements d'avant 1975, et que tous les logements démolis le sont à parts égales dans les classes E, F et G.

- afin de maintenir une offre de logements suffisante, on suppose que le nombre de logements démolis chaque année s'ajoute au nombre de logements neufs qu'il était prévu de construire. Cela signifie que le nombre de logements neufs évoqués précédemment correspond aux besoins de la croissance démographique et de la recomposition des familles.

- dans les différentes simulations, le nombre de logements neufs (hors démolition/reconstruction) a été pris égal à 200 000 par an,

- le nombre de démolitions est bien sûr paramétrable. Dans un premier temps nous avons utilisé la valeur de 90 625 démolitions par an qui correspond au chiffre avancé par la DGEC dans sa note (2,9 millions de démolitions entre 2018 et 2050), puis nous avons réduit ce chiffre à 30 000 afin d'évaluer l'impact de l'énergie grise mobilisée par la reconstruction des logements démolis.

### **3-4 Stratégie de rénovation**

Deux autres possibilités importantes s'offrent aux fins d'étudier la sensibilité de certains paramètres déterminants :

- la description du parc quantifiant le nombre de logements dans chaque classe énergétique. Il joue évidemment un rôle important sur le niveau de consommation du parc et sur celui des économies qu'il est possible de faire. Le modèle proposé permet donc de simuler les deux descriptions du parc existant actuellement : celle de l'étude du CGDD/SDES de septembre 2020 et celle de l'enquête Phébus actualisée à la date du 1/1/2018 (Phébus+).

- la configuration de la stratégie de rénovation qui permet la définition du pourcentage de logements de chacune des classes énergétiques existantes vers les classes énergétiques plus performantes (voir tableau des figures 1. 46 et 1. 47)

### **3-5 Evaluation de l'énergie grise et des EGES associées**

Le modèle permet également une évaluation sommaire de l'énergie grise et des EGES associées au programme de rénovation mais aussi à la reconstruction et à la construction neuve. Ce paramètre est suffisamment impactant pour qu'on s'y intéresse rapidement, car il

semble que des progrès importants doivent être faits dans ce domaine si on souhaite que la politique et la stratégie conduites soient cohérentes.

Les valeurs utilisées dans la simulation sont évidemment essentielles. Leur détermination a été faite à partir de compromis :

- émissions de GES

On dispose comme guide des valeurs fixées par la RE2020. Le paramètre  $I_{c,composants}$  est défini par une valeur maximale à ne pas dépasser. Ce paramètre inclut les émissions au moment de la construction, mais aussi celles liées à la maintenance sur une durée de vie de 50 ans, ces dernières étant toutefois affectées par un coefficient minorant (ACV dynamique).

En kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	2021-2023	2024-2026	2027-2029	2030
Maisons individuelles	630	510	450	370
Logements collectifs	700	610	540	450

Figure 1.53 : RE 2020 – Valeurs maximales du paramètre  $I_{c,composants}$

L'analyse des permis de construire de l'année 2019 montre que la surface de maisons individuelles représente 55% de la surface totale déposée par l'ensemble des permis. Si on suppose que les valeurs de la période 2024-2026 correspondent à ce qu'il est possible d'obtenir sur la période 2018-2030, la valeur représentative moyenne des constructions neuves dans cette période serait  $510 \times 0,55 + 610 \times 0,45 = 555$  kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Pour tenir compte de la maintenance ultérieure nous avons ramené cette valeur à 500 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> pour la construction neuve.

Pour les constructions avec matériaux biosourcés, nous nous sommes appuyés sur une étude<sup>15</sup> récente aux termes de laquelle une construction neuve avec matériaux biosourcés n'émettrait, sur sa durée de vie, que 265 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Nous avons donc adopté la valeur de 200 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> s'agissant des émissions à la construction, et tablant sur quelques progrès.

Pour la rénovation, on s'est à nouveau référés à l'étude précédente qui s'est appuyée sur des réalisations effectuées dans la décennie 2010. Elle montre que les rénovations facteurs 4 ou passives ont des émissions (sur l'ensemble du cycle de vie) autour de 200-220 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, valeurs pouvant être abaissées à 75 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> par l'utilisation de techniques adaptées et de matériaux biosourcés. Nous avons considéré qu'il était possible aujourd'hui de rénover avec des émissions de 120 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, et qu'en utilisant les matériaux biosourcés on pouvait atteindre 60 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Le parti a donc été pris de considérer les rénovations comme très performantes, ce qui n'est pas forcément le cas de tous les scénarios de rénovation.

