



Détermination du niveau de performance énergétique optimal des bâtiments en fonction des coûts

Etude Cost optimum PER-PEN 2017



www.3e.eu * info@3e.eu

3E NV/SA, Kalkkaai 6 Quai à la Chaux B-1000 Brussels - Belgium • T +32 2 217 58 68 • F +32 2 219 79 89
BNP Paribas Fortis • IBAN: BE14 2300 0282 9083 • SWIFT/BIC: GEBABEBB • RPR Brussels VAT BE 0465 755 594



Détermination du niveau de performance énergétique optimal des bâtiments en fonction des coûts

Etude Cost optimum PER-PEN 2017

Client :

SPW DGO4

Personne de contact :

Céline Renard

Rue des Brigades d'Irlande 1, 5100 Jambes

Référence 3E :

PR109008

Auteurs :

Cynthia Leveau, Mélanie Cherdon, Marco Vismara, Bernard Huberlant

Date :

12/06/2018

Version :

Draft

Classification de confidentialité :

Confidentiel - Classification de confidentialité

Liste de distribution

A

Nom : Céline Renard

Organisation & département : SPW DGO4

Adresse : rue des Brigades d'Irlande 1 – 5100 Jambes

Nombre de copies : 0

Reçu une copie digitale : Oui

B

Nom : Michel Heukmes

Organisation & département : Cap 2020

Adresse : Parc Créalys - Bâtiment Greenwal - Rue Saucin 70 - B-5032 Gembloux / Les Isnes

Nombre de copies : 0

Reçu une copie digitale : Oui

C

Nom :

Organisation & département :

Adresse :

Nombre de copies :

Reçu une copie digitale : Yes / No

D

Nom :

Organisation & département :

Adresse :

Nombre de copies :

Reçu une copie digitale : Yes / No

Table des matières

Liste de distribution	3
Table des matières	4
Glossaire	8
1. Contexte de l'étude	10
1.1. Exigences PEB minimales en Wallonie	11
1.2. Le consortium auteur de l'étude	18
1.3. Objectifs de la mission	18
1.4. Périmètre de l'étude	19
2. Méthodologie	21
2.1. Consultation du secteur	21
2.2. Paramètres économiques utilisés et hypothèses retenues	21
2.3. Définition des bâtiments de référence	35
2.4. Mesures – Variantes - Combinaisons – Groupes	36
2.5. Variantes sélectionnées pour les remplacements dans la PEB	40
2.6. L'outil de calcul Cost optimum (COT)	40
2.7. Limites de l'étude	50
3. Bâtiments de référence	52
3.1. Maisons unifamiliales existantes (HE)	53
3.2. Maisons unifamiliales neuves (HN)	54
3.3. Immeubles à appartements existants (IAE)	55
3.4. Immeubles à appartements neufs (IAN)	58
3.5. Bureaux existants (BUE)	59
3.6. Bureaux neufs (BUN)	60
3.7. Etablissements scolaires existants (EE)	60
3.8. Etablissements scolaires neufs (EN)	61
4. Analyse des résultats	63
4.1. HE1 - La maison vernaculaire	68
4.2. HE2 - La maison type ouvrière 3 façades	72
4.3. HE3 - La maison type ouvrière mitoyenne	76
4.4. HE4 - La maison villageoise	80
4.5. HE5 - La maison urbaine mitoyenne	84
4.6. HE6 - La villa des premières extensions urbaines	89
4.7. HE8 - La maison bel étage mitoyenne	92

4.8. HE9 - La villa 4 façades de type lotissement	96
4.9. HE10 - La maison type barre de logement social	100
4.10. HE11 - La villa 4 façades K70	104
4.11. HE12 - La maison 3 façades K70	108
4.12. HE13 - La maison mitoyenne bel-étage K70	112
4.13. HE14 - La villa 4 façades K55	116
4.14. HN2 T1 - Maison neuve 4 façades maçonnerie traditionnelle	120
4.15. HN2 T2 - Maison neuve 4 façades crépi sur isolant	126
4.16. HN2 T3 - Maison neuve 4 façades ossature bois	131
4.17. HN3 T1- Maison neuve 3 façades maçonnerie traditionnelle	136
4.18. HN3 T2- Maison neuve 3 façades crépi sur isolant	140
4.19. HN4 T1 - Maison mitoyenne neuve maçonnerie traditionnelle	144
4.20. HN4 T2 - Maison mitoyenne neuve crépi sur isolant	148
4.21. HN4 T3 - Maison mitoyenne neuve ossature bois	152
4.22. IAE1 - Immeuble à appartements d'avant 1919	156
4.23. IAE3 - Maison divisée en appartements & service au rez-de-chaussée (< 1919)	160
4.24. IAE4 - Maison divisée en appartements de 1919-1945	163
4.25. IAE5 - Immeuble à appartements de 1946-1970-	166
4.26. IAE7 - Maison divisée en appartements de 1946-1970	170
4.27. IAE9 - Immeuble à appartements d'après 1990	173
4.28. IAN1 - Immeuble de 6 appartements neuf	176
4.29. BUE1 - Grand bureau existant (avant 1945)	181
4.30. BUE2 - Petit bureau existant (1970)	184
4.31. BUE3 - Petit bureau existant (1984)	187
4.32. BUE4 - Bureau existant (1996)	189
4.33. BUE5 - Bureau existant (<1945)	192
4.34. BUN1 - bâtiment de bureau 4 façades, neuf	194
4.35. EE1 - Ecole maternelle/primaire (<1945) de surface < 5000 m ²	197
4.36. EE2 - Ecole maternelle primaire (1950) de surface < 5000 m ²	200
4.37. EE3 - Ecole secondaire (> 1970) surface comprise entre 5.000 et 10.000 m ²	203
4.38. EE4 - Bâtiment universitaire (1968) d'une surface d'environ 10.000 m ²	205
4.39. EN1 - Ecole maternelle d'une surface < 5000 m ²	208
4.40. EN2 - Ecole fondamentale de taille moyenne (3.000 m ²)	210
5. Graphiques et tableaux de résultats	213
5.1. HE1 - La maison vernaculaire	214
5.2. HE2 - La maison type ouvrière 3 façades	216
5.3. HE3 - La maison type ouvrière mitoyenne	220
5.4. HE4 - La maison villageoise	223
5.5. HE5 - La maison urbaine mitoyenne	225

5.6. HE6 - La villa des premières extensions urbaines	228
5.7. HE8 - La maison bel étage mitoyenne	229
5.8. HE9 - La villa 4 façades de type lotissement	233
5.9. HE10 - La maison type barre de logement social	236
5.10. HE11 - La villa 4 façades K70	238
5.11. HE12 - La maison 3 façades K70	242
5.12. HE13 - La maison mitoyenne bel-étage K70	244
5.13. HE14 - La villa 4 façades K55	247
5.14. HN2 T1 - Maison neuve 4 façades maçonnerie traditionnelle	249
5.15. HN2 T2 - Maison neuve 4 façades crépi sur isolant	251
5.16. HN2 T3 - Maison neuve 4 façades ossature bois	254
5.17. HN3 T1- Maison neuve 3 façades maçonnerie traditionnelle	257
5.18. HN3 T2- Maison neuve 3 façades crépi sur isolant	260
5.19. HN4 T1 - Maison mitoyenne neuve maçonnerie traditionnelle	263
5.20. HN4 T2 - Maison mitoyenne neuve crépi sur isolant	266
5.21. HN4 T3 - Maison mitoyenne neuve ossature bois	269
5.22. IAE1 - Immeuble à appartements d'avant 1919	272
5.23. IAE3 - Maison divisée en appartements & service au rez-de-chaussée (< 1919)	274
5.24. IAE4 - Maison divisée en appartements de 1919-1945	277
5.25. IAE5 - Immeuble à appartements de 1946-1970-	280
5.26. IAE7 - Maison divisée en appartements de 1946-1970	283
5.27. IAE9 - Immeuble à appartements d'après 1990	287
5.28. IAN1 - Immeuble de 6 appartements neuf	289
5.29. BUE1 - Grand bureau existant (avant 1945)	291
5.30. BUE2 - Petit bureau existant (1970)	293
5.31. BUE3 - Petit bureau existant (1984)	297
5.32. BUE4 - Bureau existant (1996)	299
5.33. BUE5 - Bureau existant (<1945)	302
5.34. BUN1 - Bâtiment de bureau 4 façades, neuf	304
5.35. EE1 - Ecole maternelle/primaire (<1945) de surface < 5000 m ²	307
5.36. EE2 - Ecole maternelle primaire (1950) de surface < 5000 m ²	309
5.37. EE3 - Ecole secondaire (> 1970) surface comprise entre 5.000 et 10.000 m ²	311
5.38. EE4 - Bâtiment universitaire (1968) d'une surface d'environ 10.000 m ²	313
5.39. EN1 - Ecole maternelle d'une surface < 5000 m ²	316
5.40. EN2 - Ecole fondamentale de taille moyenne (3.000 m ²)	319

6. Conclusions générales de l'étude	321
6.1. Maisons unifamiliales existantes (HE)	324
6.2. Maisons unifamiliales neuves (HN)	326
6.3. Immeubles à appartements existants (IAE)	329

6.4. Immeubles de 6 appartements neuf (IAN)	330
6.5. Bureaux existants (BUE)	333
6.6. Bureaux neufs (BUN)	334
6.7. Etablissements scolaires existants (EE)	336
6.8. Etablissements scolaires neufs (EN)	339
6.9. Résumé des niveaux optimaux	341
Liste des tableaux	346
Liste des figures	352
Références	354
Annexe A : Descriptif des bâtiments de référence	355
Annexe B : Mesures d'amélioration de l'enveloppe	356
Annexe C : Mesures d'amélioration des systèmes	359
Annexe D : Groupes constructifs	362
Annexe E : Légende - dénomination des variantes	368
Annexe F : Prix de l'énergie	379
Annexe G : Cout global actualisé	380
Informations qualité	383

Glossaire

API	Application Programming Interface.
BNC	Besoin net en chaleur
BNF	Besoin net en refroidissement
Combinaison	Combinaison de variantes calculée par le COT
COT	Cost optimum Tool
Directive PEB	Directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments
EER	Energy Efficiency Ratio
Espec (E_Char_Surf)	La consommation spécifique en énergie primaire, calculée par unité PEB et exprimée en kWh/m ² an. Correspond au rapport entre la consommation annuelle d'énergie primaire de l'unité PEB et la surface totale de plancher chauffée ou climatisée (Ach) de cette unité.
Ew	Le niveau de consommation d'énergie primaire de l'unité PEB ; correspond au rapport entre la consommation annuelle d'énergie primaire de l'unité et une consommation annuelle d'énergie primaire de référence, multiplié par 100.
FP	Front de Pareto
Groupe constructif	Choix constructif au niveau de l'enveloppe, permettant d'atteindre la mesure d'amélioration (ex : U de paroi) à un coût déterminé
K	Niveau d'isolation thermique global d'un bâtiment
Mesure	Modification de la performance énergétique d'un élément de bâtiment (enveloppe ou système)
Partie fonctionnelle	Partie d'un secteur énergétique délimitée par des parois qui englobent des espaces adjacents ayant la même activité.
PEB	Performance Energétique des Bâtiments
PER	Performance Energétique Résidentielle. Acronyme utilisé pour qualifier plus facilement la méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des unités résidentielles (annexe ou méthode PER) d'une part, et les unités résidentielles –logement individuel (unité PER) - d'autre part.

PEN	Performance Energétique Non résidentielle. Acronyme utilisé pour qualifier plus facilement la méthode de détermination du niveau de consommation d'énergie primaire des unités non résidentielles (méthode PEN) d'une part, et les unités non résidentielles ou résidentielles-logement collectif (unité PEN) - d'autre part.
PV	Solaire photovoltaïque
SEQE-UE	Système d'Echange de Quotas d'Emission de l'UE
U	Coefficient de transmission thermique exprimé en W/m^2K . il caractérise la performance thermique d'une paroi et correspond à la quantité de chaleur qui traverse $1 m^2$ de paroi, par seconde, pour un écart de température de $1^\circ C$ entre l'intérieur et l'extérieur.
Umax	Valeur U maximale autorisée par la réglementation PEB sur base du type de paroi, de sa composition et de son environnement.
v50	Débit de fuite (volume d'air qui s'échappe par les défauts d'étanchéité du bâtiment par heure) pour une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur par unité de surface de l'enveloppe ; exprimé en m^3h / m^2 .
Variante	Combinaison de mesures (enveloppe et/ou systèmes) ou application d'une mesure donnée à tous les éléments d'un même type

1. Contexte de l'étude

La présente étude s'inscrit dans la lignée des études précédentes réalisées pour la Région wallonne (COZEB I, COZEB II et COZEB extension).

Son objectif est de répondre à l'article 5 de la Directive 2010-31-UE, conformément au cadre méthodologique comparatif établissant les règles de calcul des niveaux optimaux d'exigences de performance énergétique en fonction des coûts, mis en place par la Commission Européenne afin de comparer les résultats des Etats membres en matière de performance énergétique de leur parc de bâtiments neufs et existants.

La refonte de la directive sur la Performance énergétique des Bâtiments 2010/31/EU précise que si les exigences minimales de performance énergétique imposées par les Etats Membres sont de plus de 15% en deça des résultats du calcul des niveaux d'exigences PEB minimum optimaux en fonction des coûts, l'Etat Membre doit justifier cette différence ou prévoir des mesures appropriées pour la réduire.

Dans ce cadre, la Wallonie a imposé des exigences PEB minimales en vue d'atteindre un optimum de coût entre les mesures d'amélioration de la performance et les coûts évités actualisés sur une période de 20 ou 30 ans. Ces exigences sont revues tous les cinq ans.

Au-delà de la mise à jour quinquennale des chiffres, un outil de calcul automatique du coût global actualisé, le Cost Optimum Tool (COT) a été conçu spécialement pour les besoins de l'étude.

Cet outil, directement lié au logiciel PEB, permet de combiner un très grand nombre de mesures d'amélioration des performances de l'enveloppe thermique et systèmes des systèmes HVAC afin de dégager un front de Pareto des combinaisons coût-optimum pour différentes typologies de bâtiments neufs ou existants, résidentiels et non résidentiels.

Afin de garantir la fiabilité de l'étude et des données d'entrées des analyses, le secteur de la construction a été impliqué dès le départ, par le biais de consultations qui avait pour objet :

- La détermination et la validation des bâtiments de référence ;
- La détermination et la validation des coûts utilisés aux fins de l'étude (répertoriés dans une base de données des coûts de rénovation) ;
- La détermination et la validation des mesures d'amélioration énergétique.

1.1. Exigences PEB minimales en Wallonie

1.1.1. Bâtiments neufs (nouvelles constructions)

Depuis le 1^{er} janvier 2017 les **unités PER** (résidentielles) nouvellement construites doivent respecter, les exigences suivantes :

1. Les éléments de construction respectent les valeurs U_{max} déterminées par l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments (annexe C1 : valeurs **U maximales** admissibles ou valeurs r minimales à réaliser)
2. **Le niveau $K \leq 35$**
3. **Le niveau E_w n'excède pas 65 ;**
4. **Le E_{Spec} n'excède pas 115 kWh/m²an.**

Pour les **unités PEN** (non résidentielles) neuves, le E_{Spec} n'est pas d'application ; des exigences en termes de **K**, **U_{max}** et **E_w** sont d'application pour les parties fonctionnelles depuis le 1^{er} janvier 2017.

Le niveau E_w requis pour l'unité PEN est calculé au prorata des exigences (90/65) propres à chacune des parties fonctionnelles, tel que présenté dans le Tableau 2.

Ces exigences constituent une étape en vue d'atteindre un niveau de consommation des bâtiments à construire « *nearly zero energy* » ou quasi nul en énergie primaire (Q-ZEN) à compter du 1^{er} janvier 2021.

Tableau 1: Exigences PEB d'application depuis le 1^{er} janvier 2017 en fonction de la nature des travaux

NATURE DES TRAVAUX SOUMIS À PERMIS			Valeurs U	Niveau K	Niveau E _w	Consommation spécifique	Ventilation	Surchauffe
			U	K	E _w	E _{spec}	V	S
Procédure AVEC responsable PEB	Bâtiment neuf ou assimilé	PER Maisons unifamiliales Appartements			65	115 kWh/m ² an	Annexe C2	< 6.500 Kh
		PEN Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ...	≤ U _{max} (1)	≤ K35 + nœuds constructifs	90/65 (2)		Annexe C3	
		I Industriel		≤ K55 + nœuds constructifs				
	Rénovation importante (4)		uniquement éléments modifiés				(3)	
Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée	Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4)		≤ U _{max} (1) des éléments modifiés et neufs				(3)	
	Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4)			≤ K65 + nœuds constructifs			Annexe C2 ou C3	

(1) Exigences renforcées pour certaines parois - cf. tableau des valeurs U ci-dessous

(2) La performance de l'unité PEN est calculée au prorata des exigences (90/65) propres à chacune des parties fonctionnelles. Voir ci-dessous.

(3) Selon l'[annexe C2](#)¹, [ou C3](#)² de la réglementation PEB, les exigences doivent être respectées pour les amenées et les extractions d'air dans les nouveaux locaux, et uniquement les amenées d'air dans les locaux existants lorsque les châssis de porte ou fenêtre sont remplacés.

(4) Cas particuliers.

- La rénovation simple ou importante d'un bâtiment industriel n'est soumise à aucune exigence PEB.

¹ Annexe C2 –DISPOSITIFS DE VENTILATION DANS LES BÂTIMENTS RESIDENTIELS (Annexe VHR)

² Annexe C3 – DISPOSITIFS DE VENTILATION DES IMMEUBLES NON RESIDENTIELS : Méthode de détermination et exigences (Annexe VHN)

- Tout bâtiment industriel, initialement chauffé ou non chauffé pour les besoins de l'homme, qui, par changement de destination, acquiert une destination de logement individuel, de bureaux et de services ou d'enseignement, est soumis aux mêmes exigences que le changement de destination - non chauffé > chauffé (niveau K, valeur U et ventilation).

Pour les **unités PEN** neuves, le Espec n'est pas d'application ; des exigences en termes de **K**, **U_{max}** et **E_w** sont d'application pour les parties fonctionnelles depuis le 1^{er} janvier 2017.

Tableau 2 Exigences E_w 2017 pour les parties fonctionnelles des unités PEN neuves

Fonctions dans l'unité PEN		E _{w, fct f}
Hébergement		90
Bureau		65
Enseignement		65
Soins de santé	Avec occupation nocturne	90
	Sans occupation nocturne	90
	Salle d'opération	90
Rassemblement	Occupation importante	90
	Faible occupation	90
	Cafétéria / Réfectoire	90
Cuisine		90
Commerce / Service		90
Installations sportives	Hall de sport / Salle de gymnastique	90
	Fitness / Danse	90
	Sauna / Piscine	90
Locaux techniques		90
Communs		90
Autre		90
Inconnue		90

1.1.2. Bâtiments existants

Pour les **bâtiments existants**, la Wallonie impose des exigences minimales à respecter lors de toute transformation (ajout, remplacement, rénovation) au niveau des éléments de l'enveloppe, lorsque ces travaux influencent la performance énergétique de l'élément (U_{max}) ainsi qu'au niveau de la ventilation des espaces secs dans lesquels les châssis sont remplacés, ou dans tous les nouveaux espaces (secs ou humides).

Pour les **bâtiments existants** PER/PEN (à rénover), les **valeurs U_{max} en vigueur** depuis le 1er janvier 2017 au niveau des différentes parois du bâtiment sont reprises dans le Tableau 3.

Tableau 3: Exigences U_{max} applicables en rénovation à partir du 1er janvier 2017³

Élément de construction		U _{max} ⁽¹⁰⁾ (W/m ² .K)
1.	PAROIS DÉLIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ , à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent.	
1.1	PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES , à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des murs-rideaux (voir 1.4), des parois en briques de verre (voir 1.5) et des parois transparentes/translucides autres que le verre (voir 1.6).	1,50 (1) et U _{g,max} = 1,10 (2)
1.2	PAROIS OPAQUES , à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des murs-rideaux (voir 1.4)	
1.2.1	Toitures et plafonds	0,24
1.2.2	Murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4.	0,24
1.2.3	Murs en contact avec le sol	0,24 (4)
1.2.4	Parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave en dehors du volume protégé	0,24
1.2.5	Planchers en contact avec l'environnement extérieur ou au-dessus d'un espace adjacent non-chauffé	0,24
1.2.6	Autres planchers (planchers sur terre-plein, au-dessus d'un vide sanitaire ou au-dessus d'une cave en dehors du volume protégé, planchers de cave enterrés)	0,24 (4)
1.3	PORTES ET PORTES DE GARAGE (cadre inclus)	2,00
1.4	MURS-RIDEAUX	2,00 et U _{g,max} = 1,10 (2)
1.5	PAROIS EN BRIQUES DE VERRE	2,00
1.6	PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES AUTRES QUE LE VERRE , à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des murs-rideaux (voir 1.4).	2,00 (1) et U _{tp,max} = 1,40 (8)
2.	PAROIS ENTRE 2 VOLUMES PROTÉGÉS (5) SITUÉS SUR DES PARCELLES ADJACENTES (6) , à l'exception des parois transparentes/translucides (voir 1.1), des portes et portes de garage (voir 1.3), des murs-rideaux (voir 1.4), des parois en briques de verre (voir 1.5) et des parois transparentes/translucides autre que le verre (voir 1.6).	1,00 (9)
3.	PAROIS OPAQUES À L'INTÉRIEUR DU VOLUME PROTÉGÉ OU ADJACENTES À UN VOLUME PROTÉGÉ SUR LA MÊME PARCELLE (7) , à l'exception des portes et portes de garage)	
3.1	ENTRE UNITÉS D'HABITATION DISTINCTES	
3.2	ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES COMMUNS (cage d'escalier, hall d'entrée, couloirs, ...)	
3.3	ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES À AFFECTATION NON RÉSIDENTIELLE	
3.4	ENTRE ESPACES À AFFECTATION INDUSTRIELLE ET ESPACES À AFFECTATION NON INDUSTRIELLE	1,00

La réglementation PEB vise également à garantir la performance des systèmes techniques installés, remplacés ou modernisés, en leur appliquant des exigences de **rendement**, de **calorifugeage** et de **comptage énergétique**. Depuis le 1er mai 2016, les exigences listées ci-dessous s'appliquent aux systèmes HVAC (chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, ventilation).

³ Annexe C1 tableau 2

Tableau 4: Exigences en vigueur au niveau des systèmes HVAC depuis le 1^{er} mai 2016

Travaux soumis à permis ou non		Performance	Calorifugeage	Comptage énergétique
Bâtiments existants	Installation Modernisation Remplacement	Exigence systèmes – Annexe C4		
		<ul style="list-style-type: none"> - Chaudières gaz - Chaudières mazout - Pompes à chaleur - Chauffage électrique direct - ECS électrique - Machines à eau glacée - Récupérateur de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> - Conduites d'eau chaude - Conduites d'eau glacée - Conduits d'air 	<ul style="list-style-type: none"> - Comptage par installation - Comptage entre bâtiments - Comptage entre unités PEB
Bâtiments à construire	Installation	-	-	Uniquement ⁽¹⁾ : <ul style="list-style-type: none"> - Comptage entre bâtiments - Comptage entre unités PEB

1.1.3. Exigences Nearly zero energy building

Au **1^{er} janvier 2021 les unités PER et PEN** devront respecter, lors de leur construction ou reconstruction, les exigences Nearly zero energy building ou Q-ZEN (Quasi Zero Energie) suivantes :

1. Les éléments de construction respectent les valeurs U_{max} déterminées par l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments (Tableau 3: Exigences U_{max} applicables en rénovation à partir du 1^{er} janvier 2017) ;
2. **Le niveau $K \leq 35$;**
3. **Le niveau E_w n'excède pas 45 ;**
4. **Le E_{spec} n'excède pas 85 kWh/m²an.**

Les autorités publiques devant montrer l'exemple, ces exigences seront applicables dès le 1^{er} janvier 2019, pour les bâtiments à construire, lorsque la personne qui occupera le bâtiment et pour le compte de laquelle les travaux sont effectués représente une autorité publique.

Tableau 5: Exigences PEB d'application à partir du 1^{er} janvier 2021 en fonction de la nature des travaux

NATURE DES TRAVAUX SOUMIS À PERMIS			Valeurs U	Niveau K	Niveau E _w	Consommation spécifique	Ventilation	Surchauffe
			U	K	E _w	E _{spec}	V	S
Procédure AVEC responsable PEB	Bâtiment neuf ou assimilé	PER Maisons unifamiliales Appartements			45	85 kWh/m ² a n	Annexe C2	< 6.500 Kh
		PEN Bureaux Services Enseignement Hôpitaux HORECA Commerces Hébergements collectifs ...	≤ U _{max} (1)	≤ K35 + nœuds constructifs	90/45 (2)		Annexe C3	
	I Industriel		≤ K55 + nœuds constructifs					
Rénovation importante (4)			uniquement éléments modifiés				(3)	
Procédure SANS responsable PEB Déclaration PEB simplifiée	Rénovation simple, y compris Changement d'affectation chauffé > chauffé (4)		≤ U _{max} (1)				(3)	
	Changement d'affectation non chauffé > chauffé (4)		des éléments modifiés et neufs	≤ K65 + nœuds constructifs			Annexe C2 ou C3	

(1) Exigences renforcées pour certaines parois - cf. tableau des valeurs U ci-dessus

(2) La performance de l'unité PEN est calculée au prorata des exigences (90/45) propres à chacune des parties fonctionnelles

(3) Selon l'[annexe C2 ou C3](#) de la réglementation PEB les exigences doivent être respectées pour les amenées et les extractions d'air dans les nouveaux locaux, et uniquement les amenées d'air dans les locaux existants lorsque les châssis de porte ou fenêtre sont remplacés.

(4) Cas particuliers.

- La rénovation simple ou importante d'un bâtiment industriel n'est soumise à aucune exigence PEB.
- Tout bâtiment industriel, initialement chauffé ou non chauffé pour les besoins de l'homme, qui, par changement de destination, acquiert une destination de logement individuel, de bureaux et de services ou d'enseignement, est soumis aux mêmes exigences que le changement de destination - non chauffé > chauffé (niveau K, valeur U et ventilation).

Tableau 6 Exigences E_w 2021 pour les parties fonctionnelles des unités PEN neuves

Fonctions dans l'unité PEN		$E_{w, fct f}$
Hébergement		90
Bureau		45
Enseignement		45
Soins de santé	Avec occupation nocturne	90
	Sans occupation nocturne	90
	Salle d'opération	90
Rassemblement	Occupation importante	90
	Faible occupation	90
	Cafétéria / Réfectoire	90
Cuisine		90
Commerce / Service		90
Installations sportives	Hall de sport / Salle de gymnastique	90
	Fitness / Danse	90
	Sauna / Piscine	90
Locaux techniques		90
Communs		90
Autre		90
Inconnue		90

1.2. Le consortium auteur de l'étude

Le consortium à la base de la conception du COT et de la réalisation de l'étude cost optimum 2017 en étroite collaboration avec l'administration wallonne, est constitué du bureau d'études 3E, d'ULiège EnergySuD et du développeur informatique HEMMIS.

3E et ULiège EnergySud ont participé activement à la première étude COZEB en Région wallonne et à son extension en vue de définir une stratégie de rénovation du parc de bâtiments de bureaux, d'immeubles à appartements et d'établissements scolaires existants. 3E a également effectué l'étude « Studie naar Kostenoptimale energieprestatie-eisen bij niet residentiële gebouwen » (2012-2013) pour le compte de la Région flamande.

ULg-EnergySuD a participé à l'action Construire avec l'énergie (CALE) qui a permis l'analyse de plus de 1.000 projets de bâtiments résidentiels présentant un niveau de performance énergétique supérieur aux exigences réglementaires en vigueur.

HEMMIS a prouvé sa compétence et son souci du détail lors du développement du logiciel de Procédure d'Avis et de Certification Energétique (PACE) pour la Région wallonne. Le schéma du développement de l'outil informatique (COT) présenté dans la suite démontre sa parfaite compréhension des fonctionnalités de l'outil, en lien avec le logiciel PEB.

Le cluster de la construction durable Cap2020 - qui dispose d'un réseau de plus de 170 membres regroupant les acteurs clés du monde de la construction (entrepreneurs, architectes, fabricants de matériaux et d'équipement liés au bâtiment...) - a organisé les consultations et assuré les échanges avec les représentants du secteur afin de valider **les bâtiments de référence, les mesures d'amélioration de la performance énergétique et les données de coûts.**

1.3. Objectifs de la mission

La mission confiée au consortium regroupait 2 volets :

- Le premier visait à développer un outil informatique d'importation/exportation de données PEB qui organise le traitement systématique de l'information en vue de déterminer les niveaux d'exigences PEB cout-optimum.
- Le second répond à l'article 5 de la Directive 2010/31/EU en définissant les niveaux de performance énergétique cout-optimum d'un échantillon de bâtiments de référence selon le cadre méthodologique comparatif imposé par la CE.

1.4. Périmètre de l'étude

Les calculs et l'analyse des résultats ont porté sur **40 bâtiments de référence représentatifs du parc de bâtiments wallon** encodés dans le logiciel PEB (v8.5.3):

28 Bâtiments existants dont :

- 13 maisons unifamiliales
- 6 Immeubles à appartements
- 5 Immeubles de bureaux
- 4 Etablissements scolaires

12 Bâtiments neufs dont :

- 8 maisons unifamiliales
- 1 immeuble à appartements
- 1 immeuble de bureaux
- 2 bâtiments scolaires

Auxquels ont été appliqués :

- Maximum 60 mesures d'amélioration de la performance énergétique de l'enveloppe et de la ventilation, en fonction des types d'environnement des parois ;
- 70 mesures de remplacement de systèmes
- 44 groupes constructifs⁴ au niveau de l'enveloppe (détail des groupes voir Annexe D :)

Les **résultats des calculs** présentés dans le rapport décrivent ou vérifient pour chaque bâtiment et élément de bâtiment de référence sélectionnés pour l'étude :

- Les besoins en énergie finale et primaire et le coût global actualisé des combinaisons situées sur le front de Pareto (FP).
- Le coût global actualisé des combinaisons coût-optimum sur la période d'évaluation (PER : 20 ans ; PEN : 30 ans) ;
- Les niveaux de performance énergétique optimaux en fonction des coûts ;
- Le pourcentage d'écart entre le niveau de performance énergétique optimal et les exigences PEB minimales en vigueur en Wallonie en 2017 et en 2021 (tant pour les bâtiments neufs que pour les bâtiments existants) ;

⁴ Les groupes correspondent à des choix constructifs au niveau de l'enveloppe, permettant d'atteindre la mesure d'amélioration (ex : U de paroi) à un coût déterminé.

Les données de base, les hypothèses de calculs ainsi que les résultats des calculs des combinaisons coût-optimums présentés dans ce rapport sont repris dans **une série de tableaux Excel structurés et mis en forme selon les guidelines imposées par la CE** :

- Les informations sur le bâtiment de référence sont reprises dans les tableaux Excel suivants : **PR109008_COT_GrilleCE_tab1.xls ; PR109008_COT_GrilleCE_tab2.xls**
- Un résumé des performances énergétiques des différents bâtiments est disponible dans **PR109008_COT_GrilleCE_tab3.xls**.
- La liste des mesures d'amélioration enveloppe-systèmes appliquées aux différents bâtiments de référence est dans le tableau : **PR109008_COT_GrilleCE_tab4.xls**
- Un récapitulatif des résultats des combinaisons situées sur le Front de Pareto est disponible dans le tableau **PR109008_COT_GrilleCE_tab5.xls**
- Les résultats détaillés des calculs de combinaisons sont disponibles dans les tableaux suivants : **PR109008_COT_Resultats-neuf.xls ; PR109008_COT_Resultats-exist.xls** ;

2.Méthodologie

2.1. Consultation du secteur

Préalablement aux calculs d'optimalité en fonction des coûts, les partenaires et l'administration de la DGO4 , Département de l'Energie, ont mené une large consultation des représentants du secteur de la construction en Wallonie sous forme de tables rondes, en vue de déterminer et de valider les données d'entrée utilisables pour le calcul.

Six réunions avec les représentants du secteur ont été organisées entre mars et décembre 2016, par l'entremise de l'asbl CAP2020.

Ces consultations ont permis de présenter, d'adapter et de valider les bâtiments de référence proposés ainsi que les mesures d'amélioration applicables et les différents groupes constructifs. Dans un second temps, les consultations ont servi à collecter et valider le coût des mesures d'amélioration pour chaque élément de bâtiment (enveloppe et systèmes) en fonction de leur destination (résidentiel unifamilial, collectif, non résidentiel).

2.2. Paramètres économiques utilisés et hypothèses retenues

2.2.1. Modes de calcul imposés par le Règlement Délégué de l'UE⁵

Le Règlement Délégué (UE) n° 244/2012 de la CE du 16 janvier 2012 fixe les périodes d'évaluation à utiliser aux fins de l'étude.

Pour les bâtiments résidentiels, la période d'évaluation est de 30 ans. Pour les bâtiments non résidentiels (bureaux et enseignement), cette période est de 20 ans.

Le cadre méthodologique impose de calculer les niveaux optimaux en fonction des coûts du point de vue macroéconomique et du point de vue financier, mais laisse aux États membres le soin de décider lequel de ces calculs doit servir de référence pour évaluer les exigences minimales de performance énergétique.

A l'instar des études COZEB précédentes, et des hypothèses considérées pour la stratégie de rénovation à long terme des bâtiments, les résultats graphiques de calcul du cost optimum sont exprimés en termes de

⁵ Règlement délégué (UE) N°244/2012 de la Commission du 16 janvier 2012.

CGA macro-économique. Les résultats en termes de CGA financiers sont néanmoins affichés dans les tableaux au chapitre 5

Calcul financier

Le calcul financier considère les coûts supportés par l'occupant/propriétaire du bâtiment qui réalise les investissements. Il comprend les taxes, la TVA et les redevances.

Dans la présente étude, les subventions (primes) octroyées en Wallonie pour certaines mesures d'amélioration (isolation des parois, systèmes solaires, PAC...) **n'ont pas été prises en compte** dans le calcul financier (ni, a fortiori, dans le calcul macroéconomique).

La formule utilisée pour le **calcul du coût global au niveau financier** est la suivante :

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

Avec,

τ : la période de calcul

$C_g(\tau)$: le coût global (par rapport à l'année de départ $\tau 0$) sur la période de calcul

C_I sont les coûts d'investissement initiaux pour la mesure ou la combinaison de mesures j

$C_{a,i}(j)$ est le coût d'exploitation annuel du bâtiment au cours de l'année i après application de la (combinaison de) mesures j

$V_{f,\tau}(j)$ est la valeur résiduelle de la mesure ou de l'ensemble de mesures j au terme de la période de calcul (rapportée à l'année de départ $\tau 0$)

$R_d(i)$ est le facteur d'actualisation pour l'année i , sur la base du taux d'actualisation r , à calculer à l'aide de la formule :

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1+r/100} \right)^p$$

Où p est le nombre d'années depuis l'année de départ et r est le taux d'actualisation réel.

Calcul macro-économique

Le calcul macro-économique prend en compte la dimension environnementale des mesures d'amélioration de la performance énergétique en intégrant le coût de la tonne de CO₂ évité. Il permet d'identifier les mesures d'amélioration du bâti ayant le plus d'impact au niveau macro-économique et n'a pas d'effet pénalisant sur les techniques de combustion utilisant la biomasse.

Les coûts macroéconomiques sont considérés hors TVA et sans subventions mais avec un coût des émissions de CO₂ liées à la consommation en énergie primaire du bâtiment.

Ce coût est calculé sommant les émissions annuelles de CO₂ multipliées par le prix de la tonne de CO₂ émises

La formule utilisée pour le **calcul du coût global au niveau macroéconomique** est la suivante :

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j)R_d(i) + C_{e,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right]$$

Avec,

$C_{e,i}(j)$: le coût des émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie primaire du bâtiment après application de la (combinaison de) mesure(s) j au cours de l'année i.

Les coûts annuels considérés pour l'émission d'une tonne de CO₂, conformément aux scénarios de la Commission Européenne élaborés par le Système d'Echange de Quotas d'Emission de l'UE sont les suivants :

Tableau 7: coût des émissions de CO₂ selon le SEQUE-UE

Période	Coût par tonne de CO ₂ émise
2017 - 2025	20 €/an
2025 - 2030	35 €/an
> 2030	50 €/an

2.2.2. Calcul du coût global actualisé

La méthode ci-dessous détaille le calcul du coût global actualisé des combinaisons d'amélioration des performances énergétique d'un bâtiment (PER/PEN).

Le cost optimum est la combinaison de mesures d'amélioration enveloppe-systèmes pour laquelle le coût global actualisé est minimal. Il est exprimé en fonction des indicateurs de performance pour lesquels la Wallonie a fixé un niveau d'exigence (voir 1.1).

Le CGA de chaque combinaison est obtenu en sommant, sur la période d'évaluation considérée :

- Les Coûts d'investissements initiaux (coût initial à l'année 0)
- Les Coûts d'élimination
- Les coûts opérationnels comprenant :
 - Les coûts de fonctionnement annuels
 - Les coûts d'exploitation
 - Les coûts de maintenance
 - Les coûts de l'énergie
 - Les coûts de remplacement (réinvestissement) périodiques
 - Les coûts annuels des émissions de gaz à effet de serre⁶.

⁶ Pour le calcul macro-économique uniquement.

Le coût global comprend le coût de l'enveloppe du bâtiment, le coût des systèmes installés (production, stockage, distribution et émission) ainsi que le coût de la consommation énergétique du bâtiment pendant 20 (PEN) ou 30 (PER) ans. Le coût total d'une paroi de déperdition comprend la structure, l'isolation, les finitions intérieures et extérieures. Le prix des cloisons et menuiseries intérieures, des sanitaires, de la plomberie, de l'électricité, ... ne sont pas compris dans le coût global.

Dans le calcul du coût global, l'investissement initial, la somme des coûts annuels rapportés à l'année de départ et la valeur finale sont pris en considération. À l'échelle macroéconomique, le coût des émissions de gaz à effet de serre - défini comme la valeur monétaire des dommages environnementaux causés par les émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie dans les bâtiments - est ajouté au coût global.

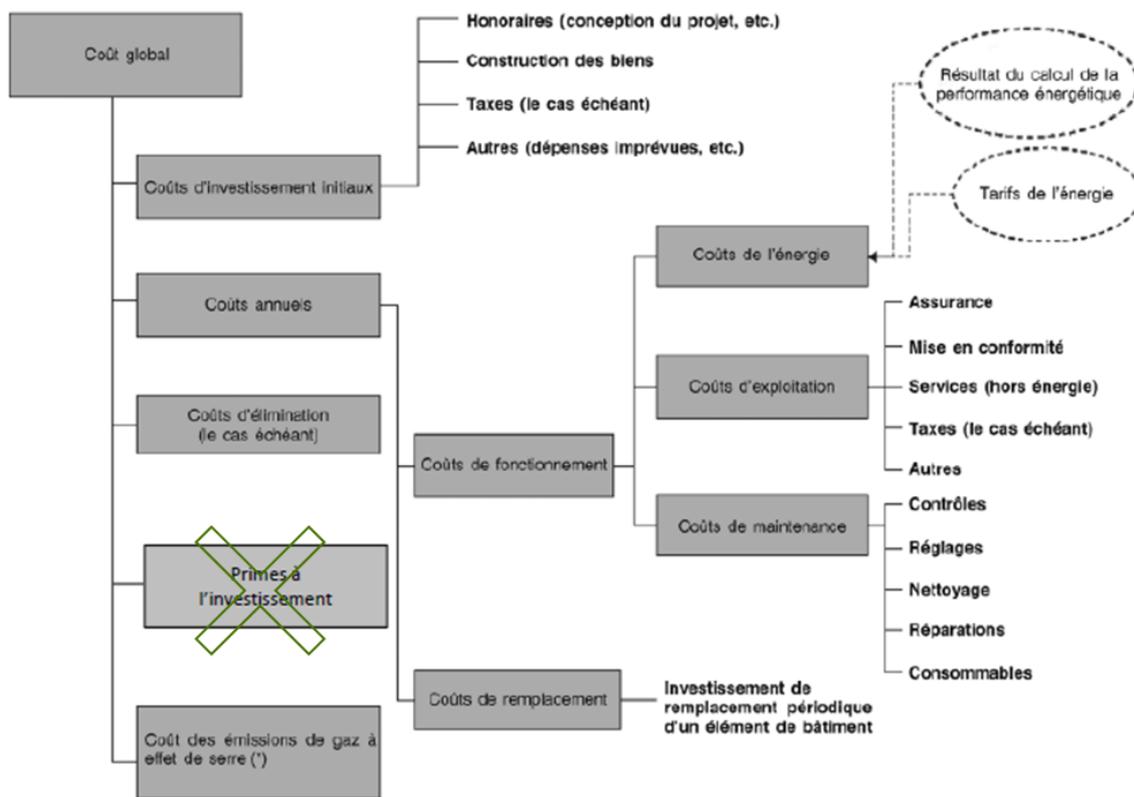
Le résultat du calcul du coût global correspond à la valeur actualisée nette des coûts supportés au cours d'une période de calcul définie, compte tenu de la valeur résiduelle des équipements dont la durée de vie est plus longue que la période de calcul. Les projections relatives aux coûts de l'énergie sont limitées à la période de calcul.

La période de calcul est déterminée par le cycle de rénovation d'un bâtiment, soit le délai au terme duquel un bâtiment fait l'objet d'une rénovation importante, y compris en vue de l'améliorer dans son ensemble et de l'adapter à l'évolution des exigences des occupants.

Les paramètres économiques utilisés et les hypothèses retenues pour vérifier l'optimalité des niveaux d'exigences minimales de performance énergétique en fonction des coûts, conformément à la directive PEB, (2010/31/UE), sont décrits ci-après.

Les grandes catégories de coûts considérées dans le règlement délégué de l'UE et modélisées dans le COT sont les suivantes :

- Les coûts d'investissement initiaux ;
- Les coûts de fonctionnement annuels et de remplacement périodiques éventuels de certains systèmes ;
- Les coûts d'élimination (le cas échéant) ;
- Le coût des émissions de CO₂.



(*) uniquement pour le calcul macroéconomique

Figure 1: éléments constitutifs du coût global selon la directive PEB. Source : règlement Délégué (UE) n°244/2012

2.2.3. Taux d'actualisation

Le coût global pour les bâtiments et éléments de bâtiment est calculé en additionnant les différents types de coût et en leur appliquant le taux d'actualisation, à l'aide d'un facteur d'actualisation, de façon à les exprimer en valeur rapportée à l'année de départ. Les taux d'actualisation de référence (hors inflation) utilisés dans cette étude sont les suivants :

Tableau 8: Taux d'actualisation utilisé dans l'étude

	Calcul financier	Calcul macroéconomique
PER	TAF : 2%	TAM : 3%
PEN	TAF : 3%	TAM : 4%

À noter :

- Le taux d'actualisation est exprimé en termes réels, donc hors inflation, ce qui a pour effet de décaler légèrement le FP vers le bas, sans modifier les combinaisons cost optimum ni l'écart entre les combinaisons cost optimum et la référence
- Le Règlement délégué de l'UE suggère un taux d'actualisation de **3%** hors inflation pour le calcul macro-économique
- Le taux d'actualisation considéré pour le calcul financier est généralement inférieur dans la mesure où il reflète plus fidèlement l'avantage que les investissements éco-énergétiques procurent aux occupants sur la période d'évaluation.
- Sur base des taux OLO⁷ sur les obligations d'état à 10 ans qui varient entre 1% et 2% au moment d'effectuer les calculs, le taux d'actualisation considéré pour le calcul financier des mesures d'amélioration des bâtiments résidentiels est de **2%**
- En matière de projet de développement ou d'amélioration de bâtiments **non résidentiels**, le taux d'actualisation utilisé dans les calculs afin d'évaluer la rentabilité des projets, repose sur le coût moyen pondéré du capital (CMPC)⁸, un indicateur économique, représentant le taux de rentabilité annuel moyen attendu par les créanciers, en retour de leur investissement. Le CMPC estimé nécessaire pour déclencher un investissement économiseur d'énergie est de **mimimum 3%**.

⁷ Obligation Linéaire/Lineaire Obligatie

⁸ weighted average cost of capital (WACC)

2.2.4. Coût de l'énergie et scénarios d'évolution

Le coût de l'énergie consommée par le bâtiment dépend de la consommation d'énergie finale annuelle de chaque poste et du vecteur énergétique considéré.

Ce coût résulte de la somme des quantités d'énergie consommées pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires, l'éclairage (PEN) et le refroidissement (PEN) **moins** l'énergie produite (le cas échéant) par un système solaire (thermique ou PV).

La consommation en énergie finale de chacun des postes est calculée par le logiciel PEB 8.5.3 qui fait le bilan énergétique du bâtiment de référence et des combinaisons d'amélioration des caractéristiques de l'enveloppe et/ou des systèmes de production de chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, éclairage...

Les coûts de l'énergie utilisés sont fixés sur base de statistiques nationales, mises à jour début octobre 2017, et différenciés en fonction des tranches de consommations du bâtiment.

Le coût des différents vecteurs énergétiques utilisés dans les calculs sont repris en Annexe F :

Trois scénarios d'évolution des prix de l'énergie sont considérés dans l'étude : **0%** ; **1,75%** et **3,5%**. Les hypothèses qui sous-tendent ces trois scénarios sont détaillées dans le rapport COZEB1 « coûts d'investissement initiaux ».

