

## ETUDE DE SENSIBILITÉ RÉALISÉE DANS LE CADRE DE L'ACTION « CONSTRUIRE AVEC L'ÉNERGIE »

**Rapport complet**

**Stéphanie Nourricier, Véronique Feldheim**

Septembre 2010

**UMONS**  
Faculté Polytechnique



Etude réalisée dans le cadre de l'action « Construire avec l'énergie » avec le soutien de la DGO4 du Service public de Wallonie

Les auteurs de ce rapport tiennent à remercier Claude Crabbé (UCL), Géraldine Dupont (Energy SuD – ULg), Bernard Georges (ULg), Dominique Langendries (CSTC), Stéphane Monfils (Energy SuD – ULg), Corinne Rogiest (ULg) et Antoine Tilmans (CSTC), pour leur relecture attentive de ce rapport, mais aussi pour leurs conseils avisés et le partage de leur expérience tout au long de la réalisation de cette étude. Ces remerciements vont également à l'ensemble du comité de gestion général de l'action, qui a, à de nombreuses reprises, été sollicité afin de donner son avis ou d'arrêter des choix difficiles. Finalement, ces remerciements vont également aux quelques partenaires de l'action qui ont répondu présents pour nous fournir des informations de terrain nécessaires au démarrage de cette étude.

## Sommaire

Introduction – objectifs de cette étude .....	4
Première Partie .....	5
A. Hypothèses .....	5
1. Les hypothèses ‘Enveloppe’ .....	5
2. Les hypothèses ‘Equipements’ .....	15
3. Les combinaisons enveloppe/étanchéité/ventilation/chauffage envisagées .....	18
4. Les hypothèses ‘Economiques’ .....	19
5. Les émissions de CO <sub>2</sub> .....	26
B. Méthodes et modèles de calcul .....	28
1. La méthode de calcul des indicateurs énergétiques .....	28
2. Le calcul des indicateurs économiques (6) .....	30
3. L’outil utilisé (programme MATLAB) .....	33
C. Résultats de la plaquette : « Répondre à la PEB » .....	34
1. Les valeurs U des différentes parois dans les 3 niveaux d’isolation .....	34
2. Les niveaux K des 4 typologies dans les 2 modes de construction et dans les 3 niveaux d’isolation .....	34
3. L’indicateur de surchauffe des 4 typologies dans les 2 modes de construction et dans les 3 niveaux d’isolation .....	35
4. Les abaques de lecture des niveaux E <sub>w</sub> et consommations E <sub>spec</sub> .....	36
5. L’impact du niveau d’isolation sur le niveau E <sub>w</sub> .....	38
6. L’impact de l’étanchéité sur le niveau E <sub>w</sub> .....	40
7. L’impact du système de ventilation sur le niveau E <sub>w</sub> .....	41
8. L’impact de l’installation de chauffage sur le niveau E <sub>w</sub> .....	42
9. L’impact du préchauffage solaire de l’ECS et des panneaux solaires photovoltaïques sur le niveau E <sub>w</sub> .....	43
10. L’impact de la surchauffe sur le niveau E <sub>w</sub> et les moyens de la réduire .....	44
11. L’influence de la quantité de surface vitrée .....	45
12. L’influence de l’inertie .....	46
13. Les résultats économiques .....	46
Deuxième Partie .....	49
A. Comparaison des cas n°1 et n°11 dans la situation économique 2009 : .....	50
1. Cas de base n°1 .....	50
2. Cas CALE n°11 .....	52
3. Comparaison du cas de base n°1 et du cas CALE n°11 en 2009 .....	53
B. Comparaison des cas n°1 et n°11 dans la situation économique 2008 : .....	55
1. Cas de base n°1 .....	55
2. Cas CALE n°11 .....	58

---

3. Comparaison du cas de base n°1 et du cas CALE n°11 en 2008.....	59
4. Comparaison des situations économiques 2008 et 2009 .....	60
C. Comparaison du cas de base n°1 et des cas 'CALE' n°11, n°12 et n°13 dans les situations économiques 2008 et 2009 :.....	61
Conclusions .....	63
Liste des figures :.....	65
Liste des tableaux :.....	66

## Introduction – objectifs de cette étude

La Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) 2002/91/CE (1) est une des mesures prises par l'Union européenne afin de respecter ses engagements en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Une des exigences de cette directive est d'établir une méthode de calcul de la PEB intégrant toutes les consommations du bâtiment liées à une utilisation standardisée de celui-ci. En Belgique, et plus particulièrement en Région wallonne, la PEB est traduite sous forme de plusieurs indicateurs dont le niveau de consommation d'énergie primaire (niveau  $E_w$ ) et la consommation spécifique en énergie primaire ( $E_{spec}$ ).

« ... les consommations du bâtiment liées à une utilisation **standardisée** de celui-ci. »

L'objet de l'étude réalisée est d'étudier la sensibilité de la méthode adoptée pour les bâtiments résidentiels, à divers paramètres tels que le niveau d'isolation, le type de système de ventilation, la qualité de l'étanchéité à l'air ou encore le type de système de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Les résultats en termes d'indicateurs de PEB sont ensuite confrontés à des indicateurs économiques, le but étant d'encourager les investissements efficaces en matière d'économie d'énergie.

L'étude a été effectuée dans le cadre de l'action : « Construire avec l'énergie » (CALE), visant à accompagner les professionnels de la construction, essentiellement les architectes, pour l'entrée en vigueur de la réglementation en mai 2010 et a fait l'objet de la publication d'une plaquette de synthèse intitulée « Répondre à la PEB » (2), téléchargeable sur le site de la Région, dans les pages consacrées à l'action CALE.

Le présent rapport expose l'ensemble des hypothèses, méthodes utilisées et résultats de cette étude. Il se compose de deux parties, la première est consacrée à l'exposé détaillé des hypothèses technologiques et économiques, aux méthodes de calcul énergétique et économique, ainsi qu'aux résultats ayant fait l'objet de la publication synthétique. La seconde partie est consacrée à l'exposé des résultats détaillés, poste par poste, de quelques cas sélectionnés dans l'étude économique.

« Cette étude traite de bâtiments résidentiels **neufs**. »

Pour consulter directement les **résultats** de cette étude, rendez-vous directement p 34 de ce rapport.

## Première Partie

### A. Hypothèses

Les paramètres considérés dans le cadre de cette étude sont d'une part liés à l'enveloppe du bâtiment, et d'autre part liés aux systèmes dont sont équipés ces logements, à savoir :

- les typologies de bâtiments ;
- les modes de construction menant à des classes d'inertie thermique différentes ;
- les épaisseurs d'isolant utilisées dans les différentes parois de déperdition menant à trois niveaux d'isolation thermique globale ;
- les quantités de surfaces vitrées ;
- les niveaux d'étanchéité à l'air ;
- les systèmes de ventilation ;
- les systèmes de chauffage ;
- les systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) ;
- les systèmes solaires thermiques ou photovoltaïques.

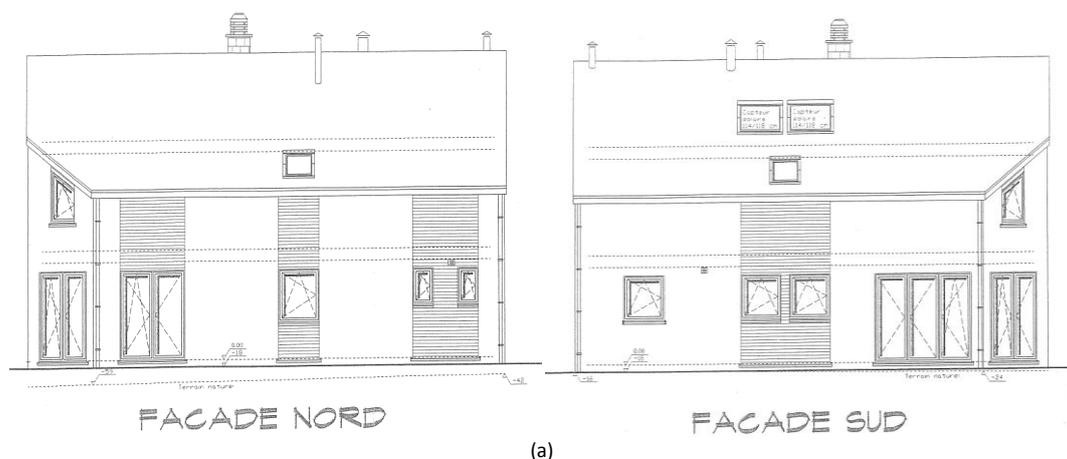
#### 1. Les hypothèses 'Enveloppe'

##### 1.1 Les logements (les caractéristiques géométriques)

Cinq bâtiments résidentiels ont été sélectionnés dans la base de données de l'action « Construire avec l'énergie », de quatre typologies différentes : deux habitations quatre façades, une classique, type « clef sur porte », et une seconde plus architecturée, une habitation trois façades, une deux façades (mitoyenne) et finalement un appartement situé dans un immeuble. Chaque typologie a été envisagée avec deux proportions de surfaces vitrées par rapport à la surface de plancher chauffé ( $A_{ch}$ ) : moyennement vitrée (15 à 20% de  $A_{ch}$ ), et très vitrée (de l'ordre de 30% de  $A_{ch}$ ).

##### Les maisons 4 façades

La maison 4 façades type « clef sur porte » choisie est la suivante :



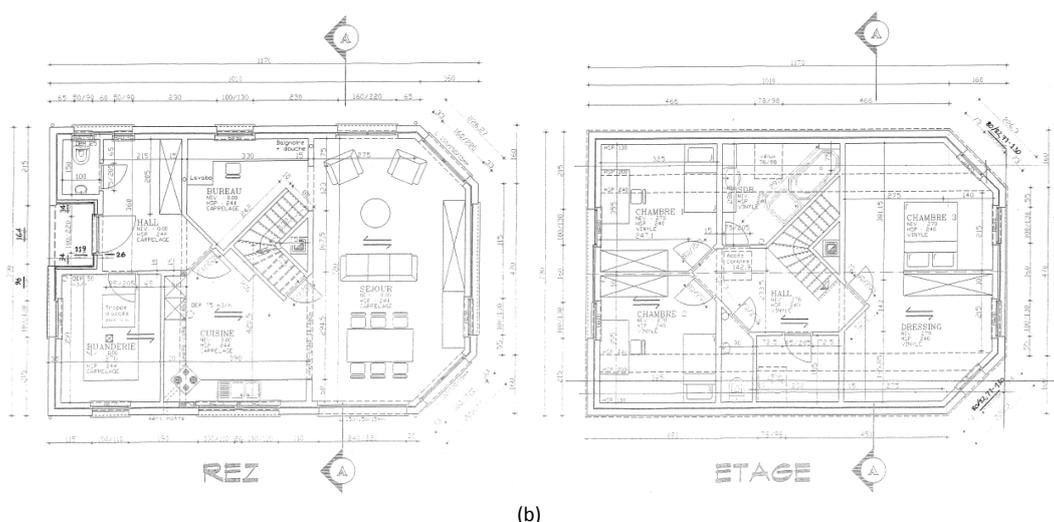


Figure 1 (a) et (b) : Plans de la maison 4 façades type « clef sur porte » choisie [Arch. Alain Schmitz]

Les caractéristiques géométriques de cette maison sont les suivantes :

			Moyennement vitré (Av1)	Très vitré (Av2)
Surface de façades	$A_m$	[m <sup>2</sup> ]	168	149.08
Surface de plancher sur vide ventilé	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	90	90
Surface de toiture	$A_t$	[m <sup>2</sup> ]	116	116
Surface de fenêtres	$A_f$	[m <sup>2</sup> ]	34.48	53.4
Surface de portes	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	0	0
<hr/>				
Surface de déperdition totale	$A_T$	[m <sup>2</sup> ]	408	408
Surface de plancher chauffé	$A_{ch}$	[m <sup>2</sup> ]	160	160
Volume protégé	V	[m <sup>3</sup> ]	551	551
<hr/>				
Compacité	$V/A_T$	[m]	1.35	1.35
Hauteur moyenne	$V/A_{ch}$	[m]	3.44	3.44
<hr/>				
Proportion de surface vitrée	$A_f/A_{ch}$	[%]	22%	33%

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques de la maison 4 façades type « clef sur porte »

Les surfaces vitrées sont réparties comme suit, quelle que soit la proportion de surfaces vitrées envisagée :

Façade - nord	[%]	17%
Façade - nord est	[%]	13%
Toiture - nord 40°	[%]	2%
Façade - est	[%]	11%
Façade sud - est	[%]	13%
Façade - sud	[%]	25%
Toiture - sud 40°	[%]	2%
Façade - ouest	[%]	18%

Tableau 2 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 4 façades type « clef sur porte »

La maison 4 façades type « architecturée » choisie est la suivante :

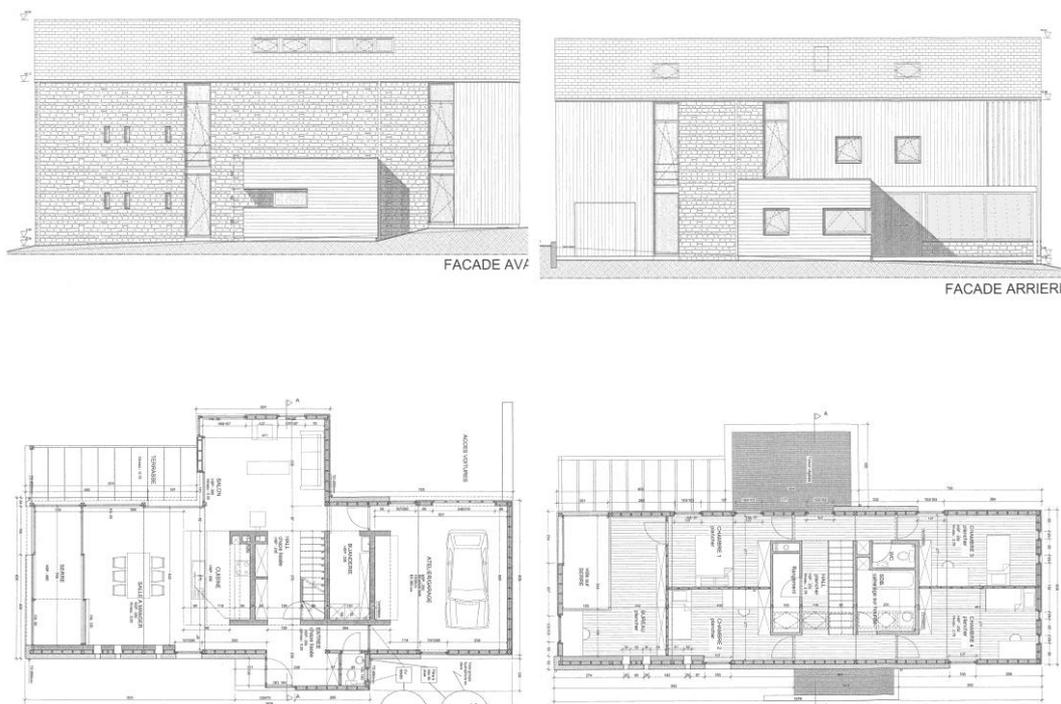


Figure 2 : Plans de la maison 4 façades type « architecturée » choisie

Les caractéristiques géométriques de cette maison sont les suivantes :

			Moyennement vitré (Av1)	Très vitré (Av2)
Surface de façades	$A_m$	[m <sup>2</sup> ]	345	302.4
Surface de plancher sur vide ventilé	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	146	146
Surface de toiture	$A_t$	[m <sup>2</sup> ]	172	172
Surface de fenêtres	$A_f$	[m <sup>2</sup> ]	39.4	82
Surface de portes	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	4.92	4.92
Surface de déperdition totale	$A_T$	[m <sup>2</sup> ]	707	707
Surface de plancher chauffé	$A_{ch}$	[m <sup>2</sup> ]	284	284
Volume protégé	$V$	[m <sup>3</sup> ]	988	988
Compacité	$V/A_T$	[m]	1.40	1.40
Hauteur moyenne	$V/A_{ch}$	[m]	3.48	3.48
Proportion de surface vitrée	$A_f/A_{ch}$	[%]	14%	29%

Tableau 3 : Caractéristiques géométriques de la maison 4 façades type « architecturée » [Arch. Nicolas Fiasse]

Les surfaces vitrées sont réparties comme suit :

Façade - est	[%]	17%
Toiture est - 40°	[%]	5%
Façade - nord	[%]	2%
Façade - ouest	[%]	42%
Toiture ouest - 40°	[%]	2%
Façade - sud	[%]	32%

Tableau 4 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 4 façades type architecturée

La maison 3 façades

La maison 3 façades choisie est la suivante :



Figure 3 : Plans de la maison 3 façades choisie [Arch. Geneviève Migeal – deCartier]

Les caractéristiques géométriques de cette maison sont les suivantes :

		Moyennement vitré (Av1)	Très vitré (Av2)
Surface de façades	$A_m$ [m <sup>2</sup> ]	136.7	116.7
Surface de plancher sur vide ventilé	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	63	63
Surface de toiture	$A_t$ [m <sup>2</sup> ]	75	75
Surface de fenêtres	$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	25.13	45.13
Surface de portes	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	2.15	2.15
Surface de déperdition totale	$A_T$ [m <sup>2</sup> ]	302	302
Surface de plancher chauffé	$A_{ch}$ [m <sup>2</sup> ]	150	150
Volume protégé	$V$ [m <sup>3</sup> ]	449	449
Compacité	$V/A_T$ [m]	1.49	1.49
Hauteur moyenne	$V/A_{ch}$ [m]	2.99	2.99
Proportion de surface vitrée	$A_f/A_{ch}$ [%]	17%	30%

Tableau 5 : Caractéristiques géométriques de la maison 3 façades

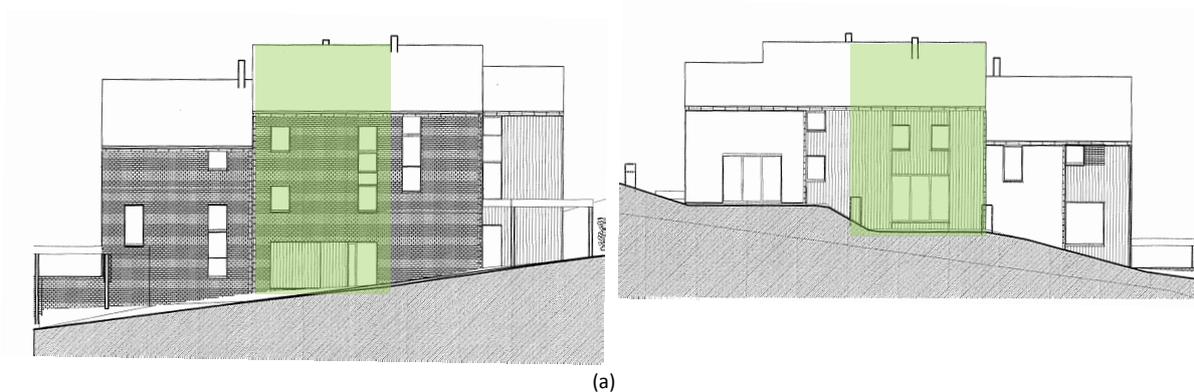
Les surfaces vitrées sont réparties comme suit :

Façade - nord	[%]	11%
Toiture nord - 33°	[%]	2%
Façade - est	[%]	29%
Façade - sud	[%]	36%
Toiture sud - 33°	[%]	12%
Façade - ouest	[%]	10%

Tableau 6 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 3 façades

### La maison 2 façades

La maison 2 façades choisie est la suivante :



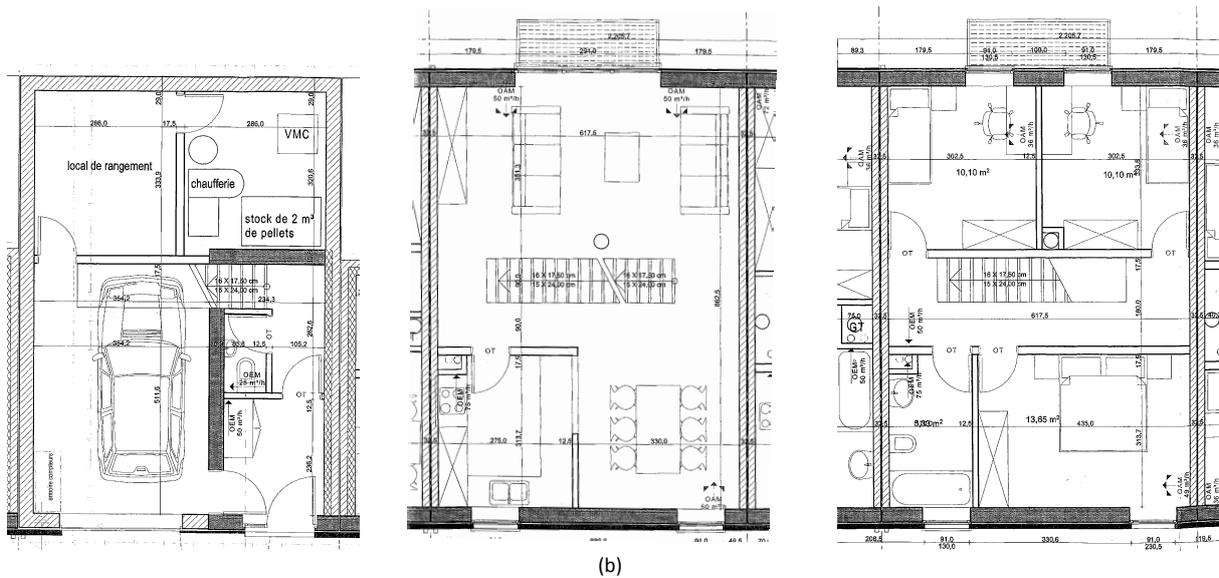


Figure 4 (a) et (b) : Plans de la maison 2 façades choisie [Arch. Damien Franzen]

Les caractéristiques géométriques de cette maison sont les suivantes :

		Moyennement vitré (Av1)	Très vitré (Av2)
Surface de façades	$A_m$ [m <sup>2</sup> ]	112	77.79
Surface de plancher sur vide ventilé	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	62.5	62.5
Surface de toiture	$A_t$ [m <sup>2</sup> ]	74.36	74.36
Surface de fenêtres	$A_f$ [m <sup>2</sup> ]	16.19	50.4
Surface de portes	$A_p$ [m <sup>2</sup> ]	2.09	2.09
Surface de déperdition totale	$A_T$ [m <sup>2</sup> ]	267	267
Surface de plancher chauffé	$A_{ch}$ [m <sup>2</sup> ]	166	166
Volume protégé	$V$ [m <sup>3</sup> ]	519	519
Compacité	$V/A_T$ [m]	1.94	1.94
Hauteur moyenne	$V/A_{ch}$ [m]	3.13	3.13
Proportion de surface vitrée	$A_f/A_{ch}$ [%]	10%	30%

Tableau 7 : Caractéristiques géométriques de la maison 2 façades

Les surfaces vitrées sont réparties comme suit :

Façade - nord-est	[%]	41%
Façade - sud-ouest	[%]	59%

Tableau 8 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 2 façades

### L'appartement

L'appartement choisi est le suivant :