- énergie grise

Toujours en référence à l'étude déjà citée, il apparaît qu'une construction neuve très performante avec structure béton absorbe une énergie grise de 2250 kWh/m<sup>2</sup> (avec émission de 560 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Mais la même construction en matériaux biosourcés n'absorberait que 1275 kWh/m<sup>2</sup> (avec une émission de 220 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). De là, nous avons adopté une valeur pour la construction neuve relativement optimiste de 1500 kWh/m<sup>2</sup> et

<sup>15</sup> « Indicateurs Energétique, Economique, Environnementaux en Rénovation » - Cycleco-Enertech – ADEME 2017

pour la variante biosourcés une valeur de 900 kWh/m<sup>2</sup> étant entendu que les incidences de la maintenance et du renouvellement de matériaux ne sont pas incluses dans ces valeurs.

Reste la question de la rénovation. L'énergie grise lors d'opération de rénovation (et non sur le cycle de vie complet) doit encore être précisée à partir des travaux déjà en cours. Dans cette attente, les valeurs retenues sont de 500 kWh/m<sup>2</sup> avec des techniques traditionnelles, et 350 kWh/m<sup>2</sup> avec des matériaux biosourcés ou à faible contenu énergétique. Mais à nouveau, ces valeurs sont à associer à des rénovations de type facteur 4.

En résumé voici un tableau récapitulatif des valeurs adoptées pour les différents paramètres :

	Matériaux traditionnels		Matériaux biosourcés	
	Neuf	Rénovation	Neuf	Rénovation
Contenu CO2 [kg CO2/m <sup>2</sup> Shab]	500	120	200	60
Energie grise [kWhEP/m <sup>2</sup> Shab]	1500	500	900	350

**Figure 1.54 : Valeurs d'énergie grise et de contenu carbone spécifiques retenues pour la construction neuve et la rénovation**

#### 4 – Rappel de la nomenclature générale utilisée dans les § 2 et 3

- $a_{i n}$  : apports internes récupérés l'année « n » [kWh/m<sup>2</sup>/an]
- $a_{s n}$  : apports solaires récupérés l'année « n » [kWh/m<sup>2</sup>/an]
- $C_{EF}$  : correction globale de consommation d'énergie finale à appliquer au 1/1/2018 [TWh/an]
- $C_{EGES}$  : correction globale des émissions de GES à appliquer au 1/1/2018 [Mt CO<sub>2</sub>/an]
- $C_{EP}$  : Correction globale de consommation d'énergie primaire à appliquer au 1/1/2018 [TWh/an]
- $cc_{CO_2 i ch}$  : contenu CO<sub>2eq</sub> du kWh chauffage pour l'énergie « i » (électricité : énergie indice 1)
- $cc_{CO_2 i ecs}$  : contenu CO<sub>2eq</sub> du kWh ECS pour l'énergie « i »
- $EF_{2018}$  : énergie finale consommée par les 3 usages conventionnels dans l'année 2017 [TWh/an]
- $EF_{ch n}$  : consommation d'énergie finale de chauffage l'anne « n » [TWh/an]
- $ef_{ch n}$  : énergie finale spécifique de chauffage l'année « n ». On a :  $ef_{ch n} = EF_{ch n} / S_n$  [kWh/m<sup>2</sup>/an]
- $efdpe_{i,l}$  : valeur de l'énergie finale spécifique maximale pour l'énergie « i » dans la classe énergétique « l » après rénovation, telle que déduite de la nouvelle étiquette [kWh/m<sup>2</sup>/an]
- $efe_{2021 k}$  : Energie finale spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) [kWh/m<sup>2</sup>/an],
- $ef_{ecs i}$  : énergie finale associée à la production d'eau chaude sanitaire avec l'énergie i. En pratique cette distinction entre ECS et chauffage n'existe que pour l'électricité. Pour celle-ci, la valeur de  $ef_{ecs}$  est de 7 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les classes A et B (on suppose que les logements sont alors équipés de chauffe-eau thermodynamiques) et de 17,5 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les autres logements (ballons classiques).
- $ef_{reno j}$  : la consommation spécifique d'énergie finale après rénovation du parc de logements qui était de classe énergétique « j » avant rénovation (en kWh/m<sup>2</sup>/an).
- $EGES_n$  : émissions de GES des 3 usages conventionnels dans au 1/1 de l'année n [Mt CO<sub>2</sub>/an]
- $eges_{ji}$  : émissions de GES de l'énergie « i » associée au niveau moyen d'énergie primaire de la classe énergétique « j » [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an]
- $egesdpe_{i,l}$  : valeur des émissions de GES spécifiques maximale pour l'énergie « i » dans la classe énergétique « l » après rénovation, telle que déduite de la nouvelle étiquette [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an].
- $egese_{2021 k}$  : Emissions de GES spécifiques moyennes de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an],
- $eges_{reno j}$  : les émissions spécifiques de GES après rénovation du parc de logements qui était de classe énergétique « j » avant rénovation [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an].
- $EP_{2018}$  : énergie primaire consommée par les 3 usages conventionnels dans l'année 2017 (état au 1/1/2018),
- $epe_{2018 j}$  = Energie primaire spécifique moyenne de la classe énergétique « j » de l'ancienne étiquette (définie par l'indice 2018) [kWh/m<sup>2</sup>/an],
- $epe_{2021 k}$  : Energie primaire spécifique moyenne de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) [kWh/m<sup>2</sup>/an],
- $epe_{2021 k,l}$  : Energie primaire spécifique moyenne de l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette (définie par l'indice 2021) [kWh/m<sup>2</sup>/an],
- $epdpe_{i,l}$  : valeur de l'énergie primaire spécifique maximale pour l'énergie « i » dans la classe énergétique « l » après rénovation, telle que déduite de la nouvelle étiquette [kWh/m<sup>2</sup>/an].
- $ep_{reno j}$  : la consommation spécifique d'énergie primaire après rénovation du parc de logements qui était de classe énergétique « j » avant rénovation [kWh/m<sup>2</sup>/an].
- $\eta$  : rendement global de l'installation de chauffage
- $Fep_i$  : facteur d'énergie primaire de l'énergie « i ». En pratique, seule l'électricité a un  $Fep$  différent de 1 (qui est paramétrable dans la présente étude).
- $f_j$  : facteur de pondération de la consommation d'énergie de la classe énergétique « j »
- $G$  : coefficient de déperditions volumique du « gros » bâtiment [W/m<sup>3</sup>/K]
- $i$  : coefficient d'intermittence