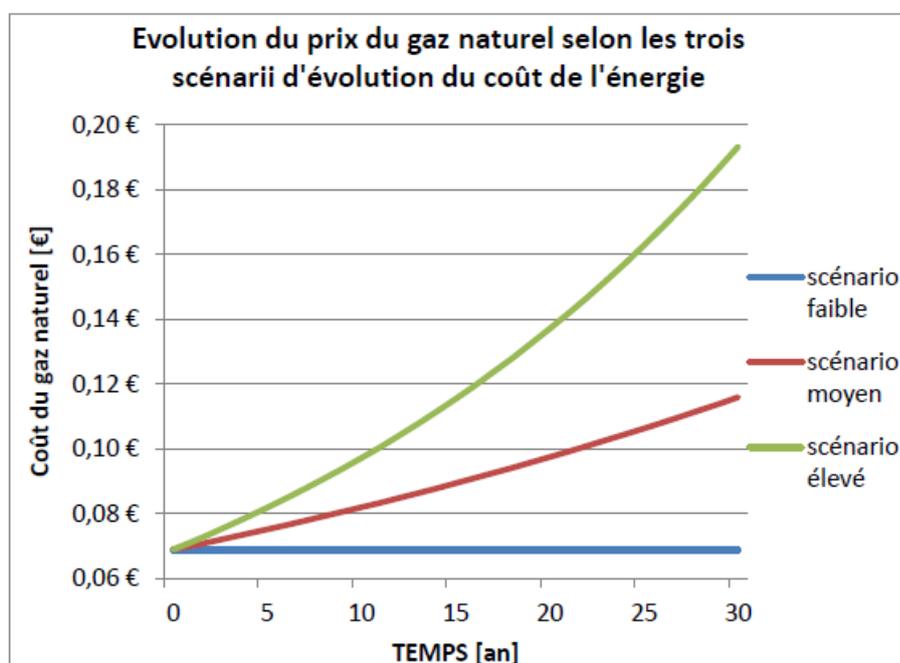


Figure 2: Evolution du prix du gaz naturel selon les trois scénarios retenus

Pour un détail de la composition et de l'évolution des coûts de l'énergie, voir l'annexe 9.7 du rapport final de l'étude COZEB 2013. Les prix de l'énergie considérés dans la présente étude sont repris en Annexe F :

Sur 20 ou 30 ans, le scénario moyen d'évolution du coût de l'énergie (**TEP = 1,75% par an**) semble le plus réaliste parmi les 3 scénarios envisagés. Depuis l'étude précédente, aucun élément neuf ne plaide en faveur d'une stagnation des prix (TEP=0%) ou d'une augmentation soutenue sur le long terme (TEP= +3%). Par conséquent, le **taux d'évolution moyen du coût de l'énergie considéré dans cette étude** reste de **1,75% par an**.

A noter que la plupart des études prospectives passées anticipaient une hausse des prix de l'énergie plus importante sur le long terme que celle observée en moyenne ces dernières années.

2.2.5. Coût de remplacement et valeur résiduelle

Les coûts des (combinaisons) de mesures analysées pour les bâtiments neufs et existants sont définis pour les remplacements portant sur :

- Les éléments constitutifs de l'enveloppe des bâtiments, à savoir :
 - Les parois opaques ;
 - Les fenêtres (vitrage seul ou châssis et vitrage) ;
 - Le plancher ;
 - La toiture.
- Les systèmes de ventilation
- Les systèmes de chauffage
- La production d'ECS,
- Le refroidissement des locaux
- Le placement de panneaux solaires thermiques et/ou photovoltaïques

Afin de pouvoir calculer le coût global actualisé de chacune des combinaisons effectuées par le COT, une durée de vie spécifique est considérée pour chaque mesure d'amélioration (chaque remplacement) d'un élément constitutif de l'enveloppe thermique ou d'un système.

Hormis les coûts de l'énergie qui évoluent avec le temps, on ne considère pas d'augmentation ni de diminution des coûts de réinvestissement avec le temps.

Les durées de vie normalisées des systèmes considérés dans l'étude proviennent de la norme **EN 15459** (relative aux systèmes énergétiques dans les bâtiments), complétées le cas échéant par d'autres normes et/ou expertises techniques.

Le remplacement périodique, qui fait référence au renouvellement indispensable de tout un élément de bâtiment en raison du vieillissement, est traité comme une catégorie de coûts distincte.

Le coût de remplacement est lié à la durée de vie de l'élément remplacé. Si l'élément remplacé a une durée de vie inférieure à celle de la période d'évaluation (ex : 30 ans pour le résidentiel), L'investissement sera réalisé une seconde fois à l'année n pour remplacer l'élément arrivé en fin de vie. On considère que le coût de ce remplacement est identique au coût d'investissement initial.

Dans la même logique, si la durée de vie de l'élément remplacé se prolonge au-delà de la période d'évaluation, on tient compte de la valeur résiduelle de l'investissement dans le calcul du CGA.

Tableau 9 durée de vie normalisée des éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment

Description	Durée	Remarque - Justification
Durée de vie bâtiment	90 ans	idem résidentiel
Durée de vie isolation du sol	90 ans	idem durée de vie du bâtiment
Durée de vie isolation de façade	30 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - insulation, buidling envelope
Durée de vie isolation du toit	30 ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - insulation, buidling envelope
Durée de vie fenêtres	30 ans	EN15459:2007
Durée de vie protections solaires	20 ans	Aucune source disponible
Durée de vie nœuds constructifs	90 ans	idem bâtiment
Durée de vie étanchéité à l'air	90 ans	idem bâtiment

Tableau 10 Durée de vie normalisée des systèmes HVAC

Description	Durée		Remarque - Justification
Durée de vie chaudière au gaz	20	ans	EN15459:2007 - boiler direct evacuation, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie chaudière au gaz à condensation	20	ans	EN15459:2007 - boiler condensing, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie chaudière biomasse	20	ans	EN15459:2007 - boiler direct evacuation, but EN15459 2nd revision, Octobre 2008 says 30 years for large boiler
Durée de vie PAC sol-eau	25	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie sonde géothermique	90	ans	idem bâtiment
Durée de vie PAC eau-eau	25	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie PAC air-eau	15	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie PAC Air-Air	10	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie Cogénération	15	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - combined heat and power below 5 MW
Durée de vie du réseau de chaleur	90	ans	idem bâtiment, no source
Durée de vie machine frigorifique à compression	15	ans	15 in EN15459:2007, but 17 in EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - efficient chiller in AC
Durée de vie régulation chaud-froid	17	ans	EN15459:2007 - control equipment: 15-20 years
Durée de vie radiateurs	35	ans	EN15459:2007 - radiators: 30-40 years
Durée de vie chauffage sol	50	ans	EN15459:2007 - water floor heating
Durée de vie aérothermes	15	ans	EN15459:2007 - fan coil units
Durée de vie Distribution chauffage et refroidissement	35	ans	Étude de cas - 3E
Durée de vie éclairage	12	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - new/renovated office lighting
Durée de vie Ventilation	15	ans	EN15459 2nd revision, Octobre 2008 - efficient ventilation systems, but heat recovery system: 20 years according to EN15459 2nd revision, Octobre 2008
Durée de vie Installation PV	25	ans	Étude de cas 3E - 23 ans selon EN15459 2nd revision, Octobre 2008

2.2.6. Primes, incitants fiscaux et TVA

Les primes, et les incitants fiscaux éventuels ne sont pas pris en compte dans le cadre de l'étude. En effet les mesures d'aides à l'investissement sont par nature peu pérennes et biaisent l'analyse comparative des combinaisons cost optimum.

La TVA est prise en compte dans le calcul financier.

Depuis février 2016, les travaux de rénovation et/ou de réparation d'habitations privées occupées depuis au moins dix ans bénéficient d'un taux de TVA de 6 % (au lieu de 21 %). Cet avantage fiscal s'applique à tous les travaux de rénovation et de réparation d'un logement privé.

2.2.7. Cadre pour l'estimation de la valeur des bâtiments de référence

Au niveau des coûts d'investissement initiaux à considérer, le règlement délégué n'impose pas de calculer le coût global du bâtiment mais uniquement les coûts liés aux mesures écoénergétiques, soit les mesures d'amélioration de la performance énergétique, entraînant une diminution des besoins en énergie primaire du bâtiment.

Afin de situer le coût des investissements visant à améliorer la performance énergétique et leur impact en termes de coût global actualisé par rapport à la valeur immobilière du bâtiment, nous avons pris l'option d'intégrer cette valeur immobilière dans le calcul du CGA.

Pour ce faire, un expert immobilier mandaté par CAP2020 a procédé à l'estimation de la valeur monétaire des 40 bâtiments analysés dans la suite.

Les typologies de bâtiments de référence situés sur la zone géographique de la Wallonie sont appréciées selon les critères suivants, utilisés uniquement **pour estimer leur valeur immobilière**⁹ :

Pour les bâtiments du marché secondaire

- L'ensemble des biens est en conformité avec l'urbanisme et les permis exigés ;
- Les bâtiments à rénover sont estimés compte tenu des normes d'habitabilité normale, ce qui veut dire que le bien est supposé offrir un minimum de confort au niveau hygiène, chauffage, sanitaire, cuisine, ventilation ;
- Les possibilités d'évolutions techniques pour l'isolation acoustique ou technique spéciale sont prises en considération. ;
- Toute possibilité d'isolation de l'enveloppe est prise en considération ;
- La présence d'une cave ou d'un vide ventilé est prise en compte ;
- L'exposition bioclimatique est prise en considération (une exposition sud-ouest pour les pièces de vie est un plus) ;
- Le type de la structure des planchers est prise en compte ;
- Les volumes habitables sont considérés ;

⁹ Source : étude Olivier Luxen / Cap2020....

- La valeur foncière n'est pas prise en compte afin de ne pas pénaliser le bien sur base de sa localisation géographique ;
- Les bâtiments sont valorisés par rapport à leur typologie propre et à leur milieu (rural, citadin...);
- La valeur nominale du bâtiment secondaire (à rénover) est de l'ordre de 800 €/m² ;
- Les surfaces de planchers habitables intra-muros sont prises en compte ;
- Le code de mesurage suivant le label européen des surfaces bâties est établi suivant la méthode intra-muros. (La Surface Intra-Muros totale d'un immeuble est constituée par l'ensemble des surfaces intérieures dont les utilisateurs ont la jouissance directe ou indirecte, en excluant tous les éléments de construction et cloisons fixes) ;
- La norme établie par l'ABEX, est une valeur comparable et comparative. (Deux fois par an, l'ABEX édite l'indice ABEX qui indique l'évolution du coût de la construction d'habitation et de logements privés (en 1914, indice ABEX = 1) ;
- La valeur de l'étanchéité à l'air considérée par défaut est de type peu performante (référence V50=4 ou 6) ; excepté pour les bâtiments récents qui ne satisfont pas aux normes) ;
- La qualité des châssis existants n'est pas prise en compte, mais bien celle du type de vitrage ;
- Le nombre de façades a un impact négatif sur la valeur du bien, contrebalancé à 15% du prix estimé en cas de meilleure performance énergétique du bien de référence ;
- Les murs mitoyens des maisons 2 et 3 façades sont, par défaut considérés non isolés pour estimer la valeur du bien de référence ;
- Les bâtiments sont considérés exempts d'amiante ;
- La qualité des matériaux existants est prise en considération.

Pour les bâtiments de référence neufs

- Les prix de construction sont calculés sur base d'un coût réel (prix de revient) sans tenir compte des extras (marges) que le marché local pourrait permettre ;
- La valeur foncière n'est pas prise en compte, afin de neutraliser l'impact de la localisation géographique ;
- La valeur nominale de construction du bâtiment est au prix de 1350 €/m² brut habitable, ceci représente un coût objectif de construction par m² brut habitable intra muros. Ce prix inclus les frais d'études et les frais de permis ;
- Le code de mesurage suivant le label européen des surfaces bâties sera établi suivant la méthode intra-muros. (La Surface Intra Muros totale d'un immeuble est constituée par l'ensemble des surfaces intérieures dont les utilisateurs ont la jouissance directe ou indirecte, en excluant tous les éléments de construction et cloisons fixes) ;
- L'ensemble des biens est en conformité avec l'urbanisme et le permis obtenu ;
- Les exigences de performance énergétique en vigueur en 2016 ont servi de référence ;
- Sauf indication contraire, la référence pour l'étanchéité à l'air est de v50 = 4 m³h/m² ;

- L'ensemble des bâtiments se situe dans un environnement standard, caractérisé par une mobilité moyenne, pas de pollution sonore aérienne ou routière hors norme, pas d'exposition au radon et hors des zones inondables ;
- L'individualité des raccordements électriques, gaz et eau ainsi que les techniques de chauffage et de ventilation pour chaque unité sont prises en considération ;
- La qualité des matériaux existants est prise en considération ;
- La production d'électricité par panneaux solaires ou photovoltaïques est un plus, tout comme le solaire thermique pour la production d'ECS.

Critères supplémentaires considérés pour les bâtiments non résidentiels

Les critères suivants, spécifiques à l'estimation de la valeur immobilière des bâtiments tertiaires, ont été pris en compte pour les établissements scolaires et les bureaux (neuf et rénovation) :

- La réversibilité et/ou l'évolution, la modification de fonction possible du bâti dans le temps, par le biais des techniques, des volumes ou de son architecture est prise en considération ;
- La facilité de maintenance des techniques ;
- Les coûts d'entretien.

2.2.8. Coûts des mesures d'amélioration

Deux bases de données Excel des coûts ont été utilisées pour constituer les fichiers XML des coûts intégrés au COT, l'une pour la rénovation des bâtiments résidentiels et non résidentiels existants, l'autre pour les bâtiments résidentiels et non résidentiels neufs.

Ces bases de données des coûts ont été alimentées, discutées, puis validées avec les représentants du secteur de la construction durable, sous l'égide du cluster **Cap2020** qui a organisé les consultations sectorielles nécessaires à cette fin.

Ces bases de données sont structurées en 3 blocs :

- Des mesures d'amélioration de l'Enveloppe (isolation des parois, remplacement des châssis, amélioration de l'étanchéité à l'air...). Détail voir Annexe B :
- Des mesures d'amélioration (remplacement) des systèmes HVAC et d'éclairage. Détail voir Annexe C :
- Des groupes constructifs au niveau de l'enveloppe, qui permettent d'atteindre une même valeur U selon différentes méthodes constructives (ex : isolation par l'intérieur, par l'extérieur, dans la coulisse), présentant des coûts différents. Détail voir Annexe D :

Les **coûts respectifs** des mesures d'amélioration au niveau de l'enveloppe, des groupes (techniques ou choix constructifs) et des systèmes de chauffage, de production d'ECS, de ventilation, de refroidissement et d'éclairage sont répertoriés dans les tableaux Excel suivants :

- Bâtiments (PER/PEN) existants : ID_PR109008_COT_BD_Couts_Sys-Env-Gr_20171129_PER_PEN_existant.xls
- Bâtiments (PER/PEN) neufs : ID_PR109008_COT_BD_Couts_Sys-Env-Gr_20171129_PER_PEN_neuf.xls

2.2.9. Coûts Opérationnels (OPEX)

Les frais d'exploitation et de maintenance sont calculés comme un pourcentage de l'investissement consacré annuellement à l'entretien des systèmes considérés. Ces coûts sont actualisés sur la période d'évaluation. Les coûts liés à l'exploitation et à la maintenance sont pris en compte pour les différentes mesures sur leur durée de vie respective. Ces coûts sont estimés sur base de la norme EN 15459, d'études de cas ou d'expertises techniques pour les techniques non-référencées dans la norme. (Voir annexe 9.5 du rapport final de l'étude CO-ZEB 2013 Pour plus de détails).

Tableau 11 Coûts de maintenance des différents systèmes HVAC considérés dans l'études

Description	% du coût d'investissement	remarque - Justification
Maintenance chaudière au gaz	1,50%	EN15459:2007 - boiler direct evacuation: 1-2%
Maintenance chaudière au gaz à condensation	1,50%	EN15459:2007 - boiler condensing: 1-2%
Maintenance chaudière à la biomasse	1,50%	EN15459:2007 - boiler direct evacuation: 1-2%
Maintenance PAC sol-eau	2,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance sonde géothermique	-	Considéré inclus dans maintenance PAC
Maintenance PAC eau-eau	2,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance PAC air-eau	3,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance PAC Air-Air	3,00%	EN15459:2007 - heat pumps: 2-4%
Maintenance Cogénération	7,50%	Étude de cas – 3E
Maintenance réseau de chaleur	-	aucune source disponible
Maintenance machine frigorifique à compression	4,00%	EN15459:2007
Maintenance regulation chaud-froid	3,00%	EN15459:2007 - control equipment: 2-4%
Maintenance Radiateurs	1,50%	EN15459:2007 - radiators: 1-2%
Maintenance chauffage sol	2,00%	EN15459:2007 - water floor heating
Maintenance aérothermes	4,00%	EN15459:2007 - fan coil units
Maintenance Distribution chauffage et refroidissement	-	Inclus dans les coûts de maintenance du système d'émission
Maintenance éclairage	5,00%	Étude de cas – 3E
Maintenance des systemes de ventilation	4,00%	Étude de cas – 3E
Maintenance Installation PV	1,55%	Étude de cas 3E –

2.3. Définition des bâtiments de référence

Le Règlement Délégué de l'UE n°244/2012 établissant un cadre méthodologique comparatif de calcul des niveaux optimaux en fonction des coûts des exigences minimales en matière de performance énergétique des bâtiments et éléments de bâtiment précise que : « pour chaque catégorie de bâtiment il convient de définir au moins un bâtiment de référence pour les bâtiments neufs et au moins deux bâtiments de référence pour les bâtiments faisant l'objet d'une rénovation importante ».

L'étude CO-ZEB originale (2012-2013) et le complément d'étude effectué en 2014-2015 visaient à définir des typologies représentatives du parc de bâtiments afin de répondre à l'article 4 de la Directive Efficacité Énergétique concernant la stratégie de rénovation du parc immobilier à long terme.

Les bâtiments de références repris dans cette étude sont, pour la plupart, issus des études Cozeb précédentes. Ceux-ci ont été présentés aux représentants du secteur de la construction qui ont validé certains d'entres-eux en apportant parfois des modifications au niveau des systèmes équipant les bâtiments ou au niveau de la composition de leurs parois.

Le secteur a également souhaité ajouter d'autres bâtiments représentatifs des typologies constructives en Wallonie.

Suite aux entretiens avec les représentants du secteur de la construction, une quarantaine de bâtiments ont été retenus comme bâtiments de référence pour les analyses cost optimum, soit :

- 13 habitations existantes
- 8 habitations neuves
- 6 immeubles à appartements existants
- 1 immeuble à appartements neuf
- 5 bureaux existants
- 1 bureau neuf
- 4 établissements scolaires existants
- 2 établissements scolaires neufs

Chaque bâtiment est représentatif d'une typologie constructive et affiche une certaine représentativité au sein de son segment (estimée en % du total), afin de pouvoir tirer des conclusions pour l'ensemble du parc.

2.3.1. Méthodes et formules de dimensionnement

Les méthodes et formules utilisées pour dimensionner les producteurs de chaleur et de froid utilisés par le COT sont décrites de manière succinctes dans des documents séparés.

- Choix et combinaisons des systèmes de production – Non Résidentiel
- Choix et combinaisons des systèmes de production – Résidentiel Collectif ;
- Choix et combinaisons des systèmes de production – Résidentiel Unifamilial.

2.4. Mesures - Variantes - Combinaisons - Groupes

2.4.1. Terminologie

Les principaux termes utilisés dans l'outil et dans la suite du rapport sont brièvement expliqués ci-dessous (la liste complète des mesures d'amélioration au niveau de l'enveloppe est reprise en Annexe B ; la liste complète des mesures de remplacement des systèmes est reprise à l'Annexe C :

Mesure : modification (amélioration) de la performance énergétique d'un élément de bâtiment

- Ex : Mur U 0,20 W/m²K → M0.20

Variante : combinaison fixe de mesures d'amélioration (enveloppe et/ou système)

- Ex1 : Variante 1 ⇒ appliquer M0.20 à tous les éléments de type « Mur »
- Ex2 : Variante 2 ⇒ combiner M0.25 – v1.1 – ccgaz
- Ex3 : Variante 3 ⇒ T0.24 – S0.35

Combinaison : combinaison de variantes fixes. Exemple :

EA 2(Etanchéité 2), Mur 0.20(ME0.20), Plancher 0.15(PIsol0.15), Toiture 0.20(T0.20), Ventilation D(Système de ventilation [zv12]), Vitrage 1.1/0.63(V1.1/0.63-bois existant) (F3,M3,T2)

Combinaisons des variantes EA 2, F3, M3, T2, S4 et Ventilation D, comprenant les mesures d'amélioration respectives suivantes :

- **EA 2** : une étanchéité à l'air de 2 m³h/m² de l'enveloppe ;
- **F3** : remplacement du vitrage par un double vitrage U1.1, g 0.63 dans un châssis bois existant ;
- **M3** : isolation des murs en contact avec l'extérieur (ici au niveau U0.20),
- **T2** : isolation de la toiture au niveau U0.20 ;
- Ventilation D : remplacement du système de ventilation par un système de ventilation double flux avec récupérateur de chaleur ;
- **S4** : isolation des planchers au niveau U0.15

Groupe : choix ou technique constructive au niveau de l'enveloppe, permettant d'atteindre la mesure d'amélioration (ex : U de paroi) à un coût déterminé :

Ex : pour M0.20 :

- Groupe M2 : Isolation par l'extérieur + crépi pour les murs pleins
- Groupe M2 : Isolation par l'extérieur + crépi pour les murs creux
- Groupe M3 : Isolation par l'extérieur + brique pour les murs pleins
- Groupe M4 : Isolation par la coulisse pour les murs creux

Chaque groupe constructif permet d'atteindre différents U.

Exemple : M3 correspond à une technique constructive (isolation par l'ext + brique) et peut atteindre différentes valeurs U (0,24, 0,20 ou 0,15 W/m²K).

2.4.2. Mesures d'amélioration

Pour les bâtiments neufs (à construire), les mesures d'amélioration de l'enveloppe et des systèmes, appliquées à l'étude portent sur les exigences de performance minimum en vigueur en termes de déperdition thermique maximale au niveau des parois (U_{max}) reprises au Tableau 3, d'isolation de l'enveloppe (K), de

consommation spécifique d'énergie primaire (Espec) (PER uniquement) et de ratio de consommation d'énergie primaire (Ew).

Pour les bâtiments existants, les mesures d'amélioration de l'enveloppe et des systèmes, appliquées à l'étude portent sur les exigences de performance minimum en vigueur en termes de déperdition thermique maximale au niveau des parois (Umax), et sur une indication de consommation spécifique d'énergie primaire (Espec) (PER uniquement) et de ratio de consommation d'énergie primaire (Ew).

Le niveau cost optimum de chacune de ces exigences est vérifié et présenté au chapitre 4 Analyse des résultats.

A noter : Pour ce qui est des systèmes seuls les rendements des systèmes de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire de climatisation et de ventilation ont été pris en compte dans l'étude.

Les variantes consistent en une (sélection de) mesure(s) d'amélioration validée(s) par le secteur.

L'application de ces variantes se traduit dans un premier temps par le remplacement des éléments correspondant dans le calcul de la PEB du fichier de base par des éléments de l'enveloppe affichant différents niveaux de performances (ex : pour les parois : U 0,30, U0,24, U0,20 U0,15).

Dans un second temps la combinaison de ces variantes avec d'autres variantes permet de remplacer les systèmes HVAC encodés dans le fichier de base. Dans une logique visant à d'abord limiter les besoins en énergie, nous avons pris le parti de travailler en priorité sur l'amélioration de l'enveloppe et de la ventilation pour améliorer ensuite la performance des systèmes.

Certaines variantes regroupent plusieurs mesures d'amélioration afin de répondre à la réalité du terrain et/ou aux limites de combinaisons de l'outil. Par exemple, le remplacement des châssis est toujours effectué ensemble avec le remplacement des portes.

Afin de répondre à la demande de la CE, toutes les parois de même type sont regroupées dans une même variante. Tous les murs sont par exemple regroupés dans la variante **U Mur 0,24**, sans distinction de leur environnement spécifique.

En poursuivant cette même logique constructive, le remplacement du vitrage seul n'est testé que sur des châssis double vitrage existant. En effet, placer un double vitrage neuf dans un ancien châssis qui ne comprend qu'un simple vitrage ne constitue pas une mesure d'amélioration durable, Ce type de mesure est donc écarté des combinaisons du COT.

Toutes les variantes enveloppe répertoriées en Annexe B :sont systématiquement sélectionnées. Chaque variante Enveloppe est testée seule et en combinaison avec les autres variantes.

Dans les bâtiments existants, une même variante d'amélioration de la performance peut présenter différents coûts en fonction du groupe constructif. Exemple : Différentes techniques d'isolation (par l'intérieur, par l'extérieur...) permettent d'atteindre un même U de paroi.

Pour les bâtiments neufs, la technique constructive utilisée pour les variantes est identique à celle du bâtiment de base, de manière à conserver la représentativité de la typologie du bâtiment (ex : sur un bâtiment de référence à ossature bois, la technique constructive utilisée pour la variante sera également l'ossature bois). Un même type de logement unifamilial neuf se décline ainsi en trois groupes constructifs afin de comparer les coûts d'amélioration des performances spécifiques à chacune des techniques de construction (maçonnerie traditionnelle (mur creux) / maçonnerie avec crépi sur isolant (mur plein) / ossature bois).

Le choix de ces techniques a été validé par le secteur dans le respect de transformations/ constructions garantissant la prise en compte des problématiques spécifiques à chacune de ces techniques (tels que les risques de condensation par exemple).

Au niveau des systèmes, les principaux producteurs de chauffage et d'eau chaude sanitaire font l'objet d'une variante spécifique. Les systèmes solaires thermiques sont dimensionnés selon la taille du bâtiment de référence et l'usage de ce dernier.

Exemple : Pour un logement de 2 chambres (+/- 3 occupants) avec une demande d'eau chaude sanitaire normalisée, l'installation de plus de 6 m² de capteurs solaires n'est pas considérée.

Au niveau des combinaisons de systèmes, seules les combinaisons les plus courantes sont analysées.

Exemple : une production d'eau chaude sanitaire instantanée avec un chauffe-eau au mazout est écarté de l'analyse.

La liste des **mesures** d'amélioration **Enveloppe et Systèmes** appliquées aux bâtiments de référence est disponible en Annexe B : et en Annexe C :

2.5. Variantes sélectionnées pour les remplacements dans la PEB

Les variantes sont regroupées par catégorie de mesures (enveloppe / systèmes) et de bâtiments (résidentiel/non résidentiel, neuf/existant).

La liste complète de toutes les mesures d'amélioration de l'enveloppe thermique des bâtiments est disponible en Annexe B .:

La liste complète de toutes les mesures d'amélioration des systèmes HVAC & éclairage des bâtiments est disponible en Annexe C .:

Les variantes sélectionnées pour créer les combinaisons et générer les calculs de coûts sont décrites dans un fichier Excel séparé (COT – Sélection des variantes).

2.6. L'outil de calcul Cost optimum (COT)

L'outil informatique développé (le COT) utilise le moteur de calcul, l'arborescence et les données de la version 8.5.3 du logiciel PEB pour estimer la performance énergétique des bâtiments analysés. Chaque combinaison de mesures d'amélioration (enveloppe et/ou système) est associée à un ou plusieurs coûts (selon le choix constructif) extraits d'une base de données. Les résultats de calcul sont présentés sous forme de graphiques et de tableaux.

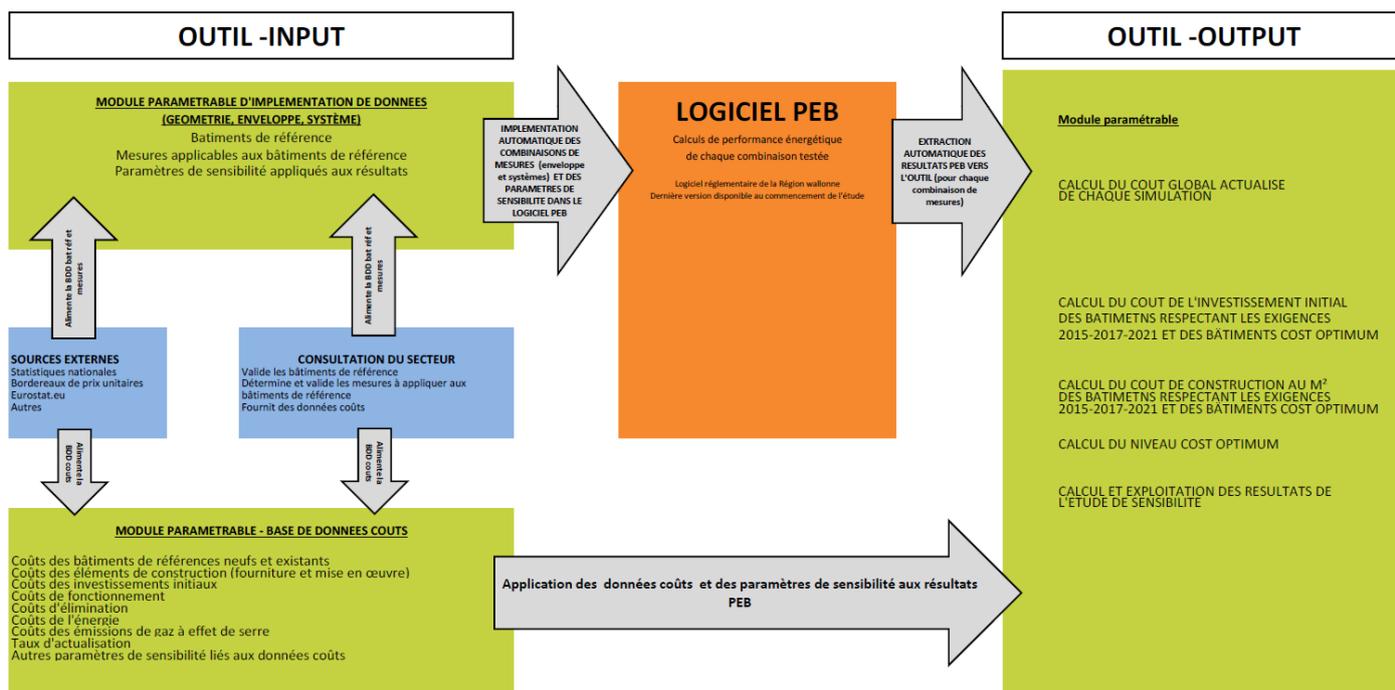
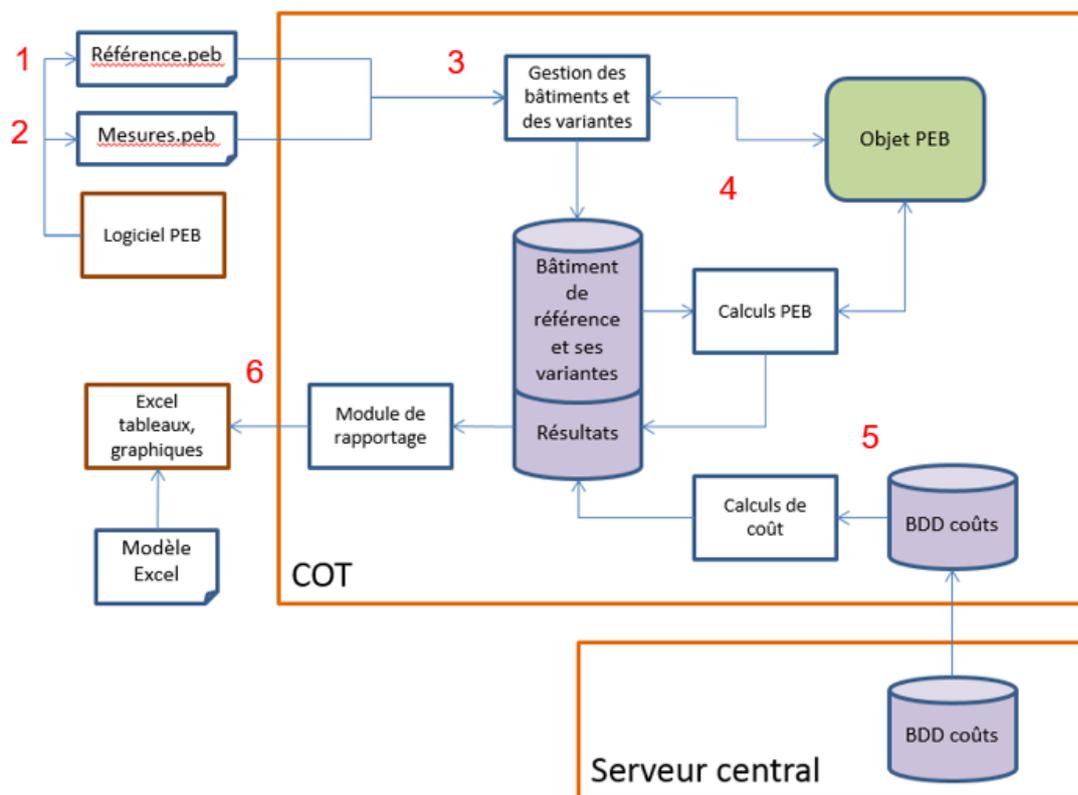


Figure 3 vue d'ensemble des données d'entrée et de sortie de l'outil COT en lien avec le logiciel PEB

Cet outil de calcul automatisé des exigences de performance énergétique coût optimum des bâtiments et développé en langage Java. Il est constitué de différents modules de calcul reliés entre eux et de bases de données associées. Les remplacements d'éléments de l'enveloppe ou de systèmes sont effectués directement dans le logiciel PEB (version 8.5.3) à l'aide d'une interface de programmation (API) selon le schéma de principe suivant :



2.6.1. Principe du calcul automatisé des coûts

Pour calculer le coût d'amélioration de la performance énergétique d'une ou plusieurs parois du bâtiment, le COT remplace automatiquement la ou les parois dans le fichier PEB du bâtiment de référence par la ou les parois sélectionnées par l'utilisateur, avec le niveau U correspondant à l'exigence à vérifier.

Calculer le coût des parois

Groupe	Eléments dans la coût	Eléments dans la coût	Prix (€)	par
Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par collage	préparation de la surface	préparation de la surface		
	Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par collage	dépose parement	28,67	m ²
	Parement extérieur - crépi sur isolation collée	enlèvement isolant + crépis	23,26	m ²
Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par fixations méca	préparation de la surface	enlèvement brique parement	25,23	m ²
	Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par fixation méca	enlèvement béton légèrement armé	28,77	m ²
	Parement extérieur - sur ossature	enlèvement béton armé	391	m ²
		Meulage ébavurage époussetage de surface à enduire	8,37	m ²
Isolation extérieur/murs/briques	préparation de la surface	Isolation par l'extérieur/dans l'ossature pose par collage		
	Isolation extérieur/murs/briques	mortier de fixation	3,82	m ²
		Maille de fibre de verre	2,89	m ²
		Isolant		
		Lambda	0,033	W/mK
		≤ 10cm	4,16	cm/m ²
		Main d'œuvre	2,83	cm/m ²
		Isolant		
		Lambda	0,033	W/mK
		10 cm ≤ 15 cm	2,92	cm/m ²
		Main d'œuvre	1,18	cm/m ²
		Isolant		
		Lambda	0,033	W/mK
		15 cm ≤ 20 cm	2,31	cm/m ²
		Main d'œuvre	1,2	cm/m ²

Le coût dépend du groupe, par défaut tous les groupes sont calculés

L'épaisseur est calculée sur base de l'amélioration de la valeur U

Pour calculer le coût du remplacement d'un ou plusieurs systèmes de chauffage, ECS, refroidissement, le COT remplace automatiquement le producteur de référence par le ou les producteurs sélectionnés en variante et calcule le coût associé, compte tenu des modifications éventuelles au niveau de la distribution et/ou de l'émission.

Calculer le coût des systèmes de chauffage

GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION			
GENERATOR_FUEL_TYPE FUEL_GAS			
puissance (kW)	rendement / COP (%)	Prix (€)	
107	107	9.432,00	
93	107	8.905,00	
86	107	8.624,00	
73	107	8.063,00	
63	107	7.591,00	

Le coût dépend de la puissance, du rendement et du vecteur énergétique

GENERATOR_TYPE_ELECTRICAL_HEAT_PUMP			
SOURCE_CHALEUR SOL			
puissance (kW)	rendement / COP (%)	Prix (€)	
107	3,1	21.947,21	
93	3,1	20.610,84	
86	3,1	19.900,81	
73	3,1	18.492,01	
63	3,1	17.310,91	

PAC: Le coût dépend de la puissance, du rendement et de la source de chaleur

2.6.2. Interface utilisateur

Le COT propose une série de menus et une arborescence inspirée de celle du logiciel PEB

L'onglet information générale affiche des données de base relative à :

- La nature des travaux, la destination du bâtiment, la technique constructive (le cas échéant),
- L'année de construction, la valeur de référence du bien estimée par l'expert immobilier¹⁰,
- Le niveau d'exigence PEB par rapport auquel le cost optimum est calculé
- Les hypothèses d'évolution du prix de l'énergie et le taux d'actualisation considéré en fonction de la méthode de calcul du cost optimum.

¹⁰ Olivier Luxen. RingLing sprl. Gestion et développement de projets immobiliers.

Nom:	BUE3
Nature des travaux:	Rénovation
Destination:	Tertiaire
Calculer les coûts pour les groupes optionnels:	Oui
Type de murs:	Creux
Technique constructive:	-
Année de construction du bâtiment:	1970
Valeur immobilière estimée du bien:	107.919,00
Exigence Espec bâtiment neuf (kWh/m ²):	
Exigence Ew bâtiment neuf:	69,00
Taux d'évolution du prix de l'énergie (TEP):	1,75 %
Taux d'actualisation pour le calcul financier (TAF):	3,00 %
Taux d'actualisation pour le calcul macroéconomique (TAM):	4,00 %

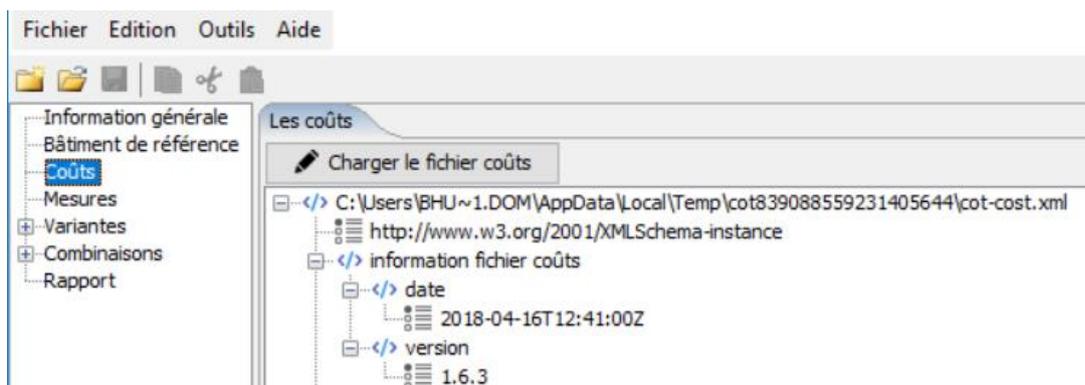
Les données et résultats PEB détaillés relatifs au bâtiment de référence sont disponibles dans l'onglet « Bâtiment de référence » qui comprend lui-même 3 onglets permettant respectivement :

- De charger le fichier peb du bâtiment de référence (fichier de base) pour un projet ;
- D'afficher les résultats PEB du bâtiment de référence
- D'afficher le détail des éléments PEB considérés dans le bâtiment de référence
- D'encoder les données nécessaires aux calculs des coûts (périmètres de fenêtre¹¹, ...)

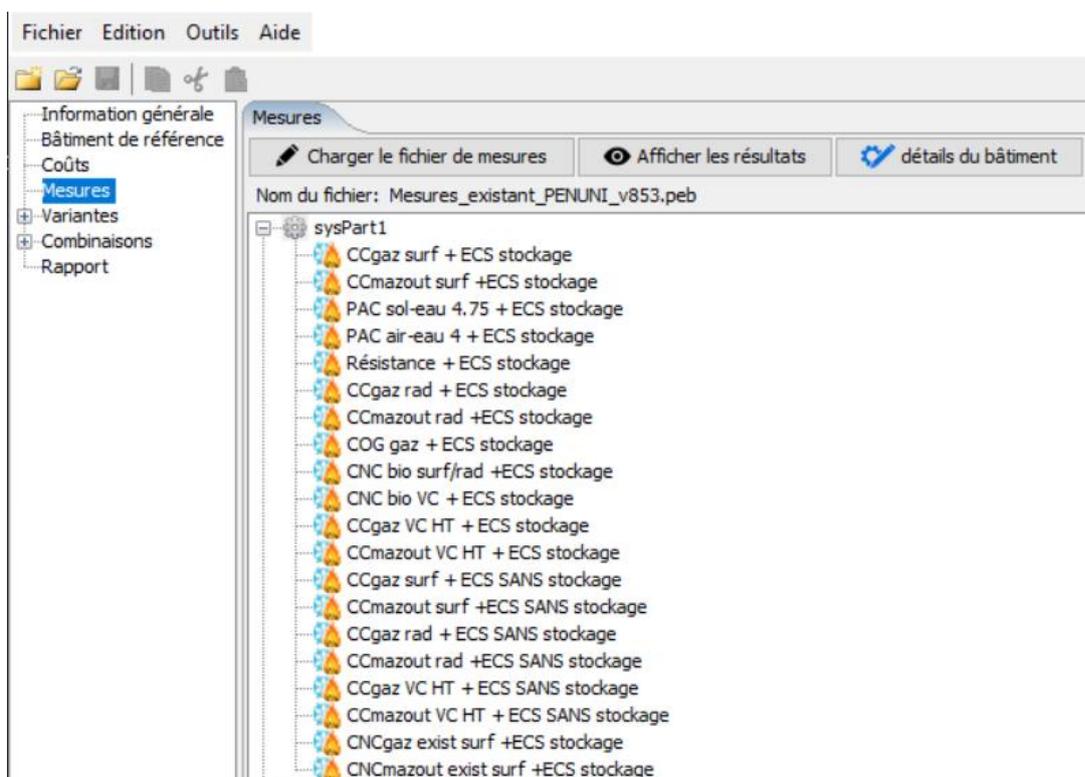
Nom du fichier: PR.109008_COT_BUE3-v853.peb

L'onglet coûts permet de visualiser la version et le détail des hypothèses de coût utilisées par le COT pour le calcul du cost optimum (dans le cas d'un projet en cours) ou de charger le fichier coût correspondant à la nature des travaux (neuf, rénovation) et à la destination du bâtiment (PER/PEN) pour un nouveau projet.

¹¹ Voir manuel de l'utilisateur du COT pour la méthode d'encodage de ces périmètres.



L'onglet Mesures permet de visualiser les mesures individuelles d'amélioration du bâti (remplacements effectués dans le fichier PEB de référence au niveau des éléments de l'enveloppe, des systèmes HVAC et de l'éclairage (PEN uniquement).



L'onglet Variantes permet d'afficher (projet existant) ou de sélectionner (nouveau projet) les combinaisons fixe de mesures d'amélioration de l'enveloppe et/ou des systèmes qui seront combinées automatiquement par le COT.

Cet onglet permet d'ajouter ou supprimer une variante et de (re)calculer une sélection de variantes.