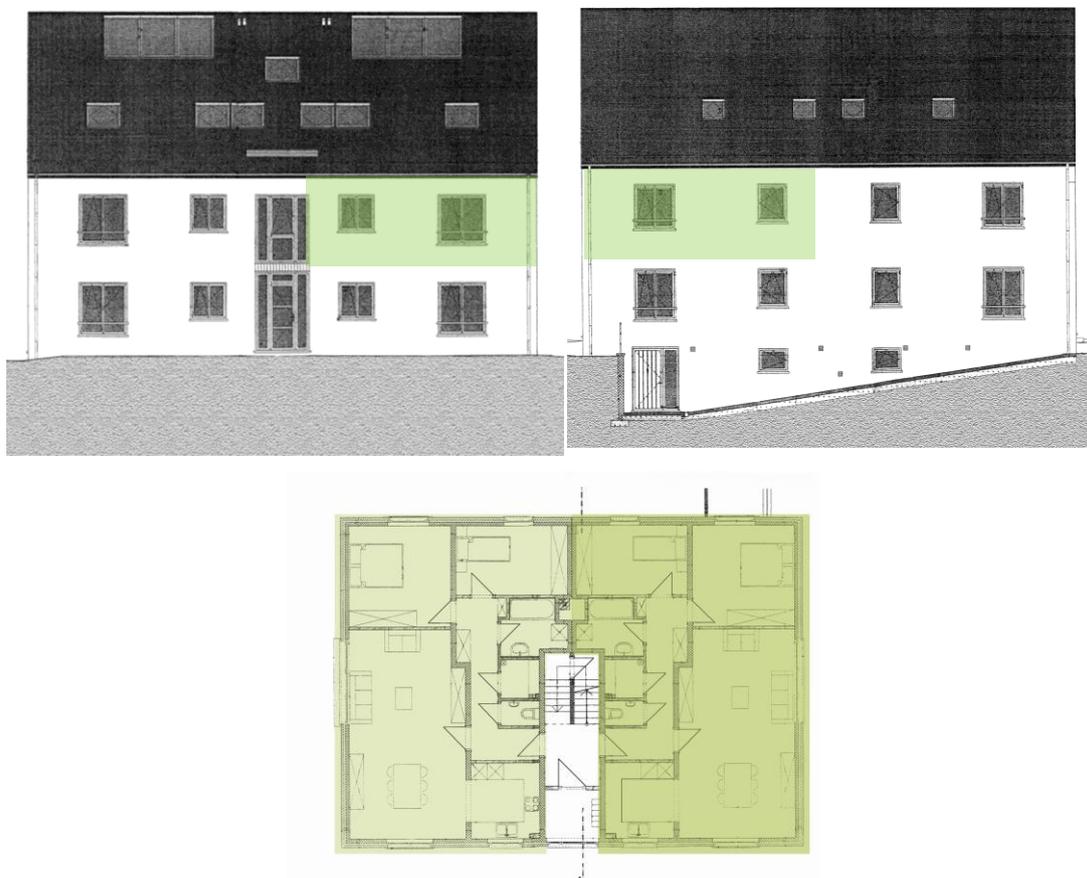


Figure 5 : Plans de l'appartement choisi [Arch. Robert Louppe]

Les caractéristiques géométriques de cet appartement sont les suivantes :

			Moyennement vitré (Av1)	Très vitré (Av2)
Surface de façades	$A_m$	[m <sup>2</sup> ]	70.78	56.61
Surface de plancher sur vide ventilé	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	0	0
Surface de toiture	$A_t$	[m <sup>2</sup> ]	0	0
Surface de fenêtres	$A_f$	[m <sup>2</sup> ]	14.03	28.2
Surface de portes	$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	0	0
<hr/>				
Surface de déperdition totale	$A_T$	[m <sup>2</sup> ]	85	85
Surface de plancher chauffé	$A_{ch}$	[m <sup>2</sup> ]	94	94
Volume protégé	$V$	[m <sup>3</sup> ]	285	285
<hr/>				
Compacité	$V/A_T$	[m]	3.36	3.36
Hauteur moyenne	$V/A_{ch}$	[m]	3.03	3.03
<hr/>				
Proportion de surface vitrée	$A_f/A_{ch}$	[%]	15%	30%

Tableau 9 : Caractéristiques géométriques de l'appartement

Les surfaces vitrées sont réparties comme suit :

Façade - sud	[%]	29%
Façade - ouest	[%]	46%
Façade - nord	[%]	25%

Tableau 10 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de l'appartement

### 1.2 Les classes d'inertie thermique et modes de construction.

Deux classes d'inertie ont été envisagées, correspondant à deux modes de construction, les constructions traditionnelles, qualifiées de « mi-lourd » du point de vue de l'inertie, et les constructions à ossature bois, qualifiées de « léger ».

#### Les compositions des parois des constructions « traditionnelles » (mi-lourd)

Façades	<u>intérieur</u>	Dalle sur vide ventilé	<u>intérieur</u>	Toiture inclinée	<u>intérieur</u>
	enduit de plafonnage		carrelage		plâtre entre 2 papiers forts
	maçonneries de blocs		chape		lame d'air non ventilée
	isolant type laine minérale		isolant type polyuréthane		panneaux d'OSB
	coulisse légèrement ventilée		hourdis		isolant type laine minérale
	parement de briques		<u>extérieur</u> (vide ventilé)		panneaux en fibres de bois
<u>extérieur</u>		<u>ext.</u> (lame air fort ventilée + couverture)			

Tableau 11 : Composition des parois des constructions traditionnelles ou mi- lourdes

#### Les compositions des parois des constructions « ossature bois » (léger)

Façades	<u>intérieur</u>	Dalle sur vide ventilé	<u>intérieur</u>	Toiture inclinée	<u>intérieur</u>
	plâtre entre 2 papiers forts		carrelage		plâtre entre 2 papiers forts
	lame d'air non ventilée		chape		lame d'air non ventilée
	panneaux d'OSB		isolant type polyuréthane		panneaux d'OSB
	isolant type cellulose dans une structure bois		hourdis		isolant type cellulose dans une structure bois
	panneaux fibres de bois		<u>extérieur</u> (vide ventilé)		panneaux fibres de bois
<u>extérieur</u>		<u>ext.</u> (lame air fort ventilée + couverture)			

Tableau 12 : Composition des parois des constructions ossatures bois ou légères

### 1.3 Les trois niveaux d'isolation

Les niveaux d'isolation considérés sont au nombre de trois et sont déterminés par l'épaisseur d'isolant utilisé dans chaque paroi :

		Niveau d'isolation		
		1	2	3
Façades	[m]	0.07	0.14	0.24
Dalle sur VV	[m]	0.04	0.08	0.17
Toiture	[m]	0.14	0.20	0.30

Tableau 13 : Epaisseurs d'isolant utilisées dans les parois des constructions traditionnelles

		Niveau d'isolation		
		1	2	3
Façades	[m]	0.10	0.23	0.36
Dalle sur VV	[m]	0.04	0.08	0.17
Toiture	[m]	0.14	0.20	0.30

Tableau 14 : Epaisseurs d'isolant utilisées dans les parois des constructions ossature bois

Ces trois niveaux d'isolation correspondent environ à un premier niveau « réglementaire » (~K45), un second niveau « Construire avec l'énergie » (~K35), et un dernier proche du « passif » ou « très basse énergie » (~K15).

Le calcul détaillé des coefficients U des parois a été réalisé selon la NBN B 62-002 (1987):

<b>Construction traditionnelle - Niveau d'isolation 1</b>				
	matériaux	épaisseurs [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
<b>Façades</b>	intérieur	-	-	0.13
	enduit de plafonnage	0.01	0.52	0.02
	maçonneries de blocs	0.14	0.37	0.38
	isolant type MW	<b>0.07</b>	0.04	1.75
	coulisse légèrement ventilée	0.02	-	0.09
	parement de briques	0.09	1.10	0.08
	extérieur	-	-	0.04
			<b>R<sub>tot</sub> =</b>	<b>2.48</b>
			<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.40</b>
<b>Dalle su VV</b>	intérieur	-	-	0.17
	carrelage	0.01	0.81	0.01
	chape	0.08	1.70	0.05
	isolant type PUR	<b>0.04</b>	0.03	1.43
	hourdis	0.12	-	0.11
	extérieur (vide ventilé)	-	-	0.17
			<b>R<sub>tot</sub> =</b>	<b>1.93</b>
			<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.52</b>
<b>Toitue inclinée</b>	intérieur	-	-	0.13
	plâtre entre 2 papiers forts	0.01	-	0.05
	lame air non ventilée	0.03	-	0.14
	OSB	0.02	0.13	0.15
	isolant type MW dans une structure bois	<b>0.14</b>	0.05	2.81
	panneau fibres de bois	0.02	0.05	0.40
	ext. (lame air fort ventilée + couverture)	-	-	0.13
			<b>R<sub>tot</sub> =</b>	<b>3.80</b>
			<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.26</b>

Tableau 15 : Calcul des coefficients U des parois des constructions traditionnelles - Niveau d'isolation 1

<b>Ossature bois - Niveau d'isolation 1</b>			
	matériaux	épaisseurs [m]	$\lambda$ [W/mK]    R [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Façades</b>	intérieur	-	-    0.13
	plâtre entre 2 papiers forts	0.01	-    0.05
	lame air non ventilée	0.03	-    0.17
	OSB	0.02	0.13    0.15
	isolant type cellulose dans une structure bois	<b>0.10</b>	0.05    1.87
	panneau fibres de bois	0.02	0.05    0.40
	extérieur	-	-    0.13
		<b>R<sub>tot</sub> =</b>	<b>2.89</b>
		<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.35</b>
<b>Dalle su VV</b>	intérieur	-	-    0.17
	carrelage	0.01	0.81    0.01
	chape	0.08	1.70    0.05
	isolant type PUR	<b>0.04</b>	0.03    1.43
	hourdis	0.12	-    0.11
	extérieur (vide ventilé)	-	-    0.17
			<b>R<sub>tot</sub> =</b>
		<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.52</b>
<b>Toiture inclinée</b>	intérieur	-	-    0.13
	plâtre entre 2 papiers forts	0.01	-    0.05
	lame air non ventilée	0.03	-    0.14
	OSB	0.02	0.13    0.15
	isolant type cellulose dans une structure bois	<b>0.14</b>	0.05    2.81
	panneau fibres de bois	0.02	0.05    0.40
	ext. (lame air fort ventilée + couverture)	-	-    0.13
		<b>R<sub>tot</sub> =</b>	<b>3.80</b>
		<b>U [W/m<sup>2</sup>K] =</b>	<b>0.26</b>

Tableau 16 : Calcul des coefficients U des parois des constructions ossature bois – Niveau d'isolation 1

### 1.4 Les fenêtres

Les caractéristiques thermiques des fenêtres utilisées sont les suivantes :

Pour les qualités (niveaux) 1 et 2 d'isolation le coefficient de transmission thermique global de la fenêtre  $U_w$ , vaut 1.49 W/m<sup>2</sup>K et le facteur solaire du vitrage utilisé  $g$ , vaut 0.65.

Cela correspond à une fenêtre composée d'un double vitrage (4 – 12 krypton – 4) 1.1 W/m<sup>2</sup>K (3) dans un châssis en PVC 1.7 W/m<sup>2</sup>K, par exemple.

Pour la qualité (niveau) 3 d'isolation le coefficient de transmission thermique global de la fenêtre  $U_w$ , vaut 0.8 W/m<sup>2</sup>K et le facteur solaire du vitrage utilisé  $g$ , vaut 0.5.

Cela correspond à une fenêtre composée d'un triple vitrage (4 – 12 krypton – 4 – 12 krypton – 4) 0.5 W/m<sup>2</sup>K (3) dans un châssis (bois/alu + isolant) 0.8 W/m<sup>2</sup>K, par exemple.

### 1.5 L'étanchéité à l'air

Quatre niveaux d'étanchéité à l'air de l'enveloppe ont été envisagés.

Un premier, caractérisé par un débit de fuite mesuré à 50 Pa de 12 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, ce qui correspond à la valeur par défaut à utiliser dans la méthode de calcul de la PEB des bâtiments résidentiels conformément à l'annexe I de l'AGW du 17 avril 2008. (cf. 7.8.3 p 27) (4). Dans ce cas, c'est une valeur de 0 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> qui est utilisée pour le calcul des besoins de refroidissement.

Un deuxième niveau, caractérisé par un débit de fuite mesuré à 50 Pa de 8 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> est envisagé, celui-ci correspond à la valeur utilisée pour le référent ( $E_{ref}$ ) (cf. paragraphe B.1.4 de ce rapport).

Le troisième niveau, caractérisé par un débit de fuite mesuré à 50 Pa de 2 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> à 50 Pa, correspond à un très bon niveau d'étanchéité.

Le dernier niveau d'étanchéité à l'air, quant à lui caractérisé par un taux de renouvellement d'air ( $n_{50}$ ) (pas par un débit de fuite) de 0.6 h<sup>-1</sup> à 50 Pa, est le niveau à atteindre pour les maisons labellisées « passives ». Ce taux de renouvellement correspond à un débit de fuite différent pour chaque typologie de logement :

4 façades "clef sur porte"	0.81	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
4 façades "architecturée"	0.84	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
3 façades	0.89	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
2 façades	1.17	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
appartement	2.02	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]

Tableau 17 : Débits de fuite à 50 Pa correspondants à un taux de renouvellement d'air de 0.6 h<sup>-1</sup> à 50 Pa

## 2. Les hypothèses 'Equipements'

### 2.1 La ventilation

Deux systèmes de ventilation ont été envisagés, le système simple flux (type C), c'est-à-dire, amenées d'air naturelles et évacuations mécaniques, et le système double flux (type D), c'est-à-dire amenées et évacuations d'air mécaniques couplées dans ce cas à un échangeur de chaleur sur l'air vicié. Dans les deux cas, les ventilateurs sont supposés à courant continu.

#### Le système C (SF)

Pour rappel, dans le cas d'un tel système, le renouvellement d'air participe à 100% aux pertes par ventilation volontaire, qui sont calculées de manière forfaitaire en fonction du volume protégé du bâtiment.

#### Le système D avec échangeur (DF)

Dans le cas d'un système double flux avec échangeur de chaleur sur l'air vicié, une grande partie des déperditions par ventilation volontaire forfaitaires peut être épargnée.

L'échangeur choisi dans le cadre de cette étude présente un rendement (mesuré selon la NBN EN 308) de 90% et est supposé équipé d'un by-pass qui permet l'interruption totale du passage de l'air neuf en période estivale dans l'échangeur. Les locaux sont donc directement alimentés en air neuf extérieur lorsque la température de celui-ci est plus basse que la température de l'air intérieur. On suppose également que les alimentations et extractions sont équipées d'une mesure continue des débits ainsi que d'une adaptation continue et automatique de ces débits à la valeur de consigne.

Pour ces 2 types d'installation de ventilation, on garde la valeur par défaut pour le facteur de correction du débit de ventilation volontaire tenant compte de la qualité d'exécution de l'installation ( $m_{sec i} = 1.5$ ) (cf. annexe I de l'AGW du 17 avril 2008 (4) - paragraphe 7.8.4).

### 2.2 Le chauffage

Pour toutes les installations de chauffage central, on suppose :

Pour le système d'émission :

- qu'il n'y a pas d'émetteur devant les vitrages ;
- qu'il y a toujours un thermostat d'ambiance ;

- que la commande de température se fait par local à l'aide de vannes thermostatiques sauf dans le cas des PAC;
- que la température de départ de l'eau vers le système d'émission est constante pour les chaudières non à condensation (mazout et bois) et les PAC, et est variable pour la chaudière à condensation (sonde de température extérieure) ;
- dans le cas des chaudières, le système d'émission est du type « radiateurs », par contre dans le cas des PAC, il est du type « chauffage par le sol ».

Pour les installations du type chaudière non à condensation (au bois ou au mazout), le rendement d'émission vaut donc 87%.

Pour les installations du type chaudière à condensation au mazout, ce rendement vaut 89%, et pour les installations de PAC, 85%.

Pour le système de distribution, on suppose :

- que l'ensemble des conduites de distribution sont à l'intérieur du volume protégé ( $\eta_{distr} = 100\%$ ).

Pour le système de stockage, on suppose :

- qu'il n'y a pas de stockage de l'eau chaude pour le chauffage ( $\eta_{stor} = 100\%$ ).

#### Production centrale :

Quatre systèmes de production de chauffage central ont été considérés :

Dans tous les cas, on suppose que l'appareil producteur de chaleur est à l'intérieur du volume protégé.

Chaudière non à condensation au bois :

- Rendement à charge partielle de 30% ( $\eta_{30\%}$ ) : 80%.
- Rapport du pouvoir calorifique inférieur au pouvoir calorifique supérieur du bois : 0.93.

Chaudière non à condensation au mazout :

- Rendement à charge partielle de 30% ( $\eta_{30\%}$ ) : 90%.
- Rapport du pouvoir calorifique inférieur au pouvoir calorifique supérieur du mazout : 0.94.

Chaudière à condensation au mazout :

- Rendement à charge partielle de 30% ( $\eta_{30\%}$ ) : 101%.
- Rapport du pouvoir calorifique inférieur au pouvoir calorifique supérieur du mazout : 0.94.

Pompe à chaleur sol (eau glycolée)/eau :

- FPS (facteur de performance saisonnier) de 2.9, ce qui pourrait correspondre, par exemple, à un  $COP_{test}$  (EN14511) de 4.3 et à l'utilisation des valeurs par défaut pour les facteurs de correction  $f_{\theta}$ ,  $f_{\Delta\theta}$ ,  $f_{pumps}$ ,  $f_{AHU}$  ; ces facteurs de correction permettent de corriger le  $COP_{test}$  quand les conditions de design ne sont exactement les conditions d'essais standards (4).

$$FPS = f_{\theta} \cdot f_{\Delta\theta} \cdot f_{pumps} \cdot f_{AHU} \cdot COP_{test}$$

#### Production locale

En chauffage local, deux systèmes de production ont été considérés :

Chauffage électrique direct :

- Le rendement d'émission vaut 96%
- Le rendement de production vaut 100%

Poêle à pellets :

- Le rendement d'émission vaut 82%

- Le rendement de production vaut le rendement de production par défaut de la PEB, multiplié par le rapport du pouvoir calorifique inférieur sur le pouvoir calorifique supérieur du combustible utilisé,  $0.77 \times 0.93$  soit, 72%.

## 2.3 La production d'eau chaude sanitaire

### Dans les cas de chauffage central

Pour tous les systèmes de chauffage central, le système de production d'eau chaude est un boiler couplé au système producteur de chaleur. Les valeurs des rendements de production d'eau chaude sanitaire sont forfaitaires dans la PEB.

### Dans les cas de chauffage local

Pour les cas équipés de chauffage électrique direct, la production d'eau chaude sanitaire est assurée par un boiler électrique, alors que pour les cas équipés d'un poêle à pellets, la production d'eau chaude sanitaire est assurée par un boiler au propane.

appareil à combustion avec stockage	0.45
pompe à chaleur avec stockage	1.4
chauffage électrique par résistance avec stockage	0.7

Tableau 18 : Rendements des systèmes de production d'eau chaude sanitaire de la PEB

## 2.4 Les auxiliaires

### Les auxiliaires de chauffage

Pour les chaudières, les auxiliaires sont :

- un circulateur avec régulation ;
- un ventilateur intégré;
- de l'électronique de commande.

Pour les PAC :

- un circulateur avec régulation ;
- de l'électronique de commande.

Pour rappel, dans la PEB, les consommations électriques des circulateurs avec régulation, ventilateurs intégrés à une chaudière, et systèmes de commande électronique sont des valeurs forfaitaires fonction du volume du secteur énergétique desservi par le système de chauffage concerné (cf. annexe I de l'AGW du 17 avril 2008 (4) - paragraphe 11.1.2).

### Les auxiliaires de ventilation

Les consommations électriques des ventilateurs, à courant continu dans le cadre de cette étude, sont des valeurs forfaitaires, fonction du volume du secteur énergétique desservi par l'installation de ventilation concernée (cf. annexe I de l'AGW du 17 avril 2008 (4) - paragraphe 11.2.2.2).

## 2.5 Le préchauffage solaire de l'eau chaude sanitaire

Tous les cas simulés dans cette étude ont été envisagés sans et avec capteurs solaires thermiques pour le préchauffage d'eau chaude sanitaire.

Dans tous les cas, les caractéristiques de l'installation sont les suivantes :

- 5 m<sup>2</sup> de capteurs ;
- orientés sud ;
- inclinés de 35° ;
- sans ombrage.

### *2.6 L'autoproduction d'électricité par des panneaux solaires photovoltaïques*

Tous les cas simulés dans cette étude ont été envisagés sans et avec capteurs solaires photovoltaïques pour la production d'électricité.

Dans tous les cas, les caractéristiques de l'installation sont les suivantes :

- 2 kWc (~ 16 m<sup>2</sup> de capteurs) ;
- orientés sud ;
- inclinés de 35° ;
- sans ombrage.

## **3. Les combinaisons enveloppe/étanchéité/ventilation/chauffage envisagées**

Les différents paramètres suivants :

- typologie [4] soit 5 bâtiments ;
- inertie (mi-lourd et léger) [2] ;
- quantité de surface vitrée [2] ;
- utilisation ou non d'énergie renouvelable solaire (thermique et photovoltaïque) [3] ;
- niveau d'isolation [3] ;
- niveau d'étanchéité à l'air [4] ;
- système de chauffage [6] ;
- système de ventilation [2] ;

ont été combinés entre eux de manière cohérente. Par exemple, les combinaisons telles que : un moins bon niveau d'étanchéité à l'air avec un système double flux et un meilleur niveau d'étanchéité, avec un système simple flux, n'ont pas été envisagées, il y a donc au final 6 combinaisons étanchéité – ventilation.

Les niveaux 1 et 2 d'isolation ont été couplés aux différents systèmes de chauffage central, alors que le niveau 3 d'isolation n'a été couplé qu'aux systèmes de chauffage local.

L'ensemble de ces paramètres combinés judicieusement fournit 552 variantes par typologie, soient 2208 cas.

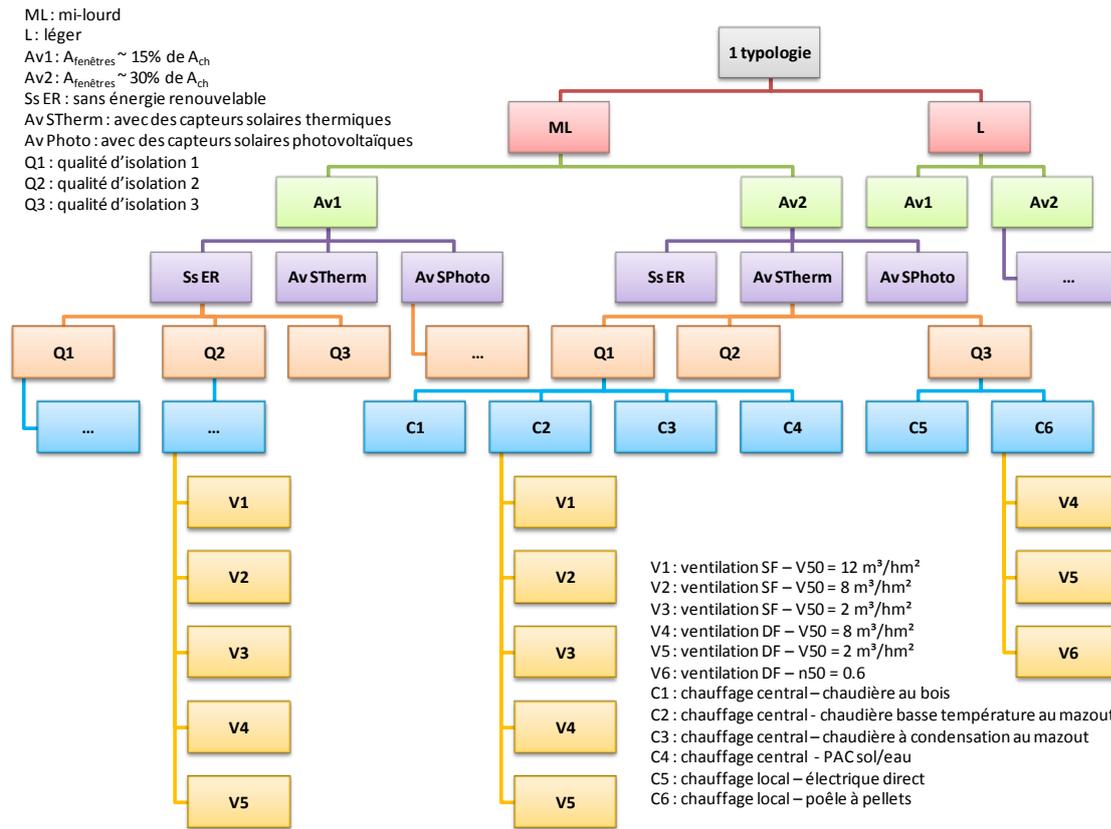


Figure 6 : Ensemble des combinaisons technologiques envisagées par typologie de bâtiment

#### 4. Les hypothèses 'Economiques'

##### 4.1 Les coûts TVAC et placement compris

Les coûts présentés ci-dessous sont soit issus de sources citées de manière explicite dans le texte, soit la synthèse d'informations reçues de contacts avec les professionnels partenaires de l'action CALE et de décisions du comité d'accompagnement de l'action.