- $N_{c_k}$  : Nombre total de logements dans la classe énergétique « k ». Selon le modèle de parc utilisé,  $N_{c_k}$  figure en dernière colonne des tableaux des figures 1.20 et 1.21.
- $N_{comb}$  : nombre de logements construits entre 1975 et 2018 chauffés par combustible au 1/1/2018
- $N_{démol}$  : nombre de logements datant d'avant le 1/1/1975 détruits entre le 1/1/1975 et le 1/1/2018,
- $N_{dj_n}$  : nombre de degrés jours de base égale à la température intérieure de consigne l'année « n »
- $N_{élec >1975}$  : nombre de logements construits entre 1975 et 2018 chauffés par l'électricité au 1/1/2018
- $N_{élec <1975}$  : nombre de logements datant d'avant 1975 équipés aujourd'hui de chauffage électrique,
- $N_{élec_n}$  : nombre de logements avec chauffage électrique en France au 1/1 de l'année « n »
- $N_{k,j,i}$  : nombre de logements de la classe énergétique « k » de la nouvelle étiquette, provenant de la classe énergétique « j » de l'ancienne étiquette, pour l'énergie « i ». Il s'agit des éléments des tableaux des figures 1.16 et 1.17.
- $N_n$  : parc de résidences principales au 1/1 de l'année « n »
- $N_{neuf}$  : nombre total de logements construits entre 1975 et 2018
- $R_{ji}$  : taux des logements de la classe énergétique d'origine « j » rénovés en classe énergétique « i ».
- $S_n$  : Surface habitable moyenne d'un logement du parc au 1/1 de l'année « n » [ $m^2$ ]
- $t_{k,i}$  : taux de logements chauffés avec l'énergie « i » dans la classe énergétique « k » (nouvelle étiquette). Ils se calculent à partir des valeurs figurant dans les tableaux des figures 1.20 et 1.21. Si les éléments de ces tableaux sont baptisés  $N_{ji}$ , on a alors simplement  $t_{k,i} = N_{ji}/N_{c_k}$ .
- $tr_{j,i}$  : part de l'énergie « i » dans le parc des logements rénovés désormais en classe énergétique « j ».
- $V$  : Volume habitable [ $m^3$ ]

**ANNEXE 2 : Expliquer l'évolution de la consommation de chauffage entre 1975 et 2018**

## Expliquer l'évolution de la consommation de chauffage entre 1975 et 2018

Entre 1975 et 2018 la consommation d'énergie finale de chauffage est passée de 394,5 TWh/an à 313,6 TWh/an. Or, dans l'intervalle, le parc a augmenté de plus de 11 millions de logements passant de près de 18 millions à près de 29 millions de logements, soit une croissance de plus de 60 %, ce qui aurait pu conduire, si rien n'avait changé, à une consommation supérieure à 600 TWh/an.

Cette période est aussi celle qui a vu naître les réglementations thermiques en France qui se sont succédées depuis 1975 : 1974-1975, 1982, 1988, 2000, 2005, 2012. Mais réduire la consommation des logements neufs ne pouvait pas à soi seul conduire à diminuer la consommation globale observée en 1975. Il s'est donc passé autre chose. On pourrait être tenté de penser que cette baisse complémentaire est le fait de la rénovation thermique des bâtiments. Il faut malheureusement reconnaître qu'aucune grande politique de maîtrise des consommations par la rénovation n'a été mise en oeuvre dans cette période. Il est donc assez peu probable que la rénovation à elle seule puisse expliquer la baisse relativement importante de la consommation de chauffage. Mais alors, quels sont les autres paramètres pouvant expliquer l'évolution de ces 45 dernières années ?