Fichier Edition Outils Aide

Information générale
Bâtiment de référence
Coûts
Mesures
Variantes
Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8
Châssis 1.7/1.0/0.5 +Porte2.0
Châssis 1.7/1.1/0.63 +Porte 2.0
Mur 0.15 + EA 2
Mur 0.20 + EA 2
Mur 0.24 + EA 2
Plancher 0.15
Plancher 0.24
Plancher 0.30
Protection Solaire Ext Auto
Vent D
Ch Bio Rad
Ch Bio VC
Ch Gaz Rad
Ch Gaz VC
Ch Mazout Rad
Ch Mazout VC
Ch PAC air-air 3.2
Ch PAC air-eau rad 4 + CNC gazE
Ch PAC air-eau rad 4 + CNC mazout E
Ch PAC air-eau VC 3.1
Ch PAC air-eau VC 4
Ch PAC sol-eau VC 4.75
Combinaisons
Rapport

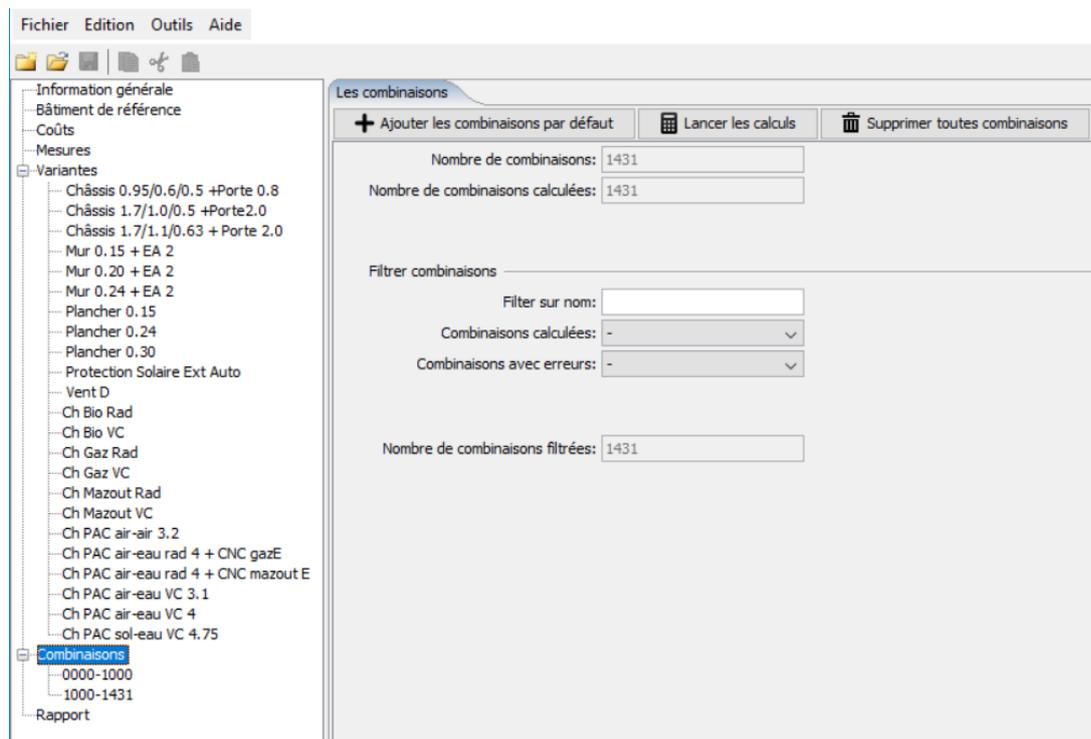
Les variantes

+ Ajouter une variante - Supprimer une variante Calculer toutes les variantes sélectionnées séparément Calculer toutes les variantes sélectionnées

Nom	Chauffage	Fenêtres - Environne...	Murs - Autre espace a...	Murs - Environnement...	Planchers - Cave
Châssis 0.95/0.6/0.5 ...					
Châssis 1.7/1.0/0.5 +...					
Châssis 1.7/1.1/0.63 ...					
Mur 0.15 + EA 2					
Mur 0.20 + EA 2					
Mur 0.24 + EA 2					
Plancher 0.15					
Plancher 0.24					
Plancher 0.30					
Protection Solaire Ext ...					
Vent D					
Ch Bio Rad					
Ch Bio VC					
Ch Gaz Rad					
Ch Gaz VC					
Ch Mazout Rad					
Ch Mazout VC					
Ch PAC air-air 3.2					
Ch PAC air-eau rad 4 + ...					
Ch PAC air-eau rad 4 + ...					
Ch PAC air-eau VC 3.1					
Ch PAC air-eau VC 4					
Ch PAC sol-eau VC 4.75					

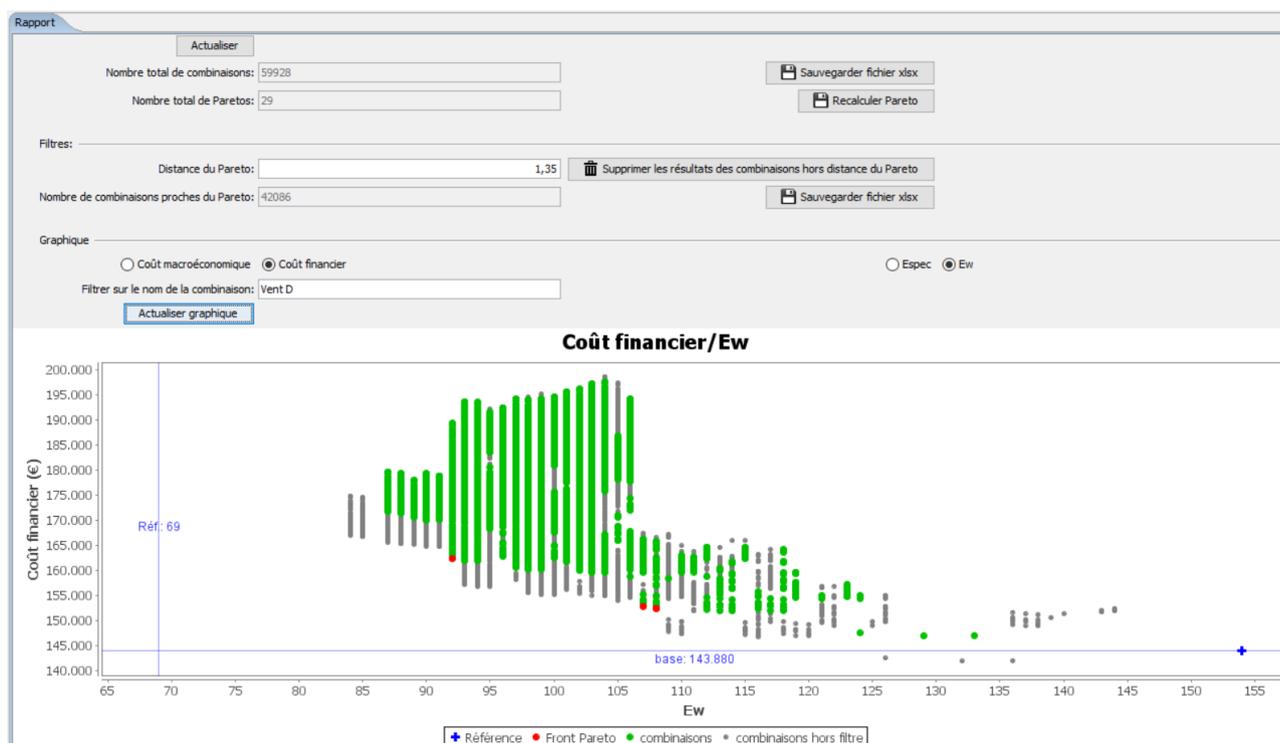
La liste des **variantes** sélectionnées en vue de calculer les combinaisons enveloppe & système est disponible à l'annexe suivante (tableaux Excel) : ID_PR109008_COT_selection_variantes_20180315

L'onglet **Combinaisons** permet de recréer toutes les combinaisons créées par le COT en combinant entre elles toutes les variantes sélectionnées par l'utilisateur, ou de les supprimer. Cet onglet permet également de lancer le calcul des résultats pour chacune des combinaisons. Un filtre permet de calculer uniquement les combinaisons comprenant la mesure d'amélioration sélectionnée.



Finalement, l'onglet Rapport affiche les résultats de calcul du cost optimum sous forme graphique Cet onglet offre de nombreuses possibilités telles que :

- Actualiser le graphique en fonction de la méthode de calcul du CGA,
- Filtrer les résultats sur le nom d'une mesure utilisée dans toutes les combinaisons affichées (les combinaisons hors filtre apparaissent en grisé) ;
- Zoomer sur certaines parties du graphique selon l'un des deux (ou les deux) axes ;
- Filtrer les combinaisons situées à une distance du front Pareto fixée par l'utilisateur (exemple : une distance du Pareto de 1,20 affiche uniquement les combinaisons dont le rapport coût global actualisé/Ew (ou Espec) est inférieur ou égal à 120% de celui des combinaisons situées sur le front de Pareto (points rouges sur le graphique) ;
- Supprimer les combinaisons hors distance du Front de Pareto ;
- Afficher la combinaison cost optimum ;
- Exporter les résultats du calcul des combinaisons dans un fichier Excel.



2.6.3. Limites d'utilisation de l'outil

Le COT ne permet pas :

- De remplacer un système de chauffage décentralisé par un système centralisé, suite à la modification radicale du circuit de distribution, impossible à chiffrer précisément et aux implications lourdes au niveau de la technique du bâtiment
- De remplacer un producteur unique par des producteurs préférentiel / non préférentiel dans le PEN et le PER collectif. Cela est bien possible dans le PER unifamilial ;
- De remplacer un producteur partagé (ex : un système de chauffage/production d'ECS collectif) par des producteurs individuels et inversement
- De combiner différents systèmes de production **de chaleur** renouvelable au sein d'une même variante → toutes les variantes pellet/ST, PAC/ST sont dès lors exclues dans tous les Bâtiments de références
- De créer un nouvel élément. Le fichier de base doit donc par exemple inclure un système solaire photovoltaïque pour lequel toutes les valeurs sont nulles
- De remplacer des parois communes à plusieurs unités (plancher/plafond entre deux appartements par exemple). Notons que ces parois n'ont pas d'influence sur les calculs PEB.

2.7. Limites de l'étude

2.7.1. Au niveau de la méthode

- La méthode de calcul de la performance énergétique des bâtiments non-résidentiels (méthode PEN) est entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2017 et regroupe toutes les catégories de bâtiments autres que les bâtiments résidentiels, y compris les bureaux, services et enseignement (BSE). L'étude ayant démarré avant cette date, les typologies de bâtiments, non-résidentiels analysés selon la méthode PEN en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2017 sont exclusivement des bureaux et des établissements scolaires.
- Conformément au règlement délégué de l'UE, les calculs d'optimalité des coûts sont réalisés selon la méthode réglementaire en vigueur. La consommation d'énergie primaire considérée est calculée par le logiciel PEB, logiciel de calcul de la performance énergétique des bâtiments qui calcule une consommation théorique normalisée. L'écart entre les consommations théoriques calculées par la méthode PEB et les consommations réelles (fonction des utilisateurs) n'est pas pris en compte.

Bien que, dans le cadre de l'étude, l'analyse de sensibilité des paramètres économiques n'ait pas été poussée plus loin que celle strictement demandée par le règlement délégué (taux d'actualisation et évolution du prix de l'énergie), l'outil COT permet de faire varier différents paramètres.

Deux taux d'actualisation ont été utilisés dans les calculs et trois hypothèses de prix de l'énergie. Ces taux d'actualisation (TAF, TAM) et d'évolution des prix de l'énergie (TEP) peuvent être modifiés à volonté par l'utilisateur dans l'onglet Information générale avant de relancer les calculs.

2.7.2. Au niveau des mesures d'amélioration

- Par rapport à l'ensemble des mesures d'amélioration proposées par le secteur lors des consultations, certaines mesures n'ont pas été prises en compte afin de ne pas multiplier le nombre de variantes sélectionnées pour l'étude au-delà d'un certain seuil, afin de contenir le nombre de combinaisons générées par le COT sous la barre des 10 millions ;
- Le nombre de variantes fenêtres et protection solaire a été revu à la baisse ;
- Le type de protections solaires est assigné par défaut selon la destination du bâtiment. Etant donné que l'impact au niveau des calculs PEB est le même quel que soit le mode (automatisé/non automatisé), les protections solaires sont limitées à un mode de fonctionnement par affectation :
 - Extérieure non automatisée pour le résidentiel et les écoles
 - Extérieure automatisée pour les bureaux
- Suivant le même raisonnement, consistant à écarter les mesures qui présentent un risque au niveau de la modélisation ou qui ne fonctionnent pas, les protections solaires intérieures ne sont pas prises en compte car leur impact sur le risque de surchauffe est très limité et elles n'entraînent quasi pas d'amélioration des performances.

2.7.3. Au niveau des coûts

- La variabilité des coûts en fonction de situations particulières (localisation, accès, réglementation urbanistique locale, phasage des travaux...) n'est pas prise en compte.

3. Bâtiments de référence

La finalité essentielle d'un bâtiment de référence est qu'il soit représentatif du parc immobilier type et moyen. Ainsi, les bâtiments de référence définis reflètent aussi fidèlement que possible le parc immobilier wallon, de sorte que la méthode de calcul donne des résultats significatifs.

42 bâtiments de référence ont été analysés au niveau de l'impact des mesures d'amélioration sur :

- Le niveau E_w (PER, PEN) ;
- Le niveau Espec (PER uniquement) ;
- Le coût global actualisé (voir 2.2.2)
- Le coefficient de déperdition thermique (U) des parois modifiées.

Le niveau de performance des bâtiments de référence existants dépend de leur période de construction. On observe des différences notables de qualité de l'enveloppe respectivement avant et après la mise en œuvre de la première (1985) et de la seconde (1996) réglementation thermique.

Les bâtiments de référence neufs analysés dans l'étude respectent les **exigences PEB Wallonne en vigueur en 2014**.

Les unités PEN analysées dans l'étude sont des immeubles de bureaux et des écoles de taille et de géométrie variables. Les bâtiments sont représentatifs du bâti wallon.

Les exigences de niveau E_w relatives aux bâtiments de référence sont calculées au prorata des surfaces des différentes parties fonctionnelles encodées dans les fichiers PEB. En pratique le E_w de référence est assez proche du E_w 65, étant donné la prédominance des fonctions Bureau et Enseignement dans les bâtiments analysés.

Une grille d'analyse des paramètres caractéristiques d'autres catégories de bâtiment non résidentiels (commerces, hôpitaux, hôtels, établissements sportifs, ...) a été réalisée afin de baliser la collecte de données statistiques des typologies PEN représentatives du parc immobilier wallon qui seront intégrées dans les prochaines études cost optimum.

Cette grille d'analyse est annexée au présent rapport sous forme de tableau Excel [PR_PR109008_GrilleAnalyseBat_20171221.xls]

La représentativité (en % du total du segment) des principales typologies de bâtiments de référence sélectionnés pour l'étude est indiquée ci-dessous dans les tableaux.

Les caractéristiques principales de chaque bâtiment analysé dans l'étude sont reprises au chapitre 4 Analyse des résultats. Les bâtiments apparaissant en grisé, présentant des caractéristiques proches d'une typologie analysée, ou des différences peu pertinentes dans le cadre de la présente étude, n'ont pas été analysés en détail.

Les **données constructives détaillées** relatives aux bâtiments de référence sont reprises in extenso dans les **fiches descriptives des bâtiments de référence** répertoriées en Annexe A : .

3.1. Maisons unifamiliales existantes (HE)

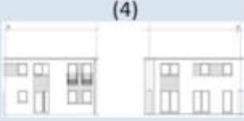
	Maison 4 façades	Maison 3 façades	Maison mitoyenne
< 1945 45%	Maison de type vernaculaire (1)  6%	Maison de type ouvrière, avec passage latéral (2)  4%	Maison de type ouvrière (3)  15%
	Maison villageoise, entre deux guerres (4)  4%		Maison urbaine moyenne (5)  16%
De 1946 à 1970 20%	Villa des premières extensions urbaines (6)  10%		Maison de type bel-étage (8)  4%
	Villa de plein pied, en périphérie de la villa (7)  6%		

De 1971 à 1984	Villa 4 façades, de type lotissement (9)		Maison «sociale», barre de logements (10)
			
15%	12%		3%
De 1985 à 1995	Villa 4 façades, de type lotissement, K70 (11)	Maison 3 façades avec garage latéral, K70 (12)	Maison type bel-étage, K70 (13)
			
10%	6%	2%	2%
De 1996 à 2008	Villa 4 façades, de type lotissement, K55 (14)		Maison ossature bois, type éco-quartier, K55 (15)
			
10%	7%		3%

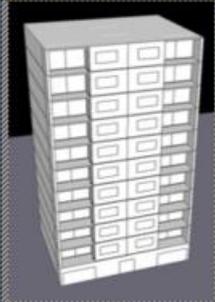
3.2. Maisons unifamiliales neuves (HN)

Trois techniques constructives (3 groupes) sont analysées au niveau des coûts liés à la performance de l'enveloppe des habitations unifamiliales neuves :

- **Maçonnerie traditionnelle** (HN2 T1 ; HN3 T1 ; HN4 T1),
- **Crépi sur isolant** (HN2 T2, HN3 T2, HN4 T2),
- **Ossature bois** (HN2 T3, HN3 T3, HN4 T3).

	Maison 4 façades	Maison 3 façades	Maison mitoyenne
< 2010	(1) 	(3) 	(4) 
	(2) 		
	59%	26,5%	14,5%

3.3. Immeubles à appartements existants (IAE)

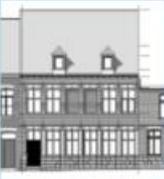
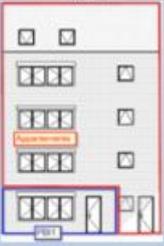
	Immeuble à appartements	Dans une maison ou sur un commerce
< 1919	7,7% [1] 	11,7% [2] [3] 
De 1919 à 1945	6,8%	9,3% [4] 
De 1946 à 1970	 22,0% [5] ...  ... [6]	9,1% [7] 
De 1971 à 1990	11,8% [8]	4,2%

		
Après 1990	14,2% [9] [10] 	3,2%
		
TOTAL	62,5%	37,5%

3.4. Immeubles à appartements neufs (IAN)

Destination et géométrie	Immeuble à appartements	
	Immeuble	
Date de construction		
Après 2008	IAN1	IAN2
	 <p>4 niveaux dont sous-sol, 6 appartements Bâtiment 4 façades de 2014 Sur cave Murs creux, toiture et planchers isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central collectif mazout ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 641 m² VP : 2163,13 m³ Valeur immobilière: 1.098.945 €</p> <p>Ew : de 63 à 69 - moyenne: 66,7 Espec : de 88 à 118 – moyenne : 106,7</p>	 <p>4 niveaux, 20 appartements 2 bâtiment 3 façades de 2014 Sur cave Murs creux, toiture et planchers isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central collectif mazout ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 4m³/h.m² ACH : m² VP : m³ valeur immobilière: 2.585.945 €</p> <p>Ew : entre selon l'app. Espec : entre kWh/m².an selon l'app.</p>

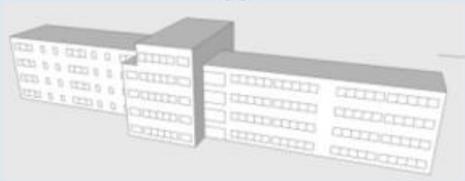
3.5. Bureaux existants (BUE)

IMMEUBLE-DE-BUREAUX	
< 1919	<p>(5)</p> 
1919-1945	<p>(1)</p> 
	(1)+(5)-62,5%
De 1946 à 1970	<p>(2)</p> 
	21-%
De 1971 à 1984	<p>(3)</p> 
	13,5%--

3.6. Bureaux neufs (BUN)

Destination et géométrie	Immeuble de bureaux	
	Immeuble	
Date de construction		
Après 2008	BUN1	
		
	<p>Bâtiment 4 façades 3 niveaux dont parking et locaux techniques au rez-de-chaussée Murs crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz ECS chauffe eau gaz Refroidissement machine à compression Ventilation système D Protection solaire intérieure Etanchéité à l'air 4m³/h.m² ACH : 1431 m² VP : 5503 m³ Valeur immobilière: 3.302.197 € Ew : 70 (Espec : -- kWh/m².an)</p>	

3.7. Etablissements scolaires existants (EE)

Bâtiments scolaires	
< 1919 < 5000 m ²	(1) 
1946-1970 < 5000 m ²	(2) 
1971-1995 5000 < 10000 m ²	(3) 
1946-1970 > 10000 m ²	(4) 

Type de bâtiment	Année de construction ou de grosse rénovation				
	< 1945	1945 - 1995	> 1995	Autres	< 1945
Bâtiments destinés à l'enseignement	74.1% (1)	8.4% (2) + (3) + (4)	15.0%	2.5%	100%

Type de bâtiment	Taille des bâtiments					Total
	< 5.000 m ²	5.000 - 10.000 m ²	10.000 - 15.000 m ²	15.000 - 20.000 m ²	> 20.000 m ²	
Bâtiments destinés à l'enseignement	54,0% [1] + [2]	21,7% [3]	11,1% [4]	7,4%	5,8%	100%

3.8. Etablissements scolaires neufs (EN)

>2008 < 5000 m²	<p>(1)</p> 
>2008 < 5000 m²	<p>(2)</p> 

4. Analyse des résultats

Les résultats des calculs d'optimalité en fonction des coûts sont exprimés sous forme de tableaux et de graphiques dont la forme et le contenu sont standardisés afin de faciliter la lecture et la compréhension des résultats. Les **tableaux et graphiques** sont présentés bâtiment par bâtiment au point **5 Graphiques et tableaux de résultats**.

Une combinaison de mesures d'amélioration située sur le Front de Pareto est une combinaison pour laquelle le COT n'a pu identifier aucune autre combinaison qui soit à la fois plus performante et moins coûteuse en termes de E_W ou de E_{spec} .

Les combinaisons situées sur le Front de Pareto (ou dans son environnement immédiat) permettent de tirer des conclusions, concernant :

- Le type d'amélioration de l'enveloppe thermique
- Le remplacement des systèmes
- Le surcoût lié à certains choix constructifs
- L'écart entre les combinaisons de mesures cost optimum et les niveaux d'exigence fixés par l'administration, exprimé en % du niveau d'exigence.

Afin de faciliter la compréhension des résultats sans alourdir le rapport, l'ensemble des **choix constructifs** correspondant aux différents groupes spécifiés dans chaque combinaison sont décrits en détail à l'**Annexe D :Groupes constructifs** . Il suffit de se reporter à cette annexe pour voir la composition détaillée des améliorations apportées à l'enveloppe, symbolisées par la première lettre de chaque type de parois (F, M, T, S).

Le **coût global actualisé** de chacune des combinaisons de mesures d'amélioration situées sur le Front de Pareto est calculé automatiquement par le COT selon les **deux modes de calcul** (macro-économique et financier), sur base des coûts associés au remplacement des éléments du bâti (enveloppe & systèmes) dans le fichier PEB du bâtiment de référence.

Les résultats ont été analysés dans une perspective de rénovation à long terme du patrimoine immobilier wallon, en phase avec les objectifs et priorités de la stratégie wallonne de rénovation énergétique à long terme des bâtiments soit :

- Priorité à la rénovation de l'enveloppe des bâtiments existants
- Optimisation des combinaisons enveloppe-systèmes dans un second temps
- Résultats en coûts globaux analysés du point de vue macroéconomique (approche la plus pertinente au niveau régional)

Pour un **bâtiment neuf**, l'investissement initial correspond uniquement au surcoût des mesures d'amélioration des performances. Le bâtiment de référence (la base) étant lui-même un nouveau bâtiment, il satisfait déjà aux exigences PEB 2014 en vigueur pour le segment considéré. Par conséquent, si la base n'est

pas déjà cost optimum, le niveau de performance et le coût global actualisé de la combinaison cost optimum sont généralement proches, voire équivalent à celui de la base.

Les graphiques des combinaisons situées sur le Front de Pareto (voir 5 et illustration ci-dessous) présentent un (PEN) ou deux (PER) indicateurs typiques du niveau de performance global du bâtiment : E_w et E_{spec} et leur impact respectif sur le coût global actualisé des mesures d'amélioration enveloppe-systèmes.

Pour chaque combinaison affichée¹², les graphiques reprennent l'indicateur de performance (**PER : Espec ; PEN : E_w** uniquement) en abscisse et le coût global actualisé (**CGA** en ordonnée).

La différence entre le résultat du calcul des niveaux optimaux en fonction des coûts et les exigences minimales actuellement en vigueur est considérée comme importante lorsque ces exigences sont de plus de 15 % inférieures à l'optimum en fonction des coûts.

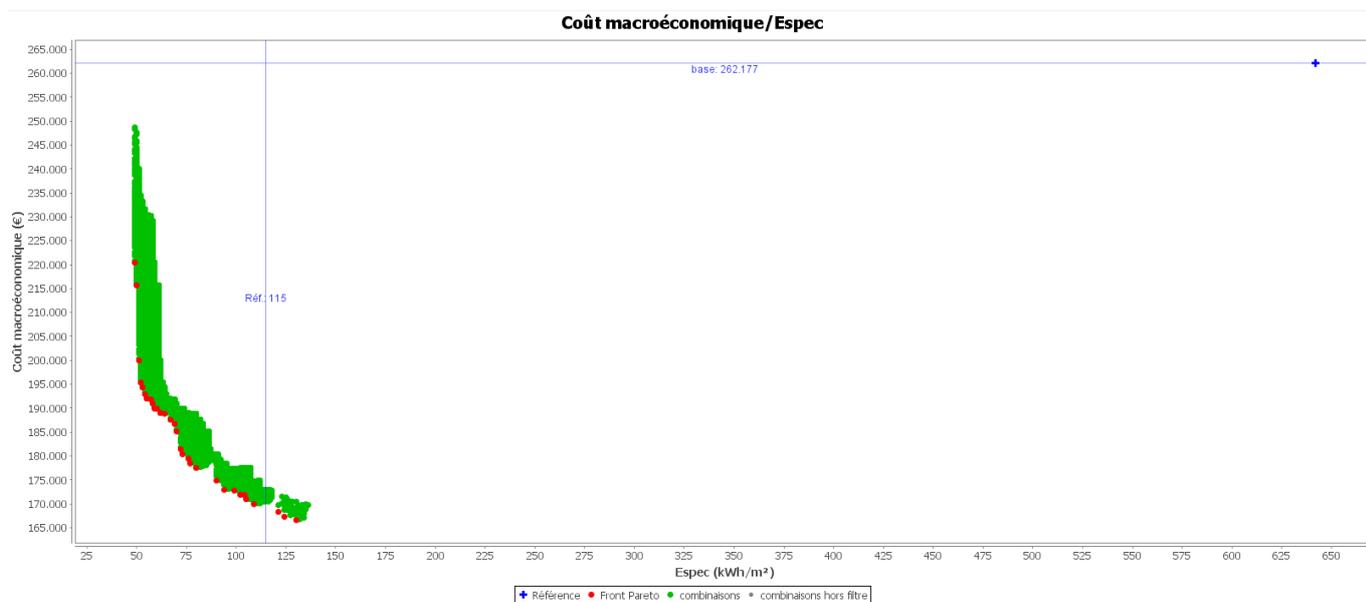
Les combinaisons proches du Front de Pareto ou apparaissant sur le graphique du Front de Pareto qui, à l'analyse, se révèlent techniquement non pertinentes (non viables) ou ne rencontrent pas les critères de confort minimum, sont écartées. Il s'agit notamment des combinaisons où un producteur de chaleur de référence double service (ex : chaudière mixte) est remplacée par un producteur local de type poêle à bois ou à pellets, sans production d'ECS séparée.

Illustration de la méthodologie d'analyse des résultats

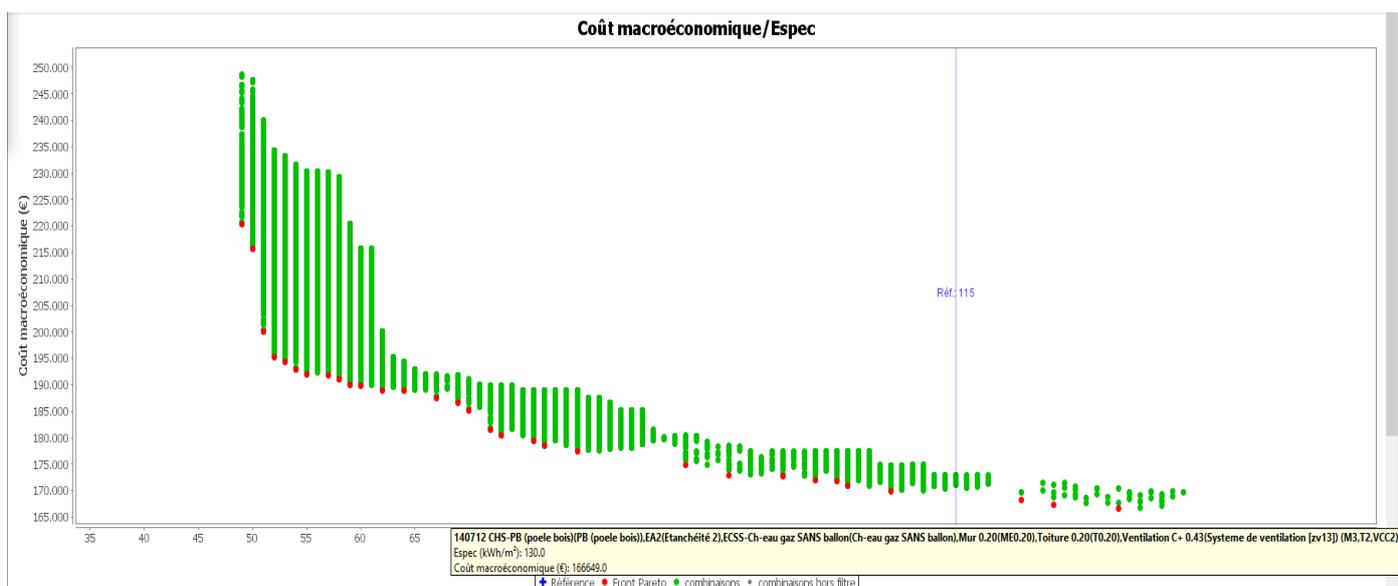
Comme indiqué au point 2.6.2. l'onglet Rapport de l'outil COT affiche les résultats de calcul du cost optimum sous forme graphique et permet notamment d'exporter les résultats du calcul des combinaisons dans un fichier Excel. L'analyse critique des résultats de calculs est effectuée au départ de ces deux supports.

Dans l'exemple ci-dessous (habitation existante HE1), le graphique reprend l'ensemble des combinaisons enveloppe-systèmes situées sur le Front de Pareto (en rouge) ainsi que toutes les combinaisons « proches » situées à une distance inférieure ou égale à 20% du FP. La croix bleue situe le bâtiment de référence (la base), l'axe bleu vertical symbolise le niveau d'exigence en vigueur (Espec dans notre exemple) appliqué aux bâtiments neufs (renseigné à titre indicatif pour les bâtiments existants).

¹² Dans l'étude, les combinaisons affichées sont dans un intervalle de coût de maximum 20% supérieur au CGA des combinaisons optimales situées sur le Front de Pareto.



En zoomant sur la partie du graphique qui nous intéresse, soit le point rouge situé le plus bas sur l'ordonnée correspondant à la combinaison théorique affichant le niveau de performance cost optimum. Le détail de la combinaison apparaît alors dans une fenêtre jaune comme illustré ci-dessous.



La première analyse effectuée sur base de la composition de la combinaison sert à déterminer sa viabilité. En effet le COT calcule automatiquement des centaines de milliers de combinaisons enveloppe-systèmes et affiche les résultats correspondant sur le graphique. Cependant, toutes ne sont pas nécessairement viables. Dans notre exemple la combinaison cost optimum théorique est la n° 140712 : isolation des murs extérieurs et de la toiture au niveau $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$, système de ventilation centralisé à la demande, remplacement de la chaudière de référence au mazout par un poêle à bois, remplacement du boiler électrique produisant l'ECS par un chauffe-eau instantané au gaz et amélioration de l'étanchéité à l'air au niveau $v50 = 2\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

140712 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),EA2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (M3,T2,VCC2) Espec (kWh/m ²): 130.0 Coût macroéconomique (€): 166649.0
--

Cette combinaison est écartée car le U des Fenêtres (5,11 W/m²K ; châssis existant simple vitrage, profilé bois) n'est pas compatible avec le niveau d'étanchéité à l'air considéré. L'analyse se poursuit jusqu'à identifier la première combinaison viable d'amélioration cost optimum située sur le Front de Pareto.

Le COT permettant d'exporter l'ensemble des résultats sous forme de tableaux Excel, la recherche des combinaisons viables est systématisée à l'aide de filtres et de clés de tri automatique des résultats. Ce faisant, l'on identifie rapidement la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas. Dans notre exemple il s'agit de la combinaison n°140907 (F1, M3, P2-P, T2, VCC2) affichant un niveau de performance cost optimum (Espec 109 kWh/m²an) et un CGA macroéconomique de 169.928 €, de 35% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de 70.166 €. Cette combinaison est analysée en détail au point 4.1.4.

COMBINAISON
103828 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
140907 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
base

Ce classement nous permet également d'identifier la base, d'exfiltrer les combinaisons non viables et de mettre en évidence les combinaisons correspondant aux niveaux d'exigences Espec et/ou Ew 2017 et 2021, comme l'illustre le tableau ci-dessous (voir aussi Tableau 53).

COMBIN AISON	U_AVG WIND OW	G_AVG	U_AVG WALL EXT	U_AVG ROOF	U_AVG FLOOR	E_CHAR SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TY PE	HEAT_FINA L_TOTAL_ NEEDS	V50	LEVEL K	LEVEL E	INVESTMENT COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
102304 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	49	3438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	3959	2	16	27	129.657 €	220.382 €	230.156 €
103576 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	50	3438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4065	2	16	28	124.950 €	215.633 €	225.136 €
102415 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	51	3744	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4312	2	17	28	108.831 €	200.001 €	208.592 €
103687 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	52	3744	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4428	2	17	29	104.146 €	195.287 €	203.610 €
103607 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	53	4396	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5198	2	17	29	103.920 €	194.345 €	202.462 €
104151 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	54	4148	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4905	2	18	30	101.170 €	192.919 €	201.155 €
104058 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	55	4806	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5683	2	18	31	100.945 €	191.933 €	199.946 €
103876 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,3	57	5081	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6009	2	20	32	100.448 €	191.825 €	199.861 €
103840 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,24	58	5300	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6267	2	21	32	99.163 €	190.987 €	199.041 €
103802 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	59	5397	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6383	2	21	33	98.116 €	189.948 €	197.908 €
103631 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,3	60	5676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6711	2	22	34	97.619 €	189.855 €	197.843 €
103590 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,24	62	5893	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6969	2	23	34	96.335 €	188.989 €	196.986 €
104045 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,3	64	6172	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7298	2	24	35	95.837 €	188.891 €	196.914 €
145860 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	67	3744	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	6376	2	17	37	93.998 €	187.528 €	197.375 €
145844 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	69	4396	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	7486	2	17	38	93.773 €	186.650 €	196.547 €
145668 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	70	4148	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	7064	2	18	39	90.994 €	185.171 €	195.088 €
103675 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	72	6946	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8214	2	29	40	85.435 €	181.483 €	189.450 €
103597 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	73	7632	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9024	2	29	40	85.210 €	180.383 €	188.072 €
104051 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,81	76	8129	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9613	2	31	42	83.429 €	179.382 €	187.090 €
104007 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	77	8244	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9748	2	31	43	82.382 €	178.495 €	186.162 €
103828 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,81	80	8742	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10337	2	34	44	80.600 €	177.478 €	185.158 €
104015 C	5,11	0,87	0,15	0,2	0,81	90	10309	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12191	2	40	50	75.426 €	174.808 €	182.593 €
103834 C	5,11	0,87	0,2	0,2	0,81	94	10925	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12918	2	43	52	72.597 €	172.899 €	180.652 €
145332 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	99	7632	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	12996	2	29	55	74.839 €	172.785 €	183.505 €
141467 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	102	7556	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	12867	2	31	57	72.194 €	171.944 €	182.887 €
144660 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,81	104	8129	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	13844	2	31	57	73.037 €	171.812 €	182.745 €
141451 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	105	8244	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	14039	2	31	58	71.969 €	170.916 €	181.851 €
140907 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,81	109	8742	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	14887	2	34	60	70.166 €	169.928 €	181.069 €
base	5,11	0,87	2,2	1,76	0,81	642	56231	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	108807	18	171	354	- €	262.177 €	285.691 €

Cette méthode d'analyse et de présentation des résultats est appliquée de façon systématique à chacun des bâtiments étudiés dans la suite.

4.1. HE1 - La maison vernaculaire

4.1.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison rurale à l'architecture vernaculaire Murs pleins en pierres, simple vitrage Rez+1+comble non aménagé, pas de cave Chauffage central mazout Boiler électrique ECS ACH : 183,29 m² VP : 501,28 m³ Valeur immobilière: 77.468 €</p> <p>Niveau K 171 Niveau Ew 354 Espec 642 kWh/m²an</p>	<p>CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R. elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R. elec surf 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R. elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R. elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) Châssis 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 Châssis 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + prot solaire Châssis 1.7/1.0/0.5 +porte 2 Châssis 1.7/1.0/0.5 +porte 2 +prot solaire Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2 Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2 + prot solaire EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Mur 0.20 Mur 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3</p>

	ST6
	Toiture 0.15
	Toiture 0.20
	Toiture 0.24
	Ventilation C
	Ventilation C+ 0.43
	Ventilation C+ 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.1

4.1.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.308** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **390.590** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **32** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.1.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 262.177 €** (184.709 € hors valeur immobilière). Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 12: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
86216 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	164	345	4.963 €	184.953 €	208.195 €
base	5,11	171	354	- €	184.709 €	208.223 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
86219 Mur 0.20(ME0.20) (M3)	0,2	80	205	35.107 €	143.933 €	160.371 €
base	2,2					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
86227 Toiture 0.20(T0.20) (T2)	0,2	133	292	17.049 €	170.055 €	190.756 €
base	1,76					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
86222 Plancher 0.24(PISol0.24) (S4)	0,24	160	336	15.930 €	191.600 €	214.977 €
base	0,81					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 86216; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 86219 ; groupe M3) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 86227; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 86222; groupe S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum

4.1.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (**E_w60**) (**E_{spec} 109 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**169.928 €**), de 35% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de **70.166 €**. Cette combinaison (140907) (F1, M3, P2-P, T2, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste. La pose de nouveaux seuils de fenêtres est comprise dans le groupe M3 (isolation des murs par l'extérieur) décrit ci-dessous ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe M3 comprend l'isolation des murs par l'extérieur à l'aide d'un isolant de type XPS/EPS avec finition en briquettes collées sur l'isolant. Les travaux connexes à une isolation par l'extérieur (adaptation des seuils de portes et fenêtres, modification des corniches/gouttières et rives, ...) sont comptabilisés dans ce poste.
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler la toiture en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante, pose d'un pare-vapeur et d'une finition en plaque de plâtre sur lattage et enduit.
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe (v50= 2 m³/m²h) par rapport à la base (18 m³/m²h) ;
Les travaux au niveau des murs extérieurs, de la toiture et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et

matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;

- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)

L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;

- Producteur de chaleur (chaudière gaz sans condensation) de base, remplacé par un système de chauffage local de type poêle à bois ;
- Producteur ECS de base (boiler électrique) remplacé par un chauffe-eau instantané (sans stockage) au gaz
- BNC (**8.742 kWh/an**) de 84% inférieur à celui de la base (56.231 kWh/an).

4.2. HE2 - La maison type ouvrière 3 façades

4.2.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison construite en ville ou à proximité Murs pleins en briques, simple vitrage Petits volumes, 2 pièces par niveau Annexes à l'arrière Rez+1+comble non aménagé, pas de cave Chauffage local, poêles au gaz Chauffe-eau gaz ECS ACH : 104,27 m² VP : 328,67 m³ Valeur immobilière: 93.203 €</p> <p>Niveau K 174 Niveau Ew 301 Espec 580 kWh/m²an</p>	<p>CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) Châssis 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 Châssis 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + prot sol Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2 Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2 + prot sol Châssis1.7/1.0/0.5 + porte 2 Châssis1.7/1.0/0.5 + porte 2 + prot sol EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 + mit 1.0 Mur 0.20 + mit 1.0 Mur 0.24 + mit 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST4</p>

	Toit et plafond 0.15
	Toit et plafond 0.20
	Toit et plafond 0.24
	Ventilation C
	Ventilation C+ 0.43
	Ventilation C+ 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.2

4.2.2. Combinaisons générées par le COT

- **4.012** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **183.507** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **63** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.2.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 175.589 €** (82.386 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 13: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26886 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	159	282	6.852 €	84.283 €	97.709 €
base	5,11	174	301	- €	82.386 €	96.179 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26891 Mur 0.20(ME0.20) (M3)	0,2	88	179	20.702 €	71.346 €	81.447 €
base	2,29					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26901 Toit et plafond 0.24(PfGr0.24, TP0.24) (H1, T3)	0,24	144	257	7.465 €	78.392 €	90.834 €
base	1,31					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26895 Plancher 0.24(PISol0.24) (S4)	0,24	161	282	12.695 €	90.153 €	103.934 €
base	0,83					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 26886; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 26891; groupe M3) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 26901; groupe H1, T3)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 26895; groupe S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum

4.2.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w69**) (**E_{spec} 133 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**168.922 €**), de 4% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**58.714 €**). Cette combinaison (42571) (F1, H1, M3, M9 , P2-P,T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste. La pose de nouveaux seuils de fenêtres est comprise dans le groupe M3 (isolation des murs par l'extérieur) décrit ci-dessous ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe M3 comprend l'isolation des murs par l'extérieur à l'aide d'un isolant de type XPS/EPS avec finition en briquettes collées sur l'isolant. Les travaux connexes à une isolation par l'extérieur (adaptation des seuils de portes et fenêtres, modification des corniches/gouttières et rives, ...) sont comptabilisés dans ce poste.
- U moyen des murs mitoyens (**1,00 W/m²K**) ;
Le groupe M9 consiste à isoler le mur mitoyen par l'intérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose, entre une structure en bois avec panneau OSB faisant office de pare-vapeur et plaques de plâtre sur lattage technique et enduit comme finition.

- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste.
- U moyen du plafond du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en plaçant un isolant de type laine minérale en pose continue sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux.
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Les travaux au niveau des murs extérieurs, de la toiture, du plancher du grenier et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Producteur de chaleur de base (poêle au gaz) remplacé par une chaudière mixte à condensation au gaz affichant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.
- Producteur ECS de base (chauffe-eau gaz instantané), remplacé par la chaudière mixte à condensation au gaz décrite ci-dessus
- BNC (**9.375 kWh/an**) de 75% inférieur à celui de la base (37.428 kWh/an)
- Consommation finale en énergie pour le chauffage de 81% inférieure à celle de la base (57.592 kWh/an).

A noter : Sur le graphique de la Figure 5, le passage d'un groupe de combinaisons - affichant des Espec compris entre 300 et 350 kWh/m²an - au reste du FP affichant des Espec inférieurs à 165 kWh/m²an. Ce saut est principalement lié à l'isolation des murs extérieurs du bâtiment à un niveau 0,20 W/m²K.

4.3. HE3 - La maison type ouvrière mitoyenne

4.3.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison construite en ville ou à proximité Murs pleins en briques, simple vitrage Petits volumes, 2 pièces par niveau Annexes à l'arrière Rez+1+comble non aménagé, pas de cave Chauffage local, poêles au gaz Chauffe-eau gaz ECS ACH : 104,27 m² VP : 328,67 m³ Valeur immobilière: 92.591 €</p> <p>Niveau K 137 Niveau Ew 229 Espec 382 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + porte 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + porte 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3. 1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3. 1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Murs 0.15 + MI 1.0 Murs 0.20 + MI 1.0 Murs 0.24 + MI 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST4</p>

	Toiture + plafond 0.15
	Toiture + plafond 0.20
	Toiture + plafond 0.24
	Ventilation C
	Ventilation C+ 0.43
	Ventilation C+ 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

4.3.2. Combinaisons générées par le COT

- **10.850** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **313.919** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **115** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.3.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 148.211 €** (55.620 € hors valeur immobilière).
Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 14: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13448 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	118	208	6.852 €	57.528 €	66.756 €
base	5,11	137	229	- €	55.620 €	65.213 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13453 Murs 0.24(ME0.24) (M1)	0,24	102	182	7.176 €	52.116 €	60.465 €
base	2,29					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13461 Toiture + plafond 0.24 (PfGr0.24, TP0.24) (H1,T3)	0,24	99	179	7.465 €	51.712 €	59.967 €
base	1,31					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13455 Plancher 0.24(PISol0.24) (S4)	0,24	121	208	12.695 €	63.416 €	73.002 €
base	0.83					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 13448; groupe F1) ;

- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 13453; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 13461; groupe H1,T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 13455; groupe S4) ;
- Le U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.3.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w108**) (**E_{spec} 179 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**141.673 €**), de 49% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de **25.832 €**. Cette combinaison (37624) (F1, H1, P2-P, T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en plaçant un isolant de type laine minérale en pose continue sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste.
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe (v50= 2 m³/m²h) par rapport à la base (15 m³/m²h) ;
Les travaux au niveau de la toiture, du plancher du grenier et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;

- Producteur de chaleur de base (poêle au gaz) remplacé par une chaudière mixte à condensation au gaz affichant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- Producteur ECS de base (chauffe-eau gaz instantané), remplacé par la chaudière mixte à condensation au gaz décrite ci-dessus ;
- BNC (**13.510 kWh/an**) de 44% inférieur à celui de la base (24.027 kWh/an).

A noter : Dans le cas de cette maison mitoyenne, l'isolation des murs ne fait pas partie des combinaisons les plus proches de celle présentant le niveau de performance cost optimum car les murs extérieurs de cette habitation mitoyenne ne représentent que 12% de son enveloppe.

Au niveau de la base la différence entre la maison trois façades (HE2) et la maison mitoyenne (qui ont exactement le même volume et la même surface de plancher chauffé) s'explique par une surface de déperdition de l'enveloppe plus importante (le pignon fait 75,91 m², soit 23% de l'enveloppe) et une moins bonne étanchéité à l'air pour la maison 3 façades.

Au niveau de la combinaison cost optimum, la seule différence d'intervention est l'isolation des murs qui n'est pas réalisée pour la maison mitoyenne mais bien pour la maison 3 façades.

Tableau 15: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE3 situées sur le FP macroéconomique du Espec

COMBINAISON
37507 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,P2-P,T3,VCC2)
37593 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,H1,P2-P,T3)
37678 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,P2-P,T3,VCC2)
37329 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,H1,P2-P,T3)
37482 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,H1,P2-P,T3)
37569 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,P2-P,T3,VCC2)
37055 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20) (F1,H1,P2-P,T3)
35961 CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz surf (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20) (F1,H1,P2-P,T3)
37849 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,H1,P2-P,T3)
35876 CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz surf (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,H1,P2-P,T3)
35918 CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz surf (+ECS) SANS stock),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (H1,T3)
37709 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.20(PfGr0.2,TP0.20) (F1,H1,P2-P,T3)
36080 CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz surf (+ECS) SANS stock),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (H1,T3)
37624 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CGgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,H1,P2-P,T3)
base

4.4. HE4 - La maison villageoise

4.4.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple et grande Architecture sans ornementation Murs pleins et souvent très épais Simple vitrage Rez+1+comble non aménagé, sur caves Chauffage central gaz Chauffe-eau gaz ECS ACH : 228 m² VP : 727,26 m³ Valeur immobilière: 97.233 €</p> <p>Niveau K 147 Niveau Ew 400 Espec 670 kWh/m²an</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCgaz exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCgaz exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Mur 0.20 Murs 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6

	Toiture 0.15
	Toiture 0.20
	Toiture 0.24
	Ventilation C
	Ventilation C+ 0.43
	Ventilation C+ 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.4

4.4.2. Combinaisons générées par le COT

- **2.674** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **902.098** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **42** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.4.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 301.689 €** (204.456 € hors valeur immobilière). Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 16: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17928 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	134	378	11.284 €	204.501 €	236.686 €
base	5,11	147	400	- €	204.456 €	237.727 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17931 Mur 0.20(ME0.20, Mcave 0.2, Meanc 0.2) (M12,M14,M3)	0,2	85	261	43.813 €	179.019 €	204.049 €
base	1,62					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17940 Toiture 0.24 (PfGr0.24) (H1)	0,24	117	333	11.408 €	182.487 €	211.203 €
base	1,77					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17934 Plancher 0.24 (PICave0.24, PISol0.24) (S1, S4)	0,24	133	369	17.096 €	205.917 €	237.760 €
base	0,95					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 17928; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 17931; groupe M12,M14,M3) ;
- L'optimum **U plafond = 0,24 W/m²K** (combinaison 17940; groupe H1)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 17934; groupe S1, S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du plafond (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum

4.4.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 57**) (**E_{spec} 96 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**219.846 €**), de 27% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**93.611 €**). Cette combinaison (27514) (F1, H1, M12, M14, M3, P2-P, P3-P, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste. La pose de nouveaux seuils de fenêtres est comprise dans le groupe M3 (isolation des murs par l'extérieur) décrit ci-dessous ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
Le groupe P3 consiste à remplacer la porte contre cave comme décrit ci-dessus pour la porte extérieure ;
- U moyen des murs extérieurs (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe M3 comprend l'isolation des murs par l'extérieur à l'aide d'un isolant de type XPS/EPS avec finition en briquettes collées sur l'isolant. Les travaux connexes à une isolation par l'extérieur (adaptation des seuils de portes et fenêtres, modification des corniches/gouttières et rives, ...) sont comptabilisés dans ce poste ;
- U moyen des murs contre cave (**0,20 W/m²K**) ;

Le groupe M12 comprend l'isolation des murs contre cave par l'extérieur (côté cave) à l'aide d'un isolant de type PUR/PIR posé en continu avec finition en plaques de plâtre sur lattage et enduit ;

- U moyen des murs contre espace adjacent non chauffé (**0,20 W/m²K**) ;

Le groupe M14 comprend l'isolation des murs contre EANC par l'intérieur (côté chauffé) en plaçant un isolant de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose, entre une structure en bois avec panneau OSB faisant office de pare-vapeur, plaque de plâtre sur lattage technique et enduit comme finition ;

- U moyen du plafond du grenier (**0,24 W/m²K**) ;

Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut à l'aide d'un isolant de type laine minérale posé en continu sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux ;

- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;

Les travaux au niveau des murs, du plancher du grenier et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;

- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43).