Pour les isolants

Laine minérale en façade	7 cm	164	[€/m <sup>3</sup> ]
Laine minérale en façade	14 cm	153	[€/m <sup>3</sup> ]
Laine minérale en façade	24 cm	148	[€/m <sup>3</sup> ]
Laine minérale en toiture	14 cm	153	[€/m <sup>3</sup> ]
Laine minérale en toiture	20 cm	150	[€/m <sup>3</sup> ]
Laine minérale en toiture	30 cm	147	[€/m <sup>3</sup> ]
PUR projeté sur plancher	4 cm	358	[€/m <sup>3</sup> ]
PUR projeté sur plancher	8 cm	358	[€/m <sup>3</sup> ]
PUR projeté sur plancher	17 cm	358	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en façade	10 cm	97	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en façade	23 cm	97	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en façade	36 cm	97	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en toiture	14 cm	112	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en toiture	20 cm	112	[€/m <sup>3</sup> ]
Cellulose insufflée en toiture	30 cm	112	[€/m <sup>3</sup> ]

Tableau 19 : Prix TVAC et placés des isolants utilisés

Pour les fenêtres

Châssis PVC + double vitrage 4-12-4 U=1.1 W/m <sup>2</sup> K	450	[€/m <sup>2</sup> ]
Châssis bois/alu + triple vitrage 4-12-4-12-4 U=0.5 W/m <sup>2</sup> K	800	[€/m <sup>2</sup> ]

Tableau 20 : Prix TVAC et placés des fenêtres utilisées

Pour la réalisation de l'étanchéité à l'air

Pour la réalisation d'une étanchéité à l'air qualifiée par un débit de fuite mesuré à 50Pa ( $V_{50}$ ) de 12 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, nous n'avons considéré aucun coût, estimant que de tels résultats ne nécessitent aucun effort de mise en œuvre.

Pour la réalisation d'une étanchéité à l'air qualifiée par un débit de fuite mesuré à 50Pa ( $V_{50}$ ) de 8 ou 2 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> ou un taux de renouvellement de l'air mesuré à 50 Pa ( $n_{50}$ ) de 0.6 h<sup>-1</sup>, nous avons considéré les coûts suivants :

	Composante fixe		Composante variable	
$v_{50} = 8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	500	[€]	0.0	[€/m <sup>2</sup> A <sub>T</sub> ]
$v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	500	[€]	8.5	[€/m <sup>2</sup> A <sub>T</sub> ]
$n_{50} = 0.6$	500	[€]	14.5	[€/m <sup>2</sup> A <sub>T</sub> ]

Tableau 21 : Prix TVAC de la réalisation de l'étanchéité à l'air

Ces coûts sont composés d'un coût fixe lié à la réalisation du test d'étanchéité, nécessaire pour utiliser la mesure dans la méthode de calcul réglementaire de la PEB, et d'un coût variable lié à la taille du bâtiment via sa surface de déperdition totale, A<sub>T</sub>.

Le concept de structure des coûts en partie fixe et partie variable, utilisé pour plusieurs postes de coûts, provient d'une étude réalisée par le bureau 3E et la KUL pour l'IBGE (5).

Pour les installations de chauffage central et local

Le coût des installations de production de chauffage se décompose en 2 parties, une partie fixe et une partie variable, en fonction de la puissance nécessaire.

	Composante fixe		Composante variable		Exemple :	
CC : Chaudière à bois	7744	[€]	23	[€/kW]	pour 10 kW	7974 [€]
CC : Chaudière basse température au mazout	1912	[€]	53	[€/kW]	pour 10 kW	2444 [€]
CC : Chaudière à condensation au mazout	2202	[€]	154	[€/kW]	pour 10 kW	3739 [€]
CC : PAC type sol/eau	12003	[€]	0	[€/kW]	pour 10 kW	12003 [€]
CL : Poêle à pellets	2571	[€]	166	[€/kW]	pour 4 kW	3234 [€]
CL : Chauffage électrique direct	0	[€]	393	[€/appareil]	pour 5 appareils	1966 [€]

Tableau 22 : Prix TVAC et placés des installations de production de chauffage

La puissance de l'installation de chauffage  $P_{dim}$ , est évaluée comme suit :

Pour les systèmes de chauffage central :

$$P_{dim} = \max \left( \frac{Q_{brut,heat,a}}{3.6 \times N_{h, fct}} + P_{surdim}; \frac{Q_{brut,ECS,a}}{3.6 \times 365 \times T_{dim}} \right) \quad [kW]$$

Pour les systèmes de chauffage local type poêle à pellets :

$$P_{dim} = \frac{Q_{brut,heat,a}}{3.6 \times N_{h, fct}} \quad [kW]$$

$Q_{brut,heat,a}$  = besoins bruts en énergie pour le chauffage des locaux calculés selon l'annexe I de l'AGW du 17 avril 2008 [MJ]

$N_{h, fct}$  = période de fonctionnement de la chaudière sur un an [h]

$P_{surdim}$  = puissance de surdimensionnement des chaudières [kW]

$Q_{brut,ECS,a}$  = besoins bruts en énergie pour l'eau chaude sanitaire calculés selon l'annexe I de l'AGW du 17 avril 2008 [MJ] (4)

$T_{dim}$  = durée de reconstitution du stock d'eau chaude sanitaire [h]

Les hypothèses considérées dans cette étude sont les suivantes :

- une période de fonctionnement des chaudières, PAC et poêle de 1500 heures par an ;
- une puissance de surdimensionnement de 7 kW pour les chaudières et de 0 kW pour les PAC ;
- une durée de reconstitution du stock d'eau chaude sanitaire de 30 minutes.

#### Pour les émetteurs de chaleur

Pour les installations avec chaudière, ce sont des radiateurs qui ont été considérés comme système d'émission. Le coût de cette installation dépend à chaque fois de la puissance de l'installation de chauffage ( $P_{ch}$ ), du nombre de radiateurs installés ( $N_{em}$ ) et de la longueur de conduites ( $L_{tuy}$ ) nécessaire pour alimenter ces radiateurs. Dans tous les cas, 10 radiateurs ont été envisagés avec 25 m de conduites au total.

Le coût de l'installation s'évalue comme suit :

$$\text{Coût installation des radiateurs} = 79 + 0.31 \times P_{ch} \times N_{em} + (37 \times L_{tuy}) \quad [€ \text{ TVAC placé}]$$

Le coût de l'installation du chauffage par le sol (réseau de tubes), est de 43.5 €/m<sup>2</sup> de plancher chauffé TVAC, placé, et on a considéré dans chaque cas concerné que seule la moitié de  $A_{ch}$  était chauffée, soit le rez-de-chaussée.

#### Pour les systèmes de régulation

Les coûts suivants ont été considérés pour les systèmes de régulation :

Vanne thermostatique	58	[€/pièce]
Thermostat d'ambiance	335	[€/pièce]
Sonde extérieure de température	895	[€/pièce]

Tableau 23 : Prix TVAC et placés des systèmes de régulation

#### Pour les systèmes de production d'ECS

Les coûts suivants ont été considérés pour les systèmes de production d'eau chaude sanitaire :

<b>Boiler couplé à :</b>		
Chaudière à bois	2735	[€]
Chaudière basse température au mazout	2735	[€]
Chaudière à condensation au mazout	2735	[€]
PAC type sol/eau	4477	[€]
<b>Boiler :</b>		
au propane	4565	[€]
électrique	3838	[€]

Tableau 24 : Prix TVAC et placés des systèmes de production d'eau chaude sanitaire

Un coût pour les conduites a également été envisagé, il est de 41.8 €/m de conduite TVAC. Dans tous les cas, 25 mètres de conduites ont été considérés au total pour la distribution vers la salle de bain et la cuisine. Ce coût est exactement le même dans tous les cas envisagés.

#### Pour les systèmes de ventilation

Pour les systèmes de ventilation, les coûts sont composés d'une partie fixe, correspondant aux ventilateurs et à l'échangeur le cas échéant, ainsi que d'une partie variable correspondant aux conduits de ventilation.

	Composante fixe		Composante variable	
Ventilation mécanique simple flux - Type C	1500	[€]	10	[€/m <sup>2</sup> A <sub>ch</sub> ]
Ventilation mécanique double flux - Type D avec échangeur	4500	[€]	21	[€/m <sup>2</sup> A <sub>ch</sub> ]

Tableau 25 : Prix TVAC et placés des systèmes de ventilation

#### Pour les installations solaires thermiques

Le coût considéré pour les capteurs solaires thermiques assurant la production d'ECS est de 1065 €/m<sup>2</sup> TVAC.

Dans tous les cas 5 m<sup>2</sup> de capteurs ont été envisagés, couplés à un boiler solaire, soit une installation d'une valeur totale de 7866 €.

#### Pour les installations solaires photovoltaïques

Le coût des capteurs solaires photovoltaïques placés pour la production d'électricité considéré est de 7.26 €/Wc TVAC.

Dans tous les cas 2 kWc (~16m<sup>2</sup>) ont été envisagés, soit une installation d'une valeur de 14 520 €.

#### Pour les combustibles en 2008 et 2009

Deux situations économiques ont été évaluées dans cette étude, une première reprenant les prix de l'énergie et les paramètres économiques d'une étude précédente datant de 2008 (6), une seconde reprenant les prix de l'énergie et les paramètres économiques de 2009, **tout autre coût restant égal** (les primes considérées en 2008 et 2009 sont celles en vigueur en janvier 2010).

Afin d'assurer la cohérence entre les différents vecteurs énergétiques, les prix de ceux-ci proviennent tous de l'APERe. Cette association suit chaque trimestre l'évolution des prix de l'énergie achetée par les ménages belges (7). Le Tableau suivant présente les prix utilisés dans cette étude.

	oct-08	juin-09	
Mazout	0.079	0.05	[€ / kWh]
Electricité	0.2165	0.2035	[€ / kWh]
Pellets	0.046	0.048	[€ / kWh]
Propane	0.0605	0.056	[€ / kWh]

Tableau 26 : Prix TVAC des combustibles en 2008 et 2009

Ces prix sont issus de statistiques qui permettent de ne pas devoir faire d'hypothèses sur le fournisseur, le type de contrat ou encore le lieu de consommation.

Pour l'électricité, c'est une moyenne des prix en tarif bi-horaire qui est utilisée.

*«L'analyse économique menée dans le cadre de cette étude a mis en évidence la sensibilité de ce genre de projections de rentabilité sur 40 ans à des paramètres économiques difficilement maîtrisables et imprévisibles, tels que l'inflation, les prix de l'énergie ou l'évolution des prix de l'énergie.»*

#### 4.2 Les paramètres économiques de 2008 et 2009 (6)

	2008	2009	
Taux d'actualisation	3.9	4	[%]
Taux d'inflation	2	0.5	[%]
Taux d'emprunt	4.8	5.85	[%]
Durée de l'emprunt	25	25	[année]
Durée de vie des bâtiments	40	40	[année]
Durée de vie des installations techniques	20	20	[année]

Tableau 27 : Paramètres économiques en 2008 et 2009 (8) et (9)

L'entière du montant de l'investissement initial est supposée empruntée par le maître d'ouvrage tandis que les réinvestissements effectués durant la durée d'utilisation sont supposés financés sur fonds propres. Le type de crédit considéré pour l'investissement initial est un emprunt à taux fixe et à montant d'échéance fixe sur 25 ans.

**Le taux d'actualisation** permet de ramener sur une même base de temps des flux financiers non directement comparables qui se produisent à des dates différentes. Cela permet non seulement de les comparer mais également d'effectuer sur eux des opérations arithmétiques. La valeur du taux d'actualisation résulte de deux principes fondamentaux en économie : le 'coût du temps' et le 'coût du risque'.

**La durée de vie et la durée d'utilisation** d'un bien matériel sont deux notions différentes. Ainsi, pour les équipements dont la durée de vie est inférieure à la durée d'utilisation de 40 ans, un réinvestissement complet est considéré au terme de leur vie. C'est généralement le cas pour la plupart des équipements techniques tels

que les chaudières, les appareils de ventilation mécanique, les boilers, les chauffe-eau, les capteurs solaires, etc. Dans le cadre de cette étude, leur durée de vie est choisie égale à 20 ans. La durée d'utilisation de la maison étant de 40 ans, un réinvestissement complet est considéré au terme de la durée de vie de ces équipements. Le montant du réinvestissement après 20 ans est basé sur le prix initial du bien et tient compte de l'inflation.

#### 4.3 Les scénarii d'évolution des prix de l'énergie

Pour le gaz et le mazout, ces informations sont tirées d'un rapport de 2004 produit par la Commission Européenne (CE) et relatif aux scénarii d'augmentation des prix du pétrole et du gaz d'ici 2030 (10). Le taux d'augmentation relatif aux pellets est aligné sur celui du mazout.

Electricité :	scénario faible	0	[%]
	scénario moyen	2.1	[%]
	scénario élevé	4.3	[%]
Mazout :	scénario faible	0	[%]
	scénario moyen	1.9	[%]
	scénario élevé	3.9	[%]
Propane :	scénario faible	0	[%]
	scénario moyen	2.1	[%]
	scénario élevé	4.3	[%]
Pellets :	scénario faible	0	[%]
	scénario moyen	1.9	[%]
	scénario élevé	3.9	[%]

Tableau 28 : Scénarii d'évolution des prix de l'énergie (10)

#### 4.4 Les primes régionales (6)

La Région wallonne subsidie certains investissements en matière d'économie d'énergie par l'octroi de primes spécifiques. De plus, le gouvernement fédéral accorde également une réduction d'impôt de 40 % du montant de certains investissements.

Il est bien évident que la prise en compte de ces incitants modifie la rentabilité économique des investissements et donc, les valeurs des indicateurs économiques. Les indicateurs économiques présentés correspondent à la situation où ces incitants sont pris en compte. Notons également que le montant de l'investissement considéré au niveau du calcul du prêt est le montant hors incitants fiscaux puisque les primes et les subsides sont généralement récupérés par les maîtres d'ouvrage plusieurs mois après le paiement des travaux.

*« ... la prise en compte de ces incitants modifie la rentabilité économique des investissements et donc, les valeurs des indicateurs économiques. »*

Dans le cadre de cette étude, les équipements donnant lieu à l'octroi de primes et à des réductions d'impôts sont recensés dans le tableau 29. Cette synthèse reflète la situation réelle en janvier 2010. Certaines primes sont forfaitaires tandis que d'autres sont calculées sur la base d'un pourcentage de la facture et sont

plafonnées par un montant maximal. Seules les primes et les réductions d'impôts relatives à la construction d'une habitation neuve sont comptabilisées.

Afin de ne pas pénaliser les équipements qui ont une durée de vie inférieure à la durée d'utilisation (40 ans), et donc, pour lesquels un réinvestissement est planifié durant la période d'utilisation de l'habitation, on considère que les incitants fiscaux relatifs à ces équipements sont maintenus lors du réinvestissement.

Le montant de l'incitant au moment du réinvestissement est recalculé en tenant compte de l'inflation. En pratique, si on calcule que l'incitant fiscal octroyé pour un équipement au moment de la construction couvre 15 % du coût initial de cet équipement, l'incitant fiscal octroyé lors du réinvestissement est calculé pour que le même pourcentage du coût de remplacement soit couvert par l'incitant fiscal octroyé au moment du réinvestissement.

#### Pour l'isolation globale

Une prime de 1500 € est octroyée à partir d'un niveau K global de K35 et 100 € supplémentaires par point de niveau K jusqu'à K25, soit un maximum de 2500 €.

#### Pour la chaudière à bois (à chargement automatique)

Une prime de 1750 € est octroyée pour les installations de moins de 50 kW si tous les critères d'octroi de janvier 2010 sont respectés.

#### Pour les PAC

Une prime de 1500 € est octroyée si tous les critères d'octroi de janvier 2010 sont respectés, plus 750 € pour la production d'ECS de manière combinée par la PAC, soit un total de 2250 €.

#### Pour les systèmes de ventilation

Une prime d'un montant de 75 % de l'investissement global avec un maximum de 1.500 € est octroyée, si tous les critères d'octroi de janvier 2010 sont respectés

#### Pour les installations solaires thermiques

Une prime de 1500 €, plus 100 € supplémentaires par mètre carré de capteurs au-delà de 4 m<sup>2</sup>, avec un maximum de 6000 €, est octroyée si tous les critères d'octroi de janvier 2010 sont respectés.

#### Pour l'action 'CALE'

Un subside de 750 € supplémentaire est accordé aux maisons unifamiliales neuves qui respectent les critères de l'action (critères janvier 2010).

#### Pour les maisons passives

Une prime de 6500 € est octroyée aux maisons labellisées « passives ». Cette prime n'est pas cumulable avec les primes à l'isolation globale et à la ventilation.

#### 4.5 Les déductions fiscales fédérales

Les investissements suivants donnent droit à une réduction d'impôts de 40% du montant des factures, avec un plafond de 2650 € annuel, et de 3440 € s'il y a installation de capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques :

- L'installation d'une pompe à chaleur géothermique ;
- L'installation de capteurs solaires pour le préchauffage de l'ECS ;
- L'installation de capteurs solaires photovoltaïques ;
- L'installation de vannes thermostatiques ;
- L'isolation de la toiture ;
- Le placement de double vitrage.

Pour les maisons passives, une réduction d'impôts forfaitaire de 790€/an pendant 10 ans est offerte.

En ce qui concerne les réductions d'impôts, le montant total de la réduction par exercice fiscal est plafonné à 2600 €. Ce montant est rapidement atteint grâce au soin apporté à l'isolation de l'enveloppe. En pratique, il est souvent possible d'étaler les investissements sur deux, voire plusieurs années pour ne pas atteindre ce plafond. Dans cette étude, étant donné qu'il n'est pas possible de tenir compte des particularités de chaque situation individuelle, les possibilités de réductions d'impôts sont étalées sur deux exercices fiscaux. Les factures relatives à l'isolation du toit et l'utilisation de double vitrage entrent en ligne de compte pour la réduction d'impôt de la première année tandis que les factures relatives aux installations techniques entrent en ligne de compte pour celle de la seconde année.

Tableau de synthèse des primes et déductions fiscales :

	Critères	Primes [€]	Réduction d'impôts [%]
Chaudière à bois	Chargement automatique	1750	-
chauffe eau solaire	-	1500 pour 4 m <sup>2</sup> + 100/m <sup>2</sup> suppl. - max 6000	40
Isolation globale	K35	1500 + 100/nivK - max 2500	-
Isolation du toit	R ≥ 3 m <sup>2</sup> K/W	-	40
Double vitrage	U ≤ 2 W/m <sup>2</sup> K	-	40
Système de ventilation avec récupérateur de chaleur	K45	75% - max 1500	-
PAC chauffage	K45	50% - max 1500	40
PAC ECS	-	50% - max 750	40
Chauffe eau sans veilleuse	-	125	-
Thermostat d'ambiance	-	-	40
Vannes thermostatiques	-	-	40
CALE	charte	750	-
Maison passive	certification	6500	-

Tableau 29 : Synthèse des primes et déductions fiscales en vigueur au 1 janvier 2010

#### 4.6 Les certificats verts (11)

Les installations solaires photovoltaïques ne bénéficient plus depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2010, d'une prime régionale, mais par contre bénéficient toujours de la revente de certificats verts :

Pour une installation de 2kWc : 7 CV/MWh.

Durée de l'octroi des certificats verts : 15 ans.

Prix du certificat vert vendu au fournisseur d'électricité : 90 €/CV (valeur moyenne).

### 5. Les émissions de CO<sub>2</sub>

Facteur de conversion en CO<sub>2</sub> par MJ d'énergie primaire consommé (12):

	[kg/MJ]
Mazout	0.073
Propane	0.062
Bois/pellets	0.010
Electricité	0.039

Tableau 30 : Taux d'émissions de CO<sub>2</sub> des combustibles (12)

La quantité de CO<sub>2</sub> émis par une habitation est calculée à partir des consommations en énergie primaire en tenant compte de la nature du vecteur énergétique tandis que la quantité d'émission CO<sub>2</sub> épargnée résulte de la différence entre les quantités de CO<sub>2</sub> émis par l'habitation concernée et la maison de référence (6).

Le facteur de conversion pour l'électricité correspond à 350 g de CO<sub>2</sub> émis par kWh d'électricité produit à la centrale.

## B. Méthodes et modèles de calcul

La méthode de calcul utilisée pour l'estimation des consommations énergétiques est la méthode réglementaire relative à la Performance Énergétique des Bâtiments (4) d'application en Région wallonne depuis mai 2010. Cette méthode de calcul est basée sur des calculs stationnaires, en moyennes mensuelles, qui permettent, notamment, d'estimer les consommations en énergie finale et primaire pour chaque poste de dépense énergétique (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, auxiliaires, refroidissement actif, etc). Ces estimations de consommations sont notamment basées sur un fichier de données météorologiques unique, et une **utilisation standardisée du bâtiment**. Elles sont donc indépendantes de la localisation des maisons étudiées et du comportement de ses occupants, de sorte que les résultats peuvent être comparés entre eux.

L'avantage majeur qui réside dans l'utilisation de la méthode PEB est la disponibilité de valeurs prédéfinies (rendements, consommations des auxiliaires, etc) pour la plupart des installations techniques rencontrées en pratique. Ces valeurs résultent souvent d'études spécifiques ou d'une longue expérience des institutions impliquées dans l'élaboration de la méthode de calcul PEB. Cette dernière peut donc être considérée comme suffisamment représentative des habitations étudiées.

L'ensemble des « technologies » envisagées au niveau des installations techniques correspond à celles proposées dans la méthode PEB.

Le coût de la facture énergétique annuelle d'une habitation est calculé sur base des consommations estimées par « la méthode PEB » et des prix d'achat de l'énergie pour les vecteurs énergétiques utilisés. Le gain annuel généré par l'investissement au niveau de la performance énergétique du bâtiment résulte de la différence entre la facture énergétique de la variante concernée et celle de la maison de référence. (6)

Il est important de noter que « la méthode PEB » étant une méthode réglementaire, se positionne du côté de la sécurité par rapport aux hypothèses considérées, ce qui entraîne, le plus souvent, une surestimation des consommations énergétiques par rapport à la réalité.

*« ... la méthode PEB, ..., se positionne du côté de la sécurité par rapport aux hypothèses considérées, ce qui entraîne, le plus souvent, une surestimation des consommations énergétiques par rapport à la réalité.*

Il y a une maison de référence par typologie. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- un niveau d'isolation 1 (Q1) ;
- moyennement vitré (Av1) ;
- en construction traditionnelle (d'inertie mi-lourd) ;
- une étanchéité à l'air de 12 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> à 50 Pa ;
- une ventilation simple flux ;
- une chaudière non à condensation au mazout ;
- pas d'énergie renouvelable.