Cette analyse vient en marge de l'étude sur l'évolution future des consommations de chauffage, mais celle-ci a justement permis d'approfondir les mécanismes à la base de la construction des consommations de chauffage, ce qui a permis de comprendre l'évolution des consommations depuis 45 ans. C'est ce que nous allons développer de façon synthétique dans la présente annexe.

### 1 – Les causes de l'évolution

L'étude de l'évolution de la consommation de chauffage a permis de faire apparaître les causes évidentes mais aussi des phénomènes souvent peu mis en avant qui sont tous à l'origine d'un impact plus ou moins important sur les consommations de chauffage :

- la construction neuve. Selon l'INSEE le parc de résidences principales est passé de 17,745 millions de logements en 1974 à 28,984 millions au 1/1/2018. Tous ces logements neufs ont été soumis à l'arrivée des nouvelles réglementations thermiques, ce qui a permis de réduire un peu leur poids dans la consommation de chauffage.

- La destruction de 15 % des logements existants en 1975. On a en effet détruit 2,657 millions de logements, la plus grosse partie de ces destructions ayant eu lieu entre 1975 et 2000. Ce phénomène a deux conséquences : d'une part il réduit la consommation de chauffage du parc par la suppression de logements très anciens et la plupart du temps très consommateurs, et d'autre part il nécessite la reconstruction d'un nombre équivalent de logements de manière à maintenir l'offre puisque la population continue à augmenter.

- le chauffage par convecteurs électriques a vu le jour au début des années 70. Mais entre de 1970 et 1975, très peu de logements en ont été équipés. En revanche, après la crise du pétrole intervenu en 1973, il s'est progressivement développé à la fois dans la construction neuve (où la réglementation le concernant était plus contraignante) et dans les bâtiments anciens, sans pour autant que ceux-ci fassent nécessairement l'objet de travaux de rénovation sur l'enveloppe (tout au plus les menuiseries extérieures simples vitrages étaient-elles remplacées par des menuiseries double vitrage). Toujours est-il qu'entre 1975 et 2018 environ 4 millions de logements existants en 1975 ont été équipés de chauffage électrique. Le

rendement global du chauffage électrique dans un logement étant d'environ 95 % alors que celui d'un chauffage traditionnel par combustible plafonnait alors vers 65 %, il s'ensuit que, les déperditions du logement ne changeant pratiquement pas, l'énergie nécessaire pour compenser ces déperditions était inchangée mais l'énergie finale était réduite d'environ 30 %. Cette migration de plus de 20% des logements existants en 1975 vers le chauffage électrique a donc eu pour conséquence un « effacement » d'une partie de l'énergie finale consommée par le parc.

- Entre 1975 et 2018, le réchauffement climatique a eu pour conséquence une baisse très sensible du nombre de degrés jours en France métropolitaine, ce qui a eu pour effet une réduction de la consommation de chauffage.

- Dans la même période, la consommation électrodomestique a pratiquement triplé. Or la majeure partie de cette consommation d'électricité finit en chaleur à l'intérieur des logements, ce qui accroît ce qu'on appelle les apports internes et réduit par voie de conséquence la charge de chauffage de manière significative.

- Depuis quelques années, les pompes à chaleur se développent rapidement que ce soit dans la construction neuve ou dans la rénovation. Ce mode de chauffage très intéressant a une caractéristique particulière : une part importante de la chaleur cédée au logement a été prélevée sur le milieu naturel, ce qui allège d'autant la consommation d'énergie finale. Mais ceci a pour conséquence que, dans le bilan thermique du parc de logements, cette quantité d'énergie gratuite n'apparaît pas. Elle correspond pourtant à un besoin physique imposé par le niveau de déperditions des bâtiments.

- Enfin, le développement massif des chaudières à condensation, notamment aux gaz naturel et au GPL, imposerait une comptabilité des consommations réalisée sur le pouvoir calorifique supérieur (pcs) des combustibles alors qu'elle est aujourd'hui construite sur leur pouvoir calorifique inférieur, ce qui a pour effet visible d'effacer une partie de la consommation réelle d'énergie (mais pas des m<sup>3</sup> de gaz livrés), celle fournie par la condensation de la vapeur des fumées. Cela conduit à un phénomène analogue à celui décrit pour les pompes à chaleur : une partie de l'énergie des déperditions et du renouvellement d'air disparaît du bilan et peut laisser penser que la qualité du bâti (et de la ventilation) est meilleure qu'elle n'est en réalité.