L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;

- Producteur de chaleur de base (chaudière gaz sans condensation) remplacé par une chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- Producteur ECS de base (chauffe-eau au gaz instantané), remplacé par la chaudière mixte à condensation au gaz décrite ci-dessus ;
- BNC (**13.507 kWh/an**) de 79% inférieure à celui de la base (65.796 kWh/an).

4.5. HE5 - La maison urbaine mitoyenne

4.5.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison urbaine du début du 20ème Plus grande que les maisons ouvrières Façade à rue détaillée et ornementée (pierres, loggias, balcons) Murs pleins en briques, simple vitrage Annexes arrières Rez+2+comble non aménagé, sur caves Chauffage central gaz, ECS sur chaudière ACH : 224,65 m² VP : 865,21 m³ Valeur immobilière: 79.907 €</p> <p>Niveau K 151 Niveau Ew 403 Espec 556 kWh/m²an</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCgaz exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCgaz exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3, 1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3, 1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie leger Mur 0.15 + MI 1.0 Mur 0.20+ MI 1.0 Mur 0.24 + MI 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6

	Toit 0.15
	Toit 0.20
	Toit 0.24
	Ventilation C
	Ventilation C+ 0.43
	Ventilation C+ 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.5

4.5.2. Combinaisons générées par le COT

- **7.962** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **290.976** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **99** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.5.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 240.124 €** (160.217 € hors valeur immobilière). Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 17: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26888 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	115	331	29.252 €	160.469 €	182.177 €
base	5,13	151	403	- €	160.217 €	184.722 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26892 Mur 0.24 (ME0.24) (M1)	0,24	101	287	22.198 €	135.947 €	154.551 €
base	2,39					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26901 Toit 0.24 (PfGr0.24, T0.24, TP0.24) (H1, T2,T3)	0,24	121	334	11.476 €	143.994 €	164.840 €
base	2,31					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
26895 Plancher 0.24 (PICave0.24, PISol0.24) (S1, S4)	0,24	144	388	6.776 €	161.048 €	185.027 €
base	0.59					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43W/m²K** (combinaison 26888; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 26892; groupe M1x) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 26901; groupe H1,T2,T3)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 26895; groupe S1,S4).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum

4.5.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 119**) (**E_{spec} 164 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**196.443 €**), de 18% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**67.559 €**). Cette combinaison (42514) (F1, H1, P2-P, T2, T3, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en plaçant un isolant de type laine minérale en pose continue sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux ;
- U moyen de la toiture en pente (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler le toit en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante et placement d'un pare-vapeur et d'une finition en plaques de plâtre sur lattage et enduit ;
- U moyen de la toiture plate (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste ;

- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50}= 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Les travaux au niveau de la toiture, du plancher des combles, des planchers sur cave et sur sol ainsi que des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire de base (chaudière mixte au gaz sans condensation) remplacé par une chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO2 justifiant ce facteur de réduction ;
- BNC (**25.626 kWh/an**) de 54% inférieur à celui de la base (55.867 kWh/an).

A noter :

- Pour ce bâtiment, l'isolation des murs extérieurs ne fait pas partie des améliorations cost optimum ni des combinaisons les plus proches du FP. En effet, les murs extérieurs de cette habitation mitoyenne ne représentent que 19% de la surface de l'enveloppe, ce qui limite l'impact de la mesure.
- La combinaison 42557 située sur le FP est écartée dans la mesure où le niveau d'étanchéité à l'air obtenu ($v_{50}=2\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$) nécessite un système de ventilation pour assurer le confort, la qualité de l'air intérieur et éviter les problèmes liés à l'apparition d'une humidité de condensation sur les parois. La combinaison 42514, qui prévoit un système de ventilation de type C est par conséquent retenue comme la combinaison cost optimum.
- Pour atteindre un niveau Espec inférieur ou égal à $45 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{an}$, il faut s'orienter vers les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire par pompes à chaleur.

4.5.5. Analyse de quelques combinaisons situées à proximité du front de Pareto

Le nombre de bâtiments et la masse de résultats générés ne nous permettent d'analyser les combinaisons proches du FP que pour un nombre limité de bâtiments. La maison urbaine mitoyenne étant bien représentative de son segment, ce type de combinaisons a été analysé plus en détails.

- N°42418 : F1, H1, P2-P, T2, T3, VCC2
 E_w 118 / E_{spec} 162 kWh/m²an / CGA macroéconomique 197.404 € / investissement initial 67.559 €

Cette combinaison reprend les mêmes améliorations que la combinaison cost optimum, avec en plus un renforcement de l'isolation des toitures et plafond au niveau $U\ 0,20\ \text{W/m}^2\text{K}$, pour un surcoût d'investissement de 1.304 € supplémentaire.

- N°42414: F1, H1, P2-P, S1, S4, T2, T3, VCC2

$E_w\ 111 / E_{\text{spec}}\ 152\ \text{kWh/m}^2\text{an} / \text{CGA macroéconomique}\ 199.856\ \text{€} / \text{investissement initial}\ 74.253\ \text{€}$

Cette combinaison reprend les mêmes améliorations que la combinaison cost optimum, avec en plus l'isolation des planchers sur sol et sur cave à un niveau $U\ 0,24\ \text{W/m}^2\text{K}$ pour un investissement supplémentaire de 6.694 €. Le cout macroéconomique de cette combinaison n'est que de 3.413 € supérieur au CGA de la combinaison cost optimum, ce qui justifie l'investissement.

- N°42844: F1, H1, P2-P, S1, S4, T2, T3, VCC2

$E_w\ 103 / E_{\text{spec}}\ 141\ \text{kWh/m}^2\text{an} / \text{CGA macroéconomique}\ 207.381\ \text{€} / \text{investissement initial}\ 85.052\ \text{€}$

Cette combinaison reprend les mêmes améliorations au niveau des systèmes et de l'étanchéité à l'air que la combinaison cost optimum, mais propose une amélioration plus conséquente de l'enveloppe.

Les châssis sont ici en triple vitrage ($U_f = 0,95\ \text{W/m}^2\text{K}$, $U_g = 0,6\ \text{W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$) et les planchers sont isolés de façon à atteindre un U de $0,15\ \text{W/m}^2\text{K}$, alors que les toitures et plafonds sont toujours isolées au niveau $U\ 0,24\ \text{W/m}^2\text{K}$. L'investissement supplémentaire est de 17.493 €, et le cout global actualisé macroéconomique est plus élevé de 10.938 €, mais toujours inférieur au CGA de la base.

- N°42406: F1, H1, M1, M9, P2-P, S1, S4, T1, T3, VCC2

$E_w\ 37 / E_{\text{spec}}\ 51\ \text{kWh/m}^2\text{an} / \text{CGA macroéconomique}\ 254.686\ \text{€} / \text{investissement initial}\ 158.750\ \text{€}$

Cette combinaison reprend les mêmes améliorations au niveau des systèmes et de l'étanchéité à l'air que la combinaison cost optimum, mais propose une isolation de l'enveloppe complète (y compris les murs extérieurs) au niveau $U = 0,15\ \text{W/m}^2\text{K}$. Les châssis sont en triple vitrage ($U_f = 0,95\ \text{W/m}^2\text{K}$, $U_g = 0,6\ \text{W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$). L'investissement supplémentaire est assez conséquent (91.191 €), et le CGA supérieur de 58.243 € à celui de la combinaison cost optimum.

A noter : Le cout global actualisé calculé selon le mode de calcul financier n'est que de 2.000 € supérieur à celui de la base, ce qui du point de vue de l'investisseur ou du maître d'ouvrage pourrait justifier un tel niveau de rénovation, bien qu'il ne soit pas considéré comme cost optimum selon les hypothèses de l'étude.

4.6. HE6 - La villa des premières extensions urbaines

4.6.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe
 <p>Géométrie assez complexe Volumés annexes et jeux de matériaux Rez + combles aménagés, sur caves Murs creux, simple vitrage Chauffage central mazout ECS sur chaudière avec stockage ACH : 123,95 m² VP : 418 m³ Valeur immobilière: 137.349 €</p> <p>Niveau K 175 Niveau Ew 455 Espec 924 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 EA 2 Mur 0.15 Mur 0.20 Mur 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Ventilation C Ventilation C+ 0.43 Ventilation C+ 0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.6

4.6.2. Combinaisons générées par le COT

- **2560** combinaisons de variantes enveloppe proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **609168** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **3** combinaisons enveloppe sont sur le FP.

4.6.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 310.465 €** (173.116€ hors valeur immobilière).
Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 18: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17928 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	160	430	8.799 €	172.118 €	191.859 €
base	5,11	175	455	- €	173.116 €	193.518 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17930 Mur 0.15(ME0.15, Mcave 0.15, Meanc0.15) (M1, M12, M14)	0,15	122	342	26.652 €	156.197 €	172.910 €
base	1,62					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17939 Toit 0.20(T0.20, TP0.20) (T2, T3)	0,2	129	356	19.691 €	154.550 €	171.490 €
base	1,7					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17933 Plancher 0.15(PIcave0.15, PIE0.15) (S1, S5)	0,15	139	379	4.203 €	147.809 €	164.882 €
base	1,62					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 17928; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,15 W/m²K** (combinaison 17930; groupe M1, M12, M14) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 17939; groupe T2, T3)
- L'optimum **U sol = 0,15 W/m²K** (combinaison 17933; groupe S&, S5).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum.

4.6.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 70**) (**E_{spec} 142 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures d'amélioration de l'enveloppe située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**232.093 €**), de 25% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**68.324 €**). Cette combinaison (25384) (F1, M1, M12, M14, P2-P, S1, S5, T2, T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à

l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste. La pose de nouveaux seuils de fenêtres est comprise dans le groupe M1 (isolation des murs par l'intérieur) décrit ci-dessous ;

- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**) ;
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste ;
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler le toit en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante et placement d'un pare-vapeur et d'une finition en plaque de plâtre sur lattage et enduit.
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste ;
- U moyen des murs extérieurs (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M1 consiste à isoler les murs extérieurs par l'intérieur en réalisant une structure bois isolée contre le mur existant. L'isolant est de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose. Un pare-vapeur est placé en continu devant la structure côté intérieur et la finition est en plaques de plâtre avec enduit sur lattage technique. Cette technique d'isolation doit faire l'objet d'une attention particulière afin d'éviter tout nœud constructif défavorable. L'interruption de l'isolant par les planchers massifs existants ou les murs par exemple doit être évitée ;
- U moyen des murs contre cave (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M12 comprend l'isolation des murs contre cave par l'extérieur (côté cave) à l'aide d'un isolant de type PUR/PIR posé en continu avec finition en plaques de plâtre sur lattage et enduit ;
- U moyen des murs contre espace adjacent non chauffé (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M14 comprend l'isolation des murs contre EANC par l'intérieur (côté chauffé) en plaçant un isolant de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose, entre une structure en bois avec panneau OSB comme pare-vapeur, plaque de plâtre sur lattage technique et enduit comme finition ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S1 consiste à isoler le plancher sur cave par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention. Aucune finition côté cave n'est comptée dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur extérieur (au-dessus de l'entrée) (**0,15 W/m²K**) ;

Le groupe S5 consiste à isoler le plancher sur extérieur par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Une nouvelle finition extérieure de type bardage sur lattage est comprise dans ce poste ;

- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Les travaux au niveau des murs, de la toiture et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation D (double flux avec échangeur de chaleur) ;
L'apport d'air neuf dans les locaux secs et l'extraction de l'air vicié dans les locaux humides se font par l'intermédiaire d'un groupe de ventilation double flux relié aux différents espaces par des gaines et bouches de ventilation. Ce groupe est équipé d'un échangeur de chaleur permettant la récupération de la chaleur de l'air humide et chaud extrait et son transfert à l'air neuf entrant. Le rendement de cet échangeur est de 80%, il est équipé d'un by-pass complet pour éviter de réchauffer l'air neuf en été lorsqu'il est nécessaire de refroidir les locaux;
- BNC (**5.098 kWh/an**) de 90% inférieur à celui de la base (51.834 kWh/an)

A noter : pour ce bâtiment, l'analyse du niveau de performance cost optimum a été effectuée uniquement au niveau de l'enveloppe.

4.7. HE8 - La maison bel étage mitoyenne

4.7.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
<div style="text-align: center;">  </div> <p> Maison de type bel-étage avec garage Volumétrie simple avec annexes arrière Mur creux, simple vitrage Rez+1+comble non aménagé, sur garage (hors VP) Chauffage central gaz Chauffe-eau gaz ECS ACH : 126,84 m² VP : 353,11 m³ Valeur immobilière: 106.839 € </p> <p> Niveau K 158 Niveau Ew 325 Espec 555 kWh/m²an </p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC+R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCgaz exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCgaz exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie leger Mur 0.15 + MI 1.0 Mur 0.20 + MI 1.0 Mur 0.24 + MI 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST4 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Ventilation C Ventilation C+ 0.43 Ventilation C+ 0.9 Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.7

4.7.2. Combinaisons générées par le COT

- **2.924** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **282.761** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **72** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.7.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 204.562 €** (97.723€ hors valeur immobilière).
Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 19: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17928 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	139	298	7.397 €	97.623 €	113.427 €
base	5,11	158	325	- €	97.723 €	114.320 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17932 Mur 0.24(ME0.24) (M4)	0,24	142	299	10.149 €	100.673 €	116.814 €
base	0,93					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17941 Toit 0.24(PfGr0.24, T0.24) (H1,T2)	0,24	118	259	7.852 €	87.041 €	101.220 €
base	1,47					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17935 Plancher 0.24 (Pleanc0.24) (S2)	0,24	103	233	2.836 €	74.792 €	87.514 €
base	2,28					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 17928; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 17932; groupe M4x) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 17941; groupe H1,T2)
- L'optimum **U sol = 0,24x W/m²K** (combinaison 17935; groupe S2).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;

- Les U max 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.7.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w **72**) (E_{spec} **123 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**152.089 €**), de 26% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de **27.891 €**. Cette combinaison (45777) (F1, H1, P2-P, S2, T2, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,36 W/m²K**) – $U_f = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $g = 0,50$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler le toit en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante et placement d'un pare-vapeur et d'une finition en plaque de plâtre sur lattage et enduit ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en plaçant un isolant de type laine minérale en pose continue sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux ;
- U moyen du plancher sur espace adjacent non chauffé (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S2 consiste à isoler le plancher sur EANC par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Les travaux au niveau de la toiture, du plancher et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43). L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que

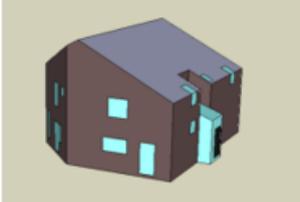
l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation ;

- Producteur de chaleur de base (chaudière gaz simple service sans condensation) remplacé par un poêle à bois.
- Producteur ECS de base (chauffe-eau gaz instantané), remplacé par un chauffe-eau instantané au gaz plus performant.
- BNC (**6.884 kWh/an**) de 78% inférieur à celui de la base (31.239 kWh/an)

A noter : Pour ce bâtiment, l'isolation des murs ne fait pas partie des combinaisons les plus proches du Front de Pareto ; en effet les murs extérieurs de cette habitation mitoyenne ne représentent que 19% de la surface de l'enveloppe. De plus, ces murs extérieurs sont des murs creux avec un bloc en terre-cuite comme élément porteur.

4.8. HE9 - La villa 4 façades de type lotissement

4.8.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
<div style="text-align: center;">  </div> <p>Volumétrie assez simple R + 1mansardé + comble non aménagé Pas de cave Murs creux et toiture très légèrement isolés Simple vitrage Chauffage central mazout Boiler électrique ECS ACH : 220,32 m² VP : 625,22 m³ Valeur immobilière: 216.095 €</p> <p>Niveau K 110 Niveau Ew 245 Espec 423 kWh/m²an</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R. elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Mur 0.20 Mur 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Ventilation C Ventilation C + 0.43 Ventilation C + 0.9 Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.8

4.8.2. Combinaisons générées par le COT

- **4.444** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **875.840** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **60** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.8.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **CGA macroéconomique = 365.322 €** (149.227 € hors valeur immobilière).
Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 20: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17928 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit1) (F1,Ftoit1)	1,43	80	200	23.274 €	146.163 €	164.038 €
base	5,25	110	245	- €	149.227 €	169.146 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17932 Mur 0.24(ME0.24) (M4)	0,24	86	206	27.130 €	153.970 €	173.005 €
base	0,86					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17940 Toit et plafond 0.24 (PfGr0.24, T0.24) (H1,T2)	0,24	96	222	10.891 €	146.655 €	165.604 €
base	0,72					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
17934 Plancher 0.24(PISol0.24) (S4)	0,24	99	227	22.595 €	161.451 €	181.546 €
base	0,73					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43x W/m²K** (combinaison 17928; groupe F1,Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 17932; groupe M4) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 17940; groupe H1,T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 17934; groupe S4).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;

- Les U max 2017 du toit (**0,24 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum

4.8.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 118**) (**E_{spec} 203 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**302.217 €**), de 17% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de **41.452 €**. Cette combinaison (76265) (F1, Ftoit1, H1, P2-P, T2, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – $U_f = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K} / U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,63$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;
- U moyen des fenêtres de toit (**1,45 W/m²K**) – $U_f = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K} / U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,46$;
Le groupe Ftoit1 consiste à placer de nouvelles fenêtres de toit, comprenant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler le toit en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante et placement d'un pare-vapeur et d'une finition en plaques de plâtre sur lattage et enduit ;
- U moyen du plafond du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en posant un isolant de type laine minérale en continu sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux.
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) par rapport à la base ($17 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Les travaux au niveau des murs extérieurs, de la toiture et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de

ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;

- Producteur de chaleur de base (chaudière simple service au mazout) remplacé par un poêle à bois ;
- Producteur ECS de base (boiler électrique), remplacé par un chauffe-eau instantané au gaz ;
- BNC (**23.232 kWh/an**) de 46% inférieur à celui de la base (42.695 kWh/an).

A noter :

- La combinaison 76171 est écartée car l'ajout d'un système de ventilation sans améliorer aucune des parois et donc pas non plus l'étanchéité à l'air de l'enveloppe n'a pas beaucoup de sens, d'autant que le CGA de la combinaison 76265 (cost-optimum) est à peine 1.000 € plus élevé que celui de la 76171.
- Le mode de calcul financier identifie le niveau de performance cost optimum (E_w 83) (E_{spec} 143 kWh/m²an), correspondant à la combinaison (34500) (F1, Ftoit1, H1, P2-P, T2) affichant le CGA financier le plus bas (317.692 €), de 18% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de 52.639 €. Cette combinaison (voir Figure 11) permet d'atteindre une étanchéité à l'air équivalente à 2 m³/h.m² suite au remplacement des châssis et à l'isolation du plafond du grenier et de la toiture en pente. Le Espec (143 kWh/m²an) est inférieur à celui de l'optimum macroéconomique (203 kWh/m²an) suite à l'utilisation d'une chaudière mixte à condensation au gaz et, dans une moindre mesure, à l'absence de consommation associée à la ventilation.

4.9. HE10 - La maison type barre de logement social

4.9.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p> Construite à proximité de grandes villes Dans un groupe d'habitation +/- identiques R + 2, garage au rez hors VP Murs creux et toiture très légèrement isolés Double vitrage Chauffage central gaz Chauffe-eau gaz ECS ACH : 95 m² VP : 259 m³ Valeur immobilière: 90.710 € </p> <p> Niveau K 139 Niveau Ew 274 Espec 499 kWh/m²an </p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCgaz exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCgaz exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) CNC bio rad/VC (+ECS) stock EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R. elec ballon Inertie leger Mur 0.15 + MI1.0 Mur 0.20 + MI1.0 Mur 0.24 + MI1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 V1.1/0.63-PVC existant Ventilation C Ventilation C+ 0.43 Ventilation C+ 0.9 Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.9

4.9.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.038** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **557.865** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **109** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.9.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 274** et un **CGA macroéconomique = 158.636 €** (67.926 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 21: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20488 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	125	257	9.803 €	73.852 €	85.657 €
base	3,06	139	274	- €	67.926 €	79.790 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20491 Mur 0.20(ME0.20, Meanc0.2) (M1, M14)	0,2	93	202	12.709 €	64.452 €	74.601 €
base	1,54					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20501 Toit 0.24(TP0.24) (T3)	0,24	124	251	6.437 €	69.225 €	80.699 €
base	0,94					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20495 Plancher 0.24(PISol0.24, Pleanc0.24) (S2, S4)	0,24	110	227	3.490 €	60.955 €	71.394 €
base	1,64					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 20488; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 20491; groupe M1, M14) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 20501; groupe T3)
- L'optimum **U sol = 0,15 W/m²K** (combinaison 20494; groupe S2,S4).

- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.9.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w **91**), (E_{spec} **166 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**139.871 €**), pour un investissement initial de (**28.911 €**). Cette combinaison (32488) (F1, P2-P, P5-P, S2, S4, VCC2) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – $U_f = 1,7$ W/m²K / $U_g = 1,1$ W/m²K / $g = 0,63$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;
- U moyen des portes extérieures (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
- U moyen des portes contre espace adjacent non chauffé (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P5 consiste à remplacer la porte contre EANC sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.
- U moyen du plancher sur sol (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S4 consiste à isoler le plancher sur sol par le haut à l'aide de PUR/PIR projeté ou en panneaux (y compris la sous-chape dans ce dernier cas). La dépose de la chape et la finition existante ainsi que la réalisation d'une nouvelle chape et la pose d'une nouvelle finition intérieure sont comprises dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur espace adjacent non chauffé (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S2 consiste à isoler le plancher sur EANC par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- Etanchéité renforcée ($v_{50} = 2$ m³/m²h) de l'enveloppe par rapport à la base (14 m³/m²h) ;
Les travaux au niveau des planchers et des châssis permettent d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux

utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art

- Placement d'un système de ventilation de type C centralisé (freduc 0,43) ;
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO2 justifiant ce facteur de réduction ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire de base (chaudière mixte sans condensation au gaz), remplacé par une chaudière mixte gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- BNC (**10.864 kWh/an**) de 47% inférieur à celui de la base (20.618 kWh/an) ;
- Consommation finale en énergie pour le chauffage (**12.847 kWh/an**) de 70% inférieure à celle de la base (43.159 kWh/an).

4.10. HE11 - La villa 4 façades K70

4.10.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple R + 1 mansardé + comble non aménagé Sur vides-ventilés Murs creux, toiture et plancher légèrement isolés, double vitrage Chauffage central mazout Boiler électrique ECS ACH : 165,74 m² VP : 559,16 m³ Valeur immobilière: 202.804 €</p> <p>Niveau K 72 Niveau Ew 172 Espec 309 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 + prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC+R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Mur 0.20 Mur 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 V1.1/0.63-bois existant Ventilation C Ventilation C+ 0.43 Ventilation C+ 0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.10

4.10.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.752** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **485.826** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **76** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.10.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 72** et un **CGA macroéconomique = 286.679 €** (83.875 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 22: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20488 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	66	165	18.565 €	99.339 €	111.585 €
base	2,23	72	172	- €	83.875 €	95.428 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20492 Mur 0.24(ME0.24) (M1)	0,24	55	145	29.850 €	101.583 €	113.509 €
base	0,7					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20498 Toit 0.15(T0.15) (T2)	0,15	62	157	19.361 €	96.348 €	108.254 €
base	0,53					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20494 Plancher 0.24(PIE0.24, Plv0.24) (S3, S5)	0,24	62	156	2.380 €	78.962 €	89.801 €
base	0,76					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 20488 ; groupe F1, Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 20492 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,15 W/m²K** (combinaison 20498; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 20494; groupe S3, S5).

- Le U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.10.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 77**) (**E_{spec} 137 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**257.103 €**), de 10% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**24.190 €**). Cette combinaison (43776) (F3, S3, S5, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,66 W/m²K**) – U_f = 2,36 = existant / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F3 consiste à remplacer uniquement le vitrage d'un châssis existant en bon état, dans ce cas en bois. La dépose et l'évacuation du vieux vitrage est comptabilisée dans ce travail. A noter : les valeurs moyennes des U fenêtres tiennent compte des fenêtres de toit existantes qui ne bénéficient pas d'une amélioration de leur performance selon la mesure décrite ci-dessus. Ceci explique les légères différences de valeurs moyennes U_w et U_g et g dans les résultats ;
- U moyen du plancher sur vides-ventilés (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S3 consiste à isoler le plancher sur vides-ventilés par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- U moyen du plancher sur extérieur¹³ (au-dessus de l'entrée) (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S5 consiste à isoler le plancher sur extérieur par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Une nouvelle finition extérieure de type bardage sur lattage est comprise dans ce poste ;
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe (v50= 2 m³/m²h) par rapport à la base (12 m³/m²h) ;
Sachant que l'habitation a été construite après 1985 et comporte un plafonnage sur tous les murs et en toiture (comble avec finitions), le remplacement du vitrage avec resserrage des joints aux châssis et l'isolation des sols permet d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43).
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de

¹³ Plancher qui a pour environnement l'extérieur ; l'entrée au rez est renfoncée dans le volume protégé une portion du plancher de l'étage est en contact avec l'extérieur

ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;

- Producteur de chaleur de base (chaudière mazout sans condensation) remplacé par une chaudière mixte au gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- Producteur ECS de base (boiler électrique), remplacé par la chaudière mixte ;
- BNC (**15.254 kWh/an**) de 43% inférieur à celui de la base (26.553 kWh/an).

A noter : Cette habitation respecte la première réglementation thermique, K70. Les murs creux bénéficient d'une isolation de 5 cm en laine minérale, la toiture en pente est isolée par 8 cm d'épaisseur de laine minérale, les planchers sont très légèrement isolés par 2 cm de polyuréthane.

Le niveau d'isolation intermédiaire des murs et du toit crée un effet de lock-in qui se traduit par l'absence de combinaisons de mesures d'amélioration des ces deux types de parois sur le Front de Pareto. Autrement dit, aucune mesure d'amélioration de l'isolation des murs extérieurs ou de la toiture n'affiche un CGA inférieur à celui des autres combinaisons proches du FP. Inversement, on observe la présence de combinaisons de mesures d'isolation du plancher sur le FP et dans la combinaison cost optimum. Ceci résulte de la faible isolation du plancher du bâtiment de référence, couplée au faible coût unitaire d'isolation d'un plancher par le bas, (cette opération ne nécessitant aucun cout annexe de type dépose ou ragréage).

4.11. HEI2 - La maison 3 façades K70

4.11.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple, garage annexe hors VP R + 1 mansardé Sur vides-ventilés Murs creux, toiture et plancher légèrement isolés, double vitrage Chauffage central mazout ECS sur chaudière ACH : 105,2 m² VP : 337,11 m³ Valeur immobilière: 111.472 €</p> <p>Niveau K 68 Niveau Ew 155 Espec 287 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CMazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poêle bois) CHS-PP (poêle pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 + MI 1.0 Mur 0.20 + MI 1.0 Mur 0.24 + MI 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 V1.1/0.63-bois existant Ventilation C Ventilation C+ 0.43 Ventilation C+ 0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.11

4.11.2. Combinaisons générées par le COT

- **7.196** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **662.265** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **73** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.11.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 165** et un **CGA macroéconomique= 155.641 €** (44.169 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 23: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20488 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,44	63	149	9.871 €	52.200 €	57.373 €
base	2,23	68	155	- €	44.169 €	49.067 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20492 Mur 0.24(ME0.24, Meanc0.24) (M1, M14)	0,24	50	130	16.113 €	52.773 €	57.784 €
base	0,76					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20499 Toit 0.15(T0.15) (T2)	0,15	59	143	11.642 €	52.365 €	57.588 €
base	0,47					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
20495 Plancher 0.24(Plv0.24) (S3)	0,24	60	144	1.248 €	42.233 €	46.860 €
base	0,6					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,44 W/m²K** (combinaison 20488; groupe F1,Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 20492; groupe M1,M14) ;
- L'optimum **U toit = 0,15 W/m²K** (combinaison 20499; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 20495; groupe S3).

- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum.

4.11.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w **74**) (E_{spec} **136 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**146.694 €**), de 6% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de (**16.353 €**). Cette combinaison (43684) (F3, S3, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,82 W/m²K**) – $U_f = 2,36 =$ existant / $U_g = 1,1$ W/m²K / $g = 0,63$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F3 consiste à remplacer uniquement le vitrage sur un châssis existant (dans le cas présent en bois) en bon état. La dépose et l'évacuation de l'ancien vitrage est comptabilisée dans ce poste.
A noter : les valeurs moyennes des U fenêtres tiennent compte des fenêtres de toit existantes qui ne bénéficient pas d'une amélioration de leur performance selon la mesure décrite ci-dessus. Ceci explique les légères différences de valeurs moyennes U_w et U_g et g dans les résultats ;
- U moyen du plancher sur vides-ventilés (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S3 consiste à isoler le plancher sur vides-ventilés par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe ($v_{50} = 2$ m³/m²h) par rapport à la base (12 m³/m²h) ;
Sachant que l'habitation a été construite après 1985 et comporte un plafonnage sur tous les murs et en toiture (comble avec finitions), le remplacement du vitrage avec resserrage des joints aux châssis et l'isolation des sols permet d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire de base (chaudière mixte au mazout avec un stockage d'eau chaude sanitaire) remplacé par une chaudière mixte à condensation au gaz

ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.

- BNC (**8.929 kWh/an**) de 43% inférieur à celui de la base (15.547 kWh/an)
- Consommation finale en énergie pour le chauffage (**10.559 kWh/an**) de 58% inférieure à celle de la base (25.157 kWh/an)

A noter :

- Cette habitation respecte la première réglementation thermique, K70. Les murs creux bénéficient d'une isolation de 4 cm en laine minérale, la toiture en pente est isolée par 10 cm d'épaisseur de laine minérale, les planchers sont très légèrement isolés par 3 cm de polyuréthane.
- Le niveau d'isolation intermédiaire des murs et du toit crée un effet de lock-in qui se traduit par l'absence de combinaisons de mesures d'amélioration de ces deux types de parois sur le Front de Pareto. Autrement dit, aucune mesure d'amélioration de l'isolation des murs extérieurs ou de la toiture n'affiche un CGA inférieur à celui des autres combinaisons proches du FP. Inversement, on observe la présence de combinaisons de mesures d'isolation du plancher sur le FP et dans la combinaison cost optimum. Ceci résulte de la faible isolation du plancher du bâtiment de référence, couplée à un faible coût unitaire d'isolation d'un plancher par le bas, (cette opération ne nécessitant aucun cout annexe de type dépose ou ragréage).

4.12. HEI3 - La maison mitoyenne bel-étage K70

4.12.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison de type bel-étage avec garage Volumétrie simple avec annexes arrière Mur creux, plancher du grenier et plancher sur sol légèrement isolés Double vitrage -1, Rez + 1 + comble non aménagé Chauffage central mazout ECS sur chaudière ACH : 228,98 m² VP : 598,44 m³ Valeur immobilière: 231.340 €</p> <p>Niveau K 63 Niveau Ew 110 Espec 157 kWh/m²an</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R. elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R. elec surf 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R. elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R. elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie leger Mur 0.15 + MI 1.0 Mur 0.20 + MI 1.0 Mur 0.24 + MI 1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 Toit et plafond 0.15 Toit et plafond 0.20 Toit et plafond 0.24 V1.1/0.63-bois existant Ventilation C Ventilation C + 0.43 Ventilation C + 0.9 Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.12

4.12.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.548** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **326.896** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **55** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.12.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 110** et un **CGA macroéconomique = 284.870 €** (53.530€ hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 24: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10248 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,44	53	99	28.223 €	75.767 €	82.873 €
base	2,23	63	110	- €	53.530 €	59.970 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10251 Mur 0.20(ME0.20, Ms0.20) (M1, M16)	0,2	55	102	12.679 €	62.241 €	69.075 €
base	0,59					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10261 Toit et plafond 0.24 (PfGr0.24, T0.24) (H1, T2)	0,24	61	108	3.976 €	56.379 €	62.923 €
base	0,39					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10255 Plancher 0.24(PISol0.24) (S4)	0,24	59	106	15.693 €	67.324 €	74.527 €
base	0,41					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,44 W/m²K** (combinaison 10248; groupe F1,Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 10251; groupe M1, M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 10261; groupe H1,T2)

- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 10255; groupe S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums

4.12.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 59**) / (**E_{spec} 85 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**279.993 €**), de 2% inférieur à celui de la base, pour un **investissement initial** de **22.054 €**. Cette combinaison (35916) (F3, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,83 W/m²K**) – U_f = 2,36 = existant / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 ;
Le groupe F3 consiste à remplacer le vitrage uniquement sur un châssis existant en bon état, dans ce cas en bois. La dépose et l'évacuation du vieux vitrage est comptabilisée dans ce travail. A noter : les valeurs moyennes U fenêtres prennent en compte les fenêtres de toitures existantes (véranda dans ce cas) qui ne font pas partie de l'amélioration décrite ci-dessus, ce qui explique les légères différences de valeurs moyennes U_w et U_g et g ;
- Etanchéité renforcée de l'enveloppe (v50= 2 m³/m²h) par rapport à la base (10 m³/m²h) ;
Sachant que l'habitation a été construite après 1985 et comporte un plafonnage sur tous les murs et au plafond sous les combles, le remplacement du vitrage avec resserrage des joints aux châssis permet d'atteindre ce niveau d'étanchéité à l'air, moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire de base (chaudière mazout mixte sans condensation avec stockage pour l'eau chaude sanitaire) remplacé par une chaudière mixte gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs ;
- BNC (**11.483 kWh/an**) de 37% inférieur à celui de la base (18.107 kWh/an).

4.13. HE14 - La villa 4 façades K55

4.13.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple R + 1mansardé + comble non aménagé Sur vides-ventilés Murs creux, toiture et plancher isolés, double vitrage Chauffage central mazout ECS sur chaudière ACH : 174,45 m² VP : 479,23 m³ Valeur immobilière: 227.831 €</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4 CHS-PAC air-eau R. elec VC 4 CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1 CHS-PAC air-eau R.elec surf 4 CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1 CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75 CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie leger Mur 0.15 Mur 0.20 Mur 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST6</p>
<p>Niveau K 54</p>	
<p>Niveau Ew 96</p>	
<p>Espec 180 kWh/m²an</p>	

	Toit + plafond 0.15
	Toit + plafond 0.20
	Toit + plafond 0.24
	V1.1/0.63-bois existant
	Ventilation C
	Ventilation C + 0.43
	Ventilation C + 0.9
	Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.13

4.13.2. Combinaisons générées par le COT

- **8.188** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **513.297** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **64** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.13.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 96** et un **CGA macroéconomique = 273.560 €** (45.729 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 25: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10248 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	51	92	16.589 €	60.552 €	66.334 €
base	1,92	54	96	- €	45.729 €	50.726 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10251 Mur 0.20(ME0.20, Meanc0.2) (M1, M14)	0,2	44	84	27.529 €	67.371 €	73.345 €
base	0,49					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
10260 Toit + plafond 0.24 (PfGr0.24, T0.24) (H1, T2)	0,24	53	94	8.296 €	53.129 €	58.517 €
base	0,33					

	U_AVG_ FLOOR	LEVEL_ K	LEVEL_E	INVESTMENT _COST	COST_ MACRO_ECO	COST_FIN
10254 Plancher 0.24(Plv0.24) (S3)	0,24	49	89	1.829 €	44.415 €	49.160 €
base	0,49					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43W/m²K** (combinaison 10248; groupe F1,Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 10251 ; groupe M1, M14) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 10260 ; groupe H1, T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 10254 ; groupe S3).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U max 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimum

4.13.4. Niveau de performance cost optimum E_w / Espec

Le niveau de performance cost optimum (E_w **96**) / (E_{spec} **180 kWh/m²an**), correspond à la base ; les combinaisons théoriques non viables affichées par le COT ayant été écartées, c'est la base qui en définitive affiche le **CGA macroéconomique** le plus bas (**273.360 €**). Cette combinaison de mesures de référence présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,92 W/m²K**)
Les fenêtres en façades sont dotées de double vitrage dans un châssis en bois et affichent les performances suivantes : $U_f = 2,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $U_g = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $g = 0,63$, soit **Uw de 1,92 W/m²K**. S'agissant de murs creux, les fenêtres sont légèrement décalées du bloc porteur et partiellement en contact avec l'isolant. Il n'y a pas de membrane d'étanchéité à l'air sur le pourtour des châssis.
Les fenêtres de toit sont également des châssis en bois avec un double vitrage. Leurs performances sont les suivantes : $U_f = 2,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $U_g = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ / $g = 0,63$, soit un **Uw de 2,02 W/m²K** ;
U moyen des portes extérieures (**4,00 W/m²K**), non vitrées, même matériau que les fenêtres et même type de mise en œuvre.
- U moyen des murs extérieurs (**0,56 W/m²K**) ;
Il s'agit de murs creux composés d'un bloc porteur creux en béton lourd de 19 cm d'épaisseur, d'un isolant en laine minérale (λ 0,045 W/mK) de 6 cm d'épaisseur, d'une lame d'air peu ventilée et d'une brique en terre cuite de 9 cm d'épaisseur.
- U moyen des murs contre espace adjacent non chauffé (**0,27 W/m²K**) ;
Il s'agit de cloisons en ossature bois de 18 cm d'épaisseur avec laine minérale (λ 0,045 W/mK) placée entre la structure et comprenant des panneaux OSB de part et d'autre.

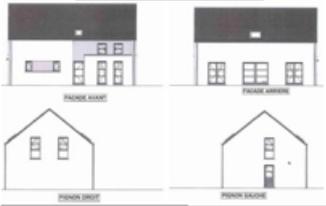
- U moyen du toit (**0,33 W/m²K**) ;
Il s'agit d'une toiture en ossature bois de 18 cm d'épaisseur avec laine minérale (λ 0,045 W/mK) placée entre la structure, une finition intérieure en panneau et une tuile côté extérieur.
- U moyen du plancher du grenier (**0,29 W/m²K**) ;
Il s'agit également d'une structure bois de 18 cm d'épaisseur au sein de laquelle est placée une laine minérale (λ 0,045 W/mK), une finition intérieure en plaques de plâtre et un panneau OSB coté grenier ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,49 W/m²K**) ;
Il s'agit d'un plancher lourd composé de hourdis (y compris chape de compression) avec chape de finition et carrelage à l'intérieur. L'isolation est faite par le bas à l'aide de polyuréthane de 4 cm d'épaisseur, (λ 0,035 W/mK) ;
- Producteur de chaleur/ECS chaudière mixte au mazout, rendement 90%, stockage pour l'eau chaude sanitaire ;
- Système de ventilation de type A, ouvertures d'alimentation et d'évacuation naturelles ;
- BNC (**19.143 kWh/an**);
- Consommation finale en énergie pour le chauffage (**25.424 kWh/an**).

A noter : Ce bâtiment construit à l'époque de la seconde réglementation thermique ne répond pas aux exigences de performance actuelles. Cependant, l'investissement consenti pour isoler les parois de l'enveloppe au niveau exigé au moment de sa construction, combiné à un rendement de systèmes de 90% pour le producteur de chauffage/ECS) font qu'aucune des combinaisons de mesures d'amélioration du bâtiment n'est suffisamment compensée par les économies d'énergie cumulées sur 30 ans après l'investissement pour supplanter la base.

La réflexion au niveau des habitations neuves analysées ci-après est différente, étant donné que les coûts liés à d'éventuels démontages, évacuation, ragréage, adaptation des éléments existants... sont nuls.

4.14. HN2 T1 - Maison neuve 4 façades maçonnerie traditionnelle

4.14.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple R + 1 mansardé + comble non aménagé Sur caves Murs creux, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 180,55 m² VP : 531,28 m³ Valeur immobilière: 282.549 €</p> <p>Niveau K 29 Niveau Ew 65 Espec 119 kWh/m²an</p>	Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 + prot sol Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1 Ch 1.7/1.0/0.5 + prot sol + Ftoit 1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 + Prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toit 0.15 + plafond 0.15 Toit 0.20 + plafond 0.20 Ventil C + 0.43 Ventil C + 0.9 Ventil D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.14

4.14.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.900** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **333.593** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **176** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.14.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 65** et un **CGA macroéconomique = 310.743 €** (28.194 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 26: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13832 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	1,43	27	63	1.097 €	28.671 €	33.100 €
Base	1,68	29	65	- €	28.194 €	32.487 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13835 Murs 0.20(ME0.20, Mcave0.2, Ms0.2) (F1, Ftoit2, M12, M16, M9, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	0,2	28	64	492 €	28.340 €	32.686 €
Base	0,22					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13840 Toit 0.20 + plafond 0.20 (PfGr0.2, T0.20) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	0,2	29	64	33 €	28.112 €	32.394 €
Base	0,20					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13837 Plancher 0.24(PICave0.24, PISol0.24) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	0,24	30	67	863 €	28.102 €	32.329 €
Base	0,15					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 13832; groupe F1,Ftoit2) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 13835; groupe M12,M16,M9) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 13840; groupe T3
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 13837; groupe S1,S12,S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U optimums ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.14.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 35) (E_{spec} 64 kWh/m²an) (K26)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**306.824 €**), pour un investissement initial de **10.251 €**. Cette combinaison (57397) (F1, Ftoit1, M12, M16, M9, P1, S1, S12, S4, T3, VCC2) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – $U_f = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K} / U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,63$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des fenêtres de toiture (**1,45 W/m²K**) – $U_f = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K} / U_g = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,46$ / intercalaire isolant ;
Le groupe Ftoit1 comprend les fenêtres de toit en bois avec la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes extérieures (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe M9 caractérise les murs construits en maçonnerie traditionnelle, c'est-à-dire, composés d'un bloc porteur creux en béton de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant de type PUR/PIR ou laine minérale, d'une lame d'air peu ventilée et d'un parement en brique de terre cuite de 9 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est comprise dans ce poste ;
- U moyen des murs contre cave (**0,22 W/m²K**) ;

Le groupe M12 caractérise les murs construits en maçonnerie et situés contre les caves exclues du volume protégé. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant de type PUR/PIR placé coté cave et d'une finition intérieure en plafonnage. Aucune finition coté cave n'est comprise dans ce groupe ;

- U moyen des murs contre terre (**0,22 W/m²K**) ;

Le groupe M16 caractérise les murs construits en maçonnerie et situés contre les terres extérieures. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 39 cm, d'un isolant de type XPS placé coté extérieur et recouvert d'une étanchéité (cimentage + goudronnage + membrane nopée). Généralement situé dans les espaces techniques, aucune finition coté intérieur n'est comprise dans ce groupe ;

- U moyen du toit (**0,15 W/m²K**) ;

Le groupe T3 caractérise la toiture en pente construite en pannes-chevrons avec isolation de type laine minérale ou cellulose entre la structure et pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage coté intérieur. À l'extérieur on retrouve le pare-pluie, le lattage et contre lattage et la couverture ;

- U moyen du plancher du grenier (**0,15 W/m²K**) ;

Le groupe S12 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure et par le haut. L'isolation en laine minérale ou cellulose est placée entre la structure en bois ; un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage est placé coté intérieur. Dans le grenier, un isolant de type laine minérale est ajouté par dessus la structure. Aucune finition n'est prévue pour rendre le grenier exploitable ;

- U moyen du plancher sur sol (**0,15 W/m²K**) ;

Le groupe S1 reprend les dalles sur sol isolées par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : dalle en béton armé avec géotextile, empierrement, sable et film polyéthylène, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux) sur la dalle, chape de finition et revêtement intérieur ;

- U moyen du plancher sur cave (**0,15 W/m²K**) ;

Le groupe S4 caractérise les planchers situés sur caves hors volume protégé et isolés par le haut. Ce groupe est composé de : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux), chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;

Moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés, il est tout à fait possible d'atteindre cette valeur d'étanchéité à l'air. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;

- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43). L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation.

- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.
A noter : la combinaison fait apparaître un producteur de chaleur simple service de type chaudière gaz à condensation, couplé avec le producteur d'eau chaude sanitaire « de référence » (chaudière mixte à condensation au gaz). Cette combinaison théorique s'apparente à une chaudière mixte à condensation au gaz avec stockage, soit le système prévu en base ;
- BNC (**6.574 kWh/an**);
- Consommation finale en énergie pour le chauffage (**7.774 kWh/an**)

A noter :

- Pour atteindre un niveau Espec inférieur à 50 kWh/m²an, il faut s'orienter vers les systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire par pompes à chaleur.

4.14.5. Analyse de quelques combinaisons situées à proximité du front de Pareto

Le nombre de bâtiment et la masse de résultats générés ne nous permettent d'analyser les combinaisons proches du FP que pour un nombre limité de bâtiments. La maison neuve 4 façades en maçonnerie traditionnelle étant bien représentative de son segment, ce type de combinaisons a été analysé plus en détails.