### 1. La méthode de calcul des indicateurs énergétiques

#### 1.1 Les valeurs U

Pour rappel, la valeur U d'une paroi caractérise la quantité de chaleur qui traverse, pendant une seconde, 1 mètre carré de paroi pour une différence de température de 1°C [W/m<sup>2</sup>K].

L'ensemble des valeurs U utilisées dans cette étude ont été évaluées selon la NBN B 62-002 (1987) et de l'addendum NBN B 62-002/A1 (2001).

### 1.2 Le niveau d'isolation thermique global K

Le niveau d'isolation thermique global K d'un bâtiment dépend :

- des caractéristiques d'isolation thermique des parois de déperdition qui entourent le volume protégé du bâtiment et des surfaces de celles-ci;
- de la compacité volumique du bâtiment, c'est-à-dire du rapport entre le volume protégé du bâtiment et la surface de déperdition.

Les niveaux K de cette étude ont été déterminés selon la NBN B62-301 (1989).

Le volume protégé (V) d'un bâtiment est le volume de l'ensemble des locaux du bâtiment, y compris les dégagements, que l'on souhaite protéger des déperditions thermiques

- vers l'ambiance extérieure ;
- vers le sol ;
- vers les espaces voisins qui n'appartiennent pas à un volume protégé.

La surface de déperdition ( $A_T$ ) d'un bâtiment est la somme des superficies de toutes les parois ou parties de parois (verticales, horizontales ou inclinées) qui séparent le volume protégé du bâtiment :

- de l'ambiance extérieure ;
- du sol ;
- des espaces voisins qui n'appartiennent pas à un volume protégé.

### 1.3 Le niveau de consommation en énergie primaire $E_w$

Le niveau de consommation d'énergie primaire  $E_w$  du bâtiment est donné par le rapport entre la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire et une valeur de référence, multiplié par 100. La consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire est la somme des consommations d'énergie primaire pour le chauffage, pour l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires, le refroidissement (réel ou fictif), déduction faite des économies d'énergie primaire réalisées soit par l'installation de capteurs solaires photovoltaïques, soit d'une cogénération.

La valeur de référence de la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire est la somme des consommations de référence pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les auxiliaires.

Les niveaux  $E_w$  de cette étude ont été évalués conformément à la méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des bâtiments résidentiels qui figure en annexe I de l'arrêté du gouvernement wallon du 17 avril 2008 (4).

### 1.4 La consommation spécifique en énergie primaire $E_{spec}$

La consommation spécifique en énergie primaire d'un bâtiment résidentiel est la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire par mètre carré de plancher chauffé, exprimée en kWh/m<sup>2</sup> an.

Pour rappel, la surface de plancher chauffé ( $A_{ch}$ ) est la somme des surfaces de planchers de chaque niveau de la construction situés dans le volume protégé, mesurées entre les faces externes des murs extérieurs. Sont comptabilisées les surfaces présentant une hauteur sous plafond minimale de 1m50, pour autant que l'espace considéré présente au moins en un point une hauteur minimale de 2m20. Des précisions sont apportées à cette définition et sont consultables dans les pages 'CALE' du site portail de la Région wallonne.

Les consommations spécifiques  $E_{spec}$  de cette étude ont été évaluées conformément à la méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des bâtiments résidentiels qui figure en annexe I de l'arrêté du gouvernement wallon du 17 avril 2008 (4).

### 1.5 L'indicateur de surchauffe $I_{overh}$

L'indicateur de surchauffe est égal aux gains de chaleur annuels normalisés excédentaires par rapport à la température de consigne de 18°C. Cet indicateur de surchauffe est exprimé en Kelvin-heure. Il tient compte à la fois des apports solaires, des apports internes, de l'inertie du bâtiment, et des pertes par transmission et ventilation de celui-ci.

L'exigence de surchauffe est respectée si l'indicateur de chaque secteur énergétique est inférieur à 17500 Kh. Dans cette étude, un seul secteur énergétique a été envisagé par unité d'habitation.

Les indicateurs de surchauffe  $I_{overh}$  de cette étude ont été évalués conformément à la méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des bâtiments résidentiels qui figure en annexe I de l'arrêté du gouvernement wallon du 17 avril 2008 (4).

## 2. Le calcul des indicateurs économiques (6)

Les indicateurs économiques sont calculés à partir du surinvestissement et des gains réalisés sur la facture énergétique annuelle tout au long de la durée d'utilisation (40 ans). Les gains annuels résultent de la différence entre les montants de la facture énergétique annuelle de la maison de référence et de la variante étudiée. La facture énergétique annuelle étant calculée en tenant compte de l'évolution du prix de l'énergie, le gain annuel généré par le surinvestissement évolue chaque année.

### 2.1 La valeur actuelle nette VAN

La valeur actuelle nette fournit la valeur totale escomptée de l'investissement compte tenu du moment des flux financiers. Par conséquent, la VAN tient compte du moment des gains annuels ainsi que de l'évolution des prix de l'énergie. Cet indicateur permet de comparer des projets de montants et de durées identiques. Si la VAN est positive, l'investissement est rentable au taux d'actualisation  $t_a$ . Dans le cas contraire, le projet « doit être rejeté ». Si la VAN est nulle, il est indifférent de réaliser le projet. En première approximation, la VAN peut être interprétée comme un indicateur situant l'intérêt du projet d'investissement par rapport à une situation de référence qui est celle qui consisterait à placer l'argent de l'investissement en banque à taux d'intérêt égal au taux d'actualisation  $t_a$ . **On peut donc dire que, si la VAN est positive, l'investissement est plus intéressant qu'un placement bancaire à taux d'intérêt égal à  $t_a$ , et inversement si la VAN est négative.**

$$VAN = \sum_{t=0}^{du} GA_t \times (1 + t_a)^t - I$$

$t$  : temps [années]

$du$  : durée d'utilisation [années]

$GA_t$  : gain annuel de l'année  $t$  [€/an]

$t_a$  : taux d'actualisation [%/100]

$I$  : investissement [€]

« ... si la VAN est positive, l'investissement est plus intéressant qu'un placement bancaire à taux d'intérêt égal à  $t_a$ , et inversement si la VAN est négative. »

## 2.2 L'investissement ou surinvestissement I

L'investissement ou surinvestissement I désigne le surcoût de la variante étudiée par rapport à la maison de référence.

L'investissement I est composé de l'investissement initial  $I_{ini}$  qui correspond au surcoût déboursé au moment de l'investissement ( $t_0$ ) et du réinvestissement  $I_{ult}$  qui correspond au surcoût déboursé par la suite durant la durée d'utilisation (remplacement éventuel des différents équipements au terme de leur durée de vie).

Par exemple, supposons qu'un équipement, dont le coût est égal à  $C_{eq}$  à  $t_0$ , doit être remplacé au terme de sa durée de vie de 20 ans. Cette durée de vie étant un multiple entier de la durée d'utilisation, la valeur résiduelle de cet équipement est nulle au terme de la durée d'utilisation et l'entièreté du coût de rachat après 20 ans doit être répercutée dans le montant du réinvestissement  $I_{ult}$ .

Le prix de l'équipement après 20 ans est calculé en tenant compte de l'inflation :

$$C_{eq}|_{t=20} = C_{eq}|_{t=0} \times (1 + t_i)^{20} \quad [€]$$

$t_i$  : taux d'inflation [%/100]

La contribution  $C_{eq}^{reinv}|_{t=0}$  de cet équipement au moment du réinvestissement  $I_{ult}$  correspond à son coût la 20ème année,  $C_{eq}|_{t=20}$ , actualisé au temps  $t_0$  :

$$C_{eq}^{reinv}|_{t=0} = C_{eq}|_{t=20} \times (1 + t_i)^{20} \times (1 + t_a)^{-20} \quad [€]$$

L'actualisation au temps initial  $t_0$  est nécessaire pour pouvoir sommer les deux types d'investissement ensemble. On comprend donc que l'investissement I représente le surcoût de la variante étudiée par rapport à la maison de référence sur toute la période d'utilisation. Par conséquent, il tient compte du remplacement éventuel des équipements arrivant en fin de vie avant le terme de la durée d'utilisation.

Pour chaque variante, seuls les coûts des différents postes caractéristiques de l'isolation de l'enveloppe et des installations techniques sont évalués. Les postes considérés sont les suivants :

- isolation : coût des matériaux isolants de toutes les parois opaques ;
- vitrages : coût des menuiseries extérieures (vitrages, châssis et portes) ;
- chauffage : coût de l'appareil producteur de chaleur, du réseau de distribution et des émetteurs de chaleur ainsi que du système de régulation ;
- eau chaude sanitaire : coût du système de production d'eau chaude sanitaire ;
- ventilation : coût du système de ventilation (gainage, appareil de ventilation mécanique, échangeur éventuel, etc) ;
- étanchéité : coût des matériaux et surtout de la main d'œuvre nécessaire à l'obtention du niveau d'étanchéité désiré ;
- refroidissement : coût du système de refroidissement actif ;
- énergie renouvelable : coût d'un système éventuel de production d'énergie verte (capteurs solaires thermiques et/ou photovoltaïques).

Le surinvestissement calculé pour chaque variante d'habitation résulte de la différence entre les coûts des différents postes mentionnés, calculés pour la variante concernée et la maison de référence. Les coûts de tous les autres postes (fondations, blocs ou ossature en bois, charpente, etc) sont supposés identiques pour toutes les variantes d'une même maison. Notons que le coût total de chaque habitation n'est donc pas déterminé. Sa connaissance n'est pas nécessaire pour le calcul des indicateurs économiques.

**Il faut prendre garde quant à l'interprétation des résultats de cette étude. Il est évident qu'en prenant en compte les particularités des situations individuelles, les coûts supportés par le maître d'ouvrage peuvent varier sensiblement et les conclusions proposées dans ce rapport peuvent en être affectées.**

La démarche et les hypothèses de travail utilisées dans cette étude sont présentées de façon transparente afin que le lecteur puisse éventuellement nuancer les conclusions en fonction de sa situation. Néanmoins, des tendances intéressantes et pertinentes quant aux choix techniques à effectuer en matière d'économie d'énergie pourront en être déduites.

### 2.3 Le temps de retour dynamique TRD

Le temps de retour dynamique TRD tient compte des moments où les gains annuels sont perçus et de l'évolution des prix de l'énergie. Les gains annuels sont actualisés au moment de l'investissement ( $t_0$ ) à l'aide du taux d'actualisation  $ta$ . Tous les flux financiers annuels doivent être indexés en fonction de l'inflation. C'est la raison pour laquelle les coûts des équipements remplacés au terme de leur durée de vie sont indexés avant d'être actualisés pour le calcul de l'investissement  $I$ .

Le TRD s'obtient par résolution de l'équation suivante :

$$I = \sum_{t=0}^{TRD} GA_t \times (1+ta)^{-t} \quad [€]$$

Le TRD correspond au nombre d'années nécessaires pour que la somme des gains annuels actualisés au temps  $t_0$  égale l'investissement total sur la durée d'utilisation. **Le TRD détermine donc le temps nécessaire pour récupérer l'investissement  $I$  compte tenu de l'inflation et de l'évolution du coût de l'énergie.**

« Le TRD détermine donc le temps nécessaire pour récupérer l'investissement  $I$  compte tenu de l'inflation et de l'évolution du coût de l'énergie ».

### 2.4 Le coût total actualisé CTA

Le coût total actualisé est calculé sur la base des coûts annuels totaux ( $K$ ) de la variante étudiée au lieu des économies annuelles ( $GA$ ) au niveau de la facture énergétique. Les coûts annuels totaux sont propres à la variante étudiée et ne résultent plus de la différence entre la facture énergétique annuelle de la maison étudiée et de la maison de référence.

$$CTA = \sum_{t=0}^{du} K_t \times (1+ta)^{-t} \quad [€]$$

$K_t$  : coût total de l'année  $t$ , compte tenu de l'investissement, du réinvestissement éventuel et du coût énergétique de l'année  $t$ .

L'interprétation des CTA est très proche de celle de la VAN puisque le calcul de ces indicateurs est parfaitement similaire à l'exception du fait que les flux financiers de la maison de référence ne sont pas retranchés de ceux de la variante étudiée dans le cas du calcul des CTA. Par conséquent, si deux projets d'investissements sont comparés à une même référence, le projet qui a la VAN la plus élevée sera aussi celui qui a le CTA le plus faible et celui qui est le plus avantageux.

### 3. L'outil utilisé (programme MATLAB)

L'ensemble des simulations à l'origine des résultats de cette étude ont été réalisées à l'aide d'un programme informatique, écrit dans MATLAB 7, qui permet simultanément les calculs énergétiques et économiques de l'ensemble des variantes.

## C. Résultats de la plaquette : « Répondre à la PEB »

### 1. Les valeurs U des différentes parois dans les 3 niveaux d'isolation

Valeurs U des parois pour tous les niveaux d'isolation :

		Niveau d'isolation		
		1	2	3
Façades	[W/m <sup>2</sup> K]	0.40	0.24	0.15
Dalle sur VV	[W/m <sup>2</sup> K]	0.52	0.30	0.15
Toiture	[W/m <sup>2</sup> K]	0.26	0.20	0.14

(a)

		Niveau d'isolation		
		1	2	3
Façades	[W/m <sup>2</sup> K]	0.35	0.19	0.13
Dalle sur VV	[W/m <sup>2</sup> K]	0.52	0.30	0.15
Toiture	[W/m <sup>2</sup> K]	0.26	0.20	0.14

(b)

Tableau 31 : Valeurs U des parois des constructions traditionnelles (a) et ossature bois (b)

Comme décrit dans les Tableau 11 et Tableau 12 de ce rapport, les deux modes de construction diffèrent par la composition des façades, les toitures et dalles sur vide ventilé étant composées de la même manière dans les deux cas.

### 2. Les niveaux K des 4 typologies dans les 2 modes de construction et dans les 3 niveaux d'isolation

Construction traditionnelle : Mi-lourd	Niveau de surface vitrée	Niveau d'isolation		
		1	2	3
4 façades - type clefs sur porte	Av1	44	31	18
	Av2	48	37	21
4 façades - type architecturée	Av1	41	29	17
	Av2	47	35	21
3 façades	Av1	43	31	18
	Av2	49	38	22
2 façades	Av1	36	25	15
	Av2	47	37	22
appartement	Av1	33	25	15
	Av2	44	37	21

Tableau 32 : Niveaux K des variantes de constructions traditionnelles envisagées

Construction bois : Léger	Niveau de surface vitrée	Niveau d'isolation		
		1	2	3
4 façades - type clefs sur porte	Av1	41	29	17
	Av2	46	34	20
4 façades - type architecturée	Av1	38	26	16
	Av2	45	33	19
3 façades	Av1	40	29	17
	Av2	47	36	21
2 façades	Av1	34	23	14
	Av2	45	36	21
appartement	Av1	30	23	13
	Av2	41	34	20

Tableau 33 : Niveaux K des variantes de constructions ossature bois envisagées

Les bâtiments très vitrés (Av2) présentent des niveaux K plus élevés, les fenêtres étant moins performantes que les façades. On constate dans les tableaux ci-dessus que pour le niveau 1 d'isolation (Q1), bon nombre des cas envisagés ne respectent pas le K45. On constate également que les constructions en ossature bois (Léger) sont sensiblement mieux isolées et présentent donc de meilleurs niveaux K.

### 3. L'indicateur de surchauffe des 4 typologies dans les 2 modes de construction et dans les 3 niveaux d'isolation

Construction traditionnelle : Mi-lourd	Niveau de surface vitrée	Niveau d'isolation			
		1	2	3	
4 façades - type clefs sur porte	Av1	9263	11530	12009	[Kh]
	Av2	13093	15962	16646	[Kh]
4 façades - type architecturée	Av1	6254	7914	8184	[Kh]
	Av2	11601	14265	14599	[Kh]
3 façades	Av1	10475	12905	13770	[Kh]
	Av2	16641	19969	20720	[Kh]
2 façades	Av1	6839	8277	8617	[Kh]
	Av2	15203	17726	18179	[Kh]
appartement	Av1	13682	15415	15422	[Kh]
	Av2	20374	22516	22789	[Kh]

Tableau 34 : Indicateurs de surchauffe des variantes de constructions traditionnelles envisagées

Construction bois : Léger	Niveau de surface vitrée	Niveau d'isolation			
		1	2	3	
4 façades - type clefs sur porte	Av1	11946	14600	14833	[Kh]
	Av2	16397	19695	20098	[Kh]
4 façades - type architecturée	Av1	8309	10297	10330	[Kh]
	Av2	14662	17730	17696	[Kh]
3 façades	Av1	13484	16316	16489	[Kh]
	Av2	20610	24400	24812	[Kh]
2 façades	Av1	8966	10648	10828	[Kh]
	Av2	18658	21486	21663	[Kh]
appartement	Av1	17465	19359	18954	[Kh]
	Av2	25081	27373	27211	[Kh]

Tableau 35 : Indicateurs de surchauffe des variantes de constructions ossature bois envisagées

On constate bien que les cas plus vitrés (Av2) présentent plus de risque de surchauffe, ainsi que les constructions légères (ossature bois). La maison 3 façades présente un risque de surchauffe plus élevé que la maison 4 façades malgré moins de surfaces vitrées, car celles-ci sont orientées pour presque 60% du sud à l'ouest. Les appartements présentent les risques de surchauffe les plus élevés compte tenu de leur faible surface de déperdition totale ( $A_T$ ) et de leur proportion de surfaces vitrées par rapport à cette surface de déperdition totale. Dans le cas de la maison **4 façades** type « clef sur porte », les surfaces vitrées représentent 8.5 (Av1) et 13% (Av2) de la surface de déperdition totale, alors que pour **l'appartement**, ces surfaces représentent 16 (Av1) et 33% (Av2).

« Les appartements présentent les risques de surchauffe les plus élevés compte tenu de leur faible surface de déperdition totale et de leur proportion de surfaces vitrées ... »

#### 4. Les abaques de lecture des niveaux $E_w$ et consommations $E_{spec}$

Dans la plaquette « Répondre à la PEB » (2) issue de cette étude, on trouve 3 abaques semblables à celui qui suit. Ceux-ci permettent de lire les résultats de niveau  $E_w$  et de consommation spécifique  $E_{spec}$  de l'ensemble des variantes envisagées dans cette étude (552 par typologie) sur une seule page. Ils permettent également de lire les améliorations possibles, étape par étape, en naviguant de gauche à droite ou de haut en bas dans les tableaux tout en se repérant par rapport aux critères réglementaires et aux critères de CALE.

De gauche à droite on peut lire l'impact du niveau d'isolation (1), du système de ventilation (2) ou de l'étanchéité à l'air (3), alors que de haut en bas, on peut lire l'impact du système de chauffage (4).

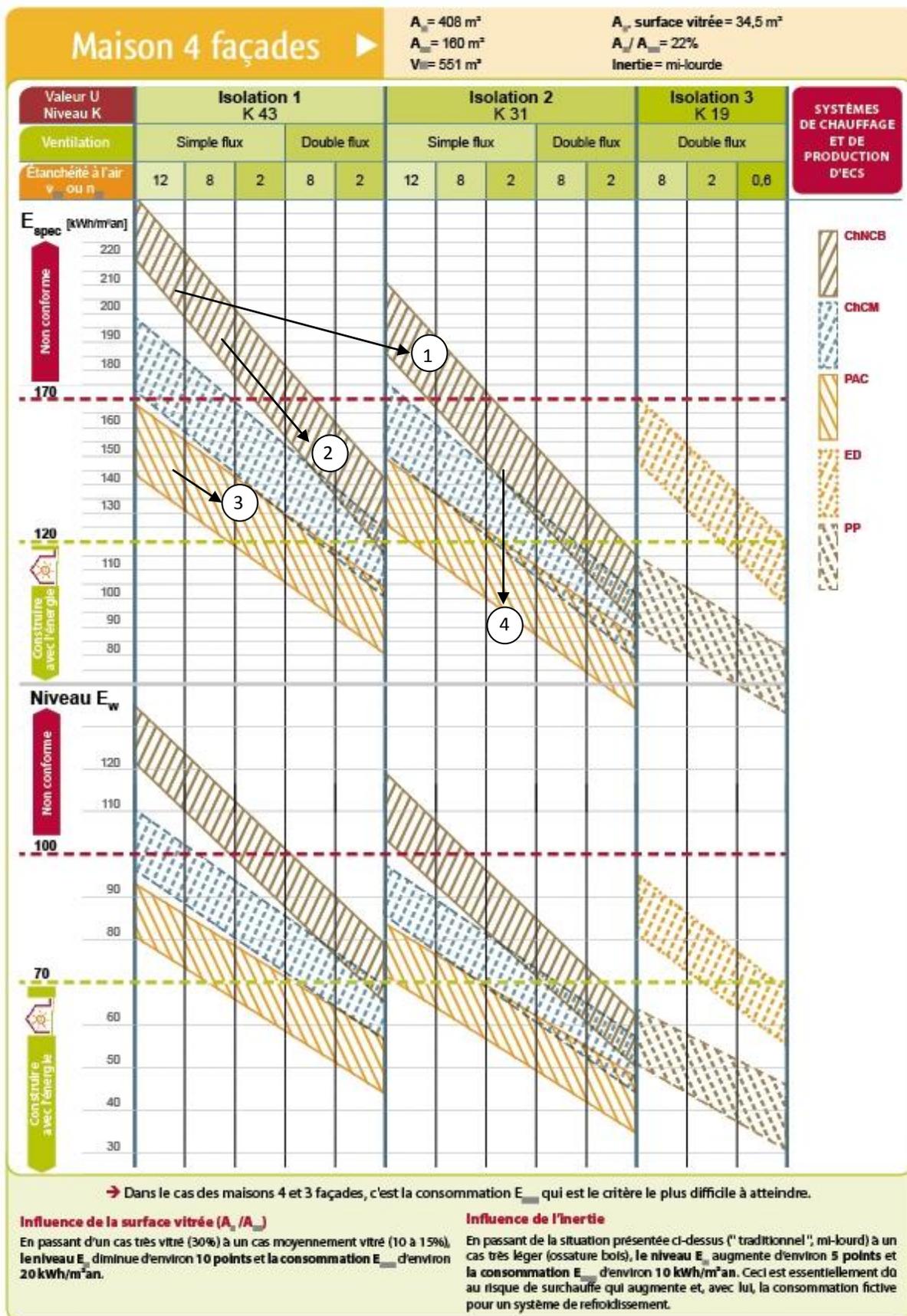


Figure 7 : Exemple de page centrale de la plaquette « Répondre à la PEB » (2)

### 5. L'impact du niveau d'isolation sur le niveau $E_w$

Le niveau d'isolation est le paramètre le plus délicat à analyser puisque les systèmes de chauffage utilisés pour le niveau 3 d'isolation ne sont pas les mêmes que ceux pour les niveaux 1 et 2. La représentation des résultats proposée à la Figure 8 permet donc de lire le niveau  $E_w$  de chaque combinaison typologie – niveau d'isolation – système de chauffage, ainsi que les moyennes sur les différents systèmes de chauffage.