## 2 – Consommation d'énergie finale due à la construction neuve entre 1975 et 2018

L'augmentation de la consommation tendancielle d'énergie finale dans l'intervalle 1975 – 2018 s'écrit :

$$\Delta EF_{ch} = \sum_p N_p \times S_p \times ef_{ch p}$$

où :

- p : l'intervalle de 1975 à 2018 est découpé en 6 périodes « p » correspondant aux 6 réglementations thermiques qui ont été mises en œuvre. Ces périodes sont [1975-1981]; [1982-1987]; [1988-1999]; [2000-2004]; [2005-2011]; [2012-2017]

-  $\Delta EF_{ch}$  : augmentation de l'énergie finale de chauffage entre 1975 et 2018

-  $N_p$  : nombre de logements construits dans la période « p »

-  $ef_{ch p}$  : énergie finale spécifique de chauffage pour les logements neufs construits dans la période « p ». Cette valeur est déduite des contraintes réglementaires introduite par la réglementation thermique propre à la période « p ».

Le nombre de logements construits dans une période « p » est la somme de l'augmentation du nombre de logements du parc dans la période « p » (fourni par l'INSEE) et du nombre de logements démolis dans cette période. Le paragraphe 1.5 du rapport a précisé les sources que nous avons utilisées pour déterminer le nombre de logements démolis. Rappelons

qu'entre 1975 et 1999 il y a eu en moyenne 85 976 destructions par an et qu'entre 2000 et 2013 il y en a eu 31 230.

Il reste donc à déterminer pour chaque période « p » quelle est la valeur de l'énergie finale spécifique de chauffage consommée par les logements neufs. Aucun document ne fixe cette consommation qui est le résultat des contraintes réglementaires imposées à un ensemble de logements dont certains sont individuels, d'autres collectifs, et tous dotés d'installations de chauffage très diverses. Nous avons procédé par recoupement d'estimations d'experts et avons donc utilisé des valeurs qui semblent réalistes mais qui sont « à dire d'experts » avec toutes les incertitudes que cela peut comporter.

Années	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Parc de résidences principales [milliers]	17 745	19 029	20 360	21 496	22 779	24 091	25 743	27 107	27 348	27 580	27 827	28 077	28 254	28 430	28 577
Surf logts neufs [m <sup>2</sup> plancher]	78,74	80,14	81,68	84,66	90,54	101,75	97,32	97,55	95,87	93,08	89,16	87,47	85,50	83,85	84,15
Surface habitable logements neufs [m <sup>2</sup> ]	76,61	77,97	79,47	82,37	88,09	99,00	94,69	94,91	93,28	90,56	86,75	85,11	83,19	81,58	81,88

**Figure 1 : Evolution du parc de résidences principales (source : INSEE) et de la surface habitable des logements neufs (Sources : Base Sit@del2 et INSEE et calculs de l'auteur)**

Périodes	1974	1975-81	1982-87	1988-99	2000-04	2005-11	2012-17
Ef ch [kWh/m <sup>2</sup> Shab/an]	290,1	217,6	163,2	122,4	104,0	93,6	84,3
Baisse RT/RT-1		25%	25%	25%	15%	10%	10%

**Figure 2 : Evolution de la consommation spécifique d'énergie finale de chauffage en fonction des périodes de construction (Source : dire d'experts)**

A partir de ces éléments on peut déterminer le nombre de logements neufs chaque année (somme de la croissance du parc et des logements démolis) :

Périodes	75-81	82-87	88-99	00-04	05-11	12-17	Total
Croissance du parc	1 797 015	1 544 000	3 005 000	1 652 000	1 837 000	1 404 000	11 239 015
Nbre de démolitions	601 829	515 853	976 961	156 154	218 615	187 385	2 656 797
Nombre de logements neufs	2 398 844	2 059 853	3 981 961	1 808 154	2 055 615	1 591 385	13 895 812

**Figure 3 : Nombre de logements neufs par période de construction**

... et l'augmentation de la consommation d'énergie finale de chauffage :

Périodes	75-81	82-87	88-99	00-04	05-11	12-17	Total
Surface habitable moyenne des logements neufs [m <sup>2</sup> ]	77,4	79,3	86,7	98,9	94,6	84,8	
Consommation spécifique de chauffage [kWh/m <sup>2</sup> /an]	217,6	163,2	122,4	104,0	93,6	84,3	
Conso chauffage des logts construits après 1974 [TWh/an]	40,4	26,7	42,3	18,6	18,2	11,4	<b>157,5</b>

**Figure 4 : Augmentation de la consommation d'énergie finale de chauffage des logements neufs entre 1975 et 2018**

Selon ce calcul, on peut aussi connaître la surface habitable construite entre 1975 et 2018 : 1 202 629 748 m<sup>2</sup>.