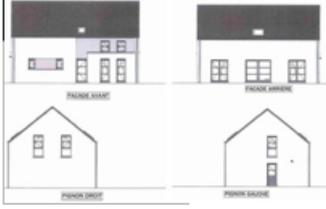
- N°59279 : F1, Ftoit1, M12, M16, M9, P1, S1, S12, S4, T3, VCC2
Ew 34 / Espec 62 kWh/m²an / CGA macroéconomique 307.118 € / investissement initial 11.076 €
Cette combinaison reprend les mêmes améliorations que la combinaison cost optimum, avec en plus un renforcement de l'isolation des murs au niveau U 0,20 W/m²K, et des châssis équipés d'un double vitrage (Ug = 1,0 W/m²K et g = 0,50) pour un surcoût d'investissement de 825 €. Le CGA macroéconomique de cette combinaison est légèrement supérieur à celui de la combinaison cost optimum.
- N°59251 : F1, Ftoit1, M12, M16, M9, P1, S1, S12, S4, T3, VCC2
Ew 30 / Espec 55 kWh/m²an / CGA macroéconomique 310.976 € / investissement initial 16.494 €
Cette combinaison reprend les mêmes améliorations que la combinaison cost optimum, avec en plus un renforcement de l'isolation des murs au niveau U 0,20 W/m²K, et des châssis en triple vitrage (Uf = 0,95 W/m²K Ug = 1,0 W/m²K et g = 0,50) pour un investissement supplémentaire de 6.243 €. Le CGA macroéconomique est d'un peu plus de 4000 euros supérieur à celui de la combinaison cost optimum, pour un niveau de confort accru.
- N°59106 : F1, Ftoit1, M12, M16, M9, P1, P3, S1, S12, S4, T3, VCC2

E_w 28 / E_{spec} 52 kWh/m²an / CGA macroéconomique 314.591 € / investissement initial 20.928 €

Cette combinaison reprend les mêmes améliorations que la combinaison cost optimum au niveau des systèmes, mais propose une isolation complète de l'enveloppe au niveau U 0,15 W/m²K, avec des châssis en triple vitrage (U_f = 0,95 W/m²K U_g = 1,0 W/m²K et g = 0,50). L'investissement supplémentaire par rapport à la combinaison cost optimum est de 10.677 € pour un CGA macroéconomique de 7.767 € supérieur au CGA cost optimum. L'investissement n'est dès lors pas cost optimum selon les hypothèses de l'étude.

4.15. HN2 T2 - Maison neuve 4 façades crépi sur isolant

4.15.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie assez simple R + 1mansardé + comble non aménagé Sur caves Murs maçonnerie + crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 180,55 m² VP : 531,28 m³ Valeur immobilière: 272.660 €</p> <p>Niveau K 29 Niveau Ew 65 Espec 119 kWh/m²an</p>	<p>Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 + prot sol Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1 Ch 1.7/1.0/0.5 + prot sol + Ftoit 1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 + Prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC+R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA 2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Inertie léger Mur 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toit 0.15 + plafond 0.15 Toit 0.20 + plafond 0.20 Ventil C+ 0.43 Ventil C+ 0.9 Ventil D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.15

4.15.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.662** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **339.637** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **168** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.15.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 65** et un **CGA macroéconomique = 300.995 €** (28.335 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 27: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13832 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	1,43	28	64	1.097 €	28.812 €	33.264 €
Base	1,68	29	65	- €	28.335 €	32.652 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13835 Murs 0.20(ME0.20, Mcave0.2, Ms0.2) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu,S1,S12,S4,T3)	0,2	28	64	1.760 €	29.636 €	34.254 €
Base	0,22					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13840 Toit 0.20 + plafond 0.20 (PfGr0.2, T0.20) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu,S1,S12,S4,T3)	0,2	29	65	33 €	28.253 €	32.559 €
Base	0,20					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
13837 Plancher 0.24(PICave0.24, PISol0.24) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12, S4, T3)	0,24	31	67	863 €	28.244 €	32.495 €
Base	0,15					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 13832; groupe F1,Ftoit2) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 13835; groupe M1,M12,M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 13840; groupe T3
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 13837; groupe S1,S12,S4,).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimums ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.15.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 35) (E_{spec} 64 kWh/m²an) (K26)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**297.027 €**), pour un investissement initial de (**10.247 €**). Cette combinaison (54562) (F1, Ftoit1, M12, M16, M3, P1, S1, S12, S4, T3, VCC2) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des fenêtres de toiture (**1,45 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,0 W/m²K / g = 0,46 / intercalaire isolant ;
Le groupe Ftoit1 comprend les fenêtres de toit en bois avec la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes extérieures (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,22 W/m²K**) – pas de différence par rapport à la base ;
Le groupe M3 caractérise les murs construits en maçonnerie avec finition en crépi sur isolant. Ils sont composés d'un bloc porteur creux en béton de 15cm, d'un isolant de type EPS ou XPS sur lequel est directement réalisé un crépi. La finition intérieure en plafonnage est comprise dans ce poste ;
- U moyen des murs contre cave (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe M12 caractérise les murs construits en maçonnerie et situés contre les caves exclues du volume protégé. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant de type PUR/PIR placé coté cave et d'une finition intérieure en plafonnage. Aucune finition coté cave n'est comprise dans ce groupe ;

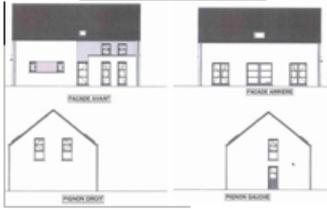
- U moyen des murs contre terre (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe M16 caractérise les murs construits en maçonnerie en contact avec les terres extérieures. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 39 cm d'épaisseur, d'un isolant de type XPS placé coté extérieur et recouvert d'une étanchéité (cimentage + goudronnage + membrane nopée). Généralement situé dans les espaces techniques ; aucune finition coté intérieur n'est comprise dans ce groupe ;
- U moyen du toit (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe T3 caractérise la toiture en pente construite en pannes-chevrons avec isolation de type laine minérale ou cellulose entre la structure et pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage coté intérieur. À l'extérieur on retrouve le pare-pluie, le lattage et contre lattage et la couverture ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S12 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure et par le haut. L'isolation en laine minérale ou cellulose est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage est placé coté intérieur. Dans le grenier, un isolant de type laine minérale est ajouté par dessus la structure. Aucune finition n'est prévue pour rendre le grenier exploitable ;
- U moyen du plancher sur sol (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S1 reprend les dalles sur sol isolées par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : dalle en béton armé avec géotextile, empierrement, sable et film polyéthylène, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux) sur la dalle, chape de finition et revêtement intérieur ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S4 caractérise les planchers sur caves hors volume protégé et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux), chape de finition et revêtement intérieur ;
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés, il est tout à fait possible d'atteindre cette valeur d'étanchéité à l'air. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43). L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation.
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire est une chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.
- Energie renouvelable : ST6.

6 m² de capteurs solaires thermiques plans vitrés sont combinés à la chaudière mixte décrite ci-dessus ;

- BNC (**6.664 kWh/an**).

4.16. HN2 T3 - Maison neuve 4 façades ossature bois

4.16.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
	<p>Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2</p> <p>Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 + prot sol</p> <p>Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1</p> <p>Ch 1.7/1.0/0.5 + prot sol + Ftoit1</p> <p>Ch1.7-DV1.1/0.63 - Ftoit1</p> <p>Ch1.7-DV1.1/0.63 - Ftoit1 + prot sol</p> <p>CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout rad (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CNC bio surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC air-eau 4 VC+R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock</p> <p>CHS-CCgaz rad</p> <p>CHS-CCgaz surf</p> <p>CHS-CCgaz VC</p> <p>CHS-CCmazout rad</p> <p>CHS-CCmazout surf</p> <p>CHS-CCmazout VC</p> <p>CHS-CNCbio rad</p> <p>CHS-CNCbio surf</p> <p>CHS-CNCbio VC</p> <p>CHS-PAC air-eau surf 3.1</p> <p>CHS-PAC air-eau surf 4</p> <p>CHS-PAC air-eau VC 3.1</p> <p>CHS-PAC air-eau VC 4</p> <p>CHS-PAC sol-eau surf 4.75</p> <p>CHS-PAC sol-eau VC 4.75</p> <p>CHS-PB (poele bois)</p> <p>CHS-PP (poele pellets)</p> <p>EA 2</p> <p>ECSS-Ch-eau gaz ballon</p> <p>ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon</p> <p>ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon</p> <p>ECSS-R elec ballon</p> <p>Mur 0.15</p> <p>Murs 0.20</p> <p>Plancher 0.15</p> <p>Plancher 0.24</p> <p>ST6</p> <p>Toit 0.15 + plafond 0.15</p> <p>Toit 0.20 + plafond 0.20</p> <p>Ventil C+ 0.43</p> <p>Ventil C+ 0.9</p> <p>Ventil D</p>
<p>Volumétrie assez simple</p> <p>R + 1 mansardé + comble non aménagé</p> <p>Sur caves</p> <p>Murs ossature + bardage, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014</p> <p>Chauffage central gaz condensation</p> <p>ECS sur chaudière</p> <p>Ventilation système C</p> <p>Etanchéité à l'air 6m³/h.m²</p> <p>ACH : 180,55 m²</p> <p>VP : 531,28 m³</p> <p>Valeur immobilière: 272.660 €</p>	
<p>Niveau K 28</p> <p>Niveau Ew 67</p> <p>Espec 122 kWh/m²an</p>	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.16

4.16.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.404** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **319.371** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **134** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.16.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 67** et un **CGA macroéconomique = 302.201 €** (29.541 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 28: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
12318 Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.0/0.5-WE, Ftoit 1) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16,P1-Alu,S1,S12,S4,T3)	1,37	26	65	1.412 €	29.918 €	34.704 €
Base	1,68	28	67	- €	29.541 €	34.332 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
12323 Murs 0.20(ME0.20, Mcave0.2, Ms0.2) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16,P1-Alu,S1,S12,S4,T3)	0,2	28	67	910 €	28.769 €	33.386 €
Base	0,19					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
12328 Toit 0.20 + plafond 0.20 (PfGr0.2, T0.20) (F1, Ftoit2, M1,M12,M16,P1-Alu,S1,S12,S4,T3)	0,2	27	66	33 €	29.461 €	34.241 €
Base	0,20					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
12325 Plancher 0.24(PICave0.24, PISol0.24) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, S1, S12,S4,T3)	0,24	29	68	863 €	29.335 €	34.016 €
Base	0,15					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,37 W/m²K** (combinaison 12318; groupe F1,Ftoit2) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 12323; groupe M1,M12,M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 12328; groupe T3
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 12325; groupe S1,S12,S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimums ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.16.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 36) (E_{spec} 66 kWh/m²an) (K24)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**298.995 €**), pour un investissement initial de (**11.424 €**). Cette combinaison (43512) (F1, Ftoit1, M12, M16, M4, P1, S1, S12, S4, T3, VCC2) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,37 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,0 W/m²K / g = 0,50 / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, placé dans l'ossature. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des fenêtres de toiture (**1,45 W/m²K**) – U_f = 1,7 W/m²K / U_g = 1,0 W/m²K / g = 0,46 / intercalaire isolant ;
Le groupe Ftoit1 comprend les fenêtres de toit en bois avec la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes extérieures (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M4 caractérise les parois en ossature bois avec bardage. Ces murs sont composés d'une ossature bois avec isolation de type laine minérale ou cellulose entre la structure, panneaux OSB (y compris pare-vapeur sur joints) côté intérieur, panneaux en fibres de bois (faisant office de pare-pluie) coté extérieur. La finition intérieure est une plaque de plâtre avec enduit sur lattage technique, un bardage sur lattage est prévu côté extérieur ;
- U moyen des murs contre cave (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M12 caractérise les murs construits en maçonnerie contre les caves hors du volume protégé. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant de type

PUR/PIR placé coté cave et d'une finition intérieure en plafonnage. Aucune finition coté cave n'est comprise dans ce groupe ;

- U moyen des murs contre terre (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe M16 caractérise les murs construits en maçonnerie en contact avec les terres extérieures. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 39 cm d'épaisseur, d'un isolant de type XPS placé coté extérieur et recouvert d'une étanchéité (cimentage + goudronnage + membrane nopée). Généralement situé dans les espaces techniques ; aucune finition coté intérieur n'est comprise dans ce groupe ;
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T3 caractérise la toiture en pente construite en pannes-chevrons avec isolation de type laine minérale ou cellulose entre la structure et pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage coté intérieur. À l'extérieur on retrouve le pare-pluie, le lattage et contre lattage et la couverture ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe S12 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure et par le haut. L'isolation en laine minérale ou cellulose est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage sont placés coté intérieur. Dans le grenier, un isolant de type laine minérale est ajouté au-dessus de la structure. Aucune finition n'est prévue pour rendre le grenier exploitable ;
- U moyen du plancher sur sol (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S1 reprend les dalles sur sol isolées par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : dalle en béton armé avec géotextile, empierrement, sable et film polyéthylène, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux) sur la dalle, chape de finition et revêtement intérieur ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,15 W/m²K**) ;
Le groupe S4 caractérise les planchers situés sur caves exclues du volume protégé et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux), chape de finition et revêtement intérieur ;
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe ($v_{50} = 2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Moyennant une mise en œuvre de qualité des techniques et matériaux utilisés, il est tout à fait possible d'atteindre cette valeur d'étanchéité à l'air. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43). L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation.

- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.
- Energie renouvelable : ST6
6 m² de capteurs solaires thermiques sont combinés au système de production d'ECS décrit ci-dessus ;
- BNC (**6.442 kWh/an**);

4.17. HN3 TI- Maison neuve 3 façades maçonnerie traditionnelle

4.17.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Volumétrie simple et compacte R + 1 + comble non aménagé Sur vide ventilé Murs creux, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 140 m² VP : 403,2 m³ Valeur immobilière: 232.578 €</p> <p>Niveau K 27 Niveau Ew 59 Espec 104 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8 Ch1.7-DV1.0/0.5 Ch1.7-DV1.0/0.5 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 Ch1.7-DV1.1/0.63 - prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Intertie léger Murs 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toiture 0.15 Toiture 0.20 Ventilation C+0.43 Ventilation C+0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.17

4.17.2. Combinaisons générées par le COT

- **6.492** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **98.375** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **175** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.17.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 59** et un **CGA macroéconomique = 251.875 €** (19.297€ hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 29: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3032 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	1,43	26	58	718 €	19.678 €	22.723 €
Base	1,67	27	59	- €	19.297 €	22.235 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3035 Murs 0.20(ME0.20) (F1, M8, M9, P1-Alu, S12, S3)	0,2	26	58	324 €	19.415 €	22.393 €
Base	0,22					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3039 Toiture 0.15(PfGr0.15) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,15	26	57	316 €	19.131 €	22.060 €
Base	0,22					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3037 Plancher 0.24(Plv0.24) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,24	28	59	130 €	19.274 €	22.198 €
Base	0,22					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 3032; groupe F1) ;

- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 3035; groupe M8, M9);
- L'optimum **U plafond = 0,15 W/m²K** (combinaison 3039; groupe P1)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 3037; groupe S12,S3).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le U-optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimal.

4.17.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 59) (E_{spec} 104 kWh/m²an) (K27)**, correspond à la combinaison de mesures enveloppe/systèmes de la base, affichant le CGA le plus bas (**251.875 €**). Cette combinaison (base) (F1, P1, M9, M8, S11, S3, VC) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,67 W/m²K**) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure, dans ce cas en PCV, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe M9 caractérise les murs construits en maçonnerie traditionnelle, composés d'un bloc porteur creux en béton de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant PUR/PIR lambda 0,022 W/mK de 10 cm d'épaisseur, d'une lame d'air peu ventilée et d'un parement en brique de terre cuite de 9 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen des murs mitoyen (**0,47 W/m²K**) ;
Le groupe M8 caractérise les murs mitoyens construits en maçonnerie, composés de deux blocs porteurs creux en béton de 15 cm d'épaisseur séparés par un d'un isolant PUR/PIR lambda 0,022 W/mK, de 4 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est comprise dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe S11 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure. L'isolation en laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 18 cm d'épaisseur est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage est placé coté intérieur. Dans le grenier, un panneau OSB recouvre le complexe structure + isolant, ce qui rend le volume du grenier exploitable ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,22 W/m²K**) ;

Le groupe S3 caractérise les planchers situés sur vides ventilés et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation PUR/PIR projeté λ 0,026 W/mK de 8cm d'épaisseur, chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe (**v50 = 6 m³/m²h**) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C. L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée par des extracteurs situés dans chaque local humide. Aucune ventilation à la demande n'est effectuée (pas de détecteur de présence, de sondes d'humidité ni de CO₂) ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des radiateurs ;
- BNC (**8768 kWh/an**).

A Noter : Le U moyen des fenêtres de ce bâtiment (1,67 W/m²K) respecte les exigences U_{max} 2014 mais pas l'exigence U_{max} 2017 au niveau des fenêtres (U_{max} 1,5 W/m²K).

Pour ce bâtiment neuf, la base – qui satisfait aux exigences PEB en vigueur 2014 pour le segment considéré est déjà cost optimum.

Le niveau de performance de la base étant fort proche des exigences PEB 2017, cette situation n'est pas le résultat d'un quelconque effet de lock in,-mais semble davantage lié à la proximité des niveaux d'exigences 2014 et 2017.

4.18. HN3 T2- Maison neuve 3 façades crépi sur isolant

4.18.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
	Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8 Ch1.7-DV1.0/0.5 Ch1.7-DV1.0/0.5 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 Ch1.7-DV1.1/0.63 - prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poêle bois) CHS-PP (poêle pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Intertie léger Murs 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toiture 0.15 Toiture 0.20 Ventilation C+0.43 Ventilation C+0.9 Ventilation D
<p>Volumétrie simple et compacte R + 1 + comble non aménagé Sur vide ventilé Murs maçonnerie + crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 140 m² VP : 403,2 m³ Valeur immobilière: 224.438 €</p>	
<p>Niveau K 27 Niveau Ew 59 Espec 105 kWh/m²an</p>	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.18

4.18.2. Combinaisons générées par le COT

- **6.454** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **102.035** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **120** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.18.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 59** et un **CGA macroéconomique = 243.813 €** (19.375 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 30: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
6056 Ch1.7-DV1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12,S3)	1,43	26	58	18 €	19.756 €	22.810 €
Base	1,67	27	59	- €	19.375 €	22.323 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
6059 Murs 0.20(ME0.20) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,2	26	58	1.263 €	20.354 €	23.529 €
Base	0,23					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
6063 Toiture 0.15(PfGr0.15) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,15	26	58	316 €	19.209 €	22.148 €
Base	0,23					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
6061 Plancher 0.24(Plv0.24) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,24	28	60	130 €	19.352 €	22.286 €
Base	0,22					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 6056 ; groupe F1) ;

- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 6059 ; groupe M1, M8) ;
- L'optimum **U plafond = 0,15 W/m²K** (combinaison 6063 ; groupe P1-Alu)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 6061 ; groupe S12, S13).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le U-optimum ;
- Le U max 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.18.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 59) (E_{spec} 105 kWh/m²an) (K27)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**243.813 €**). Cette combinaison (base) (F1, P1, M3, M8, S11, S3, VC) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,67 W/m²K**) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure dans ce cas en PCV, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,23 W/m²K**) ;
Le groupe M3 caractérise les murs construits en maçonnerie avec finition en crépi sur isolant. Ils sont composés d'un bloc porteur creux en béton de 15cm, d'un isolant EPS lambda 0,035 W/mK de 14cm d'épaisseur sur lequel est directement réalisé un crépi. La finition intérieure en plafonnage est comprise dans ce poste ;
- U moyen des murs mitoyen (**0,47 W/m²K**) ;
Le groupe M8 caractérise les murs mitoyens construits en maçonnerie, c'est-à-dire, composés de deux blocs porteurs creux en béton de 15 cm séparés par un d'un isolant PUR/PIR lambda 0,022 W/mK, de 4 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe S11 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure. L'isolation en laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 18 cm d'épaisseur est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage est placé coté intérieur. Dans le grenier, un panneau OSB recouvre le complexe structure + isolant, ce qui rend le volume du grenier exploitable ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,22 W/m²K**) ;

Le groupe S3 caractérise les planchers situés sur vides ventilés et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation PUR/PIR projeté λ 0,026 W/mK de 8cm d'épaisseur, chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe (**v 50= 6 m³/m²h**) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C. L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée par des extracteurs situés dans chaque local humide. Aucune ventilation à la demande n'est réalisée (absence de détecteur de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂) ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des radiateurs ;
- BNC (**8822 kWh/an**).

4.19. HN4 T1 - Maison mitoyenne neuve maçonnerie traditionnelle

4.19.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p> Volumétrie simple et compacte R + 1 + comble non aménagé Sur vide ventilé Murs creux, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 144 m² VP : 414,72 m³ Valeur immobilière: 233.769 € </p> <p> Niveau K 30 Niveau Ew 67 Espec 112 kWh/m²an </p>	<p> Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8 Ch1.7-DV1.0/0.5 Ch1.7-DV1.0/0.5 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 Ch1.7-DV1.1/0.63 - prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poele bois) CHS-PP (poele pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Intertie leger Murs 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toiture 0.15 Toiture 0.20 Ventilation C+0.43 Ventilation C+0.9 Ventilation D </p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.19

4.19.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.192** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **79.022** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **121** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.19.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 67** et un **CGA macroéconomique = 255.088 €** (21.319 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 31: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3354 Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE) (F1, M1, M8,P1-Alu,S12,S3)	1,36	28	65	1.490 €	21.902 €	25.282 €
Base	1,67	30	67	- €	21.319 €	24.647 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3359 Murs 0.20(ME0.20) (F1, M8, M9, P1-Alu,S12,S3)	0,2	30	67	216 €	21.404 €	24.761 €
Base	0,22					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3363 Toiture 0.15(PfGr0.15) (F1, M1, M8,P1-Alu,S12,S3)	0,15	29	66	329 €	21.160 €	24.480 €
Base	0,22					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3361 Plancher 0.24(Plv0.24) (F1, M1, M8, P1-Alu,S12,S3)	0,24	31	68	493 €	21.149 €	24.413 €
Base	0,19					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,36 W/m²K** (combinaison 3354 ; groupe F1) ;

- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 3359 ; groupe M8, M9) ;
- L'optimum **U toit = 0,15 W/m²K** (combinaison 3363 ; groupe P1-Alu
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 3361 ; groupe S12, S3).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimums ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.19.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 67) (E_{spec} 112 kWh/m²an) (K30)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**255.088€**). Cette combinaison (base) (F1, P1, M9, M8, S11, S3, VC) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,67 W/m²K**) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure dans ce cas en PCV, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe M9 caractérise les murs construits en maçonnerie traditionnelle, c'est-à-dire, composés d'un bloc porteur creux en béton de 15cm, d'un isolant PUR/PIR (λ 0.022 W/mK) de 10cm d'épaisseur, d'une lame d'air peu ventilée et d'un parement en brique de terre cuite de 9cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen des murs mitoyen (**0,47 W/m²K**) ;
Le groupe M8 caractérise les murs mitoyens construits en maçonnerie, c'est-à-dire, composés de deux blocs porteurs creux en béton de 15 cm séparés par un d'un isolant PUR/PIR (λ 0,022 W/mK) de 4 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe S11 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure. L'isolation en laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 18cm d'épaisseur est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage sont placés coté intérieur. Dans le grenier, un panneau OSB recouvre le complexe structure + isolant ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,19 W/m²K**) ;
Le groupe S3 caractérise les planchers situés sur vides ventilés et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression,

isolation PUR/PIR projeté (λ 0,026 W/mK) de 10 cm d'épaisseur, chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe (**v 50= 6 m³/m²h**) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C. L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée par des extracteurs situés dans chaque local humide. Aucune ventilation à la demande n'est réalisée (absence de détecteur de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂) ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage pour l'ECS. L'émission de chaleur est assurée par des radiateurs ;
- BNC (**8600 kWh/an**);

4.20. HN4 T2 - Maison mitoyenne neuve crépi sur isolant

4.20.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>Volumétrie simple et compacte R + 1 + comble non aménagé Sur vide ventilé Murs maçonnerie + crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière Ventilation système C Étanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 144 m² VP : 414,72 m³ Valeur immobilière: 225.587 €</p> <p>Niveau K 30 Niveau Ew 67 Espec 112 kWh/m²an</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8 Ch1.7-DV1.0/0.5 Ch1.7-DV1.0/0.5 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 Ch1.7-DV1.1/0.63 - prot sol CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz surf (+ECS) stock CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock CHM-CCgaz VC (+ECS) stock CHM-CCmazout rad (+ECS) stock CHM-CCmazout surf (+ECS) stock CHM-CCmazout VC (+ECS) stock CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock CHM-CNC bio surf (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC air-eau 4 VC + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock CHS-CCgaz rad CHS-CCgaz surf CHS-CCgaz VC CHS-CCmazout rad CHS-CCmazout surf CHS-CCmazout VC CHS-CNCbio rad CHS-CNCbio surf CHS-CNCbio VC CHS-PAC air-eau surf 3.1 CHS-PAC air-eau surf 4 CHS-PAC air-eau VC 3.1 CHS-PAC air-eau VC 4 CHS-PAC sol-eau surf 4.75 CHS-PAC sol-eau VC 4.75 CHS-PB (poêle bois) CHS-PP (poêle pellets) EA2 ECSS-Ch-eau gaz ballon ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSS-R elec ballon Intertie léger Murs 0.15 Murs 0.20 Plancher 0.15 Plancher 0.24 ST6 Toiture 0.15 Toiture 0.20 Ventilation C+0.43 Ventilation C+0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.20

4.20.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.214** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **82.399** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **126** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.20.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 67** et un **CGA macroéconomique = 246.947 €** (21.360 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 32: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3030 Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	1,36	28	65	1.490 €	21.946 €	25.332 €
Base	1,67	30	67	- €	21.360 €	24.693 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3035 Murs 0.20(ME0.20) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,2	30	67	805 €	21.993 €	25.474 €
Base	0,23					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3039 Toiture 0.15(PfGr0.15) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,15	29	66	329 €	21.201 €	24.526 €
Base	0,22					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3037 Plancher 0.24(Plv0.24) (F1, M1, M8, P1-Alu, S12, S3)	0,24	31	68	493 €	21.190 €	24.459 €
Base	0,19					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,36 W/m²K** (combinaison 3030 ; groupe F1) ;

- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 3035 ; groupe M1, M8) ;
- L'optimum **U plafond = 0,15 W/m²K** (combinaison 3039 ; groupe P1-Alu)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 3037 ; groupe S12, S3).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.20.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 67) (E_{spec} 112 kWh/m²an) (K30)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**246.947 €**). Cette combinaison (base) (F1, P1, M3, M8, S11, S3, VC) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,67 W/m²K**) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure dans ce cas en PCV, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs (**0,23 W/m²K**) ;
Le groupe M3 caractérise les murs construits en maçonnerie avec finition en crépi sur isolant. Ils sont composés d'un bloc porteur creux en béton de 15cm, d'un isolant EPS (λ 0,035 W/mK) de 14cm d'épaisseur sur lequel est directement réalisé un crépi. La finition intérieure en plafonnage est comprise dans ce poste ;
- U moyen des murs mitoyen (**0,47 W/m²K**) ;
Le groupe M8 caractérise les murs mitoyens construits en maçonnerie, c'est-à-dire, composés de deux blocs porteurs creux en béton de 15 cm séparés par un d'un isolant PUR/PIR (λ 0,022 W/mK) de 4 cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe S11 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure. L'isolation en laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 18cm d'épaisseur est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage est placé coté intérieur. Dans le grenier, un panneau OSB recouvre le complexe structure + isolant ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,19 W/m²K**) ;
Le groupe S3 caractérise les planchers situés sur vides ventilés et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression,

isolation PUR/PIR projeté (λ 0,026 W/mK) de 10cm d'épaisseur, chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe ($v_{50} = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C. L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée par des extracteurs situés dans chaque local humide. Aucune ventilation à la demande n'est réalisée (absence de détecteur de présence, de sondes d'humidité et/ou de CO₂) ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage pour l'ECS. L'émission de chaleur est assurée par des radiateurs ;

4.21. HN4 T3 - Maison mitoyenne neuve ossature bois

4.21.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8</p> <p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8</p> <p>Ch1.7-DV1.0/0.5</p> <p>Ch1.7-DV1.0/0.5 + prot sol</p> <p>Ch1.7-DV1.1/0.63</p> <p>Ch1.7-DV1.1/0.63 - prot sol</p> <p>CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock</p> <p>CHM-CCgaz VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout rad (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-CCmazout VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock</p> <p>CHM-CNC bio surf (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC air-eau 4 VC+R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock</p> <p>CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock</p> <p>CHS-CCgaz rad</p> <p>CHS-CCgaz surf</p> <p>CHS-CCgaz VC</p> <p>CHS-CCmazout rad</p> <p>CHS-CCmazout surf</p> <p>CHS-CCmazout VC</p> <p>CHS-CNCbio rad</p> <p>CHS-CNCbio surf</p> <p>CHS-CNCbio VC</p> <p>CHS-PAC air-eau surf 3.1</p> <p>CHS-PAC air-eau surf 4</p> <p>CHS-PAC air-eau VC 3.1</p> <p>CHS-PAC air-eau VC 4</p> <p>CHS-PAC sol-eau surf 4.75</p> <p>CHS-PAC sol-eau VC 4.75</p> <p>CHS-PB (poele bois)</p> <p>CHS-PP (poele pellets)</p> <p>EA2</p> <p>ECSS-Ch-eau gaz ballon</p> <p>ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon</p> <p>ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon</p> <p>ECSS-R elec ballon</p> <p>Murs 0.15</p> <p>Murs 0.20</p> <p>Plancher 0.15</p> <p>Plancher 0.24</p> <p>ST6</p> <p>Toiture 0.15</p> <p>Toiture 0.20</p> <p>Ventilation C+0.43</p> <p>Ventilation C+0.9</p> <p>Ventilation D</p>
<p>Volumétrie simple et compacte</p> <p>R + 1 + comble non aménagé</p> <p>Sur vide ventilé</p> <p>Murs ossature + bardage toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014</p> <p>Chauffage central gaz condensation</p> <p>ECS sur chaudière</p> <p>Ventilation système C</p> <p>Etanchéité à l'air 6m³/h.m²</p> <p>ACH : 144 m²</p> <p>VP : 414,72 m³</p> <p>Valeur immobilière: 225.587 €</p>	
<p>Niveau K 29</p> <p>Niveau Ew 72</p> <p>Espec 119 kWh/m²an</p>	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.21

4.21.2. Combinaisons générées par le COT

- **6.250** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **97.223** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **54** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.21.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 72** et un **CGA macroéconomique= 249.271 €** (23.684 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 33: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
4542 Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE) (F1, M1, M7, P1-Alu, S12,S3)	1,36	27	68	1.490 €	23.525 €	27.470 €
Base	1,67	29	72	- €	23.684 €	27.849 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
4547 Murs 0.20(ME0.20) (F1, M1, M7, P1-Alu,S12,S3)	0,2	30	72	464 €	23.288 €	27.360 €
Base	0,19					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
4551 Toiture 0.15(PfGr0.15) (F1, M1, M7, P1-Alu, S12,S3)	0,15	28	70	329 €	23.522 €	27.680 €
Base	0,22					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
4549 Plancher 0.24(Plv0.24) (F1, M1, M7, P1-Alu,S12,S3)	0,24	31	73	493 €	23.457 €	27.537 €
Base	0,19					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,36 W/m²K** (combinaison 4542 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 4547 ; groupe M1, M7) ;
- L'optimum **U toit = 0,15 W/m²K** (combinaison 4551 ; groupe P1-Alu)

- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 4549 ; groupe S12, S3).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimums ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.21.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 72) (E_{spec} 119 kWh/m²an) (K29)**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**249.271 €**). Cette combinaison (base) (F1, P1, M4, M7, S11, S3, VC) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,67 W/m²K**) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV, double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure dans ce cas en PCV, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des murs extérieurs en ossature bois (**0,19 W/m²K**) ;
Le groupe M4 caractérise les murs construits ossature bois avec bardage. La composition est la suivante : ossature bois avec isolation en cellulose lambda 0,039 W/mK de 16cm d'épaisseur entre la structure, panneaux OSB (y compris pare-vapeur sur joints) côté intérieur, panneaux en fibres de bois (faisant office de pare-pluie) (λ 0,044 W/mK) de 6cm d'épaisseur coté extérieur. La finition intérieure est une plaque de plâtre avec enduit sur lattage technique, un bardage sur lattage est prévu côté extérieur ;
- U moyen des murs mitoyen en ossature bois (**0,23 W/m²K**) ;
Le groupe M8 caractérise les murs mitoyens construits en ossature bois, c'est-à-dire, composés d'une ossature bois avec isolation en cellulose (λ 0,039 W/mK) de 16cm d'épaisseur entre la structure, panneaux OSB (y compris pare-vapeur sur joints) de part et d'autre de la structure, finition en plaques de plâtre avec enduit sur lattage technique, de chaque côté ;
- U moyen du plancher du grenier (**0,22 W/m²K**) ;
Le groupe S11 caractérise les planchers légers avec isolation entre structure. L'isolation en laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 18cm d'épaisseur est placée entre la structure en bois, un pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage sont placés coté intérieur. Dans le grenier, un panneau OSB recouvre le complexe structure plus isolant ;
- U moyen du plancher sur vides ventilés (**0,19 W/m²K**) ;
Le groupe S3 caractérise les planchers situés sur vides ventilés et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression,

isolation PUR/PIR projeté lambda 0,026 W/mK de 10cm d'épaisseur, chape de finition et revêtement intérieur ;

- Etanchéité à l'air de l'enveloppe (**v 50= 6 m³/m²h**) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Système de ventilation C. L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée par des extracteurs situés dans chaque local humide. Aucune ventilation à la demande n'est réalisée (absence de détecteur de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO2) ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : chaudière mixte à condensation au gaz ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage pour l'ECS. L'émission de chaleur est assurée par des radiateurs ;
- BNC (**8.805 kWh/an**);

A noter : La base étant un producteur mixte (chaudière mixte à condensation au gaz), les combinaisons affichant un producteur local (ex : poêle à bois) sont écartées lors de l'analyse.

4.22. IAEI - Immeuble à appartements d'avant 1919

4.22.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>5 niveaux, 10 appartements Bâtiment en partie mitoyen Garage et chaufferie au rez Murs plein en brique Double vitrage Chauffage central collectif mazout ECS sur chaudière, boucle ECS ACH : 911,8 m² VP : 3475,26 m³ Valeur immobilière: 568.188 € Niveau K 145 Niveau Ew : de 278 à 544 - Moyenne : 344 Espec de 362 à 942 - Moyenne : 526,2</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8 + Prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + Po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + Po 2.0 + Prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0 + Prot sol CHPM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHPM-CCgaz rad (+ECS) stock CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) stock CHPM-CCmazout rad (+ECS) stock CHPM-CCmazout VC BT (+ECS) stock CHPM-CNC bio rad (+ECS) stock CHPM-CNC bio VC BT (+ECS) stock CHPM-PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock CHPM-PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock EA2 Inertie léger Inertie peu lourd Murs 0.15 + MI1.0 Murs 0.20 + MI1.0 Murs 0.24 + MI1.0 Planchers 0.15 Planchers 0.24 Planchers 0.30 ST4 Toiture 0.15 Toiture 0.20 Toiture 0.24 V1.1/0.63-bois existant Ventilation C Ventilation C + 0.43 Ventilation C + 0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.22

4.22.2. Combinaisons générées par le COT

- **6.846** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **265.141** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **61** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.22.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 346** et un **CGA macroéconomique = 1.295.672 €** (727.484 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 34: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
30728 Ch1.7-DV1.1/0.63 (Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	128	322	122.137 €	800.399 €	889.226 €
base	2,97	145	346	- €	727.484 €	814.984 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
30733 Murs 0.24 (ME0.24, Meanc0.24) (M1, M14)	0,24	78	225	132.439 €	610.188 €	675.769 €
base	2,13					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
30741 Toiture 0.24 (TP0.24) (T3)	0,24	118	300	33.203 €	652.538 €	728.905 €
base	2,93					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
30734 Planchers 0.15(PICave0.15, PIE0.15, Pleanc0.15) (S1, S2,S5)	0,15	507	138	336	7.203 €	711.587 €
base	0,79					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 30728; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 30733 ; groupe M1, M14) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 30741 ; groupe T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,15 W/m²K** (combinaison 30734 ; groupe S1, S2, S5).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.22.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w94) / (E_{spec} **142 kWh/m²an**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**1.079.234 €**), de 17% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de **316.621 €**. Cette combinaison (46627) (F3, M1, M14, M9, S1, S2, S5, T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,63 W/m²K**) – $U_f = 2,36 = \text{existant} / U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,63$;
Le groupe F3 consiste à remplacer uniquement le vitrage d'un châssis existant en bon état, dans ce cas en bois. La dépose et l'évacuation de l'ancien vitrage est comptabilisée dans ce poste ;
- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe M1 consiste à isoler les murs extérieurs par l'intérieur en réalisant une structure bois isolée contre le mur existant. L'isolant est de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose. Un pare-vapeur est placé en continu devant la structure côté intérieur et la finition est en plaques de plâtre avec enduit sur lattage technique. Cette technique d'isolation doit faire l'objet d'une attention particulière afin d'éviter tout nœud constructif défavorable. L'interruption de l'isolant par les planchers massifs existants ou les murs par exemple doit être évitée ;
- U moyen des murs mitoyens (**1,00 W/m²K**) ;
Le groupe M9 consiste à isoler le mur mitoyen par l'intérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose, entre une structure en bois avec panneau OSB comme pare-vapeur, plaque de plâtre sur lattage technique et enduit comme finition.
- U moyen des murs contre espace adjacent non chauffé (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe M14 comprend l'isolation des murs contre EANC par l'intérieur (côté chauffé) en plaçant un isolant de type PUR/PIR, mousse expansée par l'eau, laine minérale ou cellulose, entre une structure en bois avec pare-vapeur, plaque de plâtre sur lattage technique et enduit comme finition ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, et l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste.
- U moyen du plancher sur cave (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S1 consiste à isoler le plancher sur cave par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Aucune finition côté cave n'est comptabilisée dans ce poste. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- U moyen du plancher sur espace adjacent non chauffé (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S2 consiste à isoler le plancher sur EANC par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- U moyen du plancher sur extérieur (bow-windows) (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S5 consiste à isoler le plancher sur extérieur par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Une nouvelle finition extérieure de type bardage sur lattage est comprise dans ce poste ;
- Système de ventilation D (double flux avec échangeur de chaleur)

L'apport d'air neuf dans les locaux secs et l'extraction de l'air vicié dans les locaux humides se font par l'intermédiaire d'un groupe de ventilation double flux relié aux différents espaces par des gaines et bouches de ventilation. Ce groupe est équipé d'un échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur de l'air extrait humide et chaud et de la transférer à l'air neuf entrant. Cet échangeur a un rendement de 80% et dispose d'un by-pass complet pour éviter de réchauffer l'air neuf en été lorsqu'il est nécessaire de rafraichir les locaux ;

- BNC (**34.462 kWh/an**) de 83% inférieur à celui de la base (197.568 kWh/an) ;

A noter : dans les combinaisons où le système de chauffage est remplacé, seul le producteur de chaleur et les émetteurs sont remplacés car dans ce type de bâtiment, le COT ne peut pas faire abstraction de la boucle de circulation d'ECS qui impacte considérablement la performance énergétique.

4.23. IAE3 - Maison divisée en appartements & service au rez-de-chaussée (<1919)

4.23.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>4 niveaux, 3 appartements + 1 commerce Bâtiment en partie mitoyen Annexes latérale Murs pleins en briques Simple vitrage Chauffage central individuel gaz ECS sur chaudière ACH : 405,93 m² VP : 1335,79 m³ Valeur immobilière : 224.157 € Niveau K 153 Niveau Ew de 257 à 397 - Moyenne = 320 Espec de 373 à 695 - Moyenne = 528,67 (pas d'exigence Espec pour le commerce)</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit 2
	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit 2
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit 1
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit 1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit 1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit 1
	CHIM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock
	CHIM-CCgaz rad (+ECS) stock
	CHIM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock
	CHIM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock
	CHIM-PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock
	CHIS:CCgaz rad
	CHIS:CCgaz VC
	CHIS:CNCbio rad
	CHIS:CNCbio VC
	CHIS:PAC air-eau VC 3.1
CHIS:PAC air-eau VC 4	
CHIS:PB (poele bois)	
CHIS:PP (poele pellets)	
EA 2	
ECSS-Ch-eau gaz ballon	
ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon	
ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon	
ECSS-R elec ballon	
Inertie léger	
Mur 0.15 + MI 1.0	
Mur 0.20 + MI 1.0	
Mur 0.24 + MI 1.0	
Plancher 0.15 + Plmit 1.0	
Plancher 0.24 + Plmit 1.0	
Plancher 0.3 + Plmit 1.0	
ST4	
Toit 0.15	
Toit 0.20	
Toit 0.24	
Ventilation C	
Ventilation C+ 0.43	
Ventilation C+ 0.9	
Ventilation D	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.23

4.23.2. Combinaisons générées par le COT

- **4.018** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **451.471** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **69** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.23.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 330** et un **CGA macroéconomique = 378.260 €** (154.103 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 35: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8968 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit 1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	126	293	21.985 €	158.316 €	179.158 €
base	5,17	151	331	- €	154.103 €	176.451 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8972 Mur 0.24(ME0.24) (M1)	0,24	85	211	37.039 €	135.042 €	150.989 €
base	2,07					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8981 Toit 0.20(T0.20, TP0.20) (T2, T3)	0,2	120	277	19.929 €	145.447 €	164.510 €
base	1,67					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8977 Plancher mitoyen 1.0 (PIMit1.0)	1,06	151	331	- €	154.103 €	176.451 €
base	1,16					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 8968 ; groupe F1, Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 8972 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 8981 ; groupe T2, T3)
- L'optimum **U sol = 1,06 W/m²K** (combinaison 8977 ; groupe PIMit1.0).

- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Le U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) correspond au $U_{optimum}$.

4.23.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w **144**), (E_{spec} **220 kWh/m².an**) correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**362.746 €**), de 4% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de **71.370 €**. Cette combinaison (19914) (T2, T3, VCC2) présente les améliorations suivantes :

- U moyen du toit en pente (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T2 consiste à isoler le toit en pente par l'intérieur à l'aide d'un isolant de type laine minérale ou cellulose avec doublage préalable de la structure existante, placement d'un pare-vapeur et d'une finition en plaque de plâtre sur lattage et enduit.
- U moyen du toit plat (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères et l'adaptation des zingeries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire de base (chaudières individuelles mixtes au gaz sans condensation) remplacé par des chaudières individuelles mixtes au gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, sans stockage. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs. ;
- BNC (**37.025 kWh/an**) de 33% inférieur à celui de la base (55.355 kWh/an) ;
- Consommation finale en énergie (**43.394 kWh/an**) de 61% inférieure à celle de la base (110.704 kWh/an).

4.24. IAE4 - Maison divisée en appartements de 1919-1945

4.24.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>5 niveaux, 5 appartements, sur cave Bâtiment en partie mitoyen Annexe arrière Murs pleins en briques Simple vitrage Chauffage central collectif gaz ECS sur chaudière ACH : 417,48 m² VP : 2049,95 m³ valeur immobilière : 282.847 €</p> <p>Niveau K 111 Niveau Ew de 205 à 367 – moyenne = 274 Espec de 282 à 743 – moyenne = 400</p>	<p>Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1 CHPM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHPM-CCgaz rad (+ECS) stock CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) stock CHPM-CCmazout rad (+ECS) stock CHPM-CCmazout VC BT (+ECS) stock CHPM-CNC bio rad (+ECS) stock CHPM-CNC bio VC BT (+ECS) stock CHPM-PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock CHPM-PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock EA 2 Inertie léger Mur 0.15 + MI1.0 Mur 0.20 + MI1.0 Mur 0.24 + MI1.0 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.3 ST2 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Ventilation C Ventilation C + 0.43 Ventilation C + 0.9 Ventilation D</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.24

4.24.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.428** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **438.054** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **87** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.24.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 253** et un **CGA macroéconomique= 475.864 €** (193.017 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimums au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 36: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8968 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	79	195	65.996 €	215.758 €	242.790 €
base	4,62	111	253	- €	193.017 €	223.848 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8972 Mur 0.24(ME0.24) (M1)	0,24	83	202	30.492 €	190.235 €	218.355 €
base	2,21					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8981 Toit 0.24 (TO.24, TP0.24) (T2, T3)	0,24	97	236	30.604 €	206.433 €	236.988 €
base	1,06					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8976 Plancher 0.3 (PICave0.3, PISol0.30) (S1, S4)	0,27	105	246	21.230 €	208.532 €	239.846 €
base	0,66					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 8968 ; groupe F1, Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 8972 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 8981 ; groupe T2, T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,27 W/m²K** (combinaison 8976 ; groupe S1, S4) ;
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Le Umax 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) est plus exigeant que le cost optimum
- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums

4.24.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w **253**) (E_{spec} **356 kWh/m²an**), correspond à la base, dont la combinaison de mesures enveloppe/systèmes initiale affiche le CGA le plus bas (**475.864 €**). Cette combinaison (base) correspond à l'immeuble à appartement de référence présentant les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres du volume principal (5,11 W/m²K) – $U_f = 2,36$ W/m²K / $U_g = 5,8$ W/m²K / $g = 0,87$;

Les châssis en bois simple vitrage sont positionnés dans l'épaisseur du mur plein en briques.

- U moyen des fenêtres du volume annexe arrière (2,97 W/m²K) – U_f = 2,36 W/m²K / U_g = 2,9 W/m²K / g = 0,77 ;

S'agissant de murs creux, les châssis en bois double vitrage sont légèrement décalées du bloc porteur et partiellement en contact avec l'isolant. Il n'y a pas de membrane d'étanchéité à l'air sur le pourtour des châssis ;

- U moyen des fenêtres de toiture du volume annexe arrière (3,26 W/m²K) – U_f = 2,36 W/m²K / U_g = 2,9 W/m²K / g = 0,77 ;

- U moyen des portes (4,00 W/m²K)

- U moyen des murs extérieurs du volume principal (2,39 W/m²K) ;

Les murs extérieurs de ce volume sont constitués de briques de terre cuite d'une épaisseur de 30 cm.

- U moyen des murs extérieurs du volume annexe arrière (0,83 W/m²K) ;

Les murs extérieurs de ce volume sont des murs creux constitués d'un bloc porteur en béton de 14 cm d'épaisseur, d'un isolant en laine minérale (λ 0,05 W/mK) de 4cm d'épaisseur, d'une lame d'air peu ventilée et d'une brique de terre cuite de 9cm d'épaisseur.

- U moyen des murs mitoyen (1,4 W/m²K) ;

Les murs mitoyens sont constitués de briques de terre cuite d'une épaisseur de 30 cm.

- U moyen du toit du volume principal (1,59 W/m²K) ;

La toiture en pente est constituée de chevrons placés sur pannes avec finition en plaques de plâtre enduites coté intérieur et lambris de bois avec couverture extérieure sur lame d'air fortement ventilée côté extérieur.