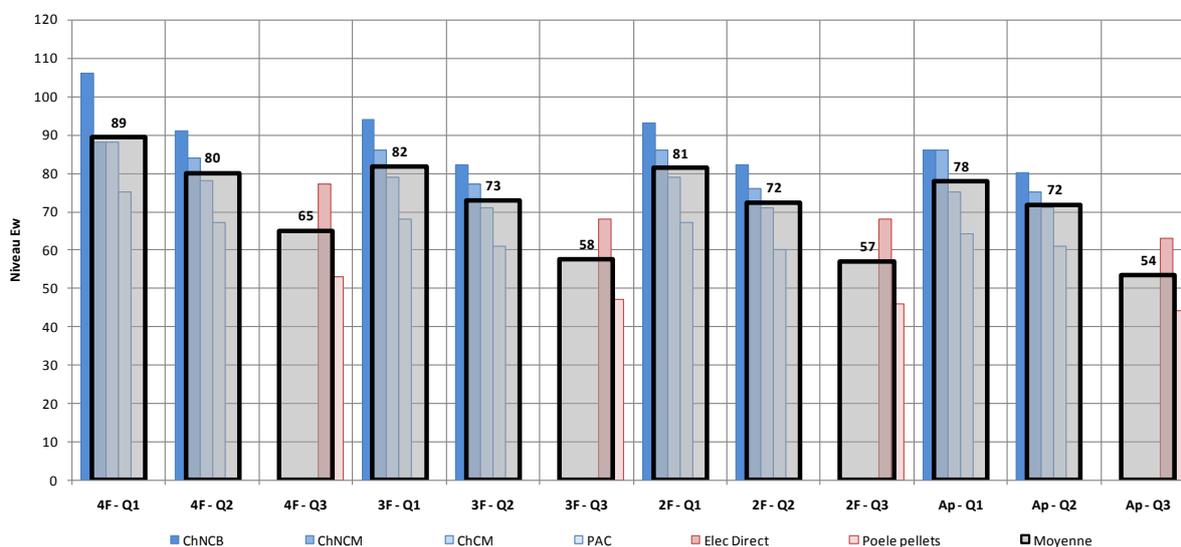


Figure 8 : Sensibilité au niveau d'isolation par système de chauffage et par typologie de bâtiment

ChNCB : chaudière non à condensation au bois – ChNCM : chaudière non à condensation au mazout – ChCM : chaudière à condensation au mazout – PAC : pompe à chaleur

L'amélioration de l'isolation d'un niveau 1 à un niveau 2 permet un gain moyen de 9 points de niveau  $E_w$ , sauf pour l'appartement qui est la typologie la plus pénalisée par la surchauffe, cette dernière augmentant avec le niveau d'isolation.

L'amélioration de l'isolation d'un niveau 2 à un niveau 3 permet un gain moyen de 15 points de niveau  $E_w$ .

« L'amélioration de l'isolation d'un niveau 1 à un niveau 2 permet un gain moyen de 9 points de niveau  $E_w$ , ... »

« L'amélioration de l'isolation d'un niveau 2 à un niveau 3 permet un gain moyen de 15 points de niveau  $E_w$ . »

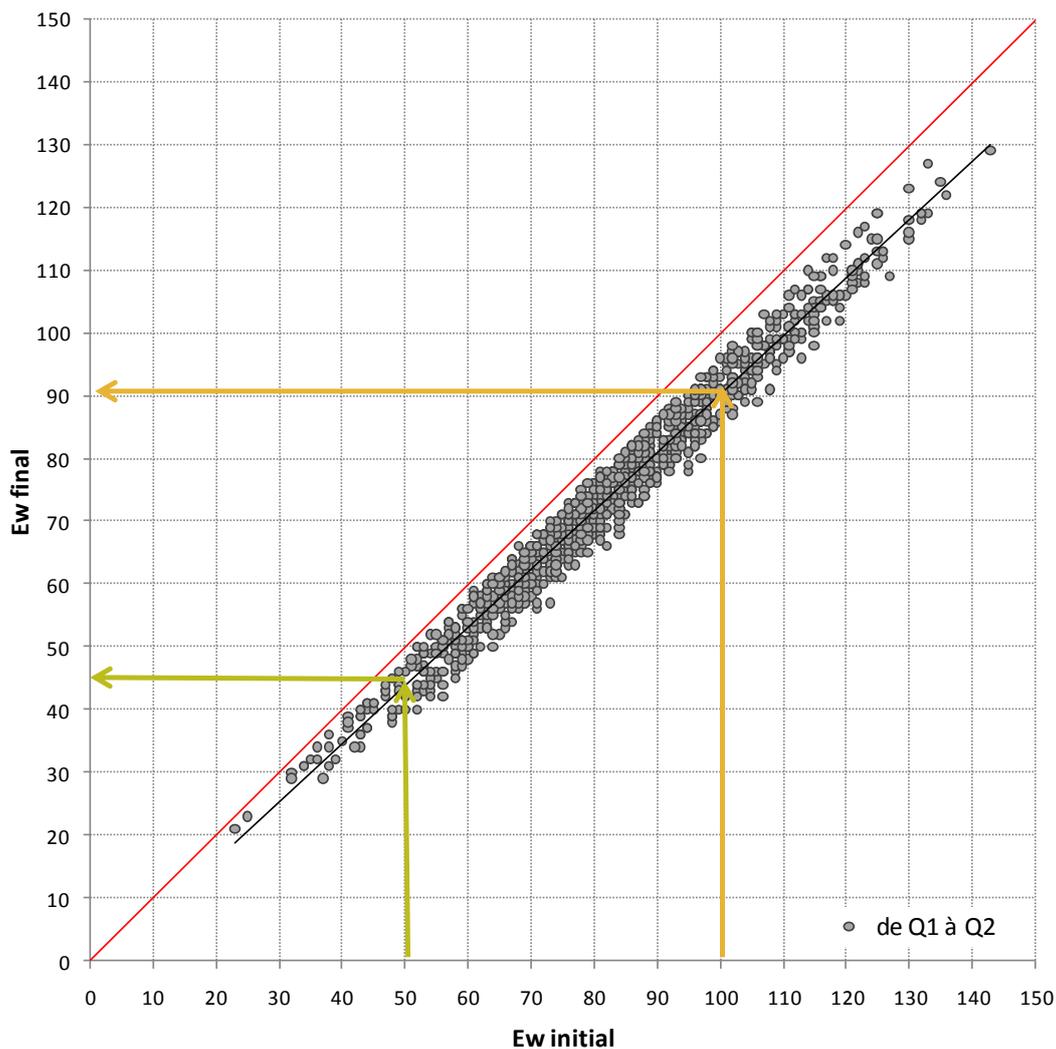


Figure 9 : Sensibilité au niveau d’isolation de Q1 à Q2

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l’amélioration de l’isolation de Q1 à Q2 permet un gain moyen de 10 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 50, l’amélioration de l’isolation de Q1 à Q2 permet un gain moyen de 6 points.

*« Si on considère la rentabilité d’investissement, l’amélioration de l’isolation devient la priorité en matière d’investissements économiseurs d’énergie ... »*

## 6. L'impact de l'étanchéité sur le niveau $E_w$

L'impact de l'amélioration de l'étanchéité à l'air peut se lire sur la Figure 10. La diminution du débit de fuite de  $12 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $50 \text{ Pa}$  en ventilation simple flux permet un gain moyen de 5 points de niveau  $E_w$ . La diminution de  $8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  en ventilation simple flux permet un gain de 8 points de niveau  $E_w$  et en ventilation double flux de 10 points de niveau  $E_w$ . L'amélioration de l'étanchéité jusqu'à des taux de renouvellement d'air de  $0,6$  volume par heure ne permet qu'un gain de quelques points (1 à 3) de niveau  $E_w$  par rapport à un débit de fuite de  $2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $50 \text{ Pa}$ .

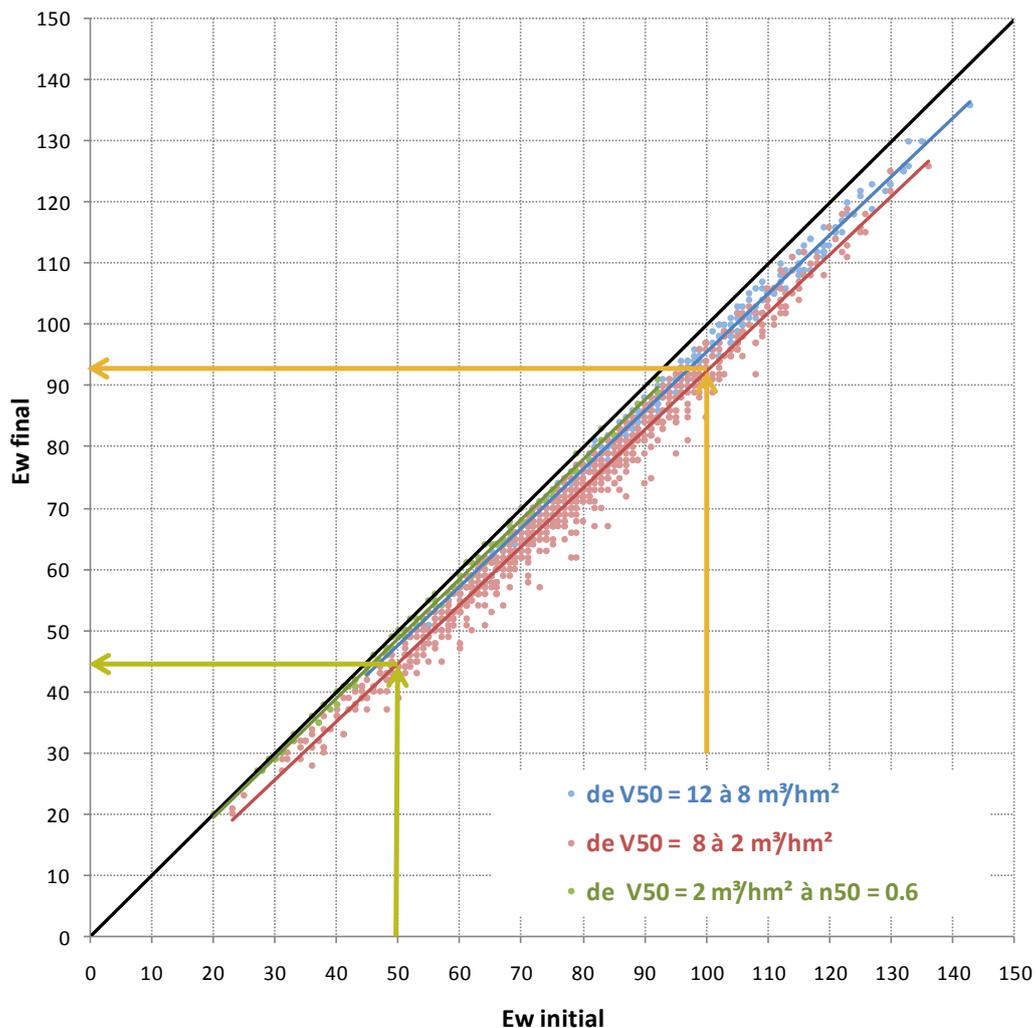


Figure 10 : Sensibilité à l'étanchéité à l'air

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'amélioration de l'étanchéité de  $12$  à  $8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $50 \text{ Pa}$  permet un gain de 5 points, tandis que pour un niveau  $E_w$  initial de 50, cette amélioration permet un gain moyen de 3 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'amélioration de l'étanchéité de  $8$  à  $2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $50 \text{ Pa}$  permet un gain de 8 points, tandis que pour un niveau  $E_w$  initial de 50, cette amélioration permet un gain moyen de 5 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'amélioration de l'étanchéité de  $2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $50 \text{ Pa}$  à  $0,6 \text{ h}^{-1}$  à  $50 \text{ Pa}$  permet un gain moyen de 3 points, tandis que pour un niveau  $E_w$  initial de 50, cette amélioration permet un gain moyen de 1 point.

## 7. L'impact du système de ventilation sur le niveau $E_w$

L'utilisation d'un système de ventilation double flux avec échangeur plutôt qu'un système simple flux, est le choix qui permet le plus grand gain de points de niveau  $E_w$  (voir Figure 11), soient 20 points, et même 25 points et plus pour les appartements.

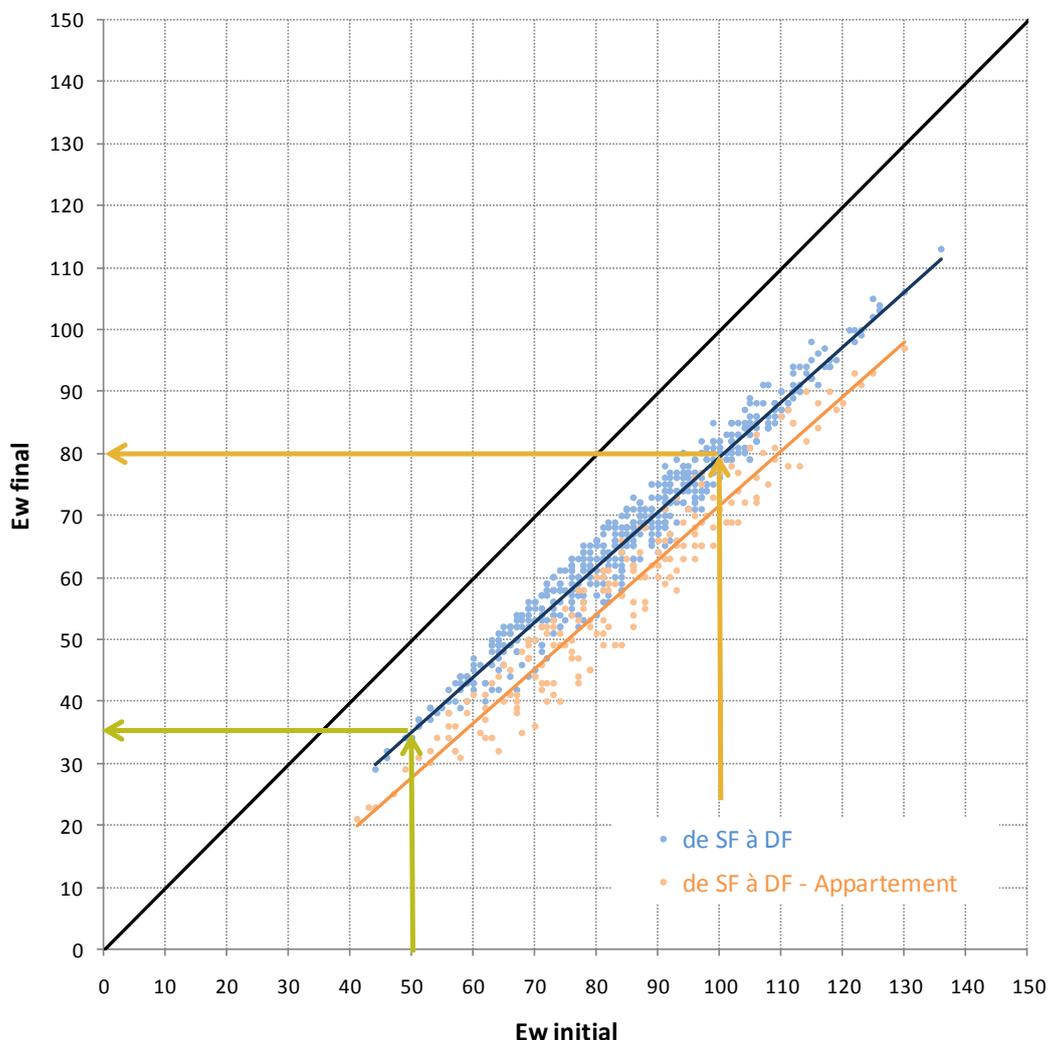


Figure 11 : Sensibilité au système de ventilation

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'utilisation d'un système double flux avec échangeur de chaleur permet un gain moyen de 20 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 50, l'utilisation d'un système double flux avec échangeur de chaleur permet un gain moyen de 15 points.

*« ... d'un point de vue purement énergétique, l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur est la solution qui permet le plus d'économies d'énergie, pour des cas qui sont dès le départ bien isolés. »*

### 8. L'impact de l'installation de chauffage sur le niveau $E_w$

Les différentes installations de chauffage sont caractérisées par un rendement global de l'installation de chauffage ( $\eta_{\text{chauf}}$ ) tenant compte du type d'émetteurs, de l'isolation du réseau de distribution, de la présence d'un éventuel système de stockage et finalement du rendement de l'appareil de production. Les effets de l'amélioration du système de chauffage central ou local se lisent sur la Figure 12.

En chauffage central, qu'on analyse le passage d'une chaudière à bois ( $\eta_{\text{chauf}} = 64\%$ ) à une chaudière au mazout ( $\eta_{\text{chauf}} = 74\%$ ), ou le passage d'une chaudière basse température au mazout à une chaudière à condensation au mazout ( $\eta_{\text{chauf}} = 85\%$ ), le gain est en moyenne de 8 points de niveau  $E_w$ . Le passage de la chaudière à condensation à la pompe à chaleur (PAC) ( $\eta_{\text{chauf}} = 290\%$ ) permet un gain de 12 points. En chauffage local, le passage d'un chauffage électrique direct ( $\eta_{\text{chauf}} = 96\%$ ) à un poêle à pellets ( $\eta_{\text{chauf}} = 59\%$ ) permet une économie moyenne de 25 points. Dans ce dernier cas de figure, l'amélioration du niveau  $E_w$  est essentiellement due au facteur de conversion en énergie primaire du bois qui est deux fois et demi moins important que celui de l'électricité, et ce malgré un moins bon rendement de l'installation de chauffage au bois.

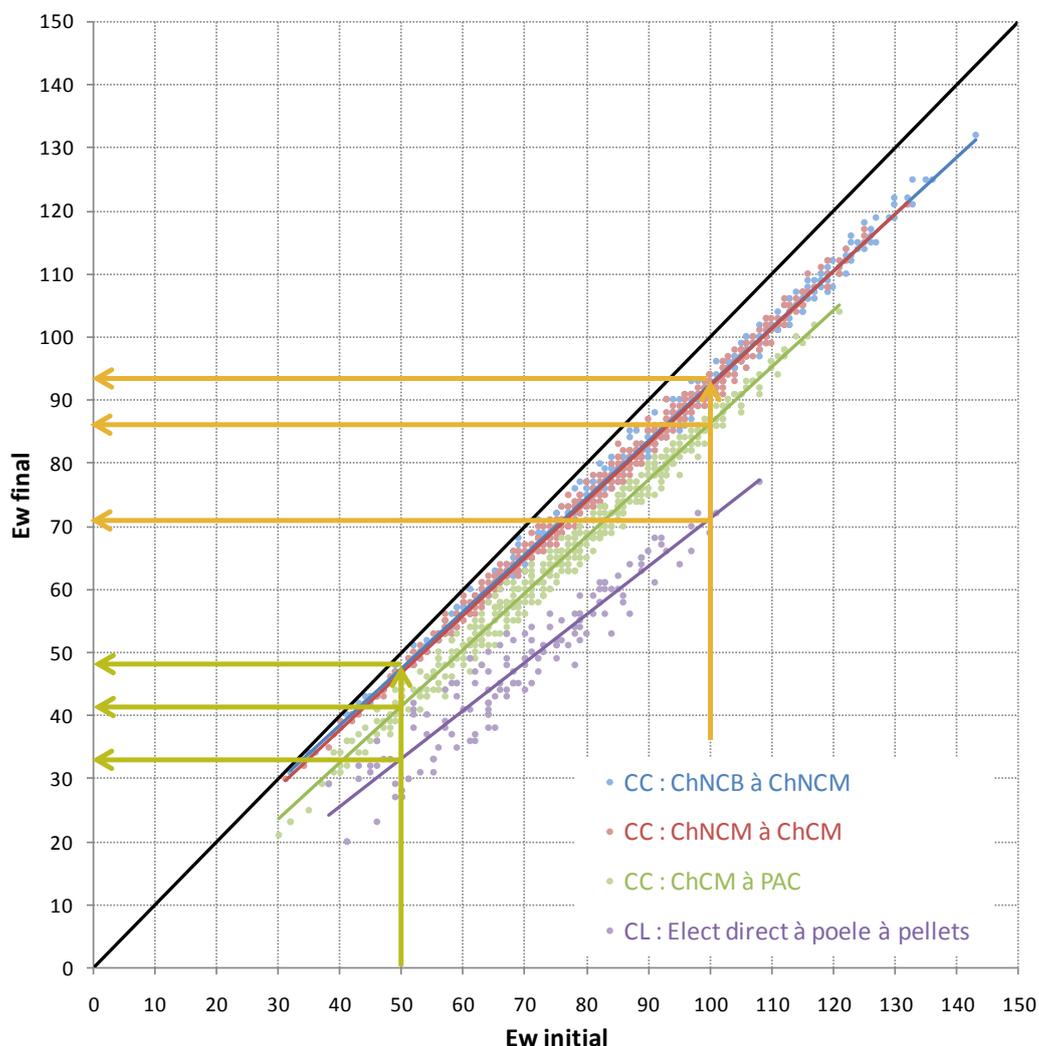


Figure 12 : Sensibilité au système de chauffage

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'amélioration du système de chauffage permet les gains suivants :

- Utilisation d'une chaudière basse température au mazout plutôt qu'une chaudière à bois : 10 points

- Utilisation d'une chaudière à condensation au mazout plutôt qu'une chaudière basse température au mazout : 8 points
- Utilisation d'une PAC plutôt qu'une chaudière à condensation au mazout : 14 points
- Utilisation d'un poêle à pellets plutôt qu'un chauffage électrique direct : 29 points

Pour un niveau  $E_w$  initial de 50, l'amélioration du système de chauffage permet les gains suivants :

- Utilisation d'une chaudière basse température au mazout plutôt qu'une chaudière à bois : 3 points
- Utilisation d'une chaudière à condensation au mazout plutôt qu'une chaudière basse température au mazout : 3 points
- Utilisation d'une PAC plutôt qu'une chaudière à condensation au mazout : 9 points
- Utilisation d'un poêle à pellets plutôt qu'un chauffage électrique direct : 17 points

### 9. L'impact du préchauffage solaire de l'ECS et des panneaux solaires photovoltaïques sur le niveau $E_w$

L'utilisation de 5 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire (voir Figure 13) permet une économie de 10 points de niveau  $E_w$  (15 pour les appartements). Les capteurs solaires photovoltaïques (2 kWc) permettent quant à eux une économie moyenne de 13 points de niveau  $E_w$ , voire même de 30 points pour les appartements chauffés par un chauffage électrique direct.

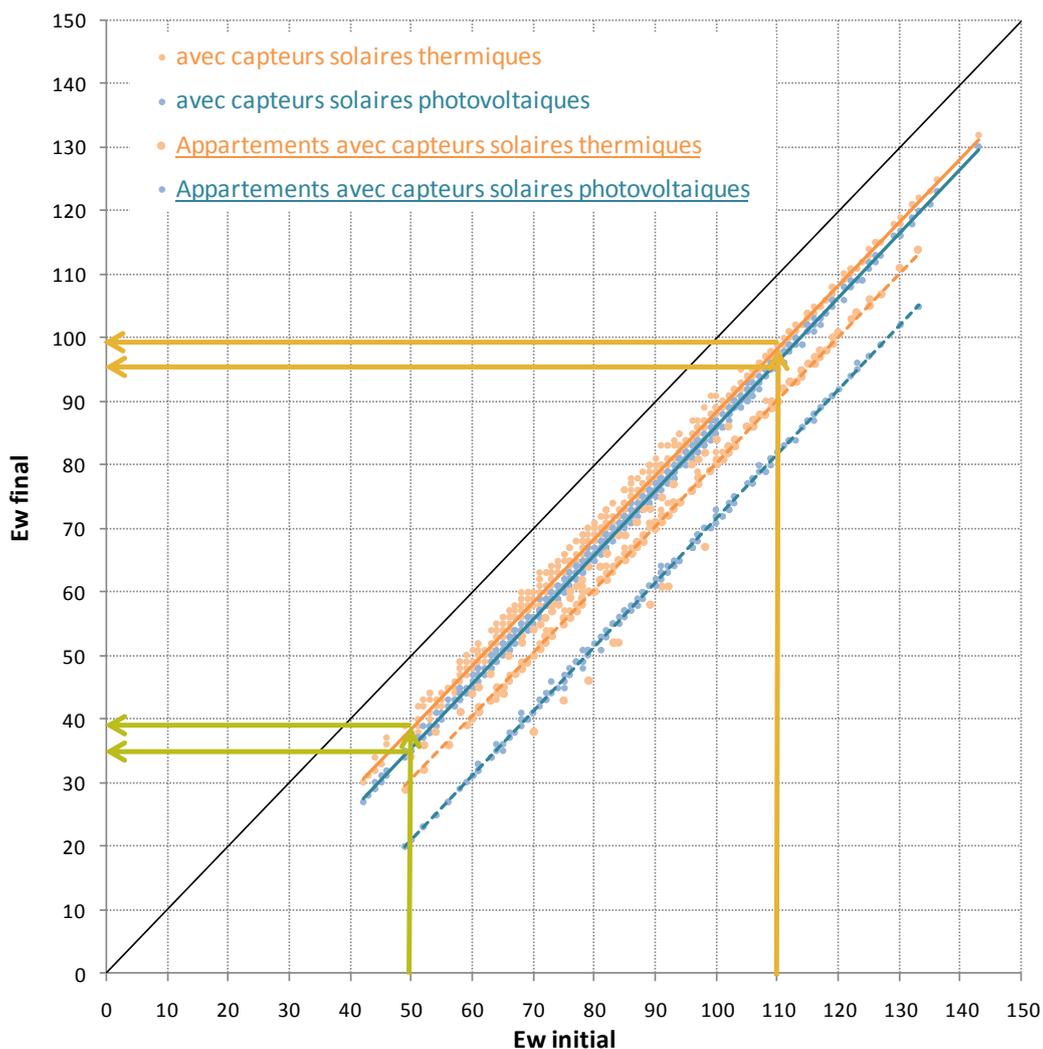


Figure 13 : Sensibilité à l'utilisation de l'énergie renouvelable solaire

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'utilisation de capteurs solaires thermiques pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire permet un gain moyen de 12 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 50, l'utilisation de capteurs solaires thermiques pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire permet un gain moyen de 11 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 100, l'utilisation de capteurs solaires photovoltaïques pour la production d'électricité permet un gain moyen de 14 points.