Tout ce qui précède a été conduit en utilisant la surface habitable puisque c'est elle la bonne référence. Mais que se serait-il passé si on avait utilisé la surface de plancher, voire la SHON ? Ces deux autres calculs ont aussi été menés. Ils conduisent à une valeur de l'augmentation de consommation de 161,9 TWh (au lieu de 157,5) lorsqu'on utilise la surface de plancher, et 175,0 TWh lorsqu'on utilise la SHON.

### 3 – Impact des degrés jours et des apports internes sur la consommation d'énergie finale de la construction neuve (1975-2018)

On a déterminé au paragraphe 2.3.4.1 du rapport quelle était la réduction de consommation produite par la diminution très sensible du nombre de degrés jours pendant l'hiver et l'augmentation des apports internes : 23,7 %. Pour déterminer cet impact sur la consommation des logements neufs qui s'est étendue de 1975 jusqu'à 2018, on a linéarisé cette diminution afin de tenir compte de la date de construction des logements. Ainsi la diminution est maximum pour les logements construits en 1975 et elle est évidemment nulle pour ceux construits en 2017. Ceci conduit donc à un second calcul qui fournira, par différence, l'économie de consommation réalisée.

Périodes	75-81	82-87	88-99	00-04	05-11	12-17	Total
Surface habitable moyenne des logements neufs [m <sup>2</sup> ]	77,4	79,3	86,7	98,9	94,6	84,8	
Consommation spécifique de chauffage [kWh/m <sup>2</sup> /an]	169,6	133,1	105,9	94,9	88,5	82,7	
Conso chauffage des logts construits après 1974 [TWh/an]	31,5	21,7	36,6	17,0	17,2	11,2	<b>135,1</b>

**Figure 5 : Augmentation de la consommation d'énergie finale de chauffage des logements neufs entre 1975 et 2018 avec correction de la réduction des degrés jours et de l'augmentation des apports internes**

Par différence avec la valeur trouvée au §2, on en déduit la diminution de consommation due à la baisse des Dju et à l'augmentation des apports internes : **22,4 TWh/an** en 2018.

### 4 – Impact des degrés jours et des apports internes sur la consommation d'énergie finale du parc de logements d'avant 1975 encore existant en 2017

On cherche ici à évaluer la réduction de consommation d'énergie finale du parc de logements existants en 1975 et toujours là en 2017, diminution consécutive à la modification des degrés jours et des apports internes. On raisonne ici « toutes choses égales par ailleurs » c'est-à-dire sans prendre en compte des travaux de rénovation qui aurait pu exister (et qui seront évalués par ailleurs).

Le calcul du détail de cet impact a été fait au § 2.3.4.2 de l'Annexe 1.

La réduction de consommation a été évaluée à **72,8 TWh/an** en 2018.

### 5 – Effacement de consommation lié au passage au chauffage électrique de logements d'avant 1975

L'effacement de consommation dont il s'agit est uniquement dû à la différence des rendements à l'échelle du logement entre le chauffage électrique et le chauffage par combustible.

Cet effacement s'écrit donc simplement :

$$\Delta E_{el} = EF_{ch\ 1975} \times N_{élec<1975} / N_{1975} \times (1 - \eta_c / \eta_e) \times \alpha$$

où :

- $EF_{ch\ 1975}$  : Consommation d'énergie finale du parc de résidences principales au 1/1/1975
- $N_{élec<1975}$  : nombre de logements datant d'avant 1975 équipés aujourd'hui de chauffage électrique,
- $N_{1975}$  : parc de résidences principales au 1/1/1975 (voir tableau de la figure 1)
- $\eta_c$  : rendement global d'un chauffage par combustible

- $\eta_e$  : rendement global d'un chauffage par convecteurs électriques
- $\alpha$  : facteur de réduction de consommation (degrés jours/apports internes)

Cette expression de l'effacement tient compte de la correction apportée par la diminution du nombre de degrés jours.

Numériquement :

- $\Delta E_{el}$  : valeur de l'effacement de consommation d'énergie finale
- $EF_{ch\ 1975}$  : 394,5 TWh/an
- $N_{elec<1975}$  : 4 millions
- $N_{1975}$  : 17,745 millions
- $\eta_c$  : 0,65
- $\eta_e$  : 0,95
- $\alpha$  : 0,763

**D'où  $\Delta E_{el} = 21,4$  TWh/an**

## 6 – Consommation évitée par la destruction de logements

Entre 1975 et 2018, plus de 2,5 millions de logements d'avant 1975 ont été détruits. L'évitement de consommation correspondant s'écrit simplement :

$$\Delta E_{demol} = N_{demol} \times S_{1975} \times ef_{ch\ 1975} \times \alpha$$

où :

- $N_{demol}$  : nombre de logements datant d'avant le 1/1/1975 détruits entre le 1/1/1975 et le 1/1/2018, (voir tableau de la figure 3)
- $S_{1975}$  : Surface habitable moyenne d'un logement du parc au 1/1/1975 (voir tableau de la figure 1)
- $ef_{ch\ 1975}$  : énergie finale spécifique de chauffage au 1/1/1975.  
Elle vaut simplement  $ef_{ch\ 1975} = EF_{ch\ 1975} / N_{1975} / S_{1975}$  (voir tableau de la figure 2)
- $\alpha$  : défini au § précédent