- U moyen du toit du volume annexe arrière (0,39 W/m²K) ;

Il s'agit d'une ossature bois isolée avec 12cm de laine minérale (λ 0,05 W/mK) avec panneau de bois sur cales de pente supportant l'étanchéité côté extérieur, et finition intérieure en plaque de plâtre et enduit. A noter : ce type de toiture présente un sérieux risqué de dégradation car l'espace au niveau des cales de pente n'est pas isolé ;

- U moyen du plancher sur cave du volume principal (1.43 W/m²K) ;

Le plancher sur cave est constitué de voussettes en briques de terre cuite avec chape de finition et revêtement coté chauffé.

- U moyen du plancher sur sol de l'annexe arrière (0,44 W/m²K) ;

Le plancher sur sol de l'annexe est constitué d'une dalle en béton armé de 15 cm d'épaisseur, d'un isolant de type EPS lambda 0,05 de 4 cm d'épaisseur, d'une chape de finition et du revêtement de sol intérieur.

- Etanchéité de l'enveloppe (v50= 15 m³/m²h) ;

- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire (chaudière collective au gaz sans condensation) ;

Il s'agit d'une chaudière gaz atmosphérique ayant un rendement de 82% à 30% de charge sans stockage pour l'eau chaude sanitaire ;

- BNC (**69.004 kWh/an**) ;

- Consommation finale en énergie (**131.562kWh/an**)

A noter : la combinaison 24 est écartée. En effet, celle-ci consiste uniquement à placer un système de ventilation double flux avec échangeur de chaleur dans chaque appartement, sans aucune amélioration au niveau de l'enveloppe, donc sans amélioration de l'étanchéité à l'air. Or, pour fonctionner correctement selon les paramètres encodés (rendement de 80% de l'échangeur), un système de ventilation double flux nécessite une bonne étanchéité à l'air.

Pour ce bâtiment, toutes les autres combinaisons présentent un cout macro-économique supérieur à la base. Celle-ci est dès lors considérée comme la combinaison cost optimum.

4.25. IAE5 - Immeuble à appartements de 1946-1970-

4.25.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>9 niveaux, 16 appartements + 1commerce Bâtiment en partie mitoyen Murs pleins en briques + structure béton Double vitrage Chauffage central collectif mazout ECS individuelle boiler électrique ACH : 1445,97 m² VP : 4510,7 m³ valeur immobilière : 1.299.802 €</p> <p>Niveau K 132 Niveau Ew de 198 à 301 - moyenne = 224 Espec De 223 à 558 - moyenne = 309,81</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol CHP-CCgaz rad (+ECS) SANS stock CHP-CCgaz rad (+ECS) stock CHP-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock CHP-CCgaz VC BT (+ECS) stock CHP-CCmazout rad (+ECS) stock CHP-CCmazout VC BT (+ECS) stock CHP-CNC bio rad (+ECS) stock CHP-CNC bio VC BT (+ECS) stock CHP-PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock CHP-PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock EA 2 ECSI-Ch-eau gaz ballon ECSI-Ch-eau gaz SANS ballon ECSI-PAC air-eau 4 + Relec ballon ECSI-R elec ballon Inertie léger Inertie peu lourd Mur 0.15 + MI1.0 Mur 0.20 + MI1.0 Mur 0.24 + MI1.0 Plancher 0.15 + Plmit 1.0 Plancher 0.24 + Plmit 1.0 Plancher 0.3 + Plmit 1.0 ST4 Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 V1.1/0.63-alu avec coupure th existant Ventilation C Ventilation C + 0.43 Ventilation C + 0.9 Ventilation D

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.25

4.25.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.660** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **124.331** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **67** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.25.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 224** et un **CGA macroéconomique= 2.017.054 €** (717.252 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 37: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15368 Ch1.7-DV1.1/0.63 (Ch1.7-DV1.1/0.63) (F1)	1,43	107	194	144.317 €	780.259 €	883.420 €
base	3,62	132	224	- €	717.252 €	820.988 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15372 Mur 0.24(ME0.24) (M1)	0,24	69	154	124.456 €	641.992 €	735.886 €
base	231					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15382 Toit 0.24(TP0.24) (T3)	0,24	120	213	29.544 €	704.893 €	805.320 €
base	1,68					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15376 Plancher 0.3(PICave0.3, PIE0.30, Pleanc0.3) (S1, S2,S5)	0,66	126	218	11.371 €	708.838 €	810.882 €
base	1,34					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 15368 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 15372 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 15382 ; groupe T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,66 W/m²K** (combinaison 15376 ; groupe S1, S2, S5).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;

- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) est plus exigeant que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux $U_{optimums}$.

4.25.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w 142) / (E_{spec} 195 kWh/m²an), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**1.857.841 €**), de 8% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de (**139.318 €**). Cette combinaison (F3, S1, S2, S5, T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,66 W/m²K**) – $U_f = 2,56 = \text{existant} / U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K} / g = 0,63$;
Le groupe F3 consiste à remplacer uniquement le vitrage dans un châssis existant en bon état, dans ce cas en aluminium avec coupure thermique. La dépose et l'évacuation de l'ancien vitrage sont comptabilisés dans ce poste ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S1 consiste à isoler le plancher sur cave par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention. Aucune finition côté cave n'est comptabilisée dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur espace adjacent non chauffé (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S2 consiste à isoler le plancher sur EANC par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention ;
- U moyen du plancher sur extérieur (au-dessus de l'entrée) (**0,30 W/m²K**) ;
Le groupe S5 consiste à isoler le plancher sur extérieur par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Une nouvelle finition extérieure de type bardage sur lattage est comptabilisée dans ce poste ;
- Système de ventilation D (double flux avec échangeur de chaleur)
L'apport d'air neuf dans les locaux secs et l'extraction de l'air vicié dans les locaux humides se font par l'intermédiaire d'un groupe de ventilation double flux relié aux différents espaces par des gaines et bouches de ventilation. Ce groupe est équipé d'un échangeur de chaleur permettant la récupération de la chaleur de l'air extrait (humide et chaud) pour la transférer à l'air neuf entrant. Le rendement de cet échangeur est de 80%, il est équipé d'un by-pass complet pour éviter de réchauffer l'air neuf en été lorsqu'il est plutôt nécessaire de refroidir les espaces ;

- Producteur ECS (boiler électrique) de base, remplacé par un chauffe-eau instantané au gaz ;
- BNC (**128.591 kWh/an**) de 40% inférieur à celui de la base (216.027 kWh/an) ;

A noter : la valeur U moyenne des planchers reprise dans le tableau en partie 5 indique un U 0.54 W/m²K. Cette valeur prend en compte le plancher mitoyen au-dessus du commerce (U 1,0 W/m²K), ce qui influence la moyenne. Tous les planchers déperditifs sont de facto isolés en respectant un U 0,30 W/m²K.

4.26.IAE7 - Maison divisée en appartements de 1946-1970

4.26.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>3 niveaux, 3 appartements, grenier hors VP Bâtiment mitoyen sur cave Annexes arrières Murs creux, simple vitrage Chauffage central collectif gaz ECS individuelle gaz ACH : 187,29 m² VP : 546,91 m³ valeur immobilière : 164.986 €</p> <p>Niveau K 157 Niveau Ew De 191 à 272 - moyenne 232 Espec De 279 à 496 - moyenne 405</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2
	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1
	CHP:CCgaz rad (+ECS) SANS stock
	CHP:CCgaz rad (+ECS) stock
	CHP:CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock
	CHP:CCgaz VC BT (+ECS) stock
	CHP:CCmazout rad (+ECS) stock
	CHP:CCmazout VC BT (+ECS) stock
	CHP:CNC bio rad (+ECS) stock
CHP:CNC bio VC BT (+ECS) stock	
CHP:PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock	
CHP:PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock	
EA 2	
Inertie léger	
Mur 0.15 + MI 1.0	
Mur 0.20 + MI 1.0	
Mur 0.24 + MI 1.0	
Plancher 0.15	
Plancher 0.24	
Plancher 0.3	
ST2	
Toit 0.15	
Toit 0.20	
Toit 0.24	
Ventilation C	
Ventilation C+ 0.43	
Ventilation C+ 0.9	
Ventilation D	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.26

4.26.2. Combinaisons générées par le COT

- **1.584** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **83.849** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **139** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.26.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 232** et un **CGA macroéconomique = 249.138 €** (84.152 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 38: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8968 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	121	190	13.558 €	83.942 €	96.677 €
base	6,71	157	232	- €	84.152 €	98.251 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8970 Mur 0.15(ME0.15) (M1)	0,15	108	177	16.943 €	83.337 €	95.750 €
base	2,14					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8981 Toit 0.24 (PfGr0.24, TP0.24) (H1, T3)	0,24	129	204	6.868 €	81.174 €	94.143 €
base	2,01					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8975 Plancher 0.24(PIcave0.24, PIE 0.24, PISol0.24) (S1, S4, S5)	0,24	141	219	3.084 €	82.501 €	96.064 €
base	1,1					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 8968; groupe F1, Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,15 W/m²K** (combinaison 8970 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 8981 ; groupe H1,T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 8975; groupe S1,S4,S5).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U max 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.26.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (E_w 191) / (E_{spec} 327 kWh/m²an), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (244.527 €), pour un investissement initial de (9.952 €). Cette combinaison (181) (H1, S1, S4, S5, T3) présente les améliorations suivantes :

- U moyen du plancher du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe H1 consiste à isoler le plancher du grenier par le haut en plaçant un isolant de type laine minérale en pose continue sur le support existant. La pose d'un pare-vapeur est prise en compte dans ces travaux.
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe T3 consiste à isoler la toiture plate par l'extérieur en plaçant un isolant de type PUR/PIR sur le complexe existant ainsi qu'une nouvelle étanchéité. La rehausse des acrotères, l'adaptation des zingueries (rives, gouttières, avaloir, solin, ...) sont inclus dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S1 consiste à isoler le plancher sur cave par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Ce travail ne nécessite aucune dépose de matériau existant ni aucun ragréage après intervention. Aucune finition côté cave n'est comptée dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur sol (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S4 consiste à isoler le plancher sur sol par le haut à l'aide de PUR/PIR projeté ou en panneaux (avec sous-chape comprise dans ce dernier cas). La dépose de la chape et finition existante ainsi que la réalisation d'une nouvelle chape et la pose d'une nouvelle finition intérieure sont comprises dans ce poste ;
- U moyen du plancher sur extérieur (au-dessus de l'entrée) (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S5 consiste à isoler le plancher sur extérieur par le bas à l'aide de PUR/PIR ou de projection de mousse expansée par de l'eau. Une nouvelle finition extérieure de type bardage sur lattage est comprise dans ce poste ;
- BNC (**26.645 kWh/an**) de 23% inférieur à celui de la base (**34.701 kWh/an**) ;

A noter : pour un investissement de 26.271 €, les châssis simple vitrage existant sont remplacés par (Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0). Le CGA n'augmente que de 2000 € par rapport au CGA cost optimum ; par contre le E_w passe de 191 à 148 et le E_{spec} de 327 à 254. Le remplacement intégral des châssis simple vitrage est par conséquent à considérer pour ce bâtiment. Dans ce cas un système de ventilation est conseillé, suite à l'amélioration de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Cette combinaison (631) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) – $U_f = 1,7$ W/m²K / $U_g = 1,1$ W/m²K / $g = 0,63$ / intercalaire isolant ;
Le groupe F1 est constitué de nouveaux châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à

l'air de l'enveloppe. Le ragréage des enduits intérieurs et la pose de nouvelles tablettes de fenêtre sont compris dans ce poste ;

- U moyen des fenêtres de toit (**1,45 W/m²K**) – Uf = 1,7 W/m²K / Ug = 1,0 W/m²K / g = 0,46 ;
Le groupe Ftoit1 consiste à placer de nouvelles fenêtres de toit, y compris la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes (**2,00 W/m²K**)
Le groupe P2 consiste à remplacer la porte extérieure sans modifier son emplacement, en y ajoutant la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air. Le ragréage des enduits intérieurs est comptabilisé dans ce poste.

4.27.IAE9 - Immeuble à appartements d'après 1990

4.27.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>5 niveaux, 5 appartements Bâtiment 4 façades de 1994 en partie sur caves Murs creux, toiture, plancher légèrement isolés Double vitrage Chauffage central collectif mazout ECS sur chaudière ACH : 379,21 m² VP : 1128,88 m³ valeur immobilière : 448.015 €</p> <p>Niveau K 68 Niveau Ew De 122 à 152 – moyenne : 135,4 Espec De 184 à 312 – moyenne : 238,8</p>	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2
	Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + prot sol + Ftoit2
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1
	Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + prot sol + Ftoit1
	CHPM:CCgaz rad (+ECS) SANS stock
	CHPM:CCgaz rad (+ECS) stock
	CHPM:CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock
	CHPM:CCgaz VC BT (+ECS) stock
	CHPM:CCmazout rad (+ECS) stock
	CHPM:CCmazout VC BT (+ECS) stock
	CHPM:CNC bio rad (+ECS) stock
	CHPM:CNC bio VC BT (+ECS) stock
CHPM:PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock	
CHPM:PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock	
EA 2	
Inertie léger	
Mur 0.15	
Mur 0.20	
Mur 0.24	
Plancher 0.15	
Plancher 0.24	
Plancher 0.3	
ST4	
Toit 0.15	
Toit 0.20	
Toit 0.24	
V1.1/0.63-bois existant	
Ventilation C	
Ventilation C + 0.43	
Ventilation C + 0.9	
Ventilation D	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.27

4.27.2. Combinaisons générées par le COT

- **5.072** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **1.766.533** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **71** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.27.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 134** et un **CGA macroéconomique= 573.837 €** (125.822 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 39: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3336 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit1)	1,43	63	129	29.406 €	149.921 €	163.621 €
base	2,25	68	134	- €	125.822 €	138.527 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3340 Mur 0.24(ME0.24, Mcave0.24, Ms0.24) (M1, M12, M16)	0,24	38	101	70.360 €	162.929 €	176.146 €
base	0,81					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3348 Toit 0.24(PfGr0.24, T0.24) (H1,T2)	0,24	64	129	14.427 €	135.411 €	148.433 €
base	0,5					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3342 Plancher 0.24 (PICave0.24, PISol0.24) (S1, S4)	0,24	66	132	15.822 €	138.853 €	152.174 €
base						

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 3336 ; groupe F1, Ftoit1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 3340 ; groupe M1, M12, M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 3348 ; groupe H1, T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 3342; groupe S1,S4).

- Le U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) , des planchers (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.27.4. Niveau de performance cost optimum E_w / E_{spec}

Le niveau de performance cost optimum (**E_w 134**) (**E_{spec} 233 kWh/m²an**), correspond à la base, affichant le **CGA macroéconomique** le plus bas (**573.837 €**). Cette combinaison (base) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (2,22 W/m²K) – $U_f = 2,36$ W/m²K / $U_g = 1,9$ W/m²K / $g = 0,77$;
S'agissant de murs creux, les châssis en bois double vitrage sont légèrement décalées du bloc porteur et partiellement en contact avec l'isolant. Il n'y a pas de membrane d'étanchéité à l'air sur le pourtour des châssis ;
- U moyen des fenêtres de toiture (2,38 W/m²K) – $U_f = 2,36$ W/m²K / $U_g = 1,9$ W/m²K / $g = 0,77$;
- U moyen des portes (4,00 W/m²K)
- U moyen des murs extérieurs en briques (0,79 W/m²K) ;
Les murs extérieurs sont des murs creux constitués d'un bloc porteur en béton de 14 cm d'épaisseur, d'un isolant en laine minérale (λ 0,05 W/mK) de 4cm d'épaisseur, d'une lame d'air peu ventilée et d'une brique de terre cuite de 9cm d'épaisseur ;
- U moyen des murs extérieurs (mitoyen non construit) en bardage (0,71 W/m²K) ;
Ce mur extérieur étant situé sur la limite mitoyenne, il est constitué d'un porteur en brique de 29 cm d'épaisseur, d'un isolant en laine minérale (λ 0,05 W/mK) de 4cm d'épaisseur, d'une lame d'air fortement ventilée et d'un bardage ;
- U moyen des murs contre terre (0,82 W/m²K) ;
Les murs contre terre sont constitués d'un bloc creux de béton de 29 cm d'épaisseur avec étanchéité coté extérieur et plafonnage côté intérieur ;
- U moyen des murs contre caves (1,31 W/m²K) ;
Les cloisons contre caves sont constituées d'un bloc creux de béton de 9 cm d'épaisseur avec plafonnage de part et d'autre ;
- U moyen du toit (0,50 W/m²K) ;
Il s'agit d'une toiture en ossature bois de 23 cm d'épaisseur avec laine minérale (λ 0,045 W/mK) de 12cm d'épaisseur placée entre la structure, une finition intérieure en plaque de plâtre et une couverture sur lattage, contre lattage et pare-pluie ;
- U moyen du plancher du grenier (0,48 W/m²K) ;
Il s'agit d'une toiture en ossature bois de 23 cm d'épaisseur avec laine minérale (λ 0,045 W/mK) de 12cm d'épaisseur placée entre la structure, une finition intérieure en plaque de plâtre. Aucune finition n'est présente coté grenier.
- U moyen du plancher sur sol (**0,42 W/m²K**) ;

Il s'agit d'un plancher lourd composé d'une dalle de béton armé de 20cm d'épaisseur, d'une pré chape, d'un isolant XPS (λ 0,045) de 4cm d'épaisseur, d'une chape de finition et d'un carrelage ;

- U moyen du plancher sur caves (**0,41 W/m²K**) ;

Il s'agit d'un plancher lourd composé de hourdis (y compris chape de compression), d'un isolant XPS (λ 0,045 de 2cm) d'épaisseur, d'une chape de finition et d'un carrelage ;

- Consommation finale d'énergie (**38.694 kWh/an**) ;
- Producteur de chaleur/ECS (chaudière collective mixte au mazout) ;
- BNC (**38.694 kWh/an**).

4.28.IANI - Immeuble de 6 appartements neuf

4.28.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>4 niveaux dont sous-sol, 6 appartements Bâtiment 4 façades de 2014 Sur cave Murs creux, toiture et planchers isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central collectif mazout ECS sur chaudière Ventilation système C Etanchéité à l'air 6m³/h.m² ACH : 641 m² VP : 2163,13 m³ Valeur immobilière: 1.098.945 €</p> <p>Niveau K 31 Niveau Ew De 63 à 69 – moyenne : 66,7 Espec De 88 à 118 – moyenne : 106,7</p>	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.28

4.28.2. Combinaisons générées par le COT

- **11.580** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **741.057** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **622** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.28.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois et K du bâtiment

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 67** et un **CGA macroéconomique = 1.213.838 €** (114.893 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 40: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3032 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63, Ftoit 1) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu,P3-Bois/Alu,S1,S5,T3)	1,43	27	64	12.428 €	121.188 €	138.473 €
Base	1,83	31	68	- €	114.893 €	130.317 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3034 Murs 0.15(ME0.15, Mcave0.15, Ms0.15) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu,P3-Bois/Alu,S1,S5,T3)	0,15	29	66	11.290 €	122.565 €	139.942 €
Base	0,22					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3040 Toiture 0.20(T0.20) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, P3-Bois/Alu, S1,S5,T3)	0,2	31	68	67 €	114.794 €	130.216 €
Base	0,21					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
3037 Plancher 0.24(PISol0.24, Pleanc0.24) (F1, Ftoit2, M1, M12, M16, P1-Alu, P3-Bois/Alu, S1,S5,T3)	0,24	31	68	-273 €	114.835 €	130.228 €
Base	0,23					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 3032 ; groupe F1, Ftoit2) ;
- L'optimum **U murs = 0,15 W/m²K** (combinaison 3034 ; groupe M1, M12, M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 3040 ; groupe T3
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 3037 ; groupe S1, S5).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimums ;
- Le U max 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum ;

4.28.4. Niveau de performance cost optimum E_w, E_{spec} et K du bâtiment

Le niveau de performance **cost optimum (E_w 39) / (E_{spec} 63 kWh/an) (K 31)** correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**1.139.326 €**), pour un investissement initial de (**16.495 €**). Cette combinaison (10136) (F1, Ftoit1, M12, M16, M9, P1, P3, S1, S5, T3, VCC2) présente les caractéristiques suivantes :

- U moyen des fenêtres (1,67 W/m²K) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe F1 est constitué de châssis, dans ce cas en PCV double vitrage, déportés du mur porteur et posés dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Les seuils extérieurs et tablettes de fenêtre intérieures sont compris dans ce poste.
- U moyen des fenêtres de toit (1,76 W/m²K) – U_f = 2,4 W/m²K / U_g = 1,1 W/m²K / g = 0,63
Le groupe Ftoit1 comprend les fenêtres de toit en bois avec la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et la réalisation des finitions intérieures ;
- U moyen des portes extérieures (2,00 W/m²K)
Le groupe P1 reprend la porte extérieure, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe. Le seuil extérieur est compris dans ce poste.
- U moyen des portes contre cave (2,00 W/m²K)
Le groupe P3 reprend la porte contre cave, placée en déport du mur porteur, dans l'épaisseur de l'isolant. Une membrane d'étanchéité à l'air est placée sur le pourtour complet de chaque châssis afin d'améliorer durablement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe ;
- U moyen des murs extérieurs (0,22 W/m²K) ;
Le groupe M9 caractérise les murs construits en maçonnerie traditionnelle, c'est-à-dire, composés d'un bloc porteur creux en béton de 15cm, d'un isolant de type PUR/PIR ou laine minérale, d'une lame d'air peu ventilée et d'un parement en brique de terre cuite de 9cm d'épaisseur. La finition intérieure en plafonnage est reprise dans ce poste ;
- U moyen des murs contre cave (0,22 W/m²K) ;
Le groupe M12 caractérise les murs construits en maçonnerie et situés contre les caves exclues du volume protégé. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 15cm, d'un isolant de type

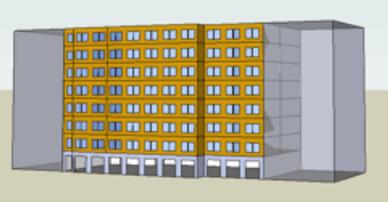
PUR/PIR placé coté cave et d'une finition intérieure en plafonnage. Aucune finition coté cave n'est comprise dans ce groupe ;

- U moyen des murs contre terre (0,22 W/m²K) ;
Le groupe M16 caractérise les murs construits en maçonnerie et situés contre les terres extérieures. Ils sont composés d'un bloc creux en béton de 39cm, d'un isolant de type XPS placé coté extérieur et recouvert d'une étanchéité (cimentage + goudronnage + membrane nopée). Généralement situé dans les espaces techniques, aucune finition coté intérieur n'est comprise dans ce groupe ;
- U moyen du plancher sur sol (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S1 reprend les dalles sur sol isolées par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : dalle en béton armé avec géotextile, empierrement, sable et visqueen, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux) sur la dalle, chape de finition et revêtement intérieur ;
- U moyen du plancher sur espace adjacent non chauffé (**0,24 W/m²K**) ;
Le groupe S5 caractérise les planchers sur EANC hors du volume protégé et isolés par le haut. La composition de ce groupe est la suivante : hourdis en béton y compris chape de compression, isolation de type PUR/PIR (y compris pré-chape si isolant en panneaux), chape de finition et revêtement intérieur ;
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**) ;
Le groupe T3 caractérise la toiture en pente construite en pannes-chevrons avec isolation de type laine minérale ou cellulose entre la structure et pare-vapeur plus finition en plaques de plâtre sur lattage coté intérieur. À l'extérieur on retrouve le pare-pluie, le lattage et contre lattage et la couverture ;
- Système de ventilation C centralisé (facteur de réduction 0,43)
L'apport d'air neuf se fait dans les locaux secs par des grilles intégrées aux châssis des espaces concernés, tandis que l'extraction est assurée dans les locaux humides par un groupe de ventilation unique relié aux pièces humides par des gaines et bouches de ventilation. Ce système de ventilation à la demande comprend des détecteurs de présence, des sondes d'humidité et/ou de CO₂ justifiant ce facteur de réduction ;
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe (**v50= 6 m³/m²h**) ;
Cette valeur correspond à une mise en œuvre de qualité moyenne des techniques et matériaux utilisés. Les coûts considérés dans l'étude ne prévoient aucun supplément associé à la qualité d'une mise en œuvre effectuée dans les règles de l'art ;
- Producteur de chaleur et d'eau chaude sanitaire : une chaudière collective mixte gaz à condensation ayant un rendement de 107% sur PCI, avec stockage pour l'eau chaude sanitaire. L'émission de chaleur est assurée par des ventilo-convecteurs.
- Energie renouvelable : ST4
4 m² de capteurs solaires thermiques par appartement sont combinés au système de production d'ECS décrit ci-dessus ;
- BNC (**22.639 kWh/an**);

- Consommation finale en énergie (**29.400 kWh/an**).

4.29.BUE1 - Grand bureau existant (avant 1945)

4.29.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construit en zone urbaine non résidentielle Immeuble compact mitoyen de 7 niveaux Parking ouvert au rez Murs pleins en briques, simple vitrage Chauffage central gaz Chauffe-eau gaz Refroidissement machine à compression ACH : 5725 m² VP : 15533 m³ Valeur immobilière 3.142.939 €</p> <p>Niveau K 149 Niveau Ew 466 Espec 328 kWh/m²an</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5
	Châssis 1.7/1.0/0.5
	Châssis 1.7/1.1/0.63
	Mur 0.15 + EA 2
	Mur 0.20 + EA 2
	Mur 0.24 + EA 2
	Plancher 0.15
	Plancher 0.24
	Plancher 0.30
	Protections Solaires Ext Auto
Toiture 0.15	
Toiture 0.20	
Toiture 0.24	
Vent D	
Ch Bio Rad	
Ch Bio VC	
Ch Gaz Rad	
Ch Gaz VC	
Ch Mazout Rad	
Ch Mazout VC	
Ch PAC air-air 3.2 rev	
Ch PAC air-eau rad 4 rev + CNC gaz E	
Ch PAC air-eau rad 4 rev + CNC mazout E	
Ch PAC air-eau VC 3.1 rev	
Ch PAC air-eau VC 4 rev	
Ch PAC sol-eau VC 4.75 rev	
Eclairage LED	
ECS Ch-eau Gaz	
ECS Ch-eau Gaz Ballon	
ECS Rélec ballon	
Froid Clim air-air EER4	
Froid PAC air-eau EER3	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.29

4.29.2. Combinaisons générées par le COT

- **47.880** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes ont été générées par le COT ;
- **231.120** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **83** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.29.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le grand bureau existant de référence affiche un **E_w 466** et un **CGA macroéconomique = 5.451.636 €** (2.308.697 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 41: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8381 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1)	1,43	118	417	199.953 €	2.291.802 €	2.529.231 €
base	5,11	149	466	0 €	2.308.697 €	2.526.774 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
base	2,13					
8383 Mur 0.15(ME0.15) (M1)	0,15	110	401	165.352,00 €	2.158.245 €	2.368.567 €
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8392 Toiture 0.24(TP0.24) (T3)	0,24	120	414	75.115 € €	2.138.705 €	2.341.177 €
base	2,9					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
8387 Plancher 0.24(PIE0.24) (S5)	0,24	119	413	109.192 €	2.164.850 €	2.373.462 €
base	2,98					

Pour ce grand bureau, construit avant 1945 :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 8381 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,15 W/m²K** (combinaison 8383 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 8392 ; groupe T3)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 8387 ; groupe S5).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 du toit (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums

4.29.4. Niveau de performance cost optimum E_w

Le niveau de performance cost optimum (**E_w122**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**4.413.000 €**), pour un investissement initial de **727.914 €** Cette combinaison (36192) (**F1, M1, S5, T3**) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) et facteur solaire moyen (**g=0,63**) ; G base=0,87
- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen du sol (**0,24 W/m²K**) ;
- Niveau d'étanchéité v50 (2 m³/h/m²) renforcé ; v50 base (15 m³/h/m²) ;
- Protections solaires fixes de base remplacées par un vitrage plus performant
- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (**46.907 kWh/an**) ; base (152.449 kWh/an)
- BNC (**70.877 kWh/an**) de 88 % inférieur à celui de la base (616.092 kWh/an).

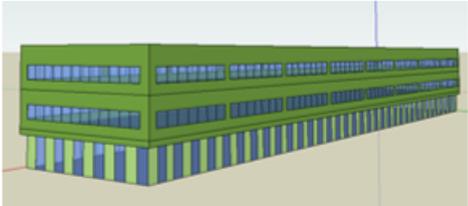
Les améliorations principales concernent l'isolation de l'enveloppe, le remplacement des fenêtres et de l'éclairage par un éclairage LED.

A noter :

- Le besoin net en froid de la CO (**58.355 kWh/an**) est supérieur à celui de la base (**14.972 kWh/an**)
- Aucune des combinaisons enveloppe-systèmes du FP ne permettrait d'atteindre l'exigence Ew65 (en vigueur pour les bâtiments neufs). Pour passer sous la barre du Ew79, l'ajout d'un système solaire PV est nécessaire.

4.30. BUE2 - Petit bureau existant (1970)

4.30.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construit en 1970, implanté dans un parc industriel</p> <p>Bâtiment peu compact, 3 niveaux</p> <p>Murs creux, double vitrage</p> <p>Chauffage central gaz</p> <p>ECS boiler électrique et chauffe-eau gaz</p> <p>Refroidissement machine à compression</p> <p>ACH : 4953 m²</p> <p>VP : 18352 m³</p> <p>Valeur immobilière 3.534.034 €</p> <p>Niveau K 78</p> <p>Niveau Ew 191</p> <p>Espec 339 kWh/m²an</p>	<p>Châssis 0.95/0.6/0.5</p> <p>Châssis 1.7/1.0/0.5</p> <p>Châssis 1.7/1.1/0.63</p> <p>Mur 0.15 + EA 2</p> <p>Mur 0.20 + EA 2</p> <p>Mur 0.24 + EA 2</p> <p>Plancher 0.15</p> <p>Plancher 0.24</p> <p>Plancher 0.30</p> <p>Protection Solaire Ext Auto</p> <p>Toiture 0.15</p> <p>Toiture 0.20</p> <p>Toiture 0.24</p> <p>Vent D</p> <p>Ch Bio Rad</p> <p>Ch Bio VC</p> <p>Ch Gaz Rad</p> <p>Ch Gaz VC</p> <p>Ch Mazout Rad</p> <p>Ch Mazout VC</p> <p>Ch PAC air-air 3.2 rev</p> <p>Ch PAC air-eau 3.1 VC rev</p> <p>Ch PAC air-eau 4 rad rev</p> <p>Ch PAC air-eau 4 rad rev +CNCgazE</p> <p>Ch PAC air-eau 4 rad rev +CNCmazoutE</p> <p>Ch PAC sol-eau 4.75 VC rev</p> <p>Eclairage LED</p> <p>ECS Ch-eau Gaz</p> <p>ECS Ch-eau Gaz Ballon</p> <p>ECS Relec Ballon</p> <p>Froid Clim air-air 4</p> <p>Froid PAC air-eau EER3</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.30

4.30.2. Combinaisons générées par le COT

- **6568** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **48766** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **115** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.30.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bureau de référence affiche un **Ew191** et un **CGA macroéconomique = 6.056.078 €** (2.522.044 € hors valeur immobilière)

Les combinaisons cost optimums au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 42: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE2

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
292628 Châssis 1.7/1.1/0.63 (Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1)	1,43	53	165	371.672 €	2.632.411 €	3.048.725 €
Base	3,85	78	191		2.522.044 €	2.890.872 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
292631 Mur 0.20(ME0.20) (M1)	0,2	66	178	196.140 €	2.583.494 €	2.975.776 €
Base	0,95					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
292638 Toiture 0.20(T0.20) (T2)	0,2	69	181	170.552 €	2.588.105 €	2.979.152 €
Base	0,81					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
292634 Plancher 0.24 (PIE0.24, PISol0.24) (S4, S5)	0,24	72	185	208.604 €	2.668.136 €	3.072.389 €
base	0,62					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 292628 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 292631 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 292638 ; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 292634 ; groupe S4, S5).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Le U max 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.30.4. Niveau de performance cost optimum E_w

Le niveau de performance cost optimum (**E_w119**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**5.389.284 €**), pour un investissement initial de **392.147 €**. Cette combinaison (340112) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (**55.436 kWh/an**), de 70% inférieur à celle de la base (185.712 kWh/an) ;
- Producteur de chaleur (chaudière gaz à condensation avec ventiloconvecteurs) plus performante que la base (chaudière gaz sans condensation avec radiateurs) ;
- Producteur ECS de base (chauffe-eau gaz avec ballon de stockage) remplacé par un chauffe eau instantané ;
- Climatisation de base air-air remplacée par des multisplits air-air ;
- Besoin Net en Froid (**29.838 kWh/an**) de 13% inférieur à celui de la base (34.138 kWh/an).

Les améliorations concernent le remplacement du producteur de chaleur, d'ECS et de froid, ainsi que le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

4.31. BUE3 - Petit bureau existant (1984)

4.31.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>Situé au rez d'un immeuble à appartements Bâtiment mitoyen sur caves Mur creux, plancher très légèrement isolés Double vitrage Chauffage central gaz ECS boiler électrique Refroidissement machine à compression ACH : 105 m² VP : 337 m³ Valeur immobilière 107.919 €</p> <p>Niveau K 54 Niveau Ew 154 Espec 186 kWh/m²an</p>	<p>Nom</p> <p>Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8</p> <p>Châssis 1.7/1.0/0.5 +Porte 2.0</p> <p>Châssis 1.7/1.1/0.63 + Porte 2.0</p> <p>Mur 0.15 + EA 2</p> <p>Mur 0.20 + EA 2</p> <p>Mur 0.24 + EA 2</p> <p>Plancher 0.15</p> <p>Plancher 0.24</p> <p>Plancher 0.30</p> <p>Protection Solaire Ext Auto</p> <p>Vent D</p> <p>Ch Bio Rad</p> <p>Ch Bio VC</p> <p>Ch Gaz Rad</p> <p>Ch Gaz VC</p> <p>Ch Mazout Rad</p> <p>Ch Mazout VC</p> <p>Ch PAC air-air 3.2</p> <p>Ch PAC air-eau rad 4 + CNC gazE</p> <p>Ch PAC air-eau rad 4 + CNC mazout E</p> <p>Ch PAC air-eau VC 3.1</p> <p>Ch PAC air-eau VC 4</p> <p>Ch PAC sol-eau VC 4.75</p> <p>Edairage LED</p> <p>ECS ch-eau gaz</p> <p>ECS ch-eau gaz ballon</p> <p>ECS Rélec ballon</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.31

4.31.2. Combinaisons générées par le COT

- **9.327** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes ont été générées par le COT ;
- **479.424** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **23** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP

4.31.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le petit bureau existant de référence affiche un **Ew 154** et un **CGA macroéconomique=138.836 €** (30.917 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 43: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_W INDOW	LEVEL_ K	LEVEL_E	INVESTMENT _COST	COST_ MACRO_ECO	COST_FIN
290902 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1)	1,43	46	145	5.909 €	35.457 €	41.576 €
base	2,92	54	154	0 €	30.917 €	35.961 €
COMBINAISON	U_AVG_W ALL_EXT	LEVEL_ K	LEVEL_E	INVESTMENT _COST	COST_ MACRO_ECO	COST_FIN
290904 Mur 0.20(ME0.20, MI1.0) (M1, M9)	0,2	48	146	12.341 €	42.077 €	49.570 €
base	0,58					
COMBINAISON	U_AVG_FL OOR	LEVEL_ K	LEVEL_E	INVESTMENT _COST	COST_ MACRO_ECO	COST_FIN
290907 Plancher 0.24 (PICave0.24) (S1)	0,24	38	132	1.356 €	29.015 €	33.948 €
base	0,55					

Pour ce petit bureau datant des années 80, intégré à un immeuble plus grand :

- L'optimum **U fenêtre pour ce bâtiment = 1,43 W/m²K** (combinaison 290902 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs pour ce bâtiment = 0,20 W/m²K** (combinaison 290904 ; groupe M1, M9) ;
- L'optimum **U sol pour ce bâtiment = 0,24 W/m²K** (combinaison 290907 ; groupe S1, isolation par le bas) ;
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Le U_{max} sol 2017 (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.31.4. Niveau de performance cost optimum E_w

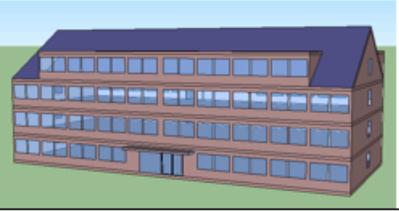
Le niveau de performance cost optimum (**E_w93**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**126.875 €**), pour un investissement initial de **4.100 €**. Cette combinaison (297196) (S1) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen du sol (U plancher **0,24 W/m²K**) ;
- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage, de type LED (**878 kWh/an**), nettement plus performant que la base (2.855 kWh/an) ;
- Producteur ECS (boiler électrique mis sur le marché avant 2015) de base, remplacé par un boiler plus performant ;
- Besoin Net en Chaleur (**5.712 kWh/an**) de 23% inférieur à celui de la base.

Les améliorations concernent l'isolation du plancher du petit bureau, le remplacement du producteur ECS et le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

4.32.BUE4 - Bureau existant (1996)

4.32.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construit en périphérie urbaine Bâtiment compact 4 niveaux sur cave Murs creux, toiture et plancher isolés Double vitrage Chauffage central gaz ECS chauffe eau gaz Refroidissement machine à compression ACH : 2247 m² VP : 5788 m³ Valeur immobilière 3.186.321 €</p> <hr/> <p>Niveau K 49 Niveau Ew 173 Espec 168 kWh/m²an</p>	<p>Châssis 0.95/0.6/0.5 Châssis 1.7/1.0/0.5 Châssis 1.7/1.1/0.63 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Mur 0.24 + EA 2 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.30 Protections Solaires Ext Auto Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Vent D Ch Bio Rad Ch Bio VC Ch Gaz Rad Ch Gaz VC Ch Mazout Rad Ch Mazout VC Ch PAC air-air 3.2 rev Ch PAC air-eau 4 rev + CNCgazE Rad Ch PAC air-eau 4 rev + CNCmazoutE Rad Ch PAC air-eau VC 3.1 rev Ch PAC air-eau VC 4 rev Ch PAC sol-eau VC 4.75 rev Eclairage LED ECS Ch-eau Gaz ECS Ch-eau Gaz Ballon ECS Relec Ballon Froid Clim Air-Air EER4 Froid PAC air-eau EER3</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.32

4.32.2. Combinaisons générées par le COT

- **9.198** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;

- **57.020** combinaisons de coûts ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **58** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP

4.32.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bureau de référence affiche un **Ew 173** et un **CGA macroéconomique = 3.868.438 €** (682.117 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 44: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE4

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15750 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1)	1,43	40	162	138.268 €	787.556 €	922.639 €
base	2,49	49	173	- €	682.117 €	793.607 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15753 Mur 0.20(ME0.20) (M1)	0,2	42	164	112.772 €	769.779 €	901.094 €
base	0,51					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15761 Toit 0.24(T0.24, TP0.24) (T2,T3)	0,24	45	168	67.929 €	736.177 €	859.836 €
base	0,48					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
15756 Plancher 0.24(PICave0.24) (S1)	0,24	44	166	3.238 €	666.228 €	775.677 €
base	0,59					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 15750 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 15753 ; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 15761 ; groupe T2, T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 15756 ; groupe S1) ;
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des planchers et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimaux.

4.32.4. Niveau de performance cost optimum Ew

Le niveau de performance cost optimum (**E_w120**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**3.645.124 €**), pour un investissement initial de **54.383 €**. Cette combinaison (91219) (S1) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen du sol (**0,24 W/m²K**) ;
- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (**20.244 kWh/an**), de 69% inférieure à celles de la base (65.794 kWh/an) ;
- BNC (**125.073 kWh/an**) de 4% inférieur à celui de la base (130.918kWh/an) ;
- Besoin net en froid (**11.068 kWh/an**) de 4% inférieur à celui de la base (12.394 kWh/an).

Les améliorations concernent l'isolation complémentaire du plancher sur cave et le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

A noter : l'effet de lock-in de l'isolation des murs à un niveau U 0,51 W/m²K.

4.33.BUE5 - Bureau existant (<1945)

4.33.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Maison de maître du 18^e siècle Transformée début 1990 en bureaux Bâtiment mitoyen Murs pleins et plancher non isolés, toiture légèrement isolée. Double vitrage Chauffage central gaz ECS boiler gaz ACH : 278 m² VP : 934 m³ Valeur immobilière: 105.565 €</p> <p>Niveau K 80 Niveau Ew 195 Espec 240 kWh/m²an</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5 + Ftoit 2 +Pext0.8 +Pcave0.8
	Châssis 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1 + Pext2+Pcave2
	Châssis 1.7/1.1/0.63 + Ftoit1 +Pext2 +Pcave2
	Mur 0.15 + EA 2
	Mur 0.20 + EA 2
	Mur 0.24 + EA 2
	Plancher 0.15
	Plancher 0.24
	Plancher 0.30
	Protections Solaires Ext Auto
	Toit 0.15
	Toit 0.20
	Toit 0.24
	Vent D
Ch Bio Rad	
Ch Bio VC	
Ch Gaz Rad	
Ch Gaz VC	
Ch Mazout Rad	
Ch Mazout VC	
Ch PAC air-air 3.2 rev	
Ch PAC air-eau rad 4 rev + CNC gaz E	
Ch PAC air-eau rad 4 rev + CNC mazout E	
Ch PAC air-eau VC 3.1 rev	
Ch PAC air-eau VC 4 rev	
Ch PAC sol-eau VC 4.75 rev	
Eclairage LED	
ECS Ch-eau Gaz	
ECS Ch-eau Gaz Ballon	
ECS Relec Ballon	
Froid Clim air-air EER4	
Froid PAC air-eau EER3	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.33

4.33.2. Combinaisons générées par le COT

- **1.583** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **310.199** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **27** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.33.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bureau de référence affiche un **Ew195** et un **CGA macroéconomique = 197.583 €** (92.018 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 45: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE5

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
71302 Châssis 1.7/1.1/0.63 +Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, F4)	1,57	57	171	35.678 €	115.167 €	132.064 €
base	3,52	80	195	€	92.018 €	104.028 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
71305 Mur 0.20(ME0.20, MI1.0, Mcave0.2) (M1, M12, M9)	0,2	71	183	41.455 €	128.382 €	148.404 €
base	0,56					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
71314 Toit 0.20(T0.20) (T2)	0,2	74	186	21.140 €	109.546 €	125.505 €
base	0,48					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
71309 Plancher 0.30 (PICave0.30, PISol0.3) (S1, S4)	0,3	70	182	10.829 €	97.236 €	110.748 €
base	0,92					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,57 W/m²K** (combinaison 70022 ; groupe F1, F4) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 70025 ; groupe M1, M12, M9) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 70032 ; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,30 W/m²K** (combinaison 70029 ; groupe S1, S4).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) sont plus exigeants que le cost optimum
- Les Umax 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum

4.33.4. Niveau de performance cost optimum Ew

Le niveau de performance cost optimum (**Ew121**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**165.744 €**), pour un

investissement initial de **10.771 €**. Cette combinaison (79230) (M12, S1) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des murs extérieurs (**0,15 W/m²K**) ;
- U moyen du plancher sur cave (**0,15 W/m²K**) ;
- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (kWh/an), plus performant que la base (**1.883 kWh/an**) de 69% inférieure à celle de la base (6.121 kWh/an) ;
- BNC (**18.752 kWh/an**) de 35% inférieur à celui de la base (28.779 kWh/an).

Les améliorations concernent l'isolation des murs extérieurs et du sol, ainsi que le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

4.34.BUNI - bâtiment de bureau 4 façades, neuf

4.34.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes Enveloppe/Systèmes
 <p>Bâtiment 4 façades 3 niveaux dont parking et locaux techniques au rez-de-chaussée Murs crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz ECS chauffe eau gaz Refroidissement machine à compression Ventilation système D Protection solaire intérieure Etanchéité à l'air 4m³/h.m² ACH : 1431 m² VP : 5503 m³ Valeur immobilière: 3.302.197 €</p> <p>Niveau K 43 Niveau Ew 70 Espec 115 kWh/m²an</p>	<p>Châssis 0.95/0.6/0.5 + Ftoit 2 +Peanc 0.8 Châssis 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1 +Peanc 2.0 Châssis 1.7/1.1/0.63 + Ftoit1 +Peanc 2.0 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Protections solaires Toit 0.15 Toit 0.20 Vent D Eclairage LED Froid Clim air-air EER4 Froid PAC air-eau EER3 Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz VC NoStock Mix CCgaz VC Stock Mix CCmazout Rad Stock Mix CCmazout VC Stock Mix CNCbio Rad Stock Mix CNCbio VC Stock Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock Rev</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.34

4.34.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.749** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du FP ont été générées par le COT ;
- **18.793** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **94** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.34.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew70** et un **CGA macroéconomique = 3.568.576,00 €** (266.379 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 46: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUN1

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
70092 Châssis 1.7/1.1/0.63 + Ftoit1 (Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, Ftoit1, M13, M16, M3, S1, S2, S5, T2, T3)	1,43	36	64	84.436 €	331.387 €	380.100 €
Base	2,14	43	70	- €	266.379 €	300.151 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
70095 Mur 0.20 (ME0.20, Meanc 0.2) (F1, M13, M16, M3, S1, S2, S5, T2, T3)	0,22	41	68	8.365 €	268.831 €	303.614 €
Base	0,32					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
70102 Toit 0.20(T0.20, TP0.20) (F1, M13, M16, M3,S1,S2,S5, T2,T3)	0,20	42	69	7.231 €	269.761 €	304.566 €
Base	0,27					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
70097 Plancher 0.24(PIE0.24, PISol 0.24, Pleanc0.24) (F1, M13, M16, M3, S1, S2, S5, T2,T3)	0,24	41	68	2.854 €	263.588 €	297.238 €
Base	0.35					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 70092 ; groupe F1, Ftoit1) ;

- L'optimum **U murs = 0,22 W/m²K** (combinaison 70095 ; groupe M13, M16, M3,);
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 70102 ; groupe T2, T3)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 70097 ; groupe S1, S2, S5).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le U-optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.34.4. Niveau de performance cost optimum E_w et K du bâtiment

Le niveau de performance **E_w64, K41** correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA le plus bas (**3.533.559 €**), pour un surcoût d'investissement de (**6.194 €**). Cette combinaison (76618) (F1, M13, M16, M3, S1, S2, S5, T2, T3) présente les caractéristiques suivantes :

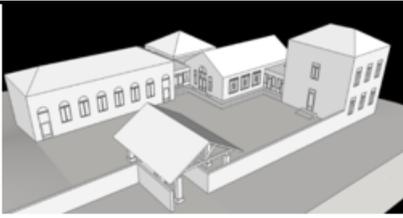
- Isolation par le haut de la dalle de plancher au niveau **U 0,24 W/m²K** ;
- Consommation finale en énergie liée à l'éclairage LED (**12.410 kWh/an**);
- Producteur mixte (chauffage et ECS) par chaudière gaz à condensation (η 107%), sans stockage, avec ventilo-convecteurs à haute température ;
- Refroidissement par Pompe à Chaleur avec Ventilo-convecteurs avec un **EER de 3** ;
- BNC (73.414 kWh/an).