Pour un niveau  $E_w$  initial de 50, l'utilisation de capteurs solaires photovoltaïques pour la production d'électricité permet un gain moyen de 14 points.

## 10. L'impact de la surchauffe sur le niveau $E_w$ et les moyens de la réduire

L'amélioration de l'isolation et de l'étanchéité de l'enveloppe sans prise de précaution pour réduire le risque de surchauffe mène régulièrement à des bâtiments présentant un risque de surchauffe trop élevé au sens de la PEB (cf. Figure 14).

Dans le cadre de cette étude, nous avons donc évalué pour un cas, la maison 4 façades, type clefs sur porte très bien isolée (Q3), l'importance de la surchauffe dans différentes configurations d'inertie et de proportions de surface vitrée, ainsi que l'impact des moyens de réduire la surchauffe mis à disposition dans la méthode de calcul réglementaire de la PEB.

*« L'amélioration de l'isolation et de l'étanchéité de l'enveloppe sans prise de précaution pour réduire le risque de surchauffe mène régulièrement à des bâtiments présentant un **risque de surchauffe trop élevé** au sens de la PEB. »*

L'habitation retenue présente un niveau K 18 (Mi-lourd) ou 17 (Léger) pour une quantité de surfaces vitrées moyenne (Av1), et un K 21 (Mi-lourd) ou 20 (Léger) pour une grande quantité de surfaces vitrées (Av2).

Les moyens utilisés pour réduire la surchauffe sont les systèmes de protections solaires qui peuvent être soit :

- intérieures manuelles ;
- extérieures manuelles ;
- extérieures automatiques.

Les résultats sont présentés sur la figure suivante (cf. Figure 14). Au départ, cette habitation avec une faible inertie (léger) et une grande quantité de surfaces vitrées (Av2) présente un indicateur de surchauffe de 20098 Kh (>17 500 Kh), soit 15 points de niveau  $E_w$  imputables à la surchauffe. D'un point de vue réglementaire, un tel risque de surchauffe mène à des amendes, et dans le cadre de l'action CALE, à un avis négatif du projet.

La réduction de la quantité de surface vitrée (Av2 → Av1) permet un gain de 11 points de niveau  $E_w$ , l'amélioration de l'inertie (L → ML), de 8 points de niveau  $E_w$  et l'utilisation de protections solaires extérieures automatiques (PS ext auto) de 6 points de niveau  $E_w$ . Toutes ces mesures combinées permettent un gain de 20 points de niveau  $E_w$ , dont 14 points dus à la de surchauffe.

Pour rappel, l'existence d'un risque de surchauffe mène à l'addition d'une consommation « fictive » de refroidissement aux consommations de chauffage, d'eau chaude sanitaire et des auxiliaires.

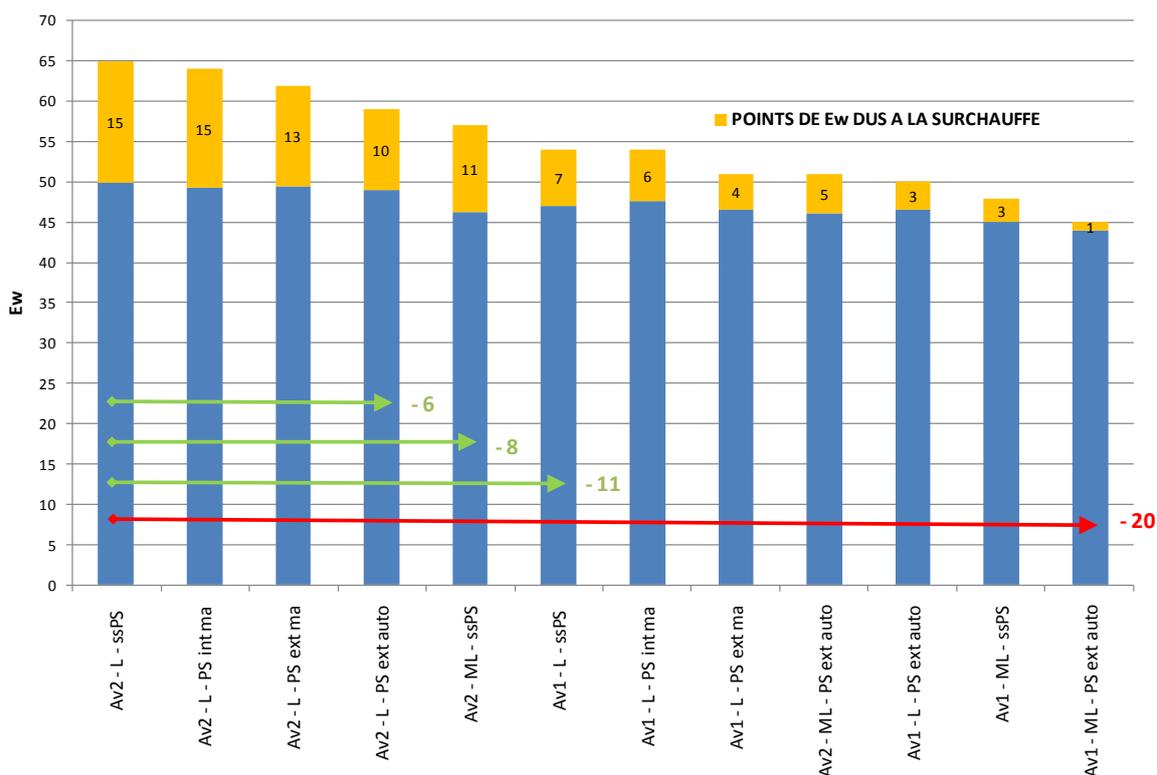


Figure 14 : Risque de surchauffe pour une maison 4 façades et impact des systèmes de protections solaires

« ... l'existence d'un risque de surchauffe mène à l'addition d'une consommation « fictive » de refroidissement ... »

### 11. L'influence de la quantité de surface vitrée

L'impact de la quantité de surfaces vitrées en fonction de la typologie et du niveau d'isolation, peut se lire dans le tableau suivant :

		Niveau d'isolation		
		1	2	3
4 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	7	11	9
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	16	22	20
3 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	12	14	12
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	26	29	23
2 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	14	20	17
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	28	37	31
appartement	Gain sur $E_w$ [ ]	17	16	14
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	29	27	22

Tableau 36 : Impact de la quantité de surfaces vitrées sur le niveau Ew et la consommation spécifique Espec

La diminution des quantités de surfaces vitrées permet d'améliorer le niveau d'isolation, de réduire les apports solaires en hiver, mais aussi le risque de surchauffe et donc aussi la consommation « fictive » de refroidissement en été.

Réduire la proportion de surfaces vitrées permet donc finalement d'améliorer le niveau  $E_w$ , pour toutes les typologies et pour tous les niveaux d'isolation. En moyenne, ce gain est de 12 points de niveau  $E_w$  soit 25 kWh/m<sup>2</sup>an.

## 12. L'influence de l'inertie

L'impact de l'inertie, mi-lourd ou léger, en fonction de la typologie et du niveau d'isolation peut se lire dans le tableau suivant :

L → ML	Niveau d'isolation			
		1	2	3
4 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	4	6	6
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	7	10	10
3 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	5	7	7
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	8	12	11
2 façades	Gain sur $E_w$ [ ]	1	2	3
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	1	3	4
appartement	Gain sur $E_w$ [ ]	9	8	8
	Gain sur $E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	13	11	11

Tableau 37 : Impact de l'inertie sur le niveau  $E_w$  et la consommation spécifique  $E_{spec}$

L'amélioration de l'inertie permet de réduire les besoins en énergie de chauffage, mais permet aussi de réduire les besoins en énergie de refroidissement, ceci grâce à l'accumulation des apports (solaires, internes et de chauffage) dans les parois et à leur restitution ultérieure. Ce phénomène permet, en hiver, de réduire les besoins nocturnes de chauffage, et en été de réduire les besoins diurnes de refroidissement.

Améliorer l'inertie permet donc d'améliorer le niveau  $E_w$ , pour toutes les typologies et pour tous les niveaux d'isolation. En moyenne, ce gain est de 5 points de niveau  $E_w$  soit 9 kWh/m<sup>2</sup>an.

## 13. Les résultats économiques

L'analyse économique proposée dans cette étude porte sur les variantes envisagées de la maison 4 façades type clef sur porte, d'inertie mi-lourde (construction traditionnelle) et moyennement vitrée (22% de  $A_{ch}$ ).

Le but de cette partie de l'étude est d'évaluer l'intérêt des investissements économiseurs d'énergie les plus rentables compte tenu des données économiques, dans les 2 situations décrites dans le Tableau 27, soit 2008 et 2009.

Les indicateurs repris dans le tableau de la Figure 15 sont donc aussi bien d'ordre énergétique ( $E_w$  et  $E_{spec}$ ), qu'économique (TRD et VAN), et écologique (émissions de CO<sub>2</sub>).

Tous les cas des lignes 2 à 14 sont comparés au cas de base (ligne 1). Dans la première partie du tableau, le but est de n'améliorer qu'un paramètre à la fois, à savoir l'isolation (ligne 2), l'étanchéité (ligne 3), le système de chauffage (lignes 4 et 5), ou d'ajouter des systèmes de production d'énergie renouvelable (lignes 6 et 7). On constate que pour l'ensemble de ces cas (lignes 2 à 7), améliorer un seul paramètre à la fois, ne permet pratiquement jamais d'atteindre les critères réglementaires, à savoir un  $E_w \leq 100$  et un  $E_{spec} < 170$  kWh/m<sup>2</sup>an. Seule l'installation d'une PAC permet d'y arriver.

*« ... améliorer un seul paramètre à la fois, ne permet pratiquement jamais d'atteindre les critères réglementaires ( $K \leq 45$ ,  $E_w \leq 100$  et  $E_{spec} < 170$  kWh/m<sup>2</sup>an) ... »*

Les résultats économiques montrent que l'amélioration de l'isolation est l'investissement qui se récupère le plus vite, suivi de la ventilation double flux avec échangeur de chaleur, à condition d'avoir soigné un minimum l'étanchéité à l'air du bâtiment (ligne 9).

La deuxième partie du tableau (lignes 10 à 14) présente un ensemble de cas qui permettent de respecter les critères de l'action CALE en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2010, à savoir, un niveau  $K \leq 35$ , un niveau  $E_w \leq 70$  et un  $E_{spec} \leq 120$  kWh/m<sup>2</sup>an. Pour y parvenir, on voit qu'il est nécessaire d'agir sur au moins 3 paramètres : l'isolation ; l'étanchéité à l'air et la ventilation ; l'amélioration du système de chauffage permet ensuite d'aller au-delà des critères de CALE.

*« ... pour respecter les critères de l'action CALE ( $K \leq 35$ ,  $E_w \leq 70$  et  $E_{spec} \leq 120$  kWh/m<sup>2</sup>an) ... il est nécessaire d'agir sur au moins 3 paramètres ... »*

**On constate que les résultats économiques des situations 2008 et 2009 sont très différents, allant du simple au double pour les TRD. Ceci est dû essentiellement à un taux d'inflation en 2009 beaucoup plus faible qu'en 2008 et à des prix de l'énergie en 2009 redevenus plus faibles qu'en 2008.** Cette étude permet donc entre autre de mettre en évidence la sensibilité de ce genre de projections sur 40 ans à des paramètres économiques difficilement maîtrisables et imprévisibles. **Il est également évident qu'à l'heure actuelle (septembre 2010), nous nous redirigeons déjà vers une situation plus proche de celle de 2008 que de 2009.**

*« ... un taux d'inflation en 2009 beaucoup plus faible qu'en 2008 et à des prix de l'énergie en 2009 redevenus plus faibles qu'en 2008. »*

Dans cette deuxième partie du tableau, nous constatons que les cas respectant les critères de CALE, et mieux, sont rentables en moins de 20 ans, dans une situation telle que celle de 2008.

Les PAC (lignes 5 et 12) sont les investissements les moins rentables, voire pas rentables du tout dans une situation telle que celle de 2009, compte tenu de leur coût, du coût de l'électricité par rapport aux autres combustibles, du facteur de conversion en énergie primaire pour l'électricité (2.5) et des scénarii d'évolution des prix de l'électricité plus pessimistes que ceux du mazout.

Nous avons également mis en avant dans cette plaquette les émissions de CO<sub>2</sub>, émissions sur lesquelles il n'y a actuellement aucun critère en Région wallonne pour les bâtiments, mais qui permet aux lecteurs d'identifier les systèmes les moins polluants, tels que les PAC ou les poêles à pellets.

Maison 4 façades	Isolation (K)	+	Ventilation SF ou DF	+	Etanchéité à l'air (q <sub>l</sub> )	+	Chauffage + ECS	+	Energie solaire	=	E <sub>h</sub>	E <sub>tot</sub> (kWh/m <sup>2</sup> ·an)	CO <sub>2</sub> (kg/an)	TRD (an)		VAN (€)	
														2008	2009	2008	2009
1	Cas de base	44	SF	12	NC	—	—	—	—	115	208	8 439	0	0	0	0	
2	→ Isolation 2	31	SF	12	NC	—	—	—	—	100	181	7 242	0	2	13 201	5 407	
3	→ Etanchéité à l'air	44	SF	2	NC	—	—	—	—	98	178	7 178	11	22	10 912	2 458	
4	→ Système condensation	44	SF	12	C	—	—	—	—	105	188	7 632	17	35	5 419	372	
5	→ Système Pompe à chaleur	44	SF	12	PAC	—	—	—	—	88	159	3 564	>40	>40	-707	-28 734	
6	→ SolTherm	44	SF	12	NC	—	—	—	—	104	187	7 579	10	21	7 686	1 896	
7	→ SolWatt	44	SF	12	NC	—	—	—	—	102	184	7 901	22	34	4 620	794	
8	→ Etanchéité + syst. cond.	44	SF	2	C	—	—	—	—	90	162	6 533	13	28	14 867	2 376	
9	→ Ventilation DF + étanchéité	44	DF	8	NC	—	—	—	—	88	158	6 266	9	17	19 044	5 140	
10	→ Isolation 2 + ventilation DF + étanchéité	31	DF	2	NC	—	—	—	—	65	117	4 434	8	16	36 160	10 092	
11	→ Iso 2 + DF + étanchéité + syst. cond.	31	DF	2	C	—	—	—	—	61	110	4 165	10	22	35 764	8 043	
12	→ Iso 2 + DF + étanchéité + syst. PAC	31	DF	2	PAC	—	—	—	—	52	93	2 091	16	>40	28 763	-10 773	
13	→ Iso 2 + DF + étan. + cond. + SolTherm	31	DF	2	C	—	—	—	—	50	90	3 304	9	19	44 912	11 337	
14	→ Iso 3 + DF + étanchéité + syst. pellets	18	DF	2	P	—	—	—	—	51	91	2 075	20	>40	22 172	-14 632	

Figure 15 : Tableau de synthèse de l'analyse économique réalisée sur la maison 4 façades, de la plaquette « Répondre à la PEB »

## Deuxième Partie

L'objectif de cette seconde partie du rapport est de détailler les calculs énergétiques et économiques de quelques cas sélectionnés dans l'étude économique, c'est-à-dire du cas de base (ligne 1 figure 10) et d'un cas CALE (ligne 11 figure 10), afin de montrer plus en détail les avantages des investissements consentis pour atteindre les critères de janvier 2010 de l'action CALE et l'influence des paramètres économiques des deux situations retenues (2008 et 2009) sur les différents coûts pendant les 40 ans considérés.

Pour rappel, les résultats présentés dans la plaquette « Répondre à la PEB » (2) sont relatifs à une habitation quatre façades type clef sur porte, dont les caractéristiques géométriques sont présentées dans le tableau 1 de la première partie de ce rapport. Plus précisément, le cas retenu est le cas en construction traditionnelle (inertie mi-lourde) et moyennement vitré (Av1).

Le cas de base (ligne 1) présente donc un niveau K44 et une étanchéité à l'air par défaut de  $12 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à 50 Pa. Il est équipé d'un système de ventilation mécanique simple flux (SF) et d'une chaudière basse température au mazout, assurant le chauffage de l'habitation et produisant l'eau chaude sanitaire via un boiler couplé à cette chaudière.

En termes de performance énergétique, ce cas de base présente un niveau  $E_w$  de 115 et une consommation spécifique en énergie primaire de  $208 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{an}$ .

C'est à ce cas de base que nous avons comparé un cas respectant les critères de l'action CALE de janvier 2010, à savoir, le cas n° 11 du tableau de la plaquette « Répondre à la PEB », c'est-à-dire un cas présentant la même géométrie, les mêmes surfaces vitrées, la même inertie, mais mieux isolé ( $K31 < 35$ ), plus étanche à l'air ( $V_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ), équipé d'un système de ventilation mécanique double flux avec échangeur pour préchauffer l'air neuf, et d'une chaudière à condensation au mazout qui produit également l'eau chaude sanitaire via un boiler couplé.

Ce cas est donc bien plus performant énergétiquement et présente un niveau  $E_w$  de 61 ( $< 70$ ) et une consommation spécifique en énergie primaire de  $110 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{an}$  ( $< 120$ ).

Dans la version « cas de base », ce bâtiment présente un risque de surchauffe assez faible, de 9263 Kh (13%), alors que dans la version « CALE », ce risque est plus élevé, 11530 Kh (37%), ce qui engendre une plus grande consommation fictive de refroidissement.

Deux autres cas seront finalement présentés de façon plus synthétique. Un premier, identique au cas 'CALE' précédent (n° 11), mais auquel  $5 \text{ m}^2$  de capteurs solaires thermiques sont ajoutés pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire (n° 13), et un second, dans lequel la chaudière au mazout à condensation du cas CALE est remplacée par une pompe à chaleur géothermique (n° 12).

*« Le but de cette analyse n'est pas de classer les investissements en rentables ou non, mais bien de donner des **ordres de grandeur** et des **tendances** aux concepteurs et maîtres de l'ouvrage. »*

## A . Comparaison des cas n°1 et n°11 dans la situation économique 2009 :

Pour rappel, seuls les coûts des différents postes caractéristiques de l'enveloppe (isolation et étanchéité) et des installations techniques (chauffage, ECS, ventilation, capteurs solaires) sont évalués (cf. paragraphe B.2.2 page 31, première partie de ce rapport).

### 1. Cas de base n°1

#### 1.1 Détails des coûts

	Coût Initial [€]	Réinvestissement après 20 ans[€]	Investissement total [€]
Isolation	7623	0	7623
Vitrage	11571	0	11571
Chauffage	6705	1978	8683
chaudière	3007	1516	4524
émission	2782	0	2782
régulation	916	462	1378
ECS	3822	1379	5201
boiler	2735	1379	4114
conduits	1087	0	1087
Etanchéité	0	0	0
Ventilation	3049	756	3805
Energies Renouvelables	0	0	0
<b>Coût total hors primes, hors prêt :</b>	<b>32770</b>	<b>4113</b>	<b>36883</b>

Tableau 38 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas de base dans la situation économique 2009

#### 1.2 Détails des primes

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation globale	0	0	0
Ventilation	0	0	0
Chauffage	0	0	0
CALE	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tableau 39: Détail des primes régionales attribuées au cas de base dans la situation économique 2009

### 1.3 Détails des réductions d'impôts

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation du toit	1149	0	1149
Double vitrage	4628	0	4628
Chauffage	0	0	0
Régulation	366	185	551
	<b>Max</b>		
	2650		
Total an 1	2650		
Total an 2	366		
Total sans commune	3016	185	3201
Commune	226	14	240
Total avec commune	3243	199	3442

Tableau 40 : Détail des réductions d'impôts applicables au cas de base dans la situation économique 2009

### 1.4 Coût avec le prêt, sans les aides

Pour rappel, l'entièreté du montant de l'investissement initial est empruntée par le maître d'ouvrage tandis que les réinvestissements effectués durant la durée d'utilisation, après 20 ans, sont supposés financés sur fonds propres. Le type de crédit considéré pour l'investissement initial est un emprunt à taux fixe, de 4.8% en 2008 et 5.85% en 2009, et à montant d'échéance fixe sur 25 ans.

Le montant emprunté est donc dans ce cas de 32770 € puisque les primes ne sont pas déduites du montant à emprunter et que le réinvestissement à consentir après 20 ans est considéré fait sur fonds propres.

Les échéances sont donc de 2527 €/an, soit 211 €/mois pendant 25 ans, soit au total un montant avec prêt de 39478 € (valeur actualisée du crédit au temps initial), 43591 € avec les réinvestissements sur fonds propres.

### 1.5 Coût réel compte tenu des primes

Après déduction des primes et réductions d'impôts, le coût réel est de 36235 € d'investissement initial, plus 3915 € de réinvestissement au bout de 20 ans, soit un total pour 40 ans de 40151 €.

### 1.6 Coût des consommations

Sur les 40 années considérées, ce bâtiment aura coûté 51 300€, au temps initial (actualisation prise en compte) (cf. Figure 19) en consommations énergétiques pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires électriques (chauffage et ventilation), et le refroidissement (fictif).

### 1.7 Coût total d'utilisation

Les coûts annuels, consommations et remboursements de l'emprunt, représentent donc un coût total actualisé sur 40 ans(CTA) de 91451 €.