Numériquement :

- $N_{demol}$  : 2 656 797
- $S_{1975}$  : 76,61 m<sup>2</sup>
- $ef_{ch\ 1975}$  : 290,1 kWh/m<sup>2</sup>/an
- $\alpha$  : 0,763

**d'où  $\Delta E_{demol} = 45,1$  TWh/an**

## 7 – Energie prise par les pompes à chaleur dans l'environnement

En prenant un coefficient de performance de 3, le CEREN à évaluer l'énergie prise annuellement dans l'environnement par les pompes à chaleur à **9,8 TWh** en 2017

## 8 – Energie produite par condensation de la chaleur latente de la vapeur des fumées

Comme évoqué précédemment (voir Annexe 1 - § 2.3.4.4), l'énergie de chaleur latente récupérée par les chaudières à condensation n'est pas prise en compte lorsque les bilans sont exprimés sur pci. Un vrai bilan physique suppose donc d'ajouter cette récupération de chaleur aux consommations exprimées sur pci.

Dans le tableau de la figure 1.6 du § 1.1 de l'Annexe 1, la consommation sur pcs de gaz pour le chauffage est de 123,3 TWh et celle de GPL (également sur pcs) de 3,3 TWh. Compte tenu des rapports pcs/pci de ces deux énergies (1,11 pour le gaz et 1,09 pour le GPL), le potentiel total apporté par la condensation est de 12,5 TWh. Si on suppose que 50% des chaudières à gaz et au GPL sont aujourd'hui à condensation, cela signifie que **6,2 TWh** sont annuellement récupérés par condensation.

## 9 – Bilan global de la consommation de chauffage

On dispose désormais de tous les éléments permettant de reconstituer l'évolution de la consommation d'énergie finale de chauffage entre 1975 et 2018.

Il faut au préalable s'entendre sur l'objectif de consommation de chauffage à atteindre. L'approche qui a été utilisée pour évaluer l'évolution des consommations depuis 1975 est une approche physique des besoins. Ce résultat devra donc être comparé à une consommation observée de la même nature. Celle qui apparaît dans le tableau 1.6 de l'Annexe 1, d'une valeur de 319,8 TWh, inclut la totalité de la chaleur latente du gaz et du GPL, alors que seulement la moitié n'est utilisée. Elle doit donc être corrigée et réduite de 6,2 TWh pour pouvoir être comparée à la valeur trouvée par l'approche évolutive de la consommation depuis 1975. La valeur cible est donc de 313,6 TWh/an.

Mais les deux valeurs ne peuvent pas être égales. Elles seront même très sensiblement différentes, et cette différence constitue une information importante puisqu'il s'agit de la valeur des économies d'énergie faites depuis 1975 par des travaux de rénovation thermique.

Le tableau de la figure 6 présente ce bilan. Il a été établi en faisant les calculs au moyen de trois types de surface pour les logements : la surface de plancher, la surface habitable et la SHON. Ceci pour évaluer les conséquences d'un usage autre que la surface habitable, la seule susceptible d'être utilisée pour obtenir un résultat exact.

En TWhEF/an	Surface de plancher		Surface habitable		Surface hors œuvre nette	
	Impact	Conso globale	Impact	Conso globale	Impact	Conso globale
Désignation	Impact	Conso globale	Impact	Conso globale	Impact	Conso globale
Etat initial le 1/1/1975		394,5		394,5		394,5
Constructions neuves 75-2017	161,9	556,4	157,5	552,0	175,0	569,5
Réduction du nbre dju sur constructions neuves	-23,0	533,3	-22,4	529,6	-24,9	544,6
Réduc. de conso. due à la baisse des dju sur parc <1975 encore là en 2018	-72,8	460,5	-72,8	456,7	-72,8	471,8
Passage de 4 M logts au chauffage électrique (correction des dju incluse)	-21,4	439,1	-21,4	435,3	-21,4	450,3
Conso évitée par destruction de 2,657 M logts < 1975 (correction dju incluse)	-46,3	392,8	-45,1	390,3	-50,1	400,3
Consommation réelle de chauffage observée	-313,6	79,2	-313,6	76,7	-313,6	86,7
<b>Par déduction économie de chauffage déjà réalisée sur bâtiments &lt;1975</b>	0,0	79,2	0,0	<b>76,7</b>	0,0	86,7
<b>Eco spécifique de la rénovation sur parc logements &lt;1975 [kWhEF/m²/an]</b>		66,6 kWh/m²Pl/an		66,3 kWh/m²Shab/an		67,5 kWh/m²Shon/an
<b>Economie d'énergie faite depuis 1975 sur le parc de logements &lt;1975 [%]</b>		<b>20,1%</b>		<b>19,4%</b>		<b>22,0%</b>

**Figure 6 : Bilan énergétique de l'évolution des consommations de chauffage de 1975 à 2018**

Ce tableau montre que :

1 - les transformations du parc de logements depuis 1975 (construction de logements neufs, démolition, etc.) et les évolutions de déterminants extérieurs (climat, apports, etc) ont conduit à ce qu'en 2018, hors travaux de rénovation thermique, la consommation du parc est toujours sensiblement du même niveau. Ces évolutions ont permis d'absorber la consommation des constructions neuves.