Les mesures principales concernent l'isolation du sol et l'éclairage LED.

A noter : La combinaison 76995 du FP permet d'atteindre l'exigence **E_w45** (en vigueur à partir de 2021 pour les bâtiments neufs). Les améliorations principales concernent toutes les parois ainsi que l'étanchéité de l'enveloppe. Le **surcoût d'investissement initial de 166.029 €** se traduit par un CGA de **3.648.032 €**.

4.35.EE1 - Ecole maternelle/primaire (<1945) de surface < 5000 m²

4.35.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construite début du 20^e siècle, agrandie en 1994 Plusieurs bâtiments Murs pleins non isolés (volume initial) et murs creux isolés (annexe), planchers non isolés, toitures en partie isolés, simple et double vitrage Chauffage central mazout ECS boiler électrique ACH : 1158,72 m² VP : 4589,63 m³ valeur immobilière: 680.872 €</p> <p>Niveau K 107</p> <p>Niveau Ew 196</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5 +Ftoit 2 +Porte 0.8
	Châssis 1.7/1.0/0.5 +Ftoit 1 +Porte2.0
	Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 + Porte 2.0
	Mur 0.15 + EA 2
	Mur 0.20 + EA 2
	Mur 0.24 + EA 2
	Plancher 0.15
	Plancher 0.24
	Plancher 0.30
	Protection Solaire Ext Man
	Toit 0.15
	Toit 0.20
	Toit 0.24
	Vent D
	Eclairage LED
Froid Clim air-air EER4	
Froid PAC air-eau EER3	
Mix CCgaz Rad NoStock	
Mix CCgaz Rad Stock	
Mix CCgaz VC NoStock	
Mix CCgaz VC Stock	
Mix CCmazout Rad Stock	
Mix CCmazout VC Stock	
Mix PAC air-eau VC 4 Stock Rev	
Mix PAC sol-eau VC 4.75 Stock Rev	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.35

4.35.2. Combinaisons générées par le COT

- **1.373** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **336.900** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **48** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.35.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

L'école de référence affiche un **Ew 196** et un **CGA macroéconomique = 1.420.485 €** ; (739.613 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 47: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307283 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, F4)	1,43	95	185	84.145 €	780.813 €	877.004 €
base	3,42	107	196	- €	739.613 €	821.735 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307287 Mur 0.24(ME0.24, Mcave0.24, Ms0.24) (M1, M12, M16)	0,24	69	150	145.565 €	716.119 €	814.634 €
base	1,39					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307294 Toit 0.20(PfGr0.2, T0.20, TP0.20) (H1, T2, T3)	0,2	83	167	79.006 €	713.018 €	802.876 €
base	1,54					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307289 Plancher 0.24 (PIcave0.24, PISol0.24) (S1, S4)	0,24	102	190	54.499 €	770.484 €	862.069 €
base	0,53					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 307283 ; groupe F1, F4) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 307287 ; groupe M1, M12, M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 307294 ; groupe H1, T2, T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 307289 ; groupe S1, S4).
- Les Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.35.4. Niveau de performance cost optimum Ew

Le niveau de performance cost optimum (**E_w126**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**1.177.409 €**), pour un investissement initial de **104.024 €**. Cette combinaison (313360) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (**6.793 kWh/an**), de 69% inférieure à la base (22.077 kWh/an) ;
- Producteur de chaleur (chaudière gaz à condensation) et production d'ECS instantanée plus performants que la base (chaudière au mazout, avec stockage, sans condensation) ;
- Une consommation finale en énergie (280965 kWh/an) de 32% inférieure à celle de la base (412.259 kWh/an).

Les améliorations concernent le remplacement du producteur de chaleur/ECS et le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

A noter, la combinaison 312814 avec un **CGA de 1.193.591 €**, à peine 1% supérieur au CGA de la combinaison cost optimum et un **investissement initial de 308.544 €** satisfait à l'exigence **E_w65** en vigueur pour les bâtiments neufs. Cette combinaison présente un **gain énergétique de 61 point E_w** par rapport à l'optimum strict.

Outre les remplacements de systèmes les améliorations suivantes sont effectuées au niveau de l'isolation des murs et du toit (par rapport à la base) :

- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
- Une étanchéité à l'air (**v₅₀ = 2m³h/m²**) plus performante que la base (v₅₀=15 m³h/m²) ;
- Un BNC (**98.839 kWh/an**) de 57% inférieur à celui de la base (231.667 kWh/an) ;
- Un besoin en froid de **1.479 kWh/an** (pas de besoin en froid pour la base)
- Une consommation finale en énergie (**118.106 kWh/an**) de 71% inférieure à celle de la base (412.259 kWh/an).

4.36.EE2 - Ecole maternelle primaire (1950) de surface < 5000 m²

4.36.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construite en 1950, 2 volumes perpendiculaires de 2 et 3 niveaux sur vides ventilés. Grenier non aménagé. Murs creux, planchers et plafonds non isolés Simple vitrage Chauffage central gaz ECS chauffe-eau gaz ACH : 1499,06 m² VP : 6187,74 m³ Valeur immobilière: 1.247.331 €</p> <p>Niveau K 148 Niveau Ew 263</p>	<p>Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8 Châssis 1.7/1.0/0.5 +Porte 2.0 Châssis 1.7/1.1/0.63 +Porte 2.0 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Mur 0.24 + EA 2 Plafond 0.15 Plafond 0.20 Plafond 0.24 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.30 Protections Solaires Ext Man Vent D Eclairage LED Froid Clim air-air EER4 Froid PAC air-eau EER3 Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz Rad Stock Mix CCgaz VC NoStock Mix CCgaz VC Stock Mix CCmazout Rad Stock Mix CCmazout VC Stock Mix CNCbio Rad/VC Stock Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock Rev</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.36

4.36.2. Combinaisons générées par le COT

- **2.352** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **187.834** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **49** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.36.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 263** et un **CGA macroéconomique = 2.148.235 €** ; (900.994 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 48: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308819 Châssis 1.7/1.1/0.63 (Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Pext2) (F1, P2-P)	1,43	116	220	145.617 €	916.475 €	1.054.983 €
base	5,11	151	263	- €	900.994 €	1.023.989 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308823 Mur 0.24(ME0.24, Meanc0.24) (M1, M14)	0,24	94	187	158.828 €	823.856 €	949.718 €
base	2,00					
	U_AVG_CEILING	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308826 Plafond 0.24 (PfGr0.24) (H1)	0,24	137	243	35.643 €	875.540 €	998.559 €
base	1,29					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308828 Plancher 0.24(Plw0.24) (S3)	0,24	136	242	10.605 €	847.527 €	963.959 €
base	1,39					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 308819 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 308823 ; groupe M1, M14) ;
- L'optimum **U toit (plafond) = 0,24 W/m²K** (combinaison 308826 ; groupe H1)
- L'optimum **U sol (plancher) = 0,24 W/m²K** (combinaison 308828 ; groupe S3).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;
- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), des planchers (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.36.4. Niveau de performance cost optimum Ew

Le niveau de performance cost optimum (**E_w97**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**1.807.069 €**), pour un investissement initial de **274.736 €**. Cette combinaison (324096) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen des plafonds du grenier (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen du sol (**0,30 W/m²K**) ;
- Une étanchéité à l'air (**v50 = 2m³h/m²**) plus performante que la base (v50=15 m³h/m²) ;

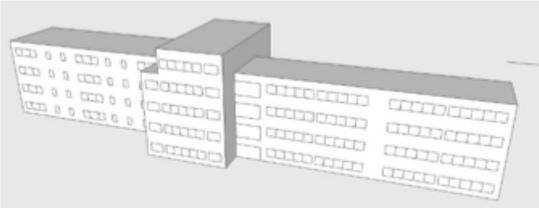
- Consommation finale en énergie liée à l'éclairage LED (**10.041 kWh/an**), de 69% inférieure à celle de la base (32.633 kWh/an) ;
- Producteur de chaleur de base (chaudière mixte au gaz sans condensation avec radiateurs) remplacée par une chaudière mixte biomasse couplée à des radiateurs ainsi qu'un ballon de stockage pour l'eau chaude sanitaire ;
- BNC (**133.001 kWh/an**) de 61% inférieur à celui de la base (341.103kWh/an).

Les améliorations concernent l'isolation des murs extérieurs, des plafonds du grenier et du plancher sur vide ventilé, le remplacement du producteur de chaleur mixte, du stockage d'ECS et de l'éclairage par un éclairage LED.

A noter : le besoin net en froid (14.121 kWh/an) est près de 3 fois supérieur au besoin de base (5.384 kWh/an).

4.37.EE3 - Ecole secondaire (>1970) surface comprise entre 5.000 et 10.000 m²

4.37.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante enveloppe/système
 <p>Construite après 1970, 1 volume central de 5 niveaux et 2 volumes latéraux de 4 niveaux Murs creux, dalle sur sol et toiture non isolés Simple vitrage Chauffage central gaz ECS sur chaudière ACH : 5043,72 m² VP : 19775,37 m³ Valeur immobilière: 2.110.104 €</p> <p>Niveau K 111 Niveau Ew 209</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8 Châssis 0.95/0.6/0.5 +Prot Sol Ext Man Châssis 1.7/1.0/0.5 +Porte2.0 Châssis 1.7/1.0/0.5 +Pot Sol Ext Man +Porte2.0 Châssis 1.7/1.1/0.63 +Porte 2.0 Châssis 1.7/101/0.63 +Prot Sol Ext Man +Porte2 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Mur 0.24 + EA 2 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Plancher 0.30 Protections Solaires Ext Man Toit 0.15 Toit 0.20 Toit 0.24 Vent D Eclairage LED Froid Clim air-air EER4 Froid PAC air-eau EER3 Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz Rad Stock Mix CCgaz VC NoStock Mix CCgaz VC Stock Mix CCmazout Rad Stock Mix CCmazout VC Stock Mix CNCbio Rad Stock Mix CNCbio VC Stock Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock Rev

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.37

4.37.2. Combinaisons générées par le COT

- **2.457** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **139.908** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **38** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.37.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 209** et un **CGA macroéconomique= 4.401.845€**

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 49: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308181 Châssis 1.7/1.1/0.63 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Pext2) (F1, P2-P)	1,43	78	173	292.236 €	2.238.603 €	2.596.012 €
Base	5,78	111	210	- €	2.291.741 €	2.629.936 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308185 Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2, ME0.24) (M1)	0,24	72	149	390.609 €	2.108.755 €	2.454.168 €
Base	1,6					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308191 Toit 0.20(T0.20) (T2)	0,2	99	195	128.540 €	2.279.952 €	2.626.340 €
Base	1,3					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
308185 Plancher 0.24 (PISol0.24) (S4)	0,24	106	205	155.656 €	2.395.599 €	2.758.644 €
base	0,67					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 308181; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 308185; groupe M1) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 308191 ; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 308185; groupe S4).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que le cost optimum ;
- Les U_{max} 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) et des planchers (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.37.4. Niveau de performance cost optimum E_w

Le niveau de performance cost optimum (**E_w71**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**3.810.369 €**), de 13% inférieur à celui de la base, pour un investissement initial de **925.250 €**. Cette combinaison (325377) (F1, M1, P2-P, T2) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des fenêtres (**1,43 W/m²K**) et facteur solaire moyen (g=0,63)
- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**)
- U moyen du toit (**0,20 W/m²K**)
- U moyen du sol (**0,67 W/m²K**)
- Consommation finale d'énergie liée à l'éclairage LED (**35.192 kWh/an**), de 69% inférieure à celle de la base (114.373 kWh/an)

- BNC (**213.557 kWh/an**) de 72% inférieur à celui de la base (753.236 kWh/an)

Les améliorations concernent le remplacement des châssis, l'isolation des murs extérieurs et du toit ainsi que le remplacement de l'éclairage de base par un éclairage LED.

4.38.EE4 - Bâtiment universitaire (1968) d'une surface d'environ 10.000 m²

4.38.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes enveloppe/système
 <p>Construite en 1968, 1 volume de 4 niveaux Architecture monolithique Murs pleins en béton, toiture et plancher sur sol non isolés, double vitrage Chauffage central gaz ECS chauffe-eau gaz ACH : 9662,08 m² VP : 40559,53 m³ Valeur immobilière: 7.700.473 €</p> <p>Niveau K 107 Niveau Ew 177</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5 +Ftoit 2 +Porte 0.8
	Châssis 1.7/1.0/0.5 +Ftoit 1 +Porte2.0
	Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 +Porte 2.0
	Mur 0.15 + EA 2
	Mur 0.20 + EA 2
	Mur 0.24 + EA 2
	Plancher 0.15
	Plancher 0.24
	Plancher 0.30
	Protection Solaire Ext Man
Toit 0.15	
Toit 0.20	
Toit 0.24	
Vent D	
Eclairage LED	
Froid Clim air-air EER4	
Froid PAC air-eau EER3	
Mix CCgaz Rad NoStock	
Mix CCgaz Rad Stock	
Mix CCgaz VC NoStock	
Mix CCgaz VC Stock	
Mix CCmazout Rad Stock	
Mix CCmazout VC Stock	
Mix CNCbio Rad/VC Stock	
Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev	
Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock Rev	

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.38

4.38.2. Combinaisons générées par le COT

- **2.619** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **92.200** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **92** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.38.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bureau de référence affiche un **Ew 177** et un **CGA macroéconomique = 12.220.065 €** (4.519.592 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 50: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307283 Châssis 1.7/1.1/0.63 (Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1)	1,43	92	168	515.373 €	4.851.090 €	5.622.723 €
base	2,97	107	177	- €	4.519.592 €	5.204.204 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307287 Mur 0.24(ME0.24, Ms0.24) (M1,M16)	0,24	54	139	354.709 €	4.074.084 €	4.727.126 €
base	2,85					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307296 Toit 0.24 (TP0.24) (T3)	0,24	94	168	165.978 €	4.491.652 €	5.184.118 €
base	1,49					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
307289 Plancher 0.24 (PISol 0.24) (S4)	0,24	103	174	208.815 €	4.666.664 €	5.387.520 €
base	0,62					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 307283 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,24 W/m²K** (combinaison 307287 ; groupe M1, M16) ;
- L'optimum **U toit = 0,24 W/m²K** (combinaison 307296 ; groupe T3)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 307289 ; groupe S4).
- Le Umax 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) est moins exigeant que le cost optimum ;

- Les U max 2017 des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), des planchers (**0,24 W/m²K**) et du toit (**0,24 W/m²K**) correspondent aux U optimums.

4.38.4. Niveau de performance cost optimum E_w

Le niveau de performance cost optimum (**E_w106**), correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**11.112.694 €**), pour un investissement initial de **749.326 €**. Cette combinaison (320253) (M1, M16, T3) présente les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**) ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
- Etanchéité à l'air (v50 = 2m³h/m²) plus performante que la base (v50=15 m³h/m²) ;
- Consommation finale en énergie liée à l'éclairage LED (**57.138 kWh/an**) de 69% inférieure à celle de la base (185.697 kWh/an) ;
- BNC (**848.433 kWh/an**) de 44% inférieur à celui de la base (1.523.989 kWh/an).

Les améliorations concernent l'isolation des murs extérieurs et du toit plat, ainsi que le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED.

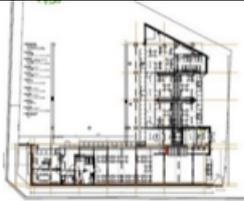
A noter : le besoin net en froid (**40.887 kWh/an**) est 2,5 fois supérieur à celui de la base (11.993 kWh/an).

La combinaison 318787 avec un **CGA de 12.787.314 €** et un **investissement initial de 3.193.420 €**, satisfait à l'exigence **E_w65** en vigueur pour les bâtiments neufs. Cette combinaison présente, les améliorations suivantes par rapport à la base :

- U moyen des murs extérieurs (**0,15 W/m²K**) ;
- U moyen du toit (**0,24 W/m²K**) ;
- Etanchéité à l'air (v50 = 2m³h/m²) plus performante que la base (v50=15 m³h/m²) ;
- Chaudière mixte au gaz à condensation couplée à des ventilo-convecteurs à haute température ;
- Production d'ECS instantanée (sans stockage).

4.39. ENI - Ecole maternelle d'une surface < 5000 m²

4.39.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variantes Enveloppe/Systèmes
 <p>Petite école de village, +/- 60 élèves 2 volumes d'un niveau, dalle sur sol Murs crépi, toiture et plancher isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière/électrique Ventilation système D Etanchéité à l'air 6 m³/h.m² ACH : 486,85 m² VP : 2229,85 m³ Valeur immobilière: 668.247 €</p> <p>Niveau K 35 Niveau Ew 57</p>	<p>Châssis 0.95/0.6/0.5 +Ftoit 2 +Porte 0.8 Châssis 1.7/1.0/0.5 +Ftoit 1 +Porte 2.0 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 + Porte 2.0 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Protection Solaire Ext Man Toit 0.15 Toit 0.20 Vent D Eclairage LED Froid Clim air-air EER4 Froid PAC air-eau EER3 Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz Rad Stock Mix CCgaz VC NoStock Mix CCgaz VC Stock Mix CCmazout Rad Stock Mix CCmazout VC stock Mix CNCbio Rad Stock Mix CNCbio VC Stock Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock rev</p>

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.39

4.39.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.255** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **12.919** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **100** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.39.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew 57** et un **CGA macroéconomique = 792.242 €** (123.995 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 51: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
310203 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE) (F1, M3, P1-Alu,S1,T2)	1,43	33	58	8.807 €	133.273 €	151.181 €
Base	1,64	35	57	- €	123.995 €	140.981 €
COMBINAISON	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
310205 Mur 0.20(ME0.20) (F1, M3, P1-Alu,S1,T2)	0,2	36	57	-2.238 €	122.214 €	138.773 €
Base	0,19					
COMBINAISON	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
310210 Toit 0.20(TP0.20) (F1, M3,P1-Alu,S1,T2)	0,2	35	57	-839 €	123.420 €	140.254 €
Base	0,19					
COMBINAISON	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
310207 Plancher 0.24 (PISol0.24) (F1, M3,P1-Alu,S1,T2)	0,24	37	57	-3.231 €	122.401 €	138.961 €
Base	0,19					

Pour ce bâtiment, le surcout lié à l'amélioration de la performance des murs, de la toiture et des sols de cette école maternelle neuve est légèrement supérieur pour l'école neuve de base que pour les combinaisons optimums au niveau de ces mêmes parois (ce qui explique le coût d'investissement négatif de ces combinaisons par rapport à l'établissement scolaire neuf de base).

Au niveau des U de parois :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 310203 ; groupe F1) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 310205 ; groupe M3) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 310210 ; groupe T2)
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 310207 ; groupe S1).
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**) des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.39.4. Niveau de performance cost optimum E_w et K du bâtiment

Le niveau de performance **Ew47, K36** correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**755.222 €**), pour un surcoût d'investissement initial de (**9.258 €**). Cette combinaison (322775) (**F1, M3, P1-Bois, S1, T2**) présente les caractéristiques suivantes :

- Une très bonne étanchéité à l'air ($v_{50}=2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$) ;
- La présence d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur ;
- Un producteur mixte (chauffage et ECS) de type chaudière gaz à condensation ($\eta 107\%$), sans stockage, avec des ventilo-convecteurs à haute température ;
- Un système de climatisation air-air par multi-splits avec un EER de 4 ;
- Consommation finale en énergie liée à l'éclairage LED (**3.356 kWh/an**) ;
- BNC (30.638 kWh/an) ;
- Consommation finale en énergie liée à la production d'ECS (**4.337 kWh/an**).

4.40. EN2 - Ecole fondamentale de taille moyenne (3.000 m²)

4.40.1. Bâtiment de référence et variantes sélectionnées pour l'analyse

Bâtiment de référence	Variante Enveloppe/Systèmes
 <p>Ecole fondamentale, volumétrie simple 3 niveaux, dalle sur sol Murs crépi, toiture et planchers isolés, double vitrage selon exigences PEB 2014 Chauffage central gaz condensation ECS sur chaudière/électrique Ventilation système D Etanchéité à l'air $4 \text{ m}^3/\text{h}.\text{m}^2$ ACH : 3226,11 m² VP : 11532,29 m³ Valeur immobilière: 5.025.676 €</p> <p>Niveau K 30 Niveau Ew 56</p>	Châssis 0.95/0.6/0.5 +Ftoit 2 +Porte 0.8 Châssis 1.7/1.0/0.5 +Ftoit 1 +Porte 2.0 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 + Porte 2.0 Mur 0.15 + EA 2 Mur 0.20 + EA 2 Plancher 0.15 Plancher 0.24 Protection Solaire Ext Man Toit 0.15 Toit 0.20 Vent D Eclairage LED Froid Clim air-air EER4 Froid PAC air-eau EER3 Mix CCgaz Rad NoStock Mix CCgaz Rad Stock Mix CCgaz VC NoStock Mix CCgaz VC Stock Mix CCmazout Rad Stock Mix CCmazout VC Stock Mix CNCbio Rad Stock Mix CNCbio VC Stock Mix PAC air-eau 4 VC Stock Rev Mix PAC sol-eau 4.75 VC Stock Rev

Graphiques et tableaux de résultats voir : 5.40

4.40.2. Combinaisons générées par le COT

- **3.516** combinaisons de variantes enveloppe/systèmes proches du Front de Pareto ont été générées par le COT ;
- **28.075** combinaisons de coût ont été calculées par le COT au départ de ces variantes ;
- **104** combinaisons enveloppe/systèmes sont sur le FP.

4.40.3. Niveau de performance cost optimum U max des parois

Le bâtiment de référence affiche un **Ew56** et un **CGA macroéconomique = 5.566.367 €** (540.691 € hors valeur immobilière).

Les combinaisons cost optimum au niveau des U de parois sont reprises ci-dessous.

Tableau 52: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
309563 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE, Ftoit 1) (F1, Ftoit2, M16, M3, P1-Alu,S1,T2,T3)	1,43	28	55	15.560 €	545.712 €	634.871 €
Base	1,64	30	56	- €	540.691 €	630.523 €
	U_AVG_WALL_EXT	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
309566 Mur 0.20(ME0.20, Ms0.20) (F1, Ftoit2, M16, M3, P1-Alu,S1,T2,T3)	0,2	29	56	12.952 €	550.325 €	642.434 €
Base	0,23					
	U_AVG_ROOF	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
309573 Toit 0.20 (T0.20, TP0.20) (F1, Ftoit2, M16, M3,P1-Alu,S1,T2,T3)	0,2	29	56	8.223 €	544.810 €	635.822 €
Base	0.24					
	U_AVG_FLOOR	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
309568 Plancher 0.24(PISol 0.24) (F1, Ftoit2, M16,M3,P1-Alu,S1,T2,T3)	0,24	29	56	3.159 €	540.593 €	630.654 €
Base	0,27					

Pour ce bâtiment :

- L'optimum **U fenêtre = 1,43 W/m²K** (combinaison 309563 ; groupe F1, Ftoit2) ;
- L'optimum **U murs = 0,20 W/m²K** (combinaison 309566 ; groupe M16, M3) ;
- L'optimum **U toit = 0,20 W/m²K** (combinaison 309573 ; groupe T2, T3) ;
- L'optimum **U sol = 0,24 W/m²K** (combinaison 309568 ; groupe S1) ;
- Les U_{max} 2017 des fenêtres (**1,5 W/m²K**), des murs extérieurs (**0,24 W/m²K**), et du toit (**0,24 W/m²K**) sont moins exigeants que les U-optimum ;
- Le U_{max} 2017 des planchers (**0,24 W/m²K**) correspond au U optimum.

4.40.4. Niveau de performance cost optimum E_w et K du bâtiment

Le niveau de performance **E_w48**, correspond à la première combinaison viable de mesures enveloppe/systèmes située sur le FP affichant le CGA macroéconomique le plus bas (**5.476.268 €**), pour un surcoût d'investissement initial de (**14.375 €**). Cette combinaison (319479) (F1, Ftoit1, M16, M3, P1-Bois, S1, T2, T3) présente les caractéristiques suivantes :

- Le choix du groupe F1 pour les fenêtres, avec un **U 1,43 W/m²K** ;
- La présence d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur ;
- Un producteur mixte (chauffage et ECS) par chaudière gaz à condensation (η107%), sans stockage, avec des ventilo-convecteurs à haute température ;
- Un système de climatisation air-air par multi-splits avec un **EER de 4** ;
- Consommation finale en énergie liée à l'éclairage LED (**21.948 kWh/an**) ;
- BNC (102.634 kWh/an) ;
- Consommation finale en énergie liée à la production d'ECS (**13.478 kWh/an**).

L'enveloppe et les systèmes du bâtiment neuf de référence (base) étant déjà relativement performants, les mesures au niveau de l'enveloppe concernent uniquement le remplacement des fenêtres. Au niveau des systèmes, les mesures concernent la ventilation, l'éclairage et la production mixte de chauffage/ECS.

5. Graphiques et tableaux de résultats

Les tableaux de résultats et les graphiques de Front de Pareto sont regroupés par bâtiment et présentés selon la séquence suivante :

- Tableau des combinaisons enveloppe/systèmes situées sur le Front de Pareto des améliorations affichant simultanément **le coût global actualisé (macro-économique) et les indicateurs de performance globale** des bâtiments (E_w et/ou E_{spec} pour le résidentiel ; E_w pour le non résidentiel ;) les plus bas ;
- Graphiques des combinaisons enveloppe/systèmes situées sur le front de Pareto relatif au E_{spec} pour les bâtiments résidentiels (calcul macro-économique).
- Graphique des combinaisons enveloppe/systèmes situées sur le Front de Pareto relatif au E_w pour les bâtiments non résidentiels (calcul macro-économique) ;
- Détail de la composition des combinaisons (variantes, dénomination PEB et groupes constructifs situées sur le FP. La légende complète des variantes PER/PEN est disponible en Annexe E .:

Pour faciliter la lecture, le code couleur suivant est utilisé :

- Pour les tableaux de résultats des combinaisons enveloppe-systèmes situées sur le Front de Pareto:

Combinaison satisfaisant à l'exigence E_w ou E_{spec} 2021 affichant le CGA le plus bas*
Combinaison satisfaisant à l'exigence E_w ou E_{spec} 2017 affichant le CGA le plus bas*
Combinaison Cost Optimum
Base

(*) ces niveaux d'exigence imposés aux bâtiments neufs sont renseignés à titre indicatif dans les tableaux des bâtiments existants, lorsque les combinaisons enveloppe/système permettent d'atteindre ce niveau de performance.

- Pour les tableaux directement extraits du COT et affichant la composition détaillée des combinaisons sur le Front de Pareto : la base et la combinaison cost optimum sont surlignées en bleu.

319479 Châssis 1.7/1.1/0.63+Ftoit 1 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1,Pext2), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air E
319479 Châssis 1.7/1.1/0.63+Ftoit 1 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1,Pext2), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air E
base

Des tableaux détaillant la composition de la combinaison cost optimum et des combinaisons correspondant aux exigences (E_w , E_{spec}) réglementaires (le cas échéant) sont présentés :

COMBINAISON
103828 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
140907 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
base

5.1. HE1 - La maison vernaculaire

Tableau 53: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE1 situées sur le front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBIN AISON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TY PE	HEAT_FINA L_TOTAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
102304 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	49	3438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	3959	2	16	27	129.657 €	220.382 €	230.156 €
103576 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	50	3438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4065	2	16	28	124.950 €	215.633 €	225.136 €
102415 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	51	3744	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4312	2	17	28	108.831 €	200.001 €	208.592 €
103687 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	52	3744	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4428	2	17	29	104.146 €	195.287 €	203.610 €
103607 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	53	4396	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5198	2	17	29	103.920 €	194.345 €	202.462 €
104151 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	54	4148	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4905	2	18	30	101.170 €	192.919 €	201.155 €
104058 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	55	4806	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5683	2	18	31	100.945 €	191.933 €	199.946 €
103876 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,3	57	5081	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6009	2	20	32	100.448 €	191.825 €	199.861 €
103840 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,24	58	5300	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6267	2	21	32	99.163 €	190.987 €	199.041 €
103802 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	59	5397	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6383	2	21	33	98.116 €	189.948 €	197.908 €
103631 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,3	60	5676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6711	2	22	34	97.619 €	189.855 €	197.843 €
103590 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,24	62	5893	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6969	2	23	34	96.335 €	188.989 €	196.986 €
104045 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,3	64	6172	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7298	2	24	35	95.837 €	188.891 €	196.914 €
145860 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	67	3744	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	6376	2	17	37	93.998 €	187.528 €	197.375 €
145844 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	69	4396	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	7486	2	17	38	93.773 €	186.650 €	196.547 €
145668 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	70	4148	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	7064	2	18	39	90.994 €	185.171 €	195.088 €
103675 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	72	6946	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8214	2	29	40	85.435 €	181.483 €	189.450 €
103597 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	73	7632	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9024	2	29	40	85.210 €	180.383 €	188.072 €
104051 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,81	76	8129	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9613	2	31	42	83.429 €	179.382 €	187.090 €
104007 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	77	8244	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9748	2	31	43	82.382 €	178.495 €	186.162 €
103828 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,81	80	8742	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10337	2	34	44	80.600 €	177.478 €	185.158 €
104015 C	5,11	0,87	0,15	0,2	0,81	90	10309	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12191	2	40	50	75.426 €	174.808 €	182.593 €
103834 C	5,11	0,87	0,2	0,2	0,81	94	10925	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12918	2	43	52	72.597 €	172.899 €	180.652 €
145332 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,81	99	7632	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	12996	2	29	55	74.839 €	172.785 €	183.505 €
141467 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	102	7556	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	12867	2	31	57	72.194 €	171.944 €	182.887 €
144660 C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,81	104	8129	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	13844	2	31	57	73.037 €	171.812 €	182.745 €
141451 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,81	105	8244	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	14039	2	31	58	71.969 €	170.916 €	181.851 €
140907 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,81	109	8742	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	14887	2	34	60	70.166 €	169.928 €	181.069 €
base	5,11	0,87	2,2	1,76	0,81	642	56231	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	108807	18	171	354	- €	262.177 €	285.691 €

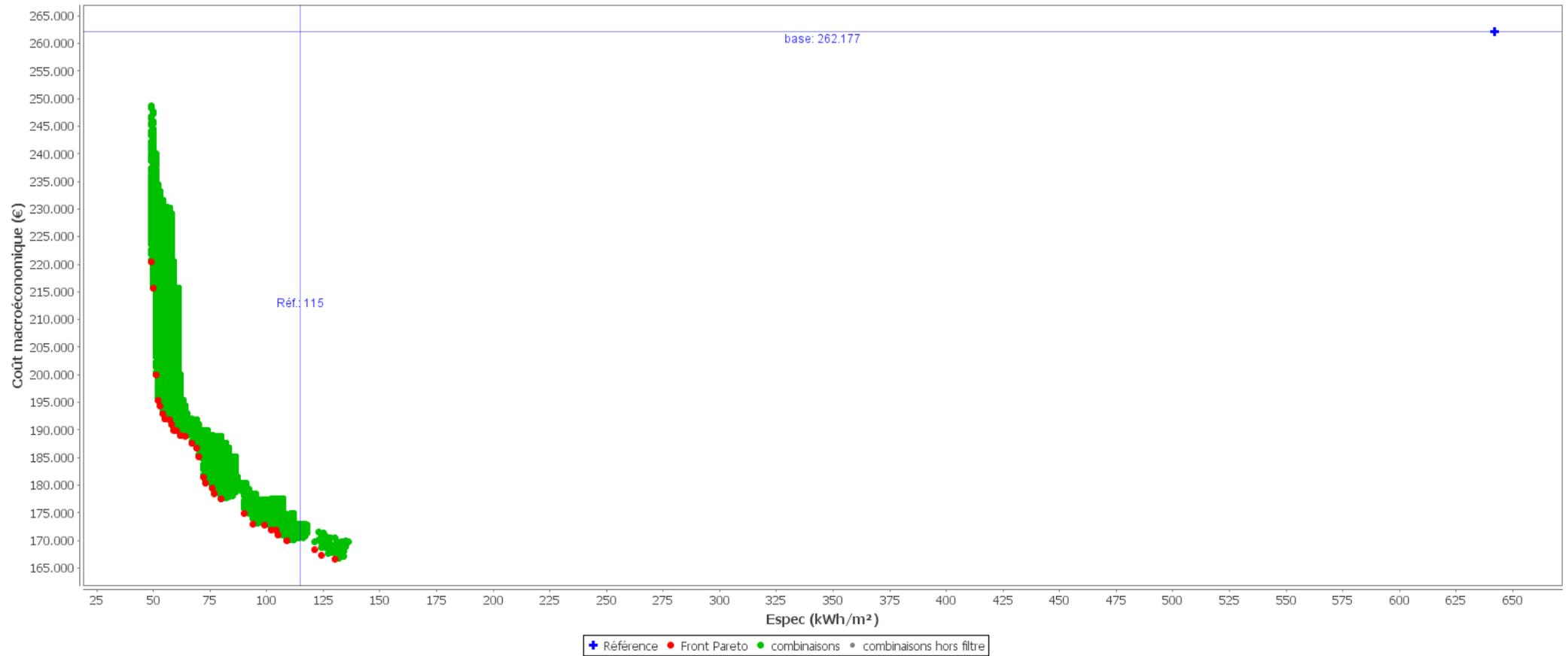
Coût macroéconomique/Espec

Figure 4: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE1

Tableau 54: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
103828 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
140907 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.20(ME0.20),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,P2-P,T2,VCC2)
base

5.2. HE2 - La maison type ouvrière 3 façades

Tableau 55: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	WATER_ FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
45265 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	54	2293	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	844	896	2	17	28	94.565 €	201.639 €	210.311 €
46169 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	56	2293	POELE_AU_GAZ	3528	896	2	17	29	81.669 €	187.095 €	194.801 €
46773 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	59	2473	POELE_AU_GAZ	3806	896	2	18	31	79.898 €	185.675 €	193.328 €
46358 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	0,24	61	2619	POELE_AU_GAZ	4029	896	2	19	32	78.941 €	185.002 €	192.640 €
46670 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	0,2	63	2785	POELE_AU_GAZ	4285	896	2	20	33	77.500 €	183.857 €	191.448 €
46191 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	0,24	66	2933	POELE_AU_GAZ	4513	896	2	21	34	76.543 €	183.190 €	190.767 €
45353 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	0,2	68	3127	POELE_AU_GAZ	4811	896	2	22	36	75.329 €	182.331 €	189.884 €
46911 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	71	3276	POELE_AU_GAZ	5041	896	2	23	37	74.372 €	181.669 €	189.209 €
46155 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,3	0,24	74	3490	POELE_AU_GAZ	5370	896	2	25	38	73.961 €	181.665 €	189.240 €
45866 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	75	3787	POELE_AU_GAZ	5826	896	2	23	39	74.204 €	181.550 €	189.073 €
45735 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,24	0,2	76	3602	POELE_AU_GAZ	5543	896	2	26	40	73.087 €	181.199 €	188.827 €
45304 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	0,24	78	3753	POELE_AU_GAZ	5774	896	2	27	41	72.130 €	180.536 €	188.151 €
46835 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,3	0,24	81	3968	POELE_AU_GAZ	6105	896	2	28	42	71.719 €	180.524 €	188.172 €
44998 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	82	4307	POELE_AU_GAZ	6627	896	2	26	43	72.135 €	180.401 €	187.917 €
45717 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	0,24	84	3753	POELE_AU_BOIS	6391	896	2	27	44	73.330 €	180.389 €	189.272 €
46398 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,3	0,24	85	4526	POELE_AU_GAZ	6965	896	2	28	44	71.723 €	180.387 €	187.932 €
45926 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,3	0,24	87	4007	POELE_AU_BOIS	6824	896	2	28	45	73.092 €	180.351 €	189.297 €
46671 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,3	0,24	88	3968	POELE_AU_BOIS	6757	896	2	28	46	72.919 €	180.300 €	189.282 €
46664 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	89	4307	POELE_AU_BOIS	7335	896	2	26	46	73.335 €	180.053 €	189.013 €
41226 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,83	0,15	90	4843	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5577	1648	2	32	47	73.187 €	179.273 €	185.513 €
42358 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,83	0,15	91	4843	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5727	1648	2	32	48	71.020 €	177.203 €	183.338 €
42245 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,83	0,15	93	5370	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6350	1648	2	32	49	70.852 €	176.689 €	182.703 €
42467 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,83	0,2	94	5037	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5957	1648	2	34	49	69.259 €	175.739 €	181.814 €
42530 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	95	5193	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6141	1648	2	34	50	68.311 €	175.029 €	181.084 €
42430 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	97	5723	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6768	1648	2	34	51	68.143 €	174.512 €	180.444 €
42262 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,83	0,2	98	5398	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6383	1648	2	36	51	67.107 €	174.128 €	180.157 €
42339 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	99	5554	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6568	1648	2	37	52	66.159 €	173.420 €	179.429 €
42223 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	101	6087	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7198	1648	2	37	53	65.991 €	172.890 €	178.769 €
42519 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,83	0,2	103	5879	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6951	1648	2	39	54	64.888 €	172.729 €	178.771 €
42591 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,83	0,24	105	6035	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7137	1648	2	40	55	63.940 €	172.019 €	178.041 €
42488 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,83	0,24	107	6568	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7766	1648	2	40	56	63.772 €	171.546 €	177.460 €
46183 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,83	0,24	121	6035	POELE_AU_BOIS	10278	896	2	40	63	60.635 €	171.221 €	180.705 €
45381 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,83	0,24	125	6568	POELE_AU_BOIS	11185	896	2	40	65	60.467 €	170.800 €	180.385 €
42362 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	127	8897	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10521	1648	2	37	66	60.933 €	170.328 €	176.174 €
42321 C	1,43	0,63	0,2	0,2	0,83	0,2	131	9213	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10895	1648	2	39	68	59.662 €	169.625 €	175.502 €
42571 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,83	0,24	133	9375	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11086	1648	2	40	69	58.714 €	168.922 €	174.781 €
base	5,11	0,87	2,29	1,31	0,83	1,77	580	37428	POELE_AU_GAZ	57592	2621	18	174	301	- €	175.589 €	189.382 €

Coût macroéconomique/Espec

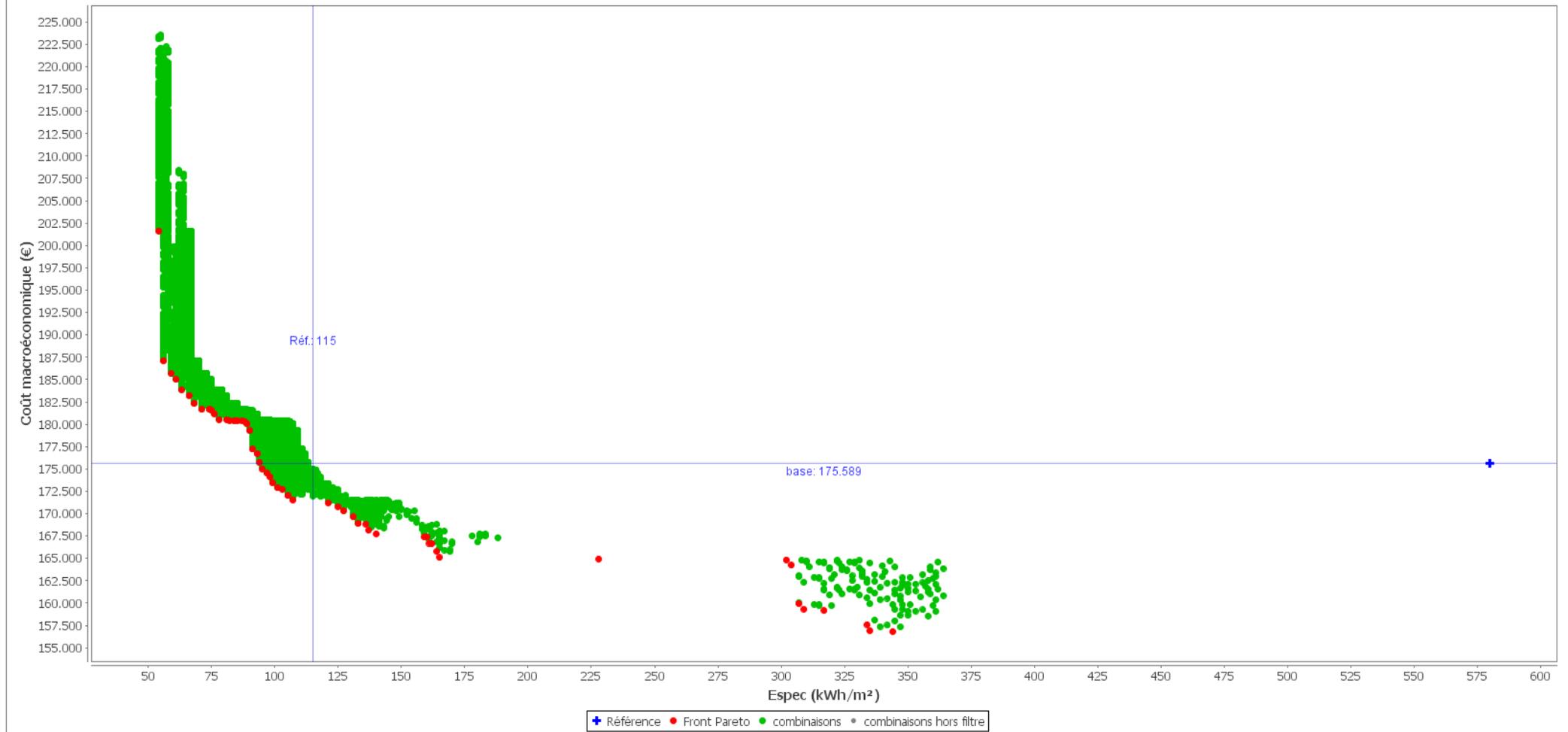


Figure 5: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE2

Tableau 56: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
46398 Châssis 1.7/1.0/0.5 + porte 2(Ch1.7-DV1.0/0.5,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20 + mit 1.0(ME0.20,MI1.0),Plancher 0.3(PISol0.3),ST4(ST4),Toit et plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,M3,M9,P2-P,S4,T3,VCC2)
45381 CHS-PB (poêle bois)(PB (poêle bois)),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20 + mit 1.0(ME0.20,MI1.0),ST4(ST4),Toit et plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,M3,M9,P2-P,T3,VCC2)
42571 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Châssis 1.7/1.1/0.63 + porte 2(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20 + mit 1.0(ME0.20,MI1.0),Toit et plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,H1,M3,M9,P2-P,T3)
base