## 2. Cas CALE n°11

### 2.1 Détails des coûts

	Coût Initial [€]	Réinvestissement après 20 ans[€]	Investissement total [€]
Isolation	9723	0	9723
Vitrage	11571	0	11571
Chauffage	9347	3317	12663
chaudière	4766	2403	7169
émission	2770	0	2770
régulation	1811	913	2725
ECS	3822	1379	5201
boiler	2735	1379	4114
conduits	1087	0	1087
Etanchéité	3957	0	3957
Ventilation	7791	2269	10060
Energies Renouvelables	0	0	0
<b>Coût total hors primes, hors prêt :</b>	<b>46211</b>	<b>6964</b>	<b>53175</b>

Tableau 41 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas CALE n°11 dans la situation économique 2009

### 2.2 Détails des primes

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation globale	1900	0	1900
Ventilation	1500	437	1937
Chauffage	0	0	0
CALE	750	0	750
<b>Total</b>	<b>4150</b>	<b>437</b>	<b>4587</b>

Tableau 42 : Détail des primes régionales attribuées au cas CALE n°11 dans la situation économique 2009

### 2.3 Détails des réductions d'impôts

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation du toit	1401	0	1401
Double vitrage	4628	0	4628
Chauffage	0	0	0
Régulation	725	365	1090
Max	2650		
<b>Total an 1</b>	<b>2650</b>		
<b>Total an 2</b>	<b>725</b>		
<b>Total sans commune</b>	<b>3375</b>	<b>365</b>	<b>3740</b>
<b>Commune</b>	<b>253</b>	<b>27</b>	<b>280</b>
<b>Total avec commune</b>	<b>3628</b>	<b>392</b>	<b>4020</b>

Tableau 43 : Détail des réductions d'impôts applicables au cas CALE n°11 dans la situation économique 2009

### 2.4 Coût avec le prêt, sans les aides

Le montant emprunté est donc de 46211 € puisque les primes ne sont pas déduites du montant à emprunter et que le réinvestissement à consentir après 20 ans est considéré fait sur fonds propres.

Les échéances sont donc de 3563 €/an, soit 297 €/mois pendant 25 ans, soit au total un montant avec prêt de 55669 € (valeur actualisée du crédit au temps initial), 62634 € avec les réinvestissements sur fonds propres.

### 2.5 Coût réel compte tenu des primes

Après déductions des primes et réductions d'impôts, le coût réel est de 47891 € d'investissement initial, plus 6135 € de réinvestissement au bout de 20 ans, soit un total pour 40 ans de 54026 €.

### 2.6 Coût des consommations

Sur les 40 années considérées, ce bâtiment aura coûté 30185 €, au temps initial (actualisation prise en compte) (cf. Figure 19) en consommations énergétiques pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires électriques (chauffage et ventilation), et le refroidissement (fictif).

### 2.7 Coût total d'utilisation

Les coûts annuels, consommations et remboursements de l'emprunt, représentent donc un coût total actualisé (CTA) sur 40 ans de 84211 €.

## 3. Comparaison du cas de base n°1 et du cas CALE n°11 en 2009

La comparaison des deux variantes de la même habitation permet de calculer la première année un surcoût du cas CALE, puisque l'investissement consenti pour ce cas est plus important, de 13876 €, mais **une économie sur le coût des consommations, dès la première année, qui au final, sur 40 ans, permet une économie de 7240 € à l'utilisation de la maison CALE.**

La valeur actuelle nette (VAN) du cas CALE et le temps de retour dynamique sont finalement évalués sur base de ce surcoût de départ et des gains de consommation. En tenant compte du taux d'actualisation, la valeur de la VAN est de 8043 €, ce qui veut dire que le projet est rentable et le TRD est de 22 ans.

*«... la première année un **surcoût** du cas CALE, puisque l'investissement consenti pour ce cas est plus important, mais **une économie sur le coût des consommations**, dès la première année, qui au final, sur 40 ans, permet une économie à l'utilisation de la maison CALE.*

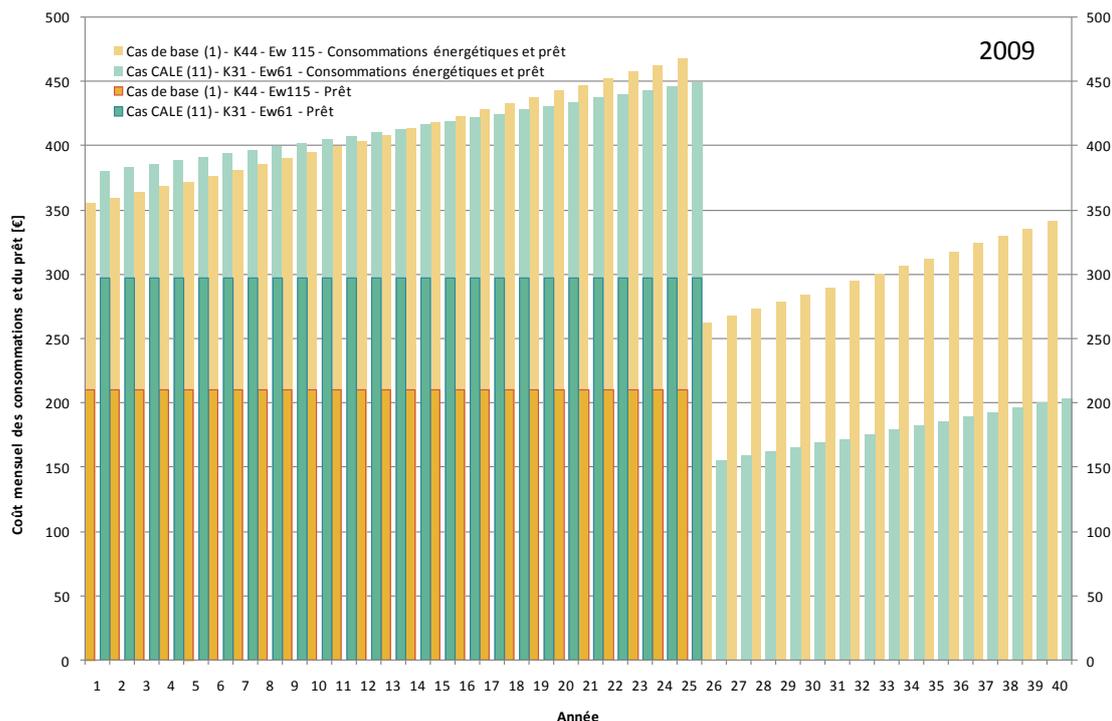


Figure 16 : Coût mensuel des consommations et du prêt des cas de base n°1 et CALE n°11 sur 40 ans dans la situation économique 2009

On peut voir sur ce graphe, que dès la 16<sup>ème</sup> année, c'est-à-dire avant même la fin du remboursement du prêt, la maison CALE (K31 – E<sub>w</sub>61) coûte moins cher à l'utilisation que la maison de base (K44 – E<sub>w</sub>115).

Le graphe suivant (Figure 17) permet de comparer les consommations en énergie finale poste par poste, ainsi que les coûts de ces consommations pour les deux variantes analysées.

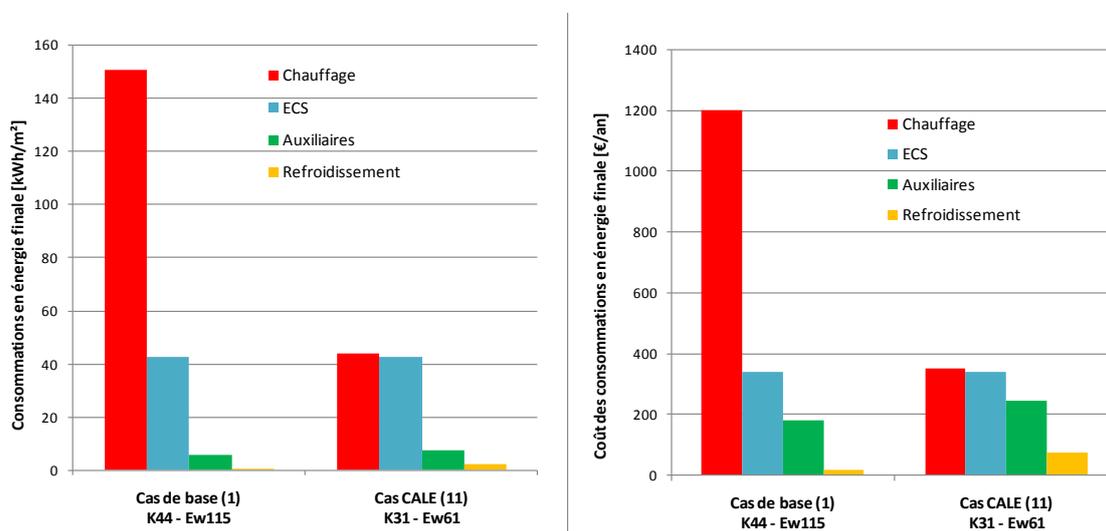


Figure 17 : Répartition des consommations en énergie finale (a) par poste et des coûts de ces consommations (b) dans la situation économique 2009

On constate bien que la variante CALE permet une réduction importante des consommations de chauffage (106 kWh/m<sup>2</sup>an), par contre les consommations pour l'eau chaude sanitaire restent identiques, puisque le rendement de production de cette eau est imposé par la méthode de calcul réglementaire (4), et est le même que la chaudière soit à condensation ou non. Les consommations pour les auxiliaires sont plus importantes compte tenu de la ventilation double flux du cas CALE, ainsi que celles du refroidissement fictif, puisque le risque de surchauffe est plus de deux fois plus important.

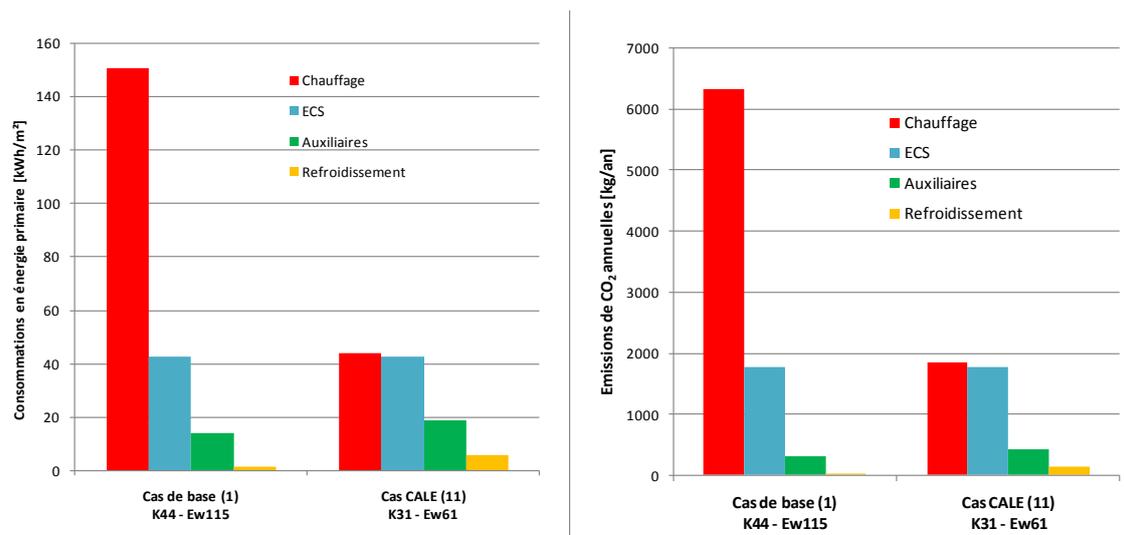


Figure 18 : Répartition des consommations en énergie primaire (a) par poste et des émissions de CO2 liées à ces consommations (b) dans la situation économique 2009

On peut également comparer les émissions de CO<sub>2</sub> des ces 2 variantes (Figure 18), et constater que par le simple fait de réduire les besoins de chauffage et de produire ces besoins de chauffage par une technologie plus efficace, on réduit de 4274 kg/an les émissions de CO<sub>2</sub>, soit de presque 171 tonnes sur les 40 ans d'utilisation de l'habitation.

## B. Comparaison des cas n°1 et n°11 dans la situation économique 2008 :

Pour rappel, ce qui change entre les deux situations économiques envisagées (2008 et 2009), ce sont les prix de l'énergie (cf. Tableau 26), et les paramètres économiques (taux d'inflation, taux d'actualisation, et taux d'emprunt) (cf. Tableau 27), ce qui va avoir pour conséquences de modifier les valeurs de réinvestissement au bout de 20 ans, le prêt de l'investissement initial, et le coût des consommations. Tout ceci avec bien sûr des conséquences sur les indicateurs économiques VAN et TRD.

### 1. Cas de base n°1

#### 1.1 Détails des coûts

	Coût Initial [€]	Réinvestissement après 20 ans [€]	Investissement total [€]
<b>Isolation</b>	7623	0	7623
<b>Vitrage</b>	11571	0	11571
<b>Chauffage</b>	6705	2712	9417
chaudière	3007	2079	5086
émission	2782	0	2782
régulation	916	633	1549
<b>ECS</b>	3822	1891	5712
boiler	2735	1891	4625
conduits	1087	0	1087
<b>Etanchéité</b>	0	0	0
<b>Ventilation</b>	3049	1037	4087
<b>Energies Renouvelables</b>	0	0	0
<b>Coût total hors primes, hors prêt :</b>	<b>32770</b>	<b>5640</b>	<b>38410</b>

Tableau 44 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas de base dans la situation économique 2008

Le coût initial est exactement le même pour les situations économiques 2008 et 2009 (Tableau 38 et Tableau 44) puisque ce qui diffère entre ces deux situations, ce ne sont pas les coûts des postes considérés, mais bien les prix de l'énergie et les paramètres économiques.

### 1.2 Détails des primes

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation globale	0	0	0
Ventilation	0	0	0
Chauffage	0	0	0
CALE	0	0	0
Total	0	0	0

Tableau 45 : Détail des primes régionales attribuées au cas de base dans la situation économique 2008

### 1.3 Détails des réductions d'impôts

	Initiales [€]	Au réinvestissement après 20 ans[€]	Totales [€]
Isolation du toit	1149	0	1149
Double vitrage	4628	0	4628
Chauffage	0	0	0
Régulation	366	253	619
	<b>Max</b>		
Total an 1	2650		
Total an 2	366		
Total sans commune	3016	253	3269
Commune	226	19	245
Total avec commune	3243	272	3515

Tableau 46 : Détail des réductions d'impôts applicables au cas de base dans la situation économique 2008

### 1.4 Coût avec le prêt, sans les aides

Le montant emprunté est donc de 32770 € puisque les primes ne sont pas déduites du montant à emprunter et que le réinvestissement à consentir après 20 ans est considéré fait sur fonds propres.

Les échéances sont donc de 2279 €/an, soit 190 €/mois pendant 25 ans, soit au total un montant avec prêt de 35978 € (valeur actualisée du crédit au temps initial), 41618 € avec les réinvestissements sur fonds propres.

### 1.5 Coût réel compte tenu des primes

Après déductions des primes et réductions d'impôts, le coût réel est de 32735 € d'investissement initial, plus 5368 € de réinvestissement au bout de 20 ans, soit un total pour 40 ans de 38103 €.

### 1.6 Coût des consommations

Sur les 40 années considérées, ce bâtiment aura coûté 102254 €, au temps initial (actualisation prise en compte) (cf.

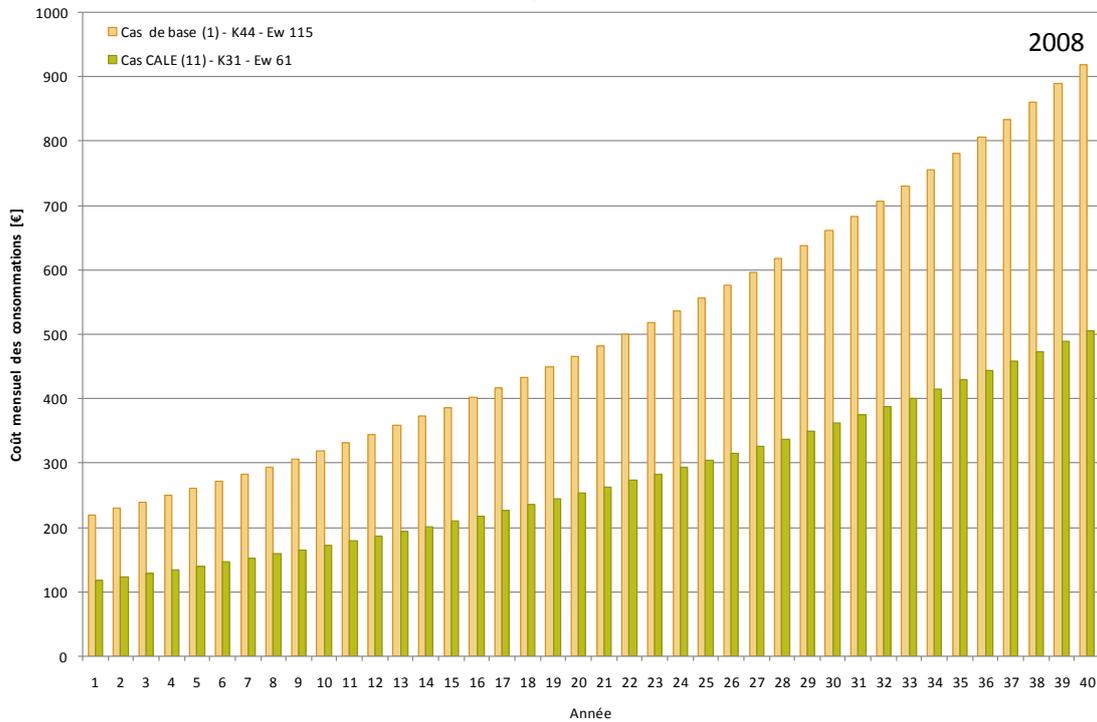


Figure 20) en consommations énergétiques pour le chauffage, l’eau chaude sanitaire, les auxiliaires électriques (chauffage et ventilation), et le refroidissement (fictif).

### 1.7 Coût total d’utilisation

Les coûts annuels, consommations et remboursements de l’emprunt, représentent donc un coût total actualisé (CTA) sur 40 ans de 142410 €.

## 2. Cas CALE n°11

### 2.1 Détails des coûts

	Coût Initial [€]	Réinvestissement après 20 ans[€]	Investissement total [€]
Isolation	9723	0	9723
Vitrage	11571	0	11571
Chauffage	9347	4547	13893
chaudière	4766	3295	8060
émission	2770	0	2770
régulation	1811	1252	3064
ECS	3822	1891	5712
boiler	2735	1891	4625
conduits	1087	0	1087
Etanchéité	3957	0	3957
Ventilation	7791	3111	10902
Energies Renouvelables	0	0	0
<b>Coût total hors primes, hors prêt :</b>	<b>46211</b>	<b>9548</b>	<b>55759</b>

Tableau 47 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas CALE n°11 dans la situation économique 2008

### 2.2 Détails des primes

	Initiales [€]	Au réinvestissement [€]	Totales [€]
Isolation globale	1900	0	1900
Ventilation	1500	599	2099
Chauffage	0	0	0
CALE	750	0	750
<b>Total</b>	<b>4150</b>	<b>599</b>	<b>4749</b>

Tableau 48 : Détail des primes régionales attribuées au cas CALE n°11 dans la situation économique 2008

### 2.3 Détails des réductions d'impôts

	Initiales [€]	Au réinvestissement [€]	Totales [€]
Isolation du toit	1401	0	1401
Double vitrage	4628	0	4628
Chauffage	0	0	0
Régulation	725	501	1226
Max	2650		
<b>Total an 1</b>	<b>2650</b>		
<b>Total an 2</b>	<b>725</b>		
<b>Total sans commune</b>	<b>3375</b>	<b>501</b>	<b>3876</b>
<b>Commune</b>	<b>253</b>	<b>38</b>	<b>291</b>
<b>Total avec commune</b>	<b>3628</b>	<b>539</b>	<b>4167</b>

Tableau 49 : Détail des réductions d'impôts applicables au cas CALE n°11 dans la situation économique 2008

### 2.4 Coût avec le prêt, sans les aides

Le montant emprunté est donc de 46211 € puisque les primes ne sont pas déduites du montant à emprunter et que le réinvestissement à consentir après 20 ans est considéré fait sur fonds propres.

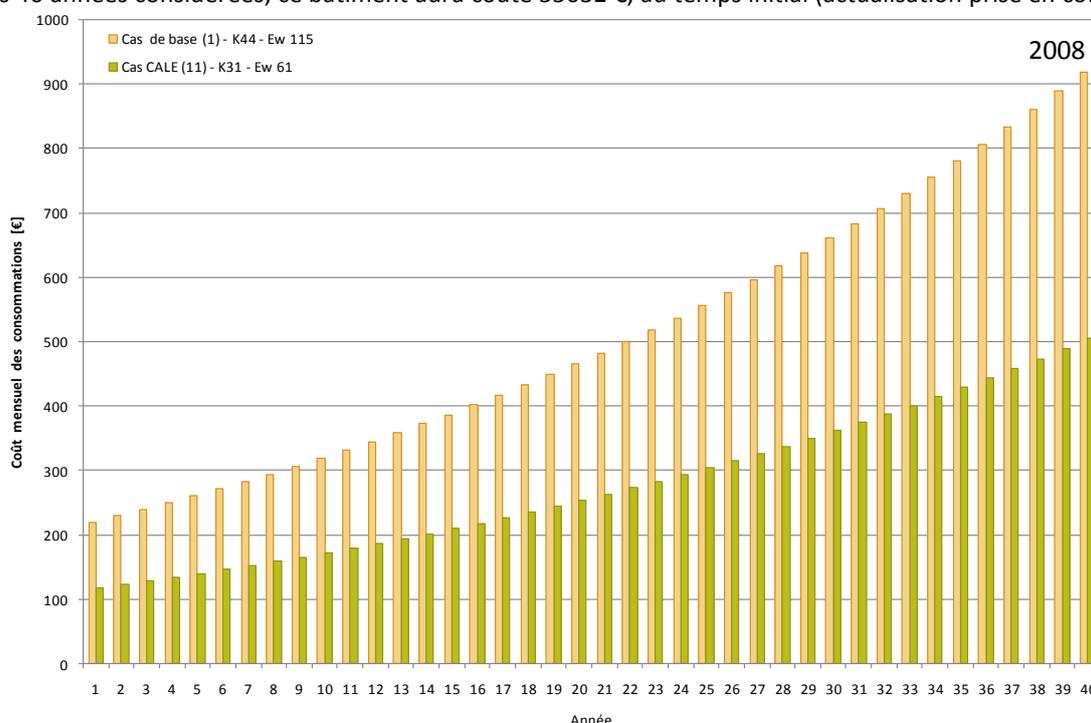
Les échéances sont donc de 3213 €/an, soit 268 €/mois pendant 25 ans, soit au total un montant avec prêt de 50733 € (valeur actualisée du crédit au temps initial), 60281 € avec les réinvestissements sur fonds propres.

### 2.5 Coût réel compte tenu des primes

Après déductions des primes et réductions d'impôts, le coût réel est de 42955 € d'investissement initial, plus 8411 € de réinvestissement au bout de 20 ans, soit un total pour 40 ans de 51366 €.

### 2.6 Coût des consommations

Sur les 40 années considérées, ce bâtiment aura coûté 55632 €, au temps initial (actualisation prise en compte)



(cf.

Figure 20) en consommations énergétiques pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires électriques (chauffage et ventilation), et le refroidissement (fictif).

### 2.7 Coût total d'utilisation

Les coûts annuels, consommations et remboursements de l'emprunt, représentent donc un coût total actualisé (CTA) sur 40 ans de 108121 €.

## 3. Comparaison du cas de base n°1 et du cas CALE n°11 en 2008

La comparaison des deux variantes de la même habitation permet de calculer la première année un surcoût du cas CALE, puisque l'investissement consenti pour ce cas est plus important, de 13264 €, mais une économie sur

le coût des consommations, dès la première année, qui au final, sur 40 ans, permet une économie de 34289 € à l’utilisation de la maison CALE.

La valeur actuelle nette (VAN) du cas CALE et le temps de retour dynamique (TRD) sont finalement évalués sur base de ce surcoût de départ et des gains de consommation. En tenant compte du taux d’actualisation, la valeur de la VAN est de 35764 €, ce qui veut dire que le projet est rentable et le TRD est de 10 ans.