2 - L'ensemble des économies d'énergie finale réalisée depuis 1975 s'élève en 2018 à **76,7 TWh/an**. Ceci représente une économie de 19,4 % par rapport à la consommation d'origine. Rapporté à la surface des logements d'avant 1975 encore occupés en 2018, cela correspond

à une économie de **66,3 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an**. En valeur moyenne cela représente aussi une économie de 1,78 TWh/an. A peu de chose près les économies de rénovation faites en 43 ans depuis 1975 (76,7 TWh/an) sont égales à celles que la PPE à fixer pour la France d'ici 2028 (74 TWh/an). Cela donne à réaliser l'effort qu'il va falloir faire pour atteindre ces objectifs.

On peut également tirer des conclusions concernant le niveau des consommations d'énergie finale de toute nature :

1 - La consommation de chauffage des logements construits depuis 1975 aurait dû être de :	157,5 TWh/an
mais, à cause de la diminution du nombre de degrés.jours elle est réduite de :	22,4 TWh/an
ramenant la consommation de chauffage des logements construits après 1974 à :	135,1 TWh/an
2 - Sur le parc de logements d'avant 1975 la baisse du nombre de dju réduit la consommation de :	72,8 TWh/an
3 - Le passage de 4 M de logements d'avant 1975 au chauffage électrique efface de l'énergie finale à hauteur de :	21,4 TWh/an
4 - La destruction de 2,657 M logements d'avant 1975 réduit, en plus des dju, le niveau de consommation de :	45,1 TWh/an
5 - La réduction de consommation du parc (surtout d'avant 1975) par travaux sur les enveloppes et les systèmes vaut :	<b>76,7 TWh/an</b>
6 - Au 1/1/2018 il reste 15,088 M de logements d'avant 1975 d'une surface habitable moyenne de 76,61 m <sup>2</sup> . D'où :	
- l'économie de consommation spécifique sur ce parc entre 1975 et 2018 est de :	66,3 kWh/m <sup>2</sup> Shab/an
- la réduction relative de consommation spécifique (les kWh/m <sup>2</sup> /an) vaut :	22,9%
- l'économie relative de consommation due aux travaux de rénovation vaut :	<b>19,4%</b>
- l'économie relative de consommation due à la baisse du nombre de dju vaut :	18,5%
- l'économie relative de consommation due au seul passage de 4 M logements à l'électricité vaut :	5,4%
- l'économie relative de consommation due à la destruction de 2,657 M logements vaut :	11,4%
7 - Toutes causes confondues (baisse dju, destruction, etc) la baisse de consommation des logements d'avant 75 vaut :	216,0 TWh/an
	soit en % : <b>54,8%</b>
8 - En 2018 la consommation observée des logements d'avant 1975 vaut donc :	178,5 TWh/an
9 - En 2018 la consommation spécifique de chauffage des logements d'avant 1975 vaut :	<b>154,4 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an</b>
10 - La surface habitable totale des logements construits depuis 1975 est de :	1 202,6 M m <sup>2</sup> Shab
11 - En 2018 la consommation spécifique moyenne de chauffage des logements construits depuis 1975 est de :	112,4 kWh/m <sup>2</sup> Shab/an
<b>12 - En 2018, la consommation spécifique de chauffage de l'ensemble des logements du parc vaut en moyenne :</b>	<b>132,0 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an</b>
13 - Au 1/1/2018 le parc se compose de logements d'avant 1975 au nombre de :	15 088 188
et de logements d'après 1974 au nombre de :	13 895 812

**Résultats obtenus en utilisant la surface habitable**

On retiendra notamment que, toutes causes confondues, la consommation de chauffage des logements construits avant 1975 a été réduite de 54,8%, qu'en 2018 la consommation spécifique d'énergie finale de chauffage de ce parc est de 154,4 kWh/m<sup>2</sup>Shab/an et celle de l'ensemble du parc de logements de 132,0 kWh/m<sup>2</sup><sub>shab</sub>/an. **On notera aussi qu'en 2018 les économies d'énergie dues à des travaux de rénovation pendant 43 ans sont estimées à 76,7 TWh/an soit seulement 19,4 % de la consommation de chauffage en 1975 ■**