#### 4. Comparaison des situations économiques 2008 et 2009

On constate bien que ce n’est pas au niveau du surinvestissement qu’il y a une grande différence entre les situations 2008 et 2009 (13264 € et 13876 €), mais bien au niveau des coûts des consommations projetées sur 40 ans (surcoût de consommation de 46 622 € en 2008 - de 21 115€ en 2009). Les prix de l’énergie étant plus élevés en 2008, dès le départ, le coût des consommations est plus élevé. Vient ensuite s’ajouter une inflation de 2% au lieu de 0.5% en 2009, ce qui accélère le phénomène très rapidement (cf. Figure 19 et Figure 20).

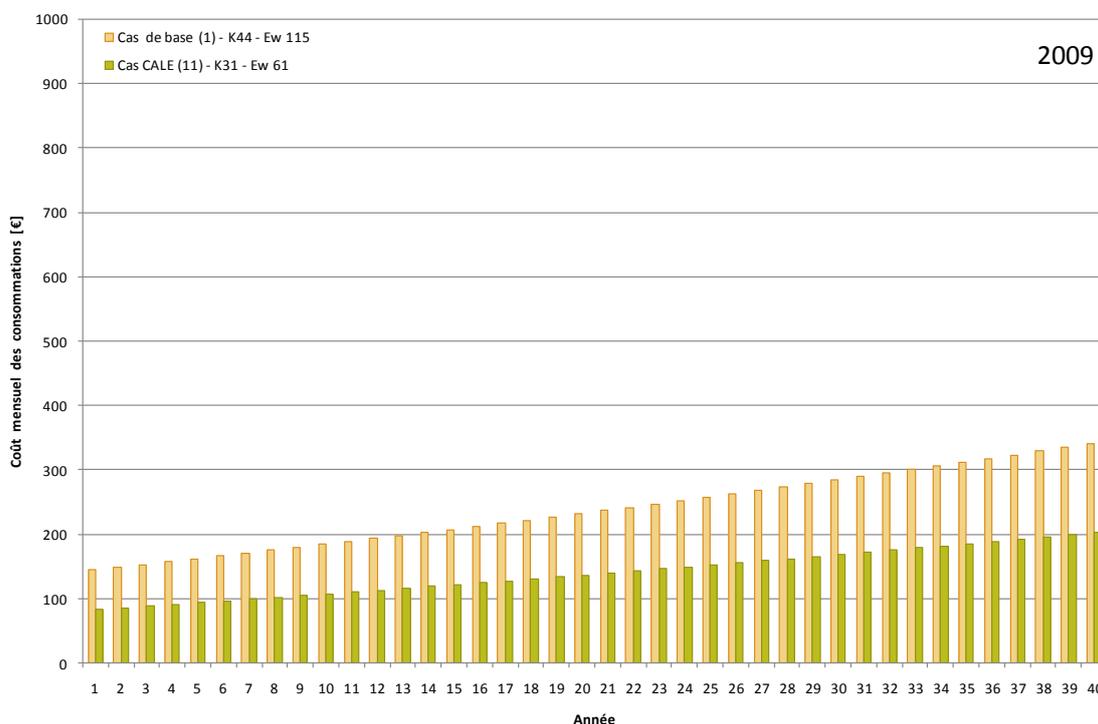


Figure 19 : Comparaison du coût des consommations des cas de base et CALE n°11 sur 40 ans, dans la situation économique 2009

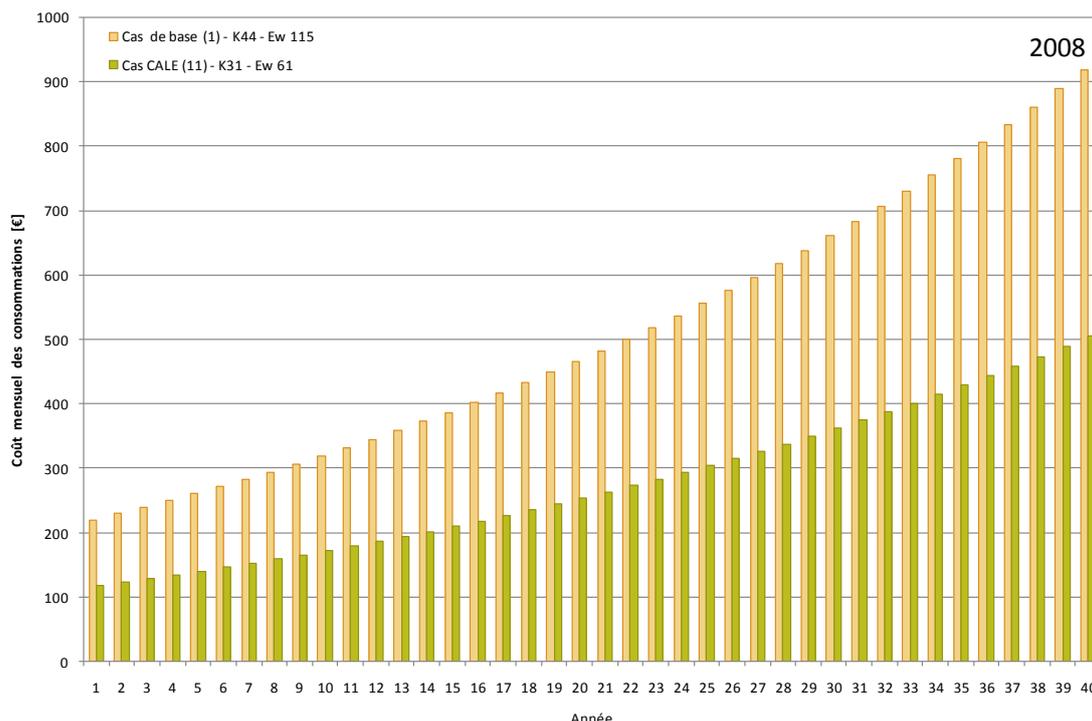


Figure 20 : Comparaison du coût des consommations des cas de base et CALE n°11 sur 40 ans, dans la situation économique 2008

### C. Comparaison du cas de base n°1 et des cas ‘CALE’ n°11, n°12 et n°13 dans les situations économiques 2008 et 2009 :

Pour terminer cette analyse économique, voici de manière synthétisée les résultats des deux cas présentés précédemment (cas de base et cas CALE n°11), et de deux autres cas. Un premier, identique au cas ‘CALE’ précédent n°11, mais auquel 5 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques n°13 sont ajoutés pour le préchauffage de l’eau chaude sanitaire, et un second, dans lequel la chaudière au mazout à condensation du cas CALE n°11 est remplacée par une pompe à chaleur géothermique n°12.

Situation économique 2009 :	Cas de base (1)	Cas CALE (11)	Cas CALE STh (13)	Cas CALE PAC (12)	
Niveau K	44	31	31	31	[-]
Niveau Ew	115	61	50	52	[-]
Consommation spécifique en énergie primaire - Espec	208	110	90	93	[kWh/m <sup>2</sup> an]
Consommation totale en énergie primaire	119630	65533	51749	53617	[MJ/an]
<b>Gain / cas de base</b>	-	<b>54097</b>	<b>67881</b>	<b>66013</b>	<b>[MJ/an]</b>
Risque de surchauffe - loverh	9264	11530	11530	11530	[Kh]
Coût total (à emprunter)	32770	46211	50518	54430	[€]
Réinvestissement (20 ans)	4114	6964	9145	10748	[€]
Coût total avec prêt	39478	55669	60858	65571	[€]
Total des aides initiales	3243	3628	11667	12098	[€]
Total des aides ultérieures (20 ans)	199	392	2791	3436	[€]
Coût total avec prêt et aides	40151	54026	49191	53473	[€]
<b>Surcoût / cas de base</b>	-	<b>13875</b>	<b>9040</b>	<b>13322</b>	<b>[€]</b>
Coût total des consommations sur 40 ans actualisé	51300	30185	25399	38653	[€]
<b>Eco de conso / cas de base</b>	-	<b>21115</b>	<b>25901</b>	<b>12647</b>	<b>[€]</b>
Coût total actualisé - CTA	91451	84211	80945	99438	[€]
<b>Diff. CTA / cas de base</b>	-	<b>7240</b>	<b>10506</b>	<b>-7987</b>	<b>[€]</b>
Valeur actuelle nette - VAN	-	8043	11337	< 0	[€]
Temps de retour dynamique - TRD	-	22	19	> 40	[an]
Emissions de CO <sub>2</sub>	8439	4165	3304	2091	[kg/an]

Tableau 50 : Synthèse des résultats des cas de base n°1 et CALE n°11, n°13 et n°12 dans la situation économique 2009

On peut voir dans le tableau 48, que chaque amélioration apportée engendre un surcoût, moins important pour le placement de capteurs solaires thermiques que pour une pompe à chaleur, mais que le gain énergétique dû à cette dernière est moindre que celui dû aux capteurs solaires. Dans la situation économique de 2009 (coût de l’énergie et inflation), l’installation de capteurs solaires thermiques pour le préchauffage de l’eau chaude sanitaire est donc rentable au bout de 19 ans environ, alors que l’installation d’une pompe à

chaleur telle que celle considérée dans cette étude n'est pas rentable. On peut par contre voir que c'est l'installation d'une pompe à chaleur qui permet de réduire le plus les émissions de CO<sub>2</sub>, de l'ordre de 4 fois par rapport au cas de base, quand les deux autres cas présentés ne permettent que de réduire de deux à deux fois et demi ces émissions.

Situation économique 2008 :	Cas de base (1)	Cas CALE (11)	Cas CALE STh (13)	Cas CALE PAC (12)	
Niveau K	44	31	31	31	[-]
Niveau Ew	115	61	50	52	[-]
Consommation spécifique en énergie primaire - Espec	208	110	90	93	[kWh/m <sup>2</sup> an]
Consommation totale en énergie primaire	119630	65533	51749	53617	[MJ/an]
<b>Gain / cas de base</b>	-	<b>54097</b>	<b>67881</b>	<b>66013</b>	[MJ/an]
Risque de surchauffe - loverh	9264	11530	11530	11530	[Kh]
Coût total (à emprunter)	32770	46211	50518	54430	[€]
Réinvestissement (20 ans)	5640	9548	12538	14736	[€]
Coût total avec prêt	35978	50733	55462	59757	[€]
Total des aides initiales	3243	3628	5917	5698	[€]
Total des aides ultérieures (20 ans)	272	538	2121	2557	[€]
Coût total avec prêt et aides	38103	51366	43795	47659	[€]
<b>Surcoût / cas de base</b>	-	<b>13263</b>	<b>5692</b>	<b>9556</b>	[€]
Coût total des consommations sur 40 ans actualisé	102254	55632	45561	52894	[€]
<b>Eco de conso / cas de base</b>	-	<b>46622</b>	<b>56693</b>	<b>49360</b>	[€]
Diff. coût des conso / 2009	<b>50954</b>	<b>25447</b>	<b>20162</b>	<b>14241</b>	[€]
Coût total actualisé - CTA	142410	108121	99111	111669	[€]
<b>Diff. CTA / cas de base</b>	-	<b>34289</b>	<b>43299</b>	<b>30741</b>	[€]
Valeur actuelle nette - VAN	-	35764	44912	28763	[€]
Temps de retour dynamique - TRD	-	10	9	16	[an]
Emissions de CO <sub>2</sub>	8439	4165	3304	2091	[kg/an]

Tableau 51 : Synthèse des résultats des cas de base n°1 et CALE n°11, n°13 et n°12 dans la situation économique 2008

**La différence essentielle dans la situation économique 2008 est le coût de l'énergie et l'inflation, c'est-à-dire le coût des consommations sur 40 ans.** Dans cette situation, la pompe à chaleur permet plus de gains en coût de consommation que le même cas équipé d'une chaudière au mazout à condensation n°11, et est rentable au bout de 16 ans environ.

*«La différence essentielle dans la situation économique 2008 est le coût de l'énergie et l'inflation, c'est-à-dire le coût des consommations sur 40 ans. »*

## Conclusions

Un des principaux objectifs de cette étude était de réaliser un outil d'aide à la décision lors de la conception d'un logement sans devoir pour autant modéliser de manière détaillée les différentes solutions envisagées. L'outil réalisé a ainsi été publié sous la forme d'une plaquette de 8 pages intitulée « Répondre à la PEB » et synthétisant les résultats présentés dans ce rapport. Il peut à présent être utilisé par les architectes comme première approche de la PEB ou pour qualifier rapidement un projet et peut également leur servir d'outil de discussion avec leurs clients.

Cette étude a donc permis, pour les grandes typologies de **bâtiments résidentiels neufs** rencontrés en RW, de quantifier l'impact des paramètres significatifs pour un logement sur les nouveaux indicateurs énergétiques, en vigueur de manière réglementaire depuis le 1<sup>er</sup> mai 2010 et dans le cadre de l'action CALE depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2007. A savoir, l'impact du niveau d'isolation, de l'étanchéité à l'air, du système de ventilation, du système de chauffage et de l'utilisation de l'énergie solaire pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire ou pour la production d'électricité, sur des indicateurs tels que le niveau de consommation en énergie primaire  $E_w$ , la consommation spécifique en énergie primaire  $E_{specr}$  et l'indicateur de surchauffe  $I_{overh}$ .

*« La meilleure énergie est celle que l'on ne consomme pas ! ».*

Elle a également montré que d'un point de vue purement énergétique, l'installation d'un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur est la solution qui permet le plus d'économies d'énergie, avant l'amélioration de l'isolation, quelle que soit la typologie du bâtiment. Ceci est entre autre dû au fait que les variantes envisagées sont dès le départ bien isolées (~K45).

Si on considère l'aspect économique pour les bâtiments 4 façades, en termes de rentabilité d'investissement, l'ordre s'inverse, l'amélioration de l'isolation devient la priorité en matière d'investissements économiseurs d'énergie, devant l'étanchéité et ensuite le système de ventilation.

**L'analyse économique menée dans le cadre de cette étude a également mis en évidence la sensibilité de ce genre de projections de rentabilité sur 40 ans à des paramètres économiques difficilement maîtrisables et imprévisibles, tels que l'inflation, les prix de l'énergie ou l'évolution des prix de l'énergie.**

**Le but de cette analyse n'est donc pas de classer les investissements en rentables ou non, mais bien de donner des ordres de grandeur et des tendances aux concepteurs et maîtres de l'ouvrage.**

La bonne pratique en matière d'économie d'énergie dans un bâtiment résidentiel, reste donc naturellement la réduction des pertes au maximum avant de pallier celles-ci par des technologies ajoutées.

*« Les investissements d'aujourd'hui sont une assurance contre l'envolée certaine des prix de l'énergie dans le futur ! »*

1. **Commission Européenne.** *DIRECTIVE 2002/91/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments.* s.l. : Journal officiel des Communautés européennes, 4 janvier 2003 (L 1/65 – L 1/71).
2. *Plaquette "Répondre à la PEB".* s.l. : <http://energie.wallonie.be/fr/les-brochures.html?IDC=6937>.
3. **Bureau de Normalisation.** *NBN B62-002 (2008), Annexe E, Tableau E1, p139.* Performances thermiques de bâtiments - Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments - Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv).
4. **Gouvernement Wallon.** *Annexe I de l'arrêté du Gouverneman wallon relatif à la performance énergétique des bâtiments.* s.l. : Moniteur Belge, 30 avril 2008 (pp 39 256 – 39 354)., 17 avril 2008.
5. **R. De Coninck, G. Verbeek.** *Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matières d'économie d'énergie. Technical report.* s.l. : IBGE - KUL, 2005.
6. **F.Renard, S.Nourricier, M.Di Pietrantonio, V.Feldheim.** *Analyse technico-économique de la rentabilité des investissements en matière de performance énergétique des habitations résidentielles.* Pôle Energie - Faculté Polytechnique de Mons. s.l. : Pôle Energie - Faculté Polytechnique de Mons, Mars 2008.
7. **APERÉ.** *Prix de l'énergie achetée par les ménages.* s.l. : Renouvelle n°15, page 12, juin 2009.
8. **Belgostat.** *Statistiques sur le taux d'intérêt pour les ménages belges.* s.l. : Banque Nationale de Belgique [www.nbb.be/belgostat](http://www.nbb.be/belgostat), Janvier 2007.
9. **Bureau Fédéral du plan.** *Indice des prix à la consommation - Prévisions juin 2009.* s.l. : <http://www.plan.be/databases/indprix.php?lang=fr&TM=30>.
10. **Commission Européenne.** *European energy and transport scenarios on key drivers.* s.l. : Direction générale de l'énergie et des transports, septembre 2004.
11. **EF4 - Groupe Facteur 4.** *Certificats verts pour le photovoltaïque.* s.l. : <http://www.ef4.be/fr/photovoltaïque/cv/>.
12. **UCL, Architecture & Climat.** *Energie + (version 6) Conception et rénovation énergétique des bâtiments tertiaires.* s.l. : Emission de polluants liée à la consommation énergétique - [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_15568.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_15568.htm).

## Liste des figures :

Figure 1 (a) et (b) : Plans de la maison 4 façades type « clef sur porte » choisie [Arch. Alain Schmitz] .....	6
Figure 2 : Plans de la maison 4 façades type « architecturée » choisie .....	7
Figure 3 : Plans de la maison 3 façades choisie [Arch. Geneviève Migeal – deCartier] .....	8
Figure 4 (a) et (b) : Plans de la maison 2 façades choisie [Arch. Damien Franzen] .....	10
Figure 5 : Plans de l'appartement choisi [Arch. Robert Louppe] .....	11
Figure 6 : Ensemble des combinaisons technologiques envisagées par typologie de bâtiment .....	19
Figure 7 : Exemple de page centrale de la plaquette « Répondre à la PEB » (2) .....	37
Figure 8 : Sensibilité au niveau d'isolation par système de chauffage et par typologie de bâtiment .....	38
Figure 9 : Sensibilité au niveau d'isolation de Q1 à Q2 .....	39
Figure 10 : Sensibilité à l'étanchéité à l'air .....	40
Figure 11 : Sensibilité au système de ventilation .....	41
Figure 12 : Sensibilité au système de chauffage .....	42
Figure 13 : Sensibilité à l'utilisation de l'énergie renouvelable solaire .....	43
Figure 14 : Risque de surchauffe pour une maison 4 façades et impact des systèmes de protections solaires ..	45
Figure 15 : Tableau de synthèse de l'analyse économique réalisée sur la maison 4 façades, de la plaquette « Répondre à la PEB » .....	48
Figure 16 : Coût mensuel des consommations et du prêt des cas de base n°1 et CALE n°11 sur 40 ans dans la situation économique 2009 .....	54
Figure 17 : Répartition des consommations en énergie finale (a) par poste et des coûts de ces consommations (b) dans la situation économique 2009.....	54
Figure 18 : Répartition des consommations en énergie primaire (a) par poste et des émissions de CO2 liées à ces consommations (b) dans la situation économique 2009 .....	55
Figure 19 : Comparaison du coût des consommations des cas de base et CALE n°11 sur 40 ans, dans la situation économique 2009 .....	60
Figure 20 : Comparaison du coût des consommations des cas de base et CALE n°11 sur 40 ans, dans la situation économique 2008 .....	61

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques de la maison 4 façades type « clef sur porte » .....	6
Tableau 2 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 4 façades type « clef sur porte » .....	6
Tableau 3 : Caractéristiques géométriques de la maison 4 façades type « architecturée » [Arch. Nicolas Fiasse] 7	
Tableau 4 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 4 façades type architecturée .....	8
Tableau 5 : Caractéristiques géométriques de la maison 3 façades .....	9
Tableau 6 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 3 façades .....	9
Tableau 7 : Caractéristiques géométriques de la maison 2 façades .....	10
Tableau 8 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de la maison 2 façades .....	10
Tableau 9 : Caractéristiques géométriques de l'appartement .....	11
Tableau 10 : Répartition des surfaces vitrées par orientation de l'appartement .....	12
Tableau 11 : Composition des parois des constructions traditionnelles ou mi- lourdes .....	12
Tableau 12 : Composition des parois des constructions ossatures bois ou légères .....	12
Tableau 13 : Epaisseurs d'isolant utilisées dans les parois des constructions traditionnelles .....	12
Tableau 14 : Epaisseurs d'isolant utilisées dans les parois des constructions ossature bois .....	12
Tableau 15 : Calcul des coefficients U des parois des constructions traditionnelles - Niveau d'isolation 1 .....	13
Tableau 16 : Calcul des coefficients U des parois des constructions ossature bois – Niveau d'isolation 1 .....	14
Tableau 17 : Débits de fuite à 50 Pa correspondants à un taux de renouvellement d'air de 0.6 h-1 à 50 Pa .....	15
Tableau 18 : Rendements des systèmes de production d'eau chaude sanitaire de la PEB .....	17
Tableau 19 : Prix TVAC et placés des isolants utilisés .....	20
Tableau 20 : Prix TVAC et placés des fenêtres utilisées .....	20
Tableau 21 : Prix TVAC de la réalisation de l'étanchéité à l'air .....	20
Tableau 22 : Prix TVAC et placés des installations de production de chauffage .....	21
Tableau 23 : Prix TVAC et placés des systèmes de régulation .....	22
Tableau 24 : Prix TVAC et placés des systèmes de production d'eau chaude sanitaire .....	22
Tableau 25 : Prix TVAC et placés des systèmes de ventilation .....	22
Tableau 26 : Prix TVAC des combustibles en 2008 et 2009 .....	23
Tableau 27 : Paramètres économiques en 2008 et 2009 (8) et (9) .....	23
Tableau 28 : Scénarii d'évolution des prix de l'énergie ( <b>10</b> ) .....	24
Tableau 29 : Synthèse des primes et déductions fiscales en vigueur au 1 janvier 2010 .....	26
Tableau 30 : Taux d'émissions de CO2 des combustibles (12) .....	27
Tableau 31 : Valeurs U des parois des constructions traditionnelles (a) et ossature bois (b) .....	34
Tableau 32 : Niveaux K des variantes de constructions traditionnelles envisagées .....	34
Tableau 33 : Niveaux K des variantes de constructions ossature bois envisagées .....	35
Tableau 34 : Indicateurs de surchauffe des variantes de constructions traditionnelles envisagées .....	35
Tableau 35 : Indicateurs de surchauffe des variantes de constructions ossature bois envisagées .....	36
Tableau 36 : Impact de la quantité de surfaces vitrées sur le niveau Ew et la consommation spécifique Espec .	45

Tableau 37 : Impact de l’inertie sur le niveau Ew et la consommation spécifique Espec .....	46
Tableau 38 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas de base dans la situation économique 2009 ...	50
Tableau 39: Détail des primes régionales attribuées au cas de base dans la situation économique 2009 .....	50
Tableau 40 : Détail des réductions d’impôts applicables au cas de base dans la situation économique 2009 ....	51
Tableau 41 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas CALE n°11 dans la situation économique 2009	52
Tableau 42 : Détail des primes régionales attribuées au cas CALE n°11 dans la situation économique 2009 .....	52
Tableau 43 : Détail des réductions d’impôts applicables au cas CALE n°11 dans la situation économique 2009	52
Tableau 44 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas de base dans la situation économique 2008 ...	55
Tableau 45 : Détail des primes régionales attribuées au cas de base dans la situation économique 2008 .....	56
Tableau 46 : Détail des réductions d’impôts applicables au cas de base dans la situation économique 2008 ....	56
Tableau 47 : Détail des coûts des postes considérés pour le cas CALE n°11 dans la situation économique 2008	58
Tableau 48 : Détail des primes régionales attribuées au cas CALE n°11 dans la situation économique 2008 .....	58
Tableau 49 : Détail des réductions d’impôts applicables au cas CALE n°11 dans la situation économique 2008	58
Tableau 50 : Synthèse des résultats des cas de base n°1 et CALE n°11, n°13 et n°12 dans la situation économique 2009 .....	61
Tableau 51 : Synthèse des résultats des cas de base n°1 et CALE n°11, n°13 et n°12 dans la situation économique 2008 .....	62