5.3. HE3 - La maison type ouvrière mitoyenne

Tableau 57: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	U_AVG_CEILING	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN	
98009	0,85	0,5	0,15	0,15	0,83	0,15	80	3952	POELE_AU_GAZ	6081	2	35	48	63.970 €	171.847 €	178.914 €
102614	0,85	0,5	0,2	0,15	0,83	0,15	82	4072	POELE_AU_GAZ	6266	2	36	49	63.597 €	171.714 €	178.796 €
98854	0,85	0,5	0,15	0,2	0,83	0,2	83	4142	POELE_AU_GAZ	6374	2	36	50	62.199 €	170.455 €	177.476 €
103332	0,85	0,5	0,2	0,2	0,83	0,2	84	4263	POELE_AU_GAZ	6559	2	37	51	61.825 €	170.323 €	177.359 €
99689	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	85	4295	POELE_AU_GAZ	6608	2	37	51	61.242 €	169.804 €	176.815 €
37473	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	86	4813	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5692	2	37	52	65.512 €	169.724 €	175.222 €
98718	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	87	4415	POELE_AU_GAZ	6794	2	38	52	60.869 €	169.672 €	176.699 €
103077	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	88	4813	POELE_AU_GAZ	7406	2	37	53	61.074 €	169.405 €	176.286 €
37293	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	90	4766	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5635	2	41	54	63.454 €	168.861 €	174.506 €
37790	0,85	0,5	0,2	0,2	0,83	0,2	91	5252	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6211	2	41	55	63.868 €	168.782 €	174.298 €
37367	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	92	5285	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6249	2	41	55	63.286 €	168.256 €	173.747 €
37077	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	93	5407	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6393	2	42	56	62.917 €	168.065 €	173.560 €
37652	0,85	0,5	0,24	0,24	0,83	0,24	94	5504	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6509	2	43	57	62.630 €	167.921 €	173.419 €
91916	0,85	0,5	0,15	0,15	0,83	0,15	97	3952	POELE_AU_GAZ	6081	2	35	59	60.560 €	167.873 €	173.999 €
88968	0,85	0,5	0,2	0,15	0,83	0,15	99	4072	POELE_AU_GAZ	6266	2	36	60	60.187 €	167.740 €	173.881 €
91856	0,85	0,5	0,15	0,2	0,83	0,2	100	4142	POELE_AU_GAZ	6374	2	36	60	58.789 €	166.481 €	172.560 €
91796	0,85	0,5	0,15	0,24	0,83	0,24	102	4295	POELE_AU_GAZ	6608	2	37	62	57.832 €	165.830 €	171.900 €
88848	0,85	0,5	0,2	0,24	0,83	0,24	104	4415	POELE_AU_GAZ	6794	2	38	63	57.459 €	165.698 €	171.783 €
102873	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	105	7101	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8177	2	53	63	55.481 €	165.257 €	171.664 €
98194	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	106	6566	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7764	2	53	63	53.663 €	164.072 €	170.561 €
102879	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	107	7101	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8397	2	53	64	53.495 €	163.458 €	169.785 €
100814	0,85	0,5	2,29	0,2	0,15	0,2	108	6763	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7998	2	54	65	51.899 €	162.611 €	169.042 €
35680	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	109	6566	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7561	2	53	65	52.979 €	160.986 €	166.400 €
35763	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	110	7101	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8177	2	53	66	52.811 €	160.351 €	165.599 €
37428	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	111	6566	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7764	2	53	67	50.993 €	159.165 €	164.496 €
37511	0,85	0,5	2,29	0,15	0,15	0,15	112	7101	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8397	2	53	67	50.825 €	158.552 €	163.720 €
37598	0,85	0,5	2,29	0,2	0,15	0,2	113	6763	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7998	2	54	68	49.229 €	157.705 €	162.978 €
37765	0,85	0,5	2,29	0,24	0,15	0,24	115	6922	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8185	2	56	69	48.278 €	156.998 €	162.252 €
37845	0,85	0,5	2,29	0,24	0,15	0,24	116	7460	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8822	2	56	70	48.110 €	156.389 €	161.481 €
37351	0,85	0,5	2,29	0,2	0,24	0,2	117	7101	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8397	2	57	70	46.843 €	155.839 €	161.050 €
37427	0,85	0,5	2,29	0,2	0,24	0,2	118	7641	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9035	2	57	71	46.675 €	155.231 €	160.281 €
37514	0,85	0,5	2,29	0,24	0,24	0,24	119	7260	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8585	2	58	71	45.893 €	155.132 €	160.325 €
37596	0,85	0,5	2,29	0,24	0,24	0,24	120	7800	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9224	2	58	72	45.724 €	154.527 €	159.557 €
37794	0,85	0,5	2,29	0,2	0,24	0,2	122	7571	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8953	2	61	73	44.617 €	154.334 €	159.525 €
37090	0,85	0,5	2,29	0,24	0,24	0,24	124	7730	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9140	2	62	74	43.667 €	153.628 €	158.800 €
37159	0,85	0,5	2,29	0,24	0,24	0,24	126	8269	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9778	2	62	75	43.498 €	153.021 €	158.031 €
37795	0,85	0,5	2,29	0,24	0,3	0,24	128	8497	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10048	2	64	77	43.095 €	152.967 €	158.008 €
100589	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	137	10027	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11547	2	73	83	38.616 €	152.770 €	158.852 €
98029	0,85	0,5	2,29	0,15	0,83	0,15	138	9824	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11617	2	72	83	38.500 €	152.648 €	158.731 €
35522	0,85	0,5	2,29	0,15	0,83	0,15	139	9277	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10683	2	72	83	37.886 €	149.949 €	155.095 €
35600	0,85	0,5	2,29	0,15	0,83	0,15	140	9824	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11313	2	72	84	37.718 €	149.332 €	154.314 €
37270	0,85	0,5	2,29	0,15	0,83	0,15	141	9277	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10970	2	72	85	35.999 €	148.337 €	153.421 €
37348	0,85	0,5	2,29	0,15	0,83	0,15	143	9824	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11617	2	72	86	35.830 €	147.741 €	152.666 €
37424	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	144	9479	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11209	2	73	86	34.234 €	146.883 €	151.911 €
37507	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	145	10027	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11857	2	73	87	34.066 €	146.289 €	151.157 €
37593	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	146	9641	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11400	2	74	87	33.284 €	146.181 €	151.191 €
37678	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	147	10189	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12049	2	74	88	33.115 €	145.588 €	150.438 €
37329	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	149	9945	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11760	2	77	90	32.008 €	145.373 €	150.379 €
37482	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	151	10106	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11951	2	78	91	31.058 €	144.671 €	149.659 €
37569	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	153	10654	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12598	2	78	92	30.889 €	144.075 €	148.904 €
37055	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	172	12887	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15239	2	73	103	29.008 €	143.892 €	148.774 €
35961	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	173	13346	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15370	2	77	104	28.646 €	143.798 €	148.690 €
37849	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	174	13051	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15433	2	74	104	28.058 €	143.194 €	148.058 €
35876	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	175	13510	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15558	2	78	105	27.690 €	143.087 €	147.960 €
35918	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	176	12696	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14620	2	98	106	25.349 €	142.528 €	147.724 €
37709	0,85	0,5	2,29	0,2	0,83	0,2	177	13346	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15782	2	77	106	26.782 €	142.372 €	147.230 €
36080	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	178	12858	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14807	2	99	107	24.393 €	141.814 €	146.991 €
37624	0,85	0,5	2,29	0,24	0,83	0,24	179	13510	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15976	2	78	108	25.832 €	141.673 €	146.514 €
base	5,11	0,87	2,29	1,31	0,83	1,77	382	24027	POELE_AU_GAZ	36971	15	137	229	- €	148.211 €	157.804 €

Coût macroéconomique/Espec

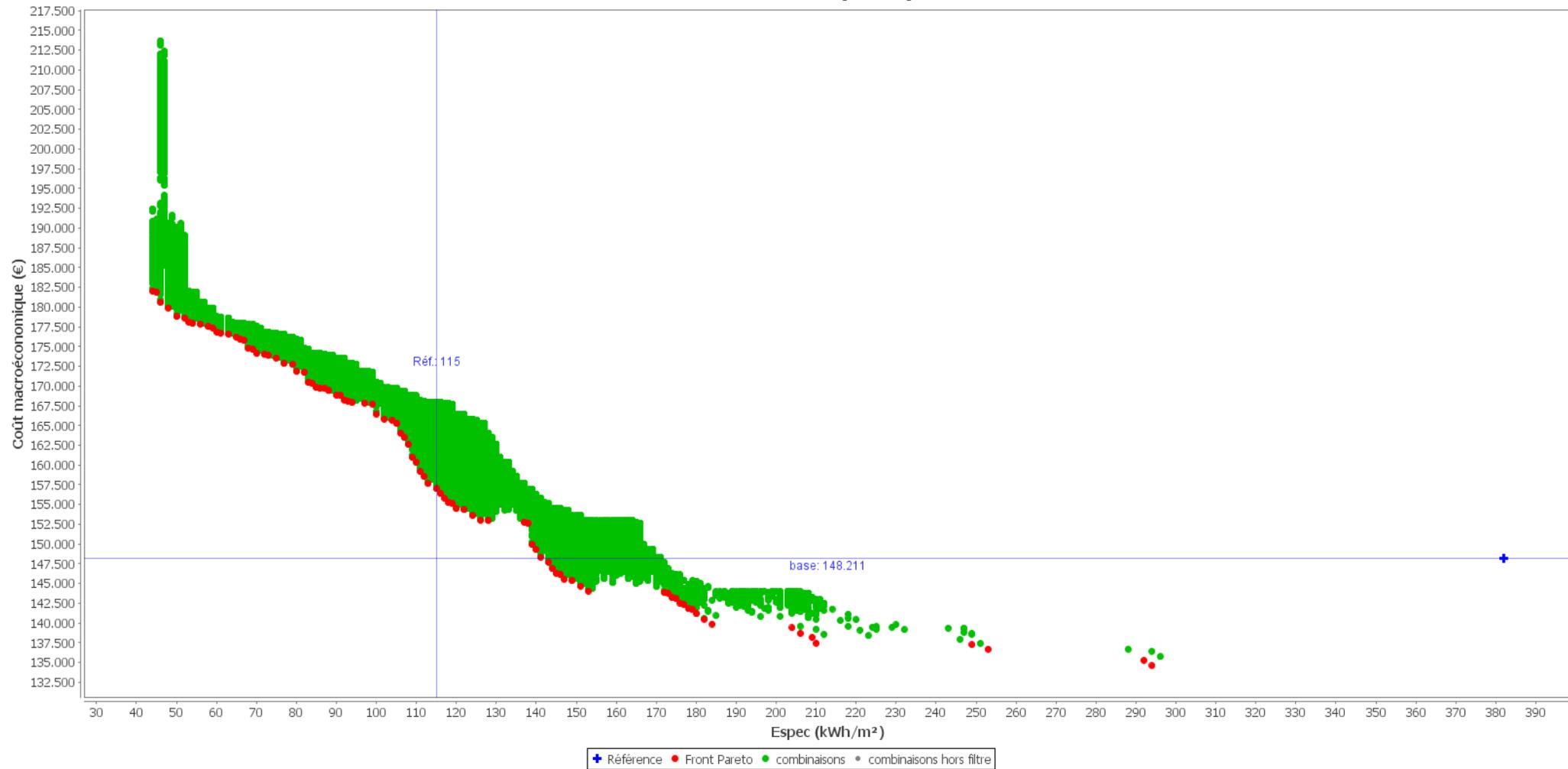


Figure 6: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE3

Tableau 58: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
99689 Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15 + MI 1.0(ME0.15,MI1.0),ST4(ST4),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,H1,M1,M9,P2-P,T3)
37765 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(PISol0.15),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de (F1,H1,P2-P,S4,T3)
37624 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Toiture + plafond 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,H1,P2-P,T3)
base

5.4. HE4 - La maison villageoise

Tableau 59: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE4 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_FLOOR	U_AVG_CEILING	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NET_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
52068	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	49	5366	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6179	2	16	29	136.091 €	251.123 €	262.485 €
52074	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	50	5366	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6345	2	16	30	132.230 €	247.323 €	258.478 €
26893	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	53	5366	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6179	2	16	31	131.886 €	245.785 €	256.225 €
27561	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	54	5366	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6345	2	16	32	128.025 €	241.985 €	252.218 €
27350	0,85	0,5	0,15	0,15	0,2	55	5707	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6749	2	17	33	125.118 €	239.602 €	249.743 €
27370	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	56	5952	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7038	2	18	34	124.536 €	239.307 €	249.437 €
27521	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	57	6130	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7249	2	19	34	122.663 €	237.693 €	247.749 €
27501	0,85	0,5	0,15	0,24	0,2	58	6297	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7446	2	19	35	121.629 €	236.929 €	246.968 €
27312	0,85	0,5	0,2	0,15	0,2	59	6475	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7657	2	20	35	119.756 €	235.317 €	245.281 €
27331	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	60	6723	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7950	2	20	36	119.174 €	235.053 €	245.018 €
27440	0,85	0,5	0,2	0,15	0,24	61	6753	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7986	2	20	36	117.787 €	233.775 €	243.688 €
27462	0,85	0,5	0,2	0,24	0,2	62	7072	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8362	2	21	37	116.267 €	232.682 €	242.556 €
27579	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	64	7351	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8693	2	22	38	114.299 €	231.143 €	240.967 €
27393	0,85	0,5	0,2	0,3	0,24	66	7772	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9190	2	23	39	113.631 €	231.088 €	240.959 €
27460	1,43	0,63	0,2	0,24	0,2	68	8082	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9557	2	25	40	112.320 €	230.429 €	240.364 €
27577	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	69	8363	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9889	2	25	41	110.352 €	228.892 €	238.777 €
27395	1,43	0,63	0,2	0,3	0,24	71	8784	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10388	2	27	42	109.684 €	228.825 €	238.753 €
51591	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	72	7351	POELE_AU_BOIS	12519	2	22	43	110.420 €	228.798 €	242.235 €
51845	0,85	0,5	0,2	0,3	0,24	75	7772	POELE_AU_BOIS	13235	2	23	45	109.722 €	228.755 €	242.403 €
51864	1,43	0,63	0,2	0,24	0,2	78	8082	POELE_AU_BOIS	13763	2	25	46	108.413 €	228.127 €	241.960 €
51684	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	80	8363	POELE_AU_BOIS	14242	2	25	48	106.425 €	226.598 €	240.489 €
51926	1,43	0,63	0,2	0,3	0,24	83	8784	POELE_AU_BOIS	14960	2	27	50	105.727 €	226.544 €	240.641 €
48116	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	87	7351	POELE_AU_BOIS	12519	2	22	52	104.905 €	225.375 €	238.317 €
27475	0,85	0,5	0,2	0,95	0,2	89	12198	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14424	2	35	53	99.525 €	223.748 €	233.828 €
27592	0,85	0,5	0,2	0,95	0,24	90	12489	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14769	2	36	54	97.557 €	222.228 €	232.260 €
27383	1,43	0,63	0,2	0,95	0,2	94	13216	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15628	2	39	56	95.579 €	221.366 €	231.454 €
27514	1,43	0,63	0,2	0,95	0,24	96	13507	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15973	2	39	57	93.611 €	219.846 €	229.886 €
base	5,11	0,87	1,62	0,95	1,77	676	65796	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	145501	18	147	400	- €	301.689 €	334.960 €

Coût macroéconomique/Espec

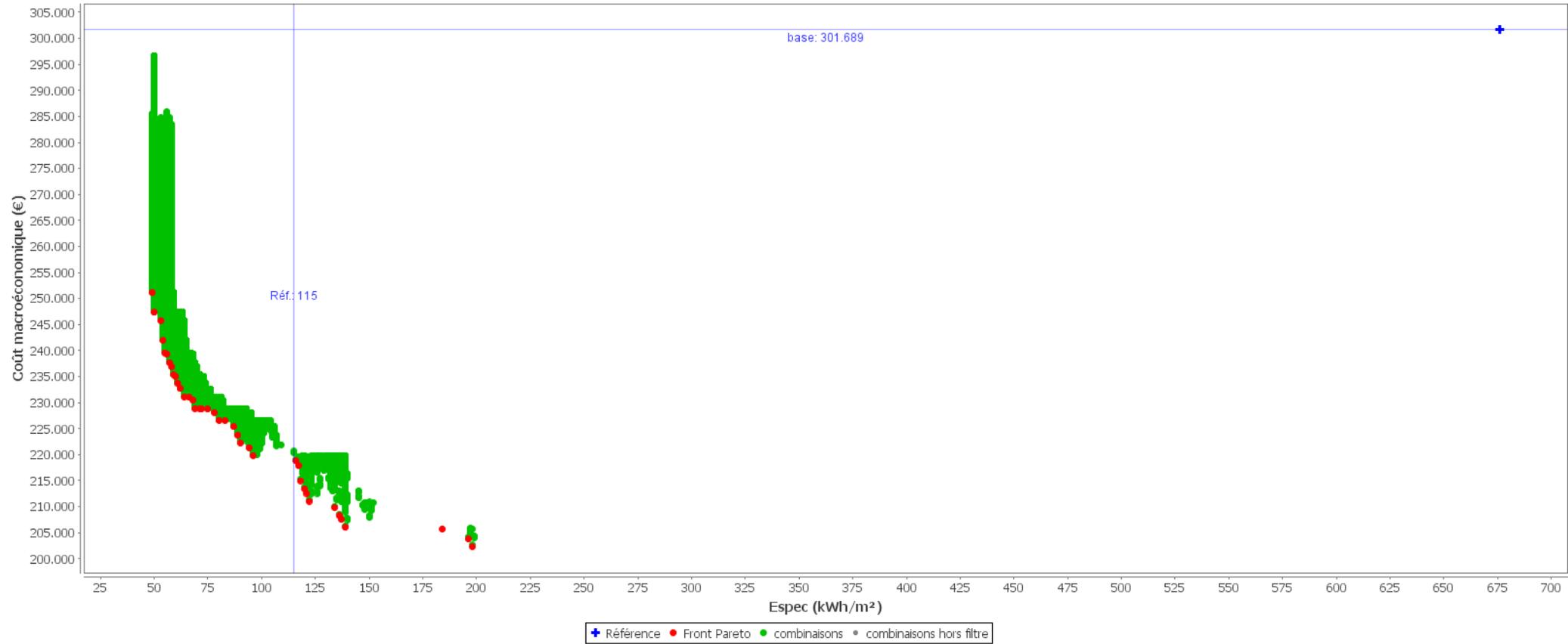


Figure 7: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE4

Tableau 60: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
51926 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pcave2,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20,Mcave0.2,Meanc0.2),Plancher 0.3(PIcave0.3,PIsol0.3),ST6(ST6),Toiture 0.24(PfGr0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation) (F1,H1,M12,M14,M3,P2-P,P3-P,S1,S4,VCC2)
27514 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pcave2,Pext2),EA2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20,Mcave0.2,Meanc0.2),Toiture 0.24(PfGr0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation) (F1,H1,M12,M14,M3,P2-P,P3-P,VCC2)
base

5.5. HE5 - La maison urbaine mitoyenne

Tableau 61: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE5 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG WALL_E XT	U_AVG _ROOF	U_AVG FLOOR	U_AVG _CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
87838	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	43	4182	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	1523	2785	2	18	32	177.614 €	274.793 €	288.187 €
87840	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	44	4182	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	1529	2785	2	18	32	170.514 €	267.651 €	280.624 €
89811	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	45	4438	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	1631	2785	2	19	33	165.245 €	263.057 €	275.866 €
89781	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	48	4438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5111	2785	2	19	35	161.630 €	255.093 €	266.345 €
42406	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	51	4182	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4945	3716	2	18	37	158.750 €	254.686 €	266.639 €
42502	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	52	4438	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5249	3716	2	19	38	153.493 €	249.823 €	261.522 €
89916	5,13	0,87	0,2	0,24	0,24	0,24	122	17736	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	20973	2785	2	65	88	112.755 €	228.048 €	240.130 €
90162	5,13	0,87	0,24	0,24	0,24	0,24	123	18034	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	21326	2785	2	66	89	111.865 €	227.558 €	239.635 €
42827	5,13	0,87	0,2	0,24	0,24	0,24	125	17736	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	20973	3716	2	65	91	108.550 €	226.706 €	239.454 €
42469	5,13	0,87	0,24	0,24	0,24	0,24	126	18034	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	21326	3716	2	66	92	107.660 €	226.216 €	238.959 €
90732	5,13	0,87	0,15	0,2	0,59	0,2	129	19163	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22660	2785	2	69	93	108.540 €	225.735 €	237.796 €
88672	5,13	0,87	0,15	0,24	0,59	0,24	130	19398	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22939	2785	2	70	94	107.200 €	224.745 €	236.777 €
89405	0,85	0,5	2,39	0,15	0,15	0,15	132	20806	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	23960	2785	2	69	96	98.851 €	216.803 €	228.131 €
91113	0,85	0,5	2,39	0,2	0,15	0,2	134	21114	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24315	2785	2	70	97	93.581 €	211.996 €	223.080 €
89136	0,85	0,5	2,39	0,24	0,15	0,24	135	21360	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24598	2785	2	71	98	92.232 €	211.014 €	222.074 €
91133	0,85	0,5	2,39	0,2	0,15	0,2	137	21114	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24968	2785	2	70	99	90.597 €	209.686 €	220.713 €
89155	0,85	0,5	2,39	0,24	0,15	0,24	138	21360	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25258	2785	2	71	100	89.257 €	208.723 €	219.729 €
90409	0,85	0,5	2,39	0,2	0,24	0,2	139	21629	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25577	2785	2	71	101	88.715 €	208.595 €	219.633 €
42750	0,85	0,5	2,39	0,2	0,15	0,2	140	21114	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24968	3716	2	70	102	86.392 €	208.344 €	220.037 €
42844	0,85	0,5	2,39	0,24	0,15	0,24	141	21360	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25258	3716	2	71	103	85.052 €	207.381 €	219.053 €
88244	1,43	0,63	2,39	0,2	0,15	0,2	142	22734	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26180	2785	2	76	103	84.591 €	205.429 €	216.353 €
90163	1,43	0,63	2,39	0,24	0,15	0,24	143	22978	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26461	2785	2	77	104	83.242 €	204.445 €	215.346 €
88262	1,43	0,63	2,39	0,2	0,15	0,2	145	22734	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26883	2785	2	76	106	81.680 €	203.257 €	214.139 €
90177	1,43	0,63	2,39	0,24	0,15	0,24	147	22978	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27172	2785	2	77	106	80.340 €	202.292 €	213.153 €
42456	1,43	0,63	2,39	0,2	0,15	0,2	148	22734	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26883	3716	2	76	108	77.475 €	201.914 €	213.463 €
89378	1,43	0,63	2,39	0,24	0,24	0,24	149	23491	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27778	2785	2	78	108	78.458 €	201.198 €	212.070 €
42561	1,43	0,63	2,39	0,24	0,15	0,24	150	22978	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27172	3716	2	77	109	76.135 €	200.950 €	212.477 €
42865	1,43	0,63	2,39	0,2	0,24	0,2	151	23246	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27489	3716	2	78	110	75.593 €	200.820 €	212.379 €
42414	1,43	0,63	2,39	0,24	0,24	0,24	152	23491	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27778	3716	2	78	111	74.253 €	199.856 €	211.393 €
89498	1,43	0,63	2,39	0,24	0,59	0,24	157	25626	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	29511	2785	2	85	114	74.563 €	199.729 €	210.731 €
91487	1,43	0,63	2,39	0,2	0,59	0,2	159	25380	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	30012	2785	2	84	116	73.104 €	198.747 €	209.753 €
41410	1,43	0,63	2,39	0,24	0,59	0,24	160	25626	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	29511	3716	2	85	116	70.358 €	198.387 €	210.055 €
89506	1,43	0,63	2,39	0,24	0,59	0,24	161	25626	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	30304	2785	2	85	117	71.764 €	197.785 €	208.771 €
42418	1,43	0,63	2,39	0,2	0,59	0,2	162	25380	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	30012	3716	2	84	118	68.899 €	197.404 €	209.077 €
42514	1,43	0,63	2,39	0,24	0,59	0,24	164	25626	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	30304	3716	2	85	119	67.559 €	196.443 €	208.094 €
42557	1,43	0,63	2,39	0,24	0,24	0,24	170	28158	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	33298	3716	2	78	123	67.415 €	195.774 €	207.054 €
base	5,13	0,87	2,39	2,31	0,59	1,65	556	55867	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	116945	5944	15	151	403	- €	240.124 €	264.629 €

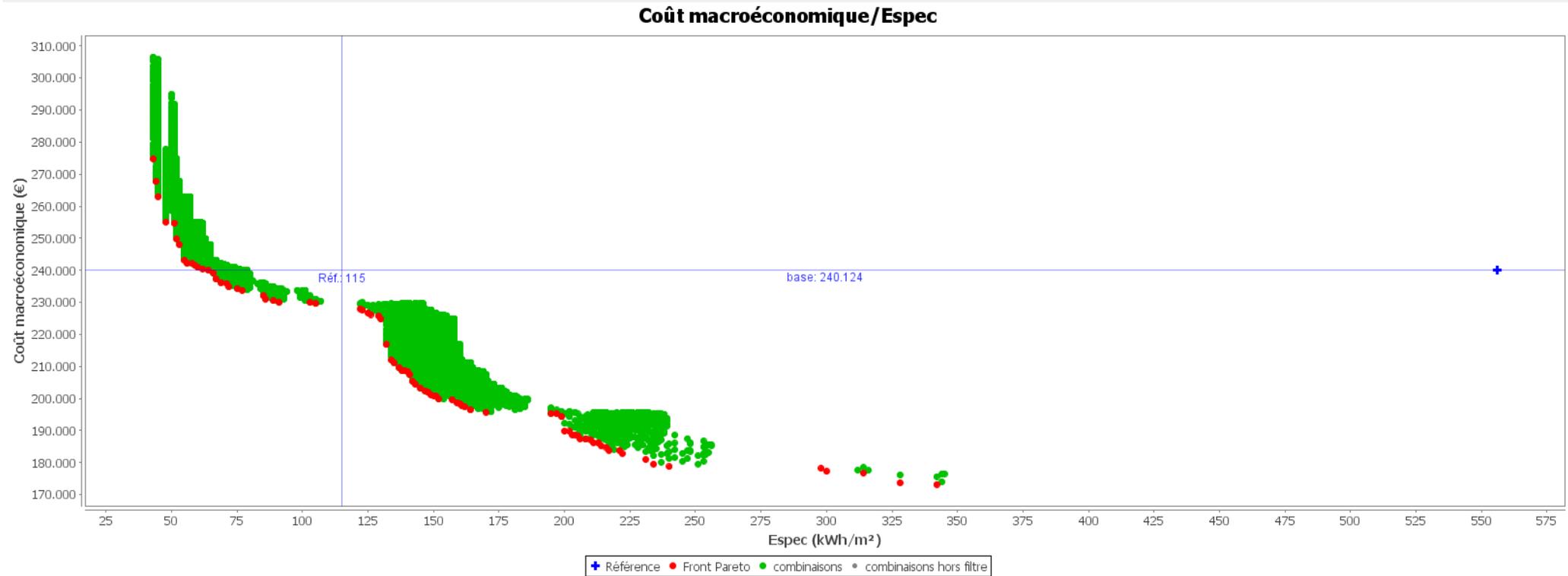


Figure 8: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HES

Tableau 62: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
42514 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24,TPO.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,H1,P2-P,T2,T3,VCC2)
42557 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.24(PICave0.24,PISolo.24),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24,TPO.24) (F1,H1,P2-P,S1,S4,T2,T3)
base

5.6. HE6 - La villa des premières extensions urbaines

Tableau 63: Combinaisons enveloppe du HE6 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDO	U_AVG_G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NET_NEEDS	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
251670	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	126	4194	8833	2	21	62	94.725,0 €	255.460 €	263.770 €
251710	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	132	4552	9586	2	22	65	71.094,0 €	232.961 €	239.986 €
253870	1,43	0,63	0,15	0,2	0,15	142	5098	10738	2	25	70	68.324,0 €	232.093 €	239.219 €
base	5,11	0,87	1,61	1,7	1,62	924	51834	109167	18	175	455	- €	310.465 €	330.867 €

Coût macroéconomique/Espec

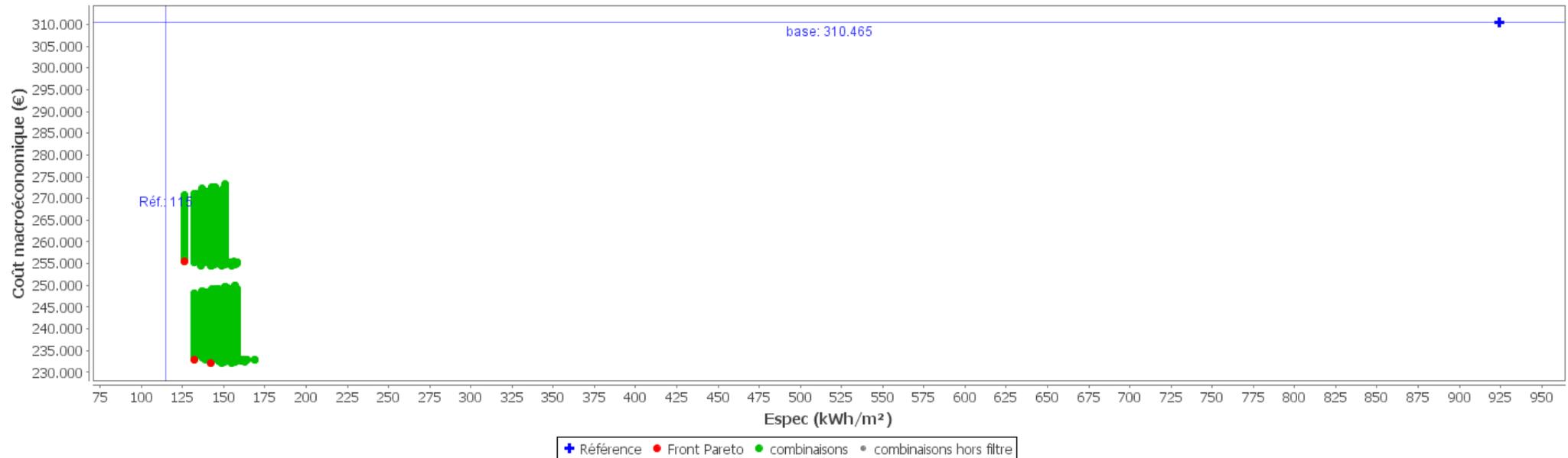


Figure 9: Front de Pareto des combinaisons enveloppe du HE6

Tableau 64: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
25167 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 (ME0.15,Mcave0.15,Meanc0.15),Plancher 0.15(PlCave0.15,PIE0.15),Toit 0.15(T0.15,TP0.15),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,M1,M12,M14,P2-P,S1,S5,T1,T3)
25171 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 (ME0.15,Mcave0.15,Meanc0.15),Plancher 0.15(PlCave0.15,PIE0.15),Toit 0.20(T0.20,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,M1,M12,M14,P2-P,S1,S5,T2,T3)
25387 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 (ME0.15,Mcave0.15,Meanc0.15),Plancher 0.15(PlCave0.15,PIE0.15),Toit 0.20(T0.20,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,M1,M12,M14,P2-P,S1,S5,T2,T3)
base

5.7. HE8 - La maison bel étage mitoyenne

Tableau 65: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE8 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL _EXT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL K	LEVEL E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
49357 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	43	1905	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	983	2	16	25	68.686 €	188.629 €	195.554 €
48283 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	44	1905	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	983	2	16	26	65.777 €	185.996 €	192.853 €
49331 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,15	0,24	62	3129	POELE_AU_BOIS	983	2	25	37	44.156 €	164.089 €	170.866 €
48917 C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	0,24	63	3182	POELE_AU_BOIS	983	2	25	37	43.805 €	163.885 €	170.698 €
46186 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	64	2101	POELE_AU_BOIS	3097	2	18	38	45.568 €	163.599 €	169.184 €
48530 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	65	3361	POELE_AU_BOIS	983	2	26	38	43.071 €	163.409 €	170.277 €
47380 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	0,24	66	2259	POELE_AU_BOIS	3097	2	19	39	44.543 €	162.824 €	168.444 €
48159 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	0,24	67	3505	POELE_AU_BOIS	983	2	27	39	42.254 €	162.802 €	169.703 €
44699 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	0,24	68	2431	POELE_AU_BOIS	3097	2	20	40	43.808 €	162.323 €	167.989 €
45681 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	0,2	69	2459	POELE_AU_BOIS	3097	2	20	40	43.666 €	162.284 €	167.982 €
46979 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,15	0,24	70	2570	POELE_AU_BOIS	3097	2	21	41	42.992 €	161.699 €	167.390 €
46871 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	0,24	71	2621	POELE_AU_BOIS	3097	2	21	42	42.641 €	161.515 €	167.250 €
44195 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	73	2796	POELE_AU_BOIS	3097	2	22	43	41.907 €	161.019 €	166.802 €
46562 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,24	0,24	75	2938	POELE_AU_BOIS	3097	2	23	44	41.090 €	160.399 €	166.209 €
47333 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,15	0,24	77	3129	POELE_AU_BOIS	3097	2	25	45	40.746 €	160.253 €	166.119 €
47157 C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	0,24	78	3182	POELE_AU_BOIS	3097	2	25	46	40.395 €	160.049 €	165.950 €
44537 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,24	0,24	80	3361	POELE_AU_BOIS	3097	2	26	47	39.661 €	159.573 €	165.530 €
46851 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	0,24	82	3505	POELE_AU_BOIS	3097	2	27	48	38.844 €	158.966 €	164.955 €
26604 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,24	0,24	84	6017	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	39	50	37.979 €	158.800 €	163.086 €
46390 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,3	0,24	85	3757	POELE_AU_BOIS	3097	2	29	50	38.210 €	158.746 €	164.857 €
26789 C	1,43	0,63	0,93	0,2	0,24	0,2	86	5829	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	42	51	36.757 €	158.592 €	163.039 €
26731 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,3	0,24	87	6282	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	41	51	37.357 €	158.585 €	162.897 €
26601 C	1,43	0,63	0,93	0,24	0,24	0,24	88	6003	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	43	52	35.740 €	157.840 €	162.268 €
26754 C	1,36	0,5	0,93	0,24	0,24	0,24	90	6618	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	43	53	35.752 €	157.419 €	161.686 €
26581 C	1,36	0,5	0,93	0,24	0,3	0,24	92	6884	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1742	2	44	54	35.130 €	157.206 €	161.500 €
47062 C	0,85	0,5	0,93	0,2	0,15	0,2	100	4897	POELE_AU_BOIS	3097	2	36	59	33.868 €	156.073 €	162.568 €
43322 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,15	0,24	102	5071	POELE_AU_BOIS	3097	2	37	60	32.843 €	155.330 €	161.873 €
46622 C	0,85	0,5	0,93	0,2	0,24	0,2	105	5289	POELE_AU_BOIS	3097	2	38	62	31.966 €	154.811 €	161.439 €
47795 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,24	0,24	108	5463	POELE_AU_BOIS	3097	2	39	63	30.941 €	154.069 €	160.746 €
43975 C	1,43	0,63	0,93	0,24	0,15	0,24	110	5611	POELE_AU_BOIS	3097	2	41	65	30.412 €	153.905 €	160.691 €
47251 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,3	0,24	111	5726	POELE_AU_BOIS	3097	2	41	65	30.307 €	153.865 €	160.670 €
45965 C	0,85	0,5	0,93	0,24	0,24	0,24	112	6017	POELE_AU_BOIS	3097	2	39	66	30.771 €	153.628 €	160.413 €
47268 C	1,43	0,63	0,93	0,2	0,24	0,2	113	5829	POELE_AU_BOIS	3097	2	42	66	29.535 €	153.388 €	160.260 €
43486 C	1,43	0,63	0,93	0,24	0,24	0,24	115	6003	POELE_AU_BOIS	3097	2	43	68	28.511 €	152.645 €	159.565 €
47945 C	1,43	0,63	0,93	0,24	0,3	0,24	119	6266	POELE_AU_BOIS	3097	2	45	70	27.877 €	152.441 €	159.489 €
46301 C	1,36	0,5	0,93	0,24	0,24	0,24	120	6618	POELE_AU_BOIS	3097	2	43	70	28.525 €	152.287 €	159.287 €
45777 C	1,36	0,5	0,93	0,24	0,3	0,24	123	6884	POELE_AU_BOIS	3097	2	44	72	27.891 €	152.089 €	159.219 €
base	5,11	0,87	0,93	1,47	2,28	1,77	555	31239	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	2786	15	158	325	- €	204.562 €	221.159 €

Coût macroéconomique/Espec

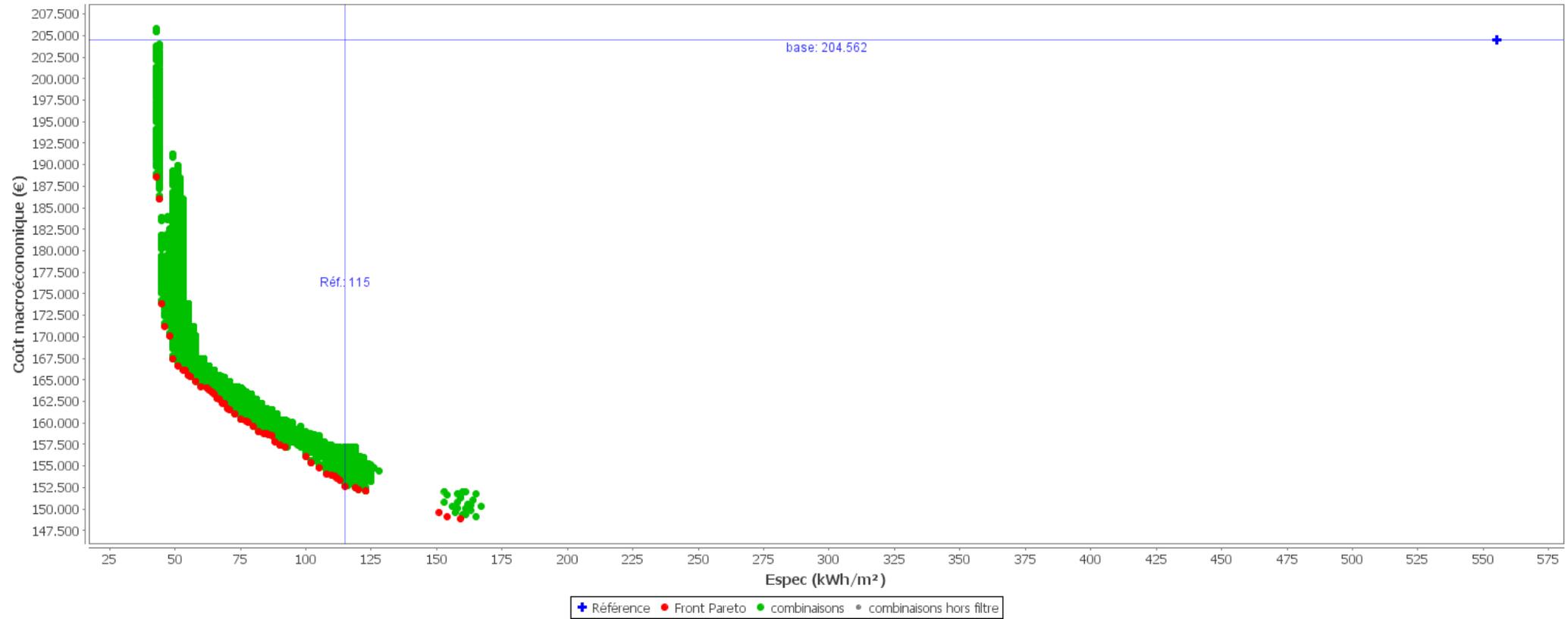


Figure 10: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE8

Tableau 66: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
46390 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0(Ch1.7-DV1.0/0.5,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.24 + MI 1.0(ME0.24,MI1.0),Plancher 0.3(Pleanc0.3),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24),Ventilation (F1,H1,M4,P2-P,S2,T2)
43486 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Plancher 0.24(Pleanc0.24),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [z (F1,H1,P2-P,S2,T2)
45777 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0(Ch1.7-DV1.0/0.5,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Plancher 0.3(Pleanc0.3),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation (F1,H1,P2-P,S2,T2,VCC2)
base

5.8. HE9 - La villa 4 façades de type lotissement

Tableau 67: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE9 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDOW	G_AVG	U_AVG_ WALL_EX T	U_AVG_ _ROOF	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_C EILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINA L_TOTAL_ NEEDS	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
34398 C	0,89	0,5	0,24	0,24	0,73	0,24	80	10456	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12364	2791	2	37	47	92.537 €	332.503 €	341.773 €
34268 C	1,37	0,49	0,2	0,24	0,73	0,24	85	11361	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	13435	2791	2	40	49	91.105 €	332.287 €	341.621 €
34212 C	1,43	0,6	0,24	0,2	0,73	0,2	86	11402	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	13483	2791	2	41	50	88.322 €	330.223 €	339.655 €
34644 C	1,37	0,49	0,24	0,24	0,73	0,24	87	11841	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	14002	2791	2	42	51	87.168 €	329.043 €	338.241 €
34322 C	1,43	0,6	0,24	0,24	0,73	0,24	88	11669	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	13799	2791	2	42	51	86.692 €	328.998 €	338.393 €
69390 C	0,89	0,5	0,24	0,2	0,73	0,2	106	9453	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	16098	4962	2	37	62	83.693 €	327.709 €	341.087 €
69314 C	0,89	0,5	0,24	0,24	0,73	0,24	108	9718	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	16550	4962	2	37	63	82.045 €	326.492 €	339.938 €
69333 C	0,89	0,5	0,24	0,24	0,73	0,24	110	10456	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	17806	4962	2	37	64	81.798 €	325.306 €	338.765 €
33077 C	0,89	0,5	0,86	0,2	0,73	0,2	116	17711	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	20396	2791	2	60	67	71.550 €	321.649 €	331.119 €
33183 C	0,89	0,5	0,86	0,24	0,73	0,24	117	17989	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	20716	2791	2	61	68	69.902 €	320.416 €	329.851 €
34231 C	0,89	0,5	0,86	0,2	0,73	0,2	118	17711	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	20943	2791	2	60	69	67.551 €	318.170 €	327.500 €
34337 C	0,89	0,5	0,86	0,24	0,73	0,24	120	17989	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	21272	2791	2	61	69	65.922 €	316.967 €	326.265 €
33120 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	124	19198	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	22109	2791	2	65	72	63.964 €	316.500 €	325.945 €
34167 C	1,43	0,6	0,86	0,2	0,73	0,2	125	18921	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	22374	2791	2	65	73	61.706 €	314.398 €	323.751 €
34274 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	127	19198	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	22702	2791	2	65	73	60.077 €	313.193 €	322.514 €
34652 C	0,89	0,5	0,86	0,24	0,73	0,24	136	22028	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	26048	2791	2	61	79	58.484 €	312.422 €	321.517 €
33346 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	140	23232	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	26754	2791	2	65	81	56.526 €	311.739 €	320.935 €
34558 C	1,43	0,6	0,86	0,2	0,73	0,2	141	22951	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	27139	2791	2	65	82	54.269 €	309.792 €	318.921 €
34500 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	143	23232	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	27472	2791	2	65	83	52.639 €	308.594 €	317.692 €
76342 C	1,43	0,6	0,86	0,2	0,73	0,2	175	18921	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	32222	4962	2	65	101	50.538 €	307.613 €	324.438 €
76247 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	177	19198	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	32695	4962	2	65	103	48.890 €	306.416 €	323.317 €
76646 C	0,89	0,5	0,86	0,24	0,73	0,24	193	22028	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	37513	4962	2	61	112	47.230 €	305.858 €	323.634 €
76360 C	1,43	0,6	0,86	0,2	0,73	0,2	201	22951	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	39085	4962	2	65	116	43.100 €	303.406 €	321.583 €
76265 C	1,43	0,6	0,86	0,24	0,73	0,24	203	23232	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	39564	4962	2	65	118	41.452 €	302.217 €	320.472 €
76171 C	5,25	0,87	0,86	0,72	0,73	0,91	355	42695	POELE_AU_BOIS	APPAREIL_A_COMBUSTION	72709	4962	17	110	206	2.750 €	296.221 €	324.791 €
base	5,25	0,87	0,86	0,72	0,73	0,91	423	42695	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	82614	3189	17	110	245	- €	365.322 €	385.241 €

Coût macroéconomique/Espec

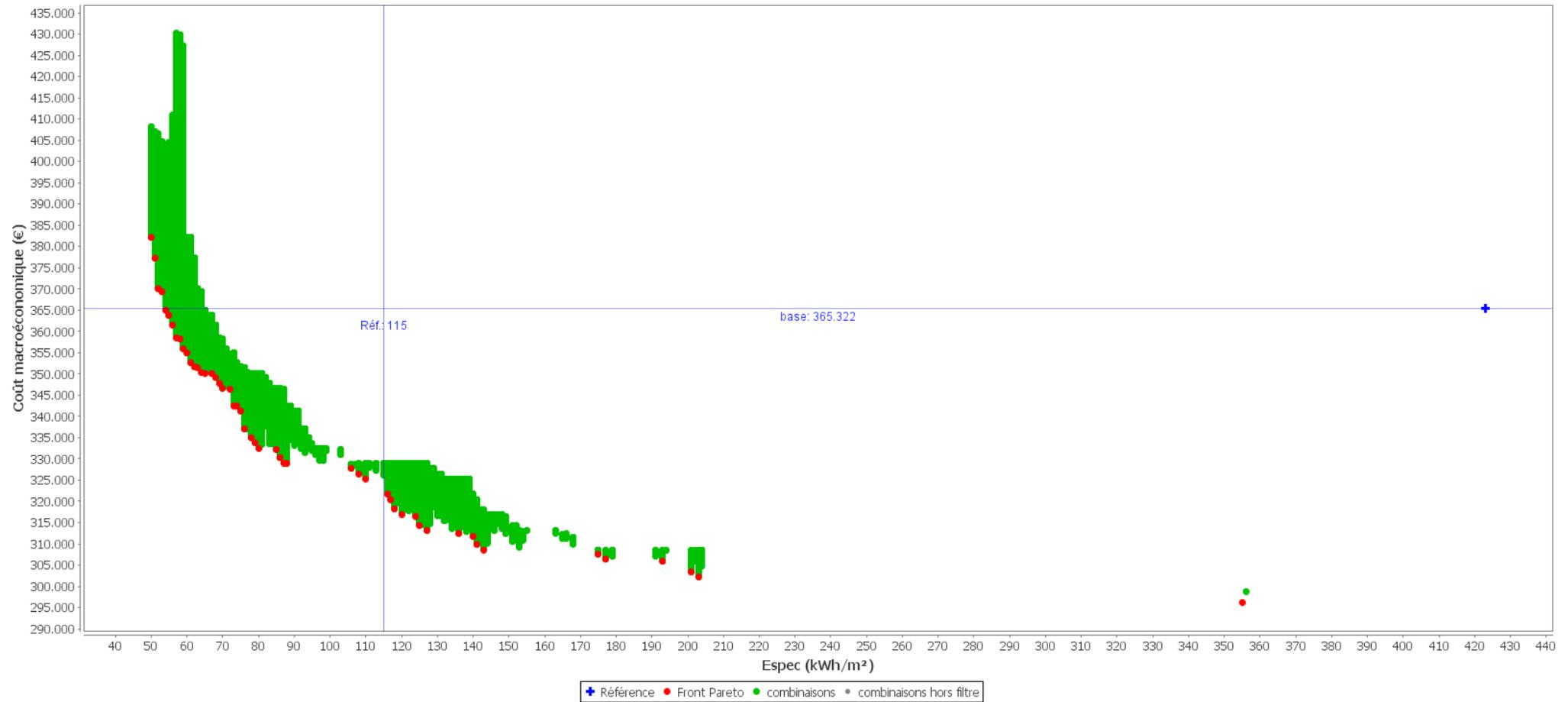


Figure 11: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE9

Tableau 68: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
34268 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de venti (F1,Ftoit1,H1,M4,P2-P,T2,VCC2))
33077 CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz surf (+ECS) SANS stock),Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5,Ftoit 2,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Toit 0.20(PfGr0.2,T0.20),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv (F1,Ftoit1,H1,P2-P,T2,VCC2))
34500 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24) (F1,Ftoit1,H1,P2-P,T2)
76265 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24) (F1,Ftoit1,H1,P2-P,T2,VCC2)
76171 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon) (VCC2)
base

5.9. HE10 - La maison type barre de logement social

Tableau 69: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE10 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WIND OW	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET_ NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
32536 C	1,76	0,63	0,24	0,24	0,3	85	4166	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4926	1379	2	41	47	51.446 €	152.679 €	157.282 €
63315 C	1,76	0,63	0,2	0,94	0,24	115	5631	POELE_AU_BOIS	9590	473	2	53	63	45.697 €	151.094 €	159.038 €
32437 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,24	173	11479	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	13574	1379	2	99	95	19.151 €	131.034 €	135.234 €
32166 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,3	175	11640	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	13764	1379	2	100	96	18.807 €	130.934 €	135.152 €
32242 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	185	12034	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14230	1379	2	110	102	16.995 €	130.927 €	135.432 €
32399 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	187	12202	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14430	1379	2	111	103	16.650 €	130.835 €	135.357 €
32244 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	188	12507	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14790	1379	2	110	103	16.866 €	130.672 €	135.117 €
32401 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	190	12667	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14979	1379	2	111	104	16.521 €	130.568 €	135.029 €
36875 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,15	230	10773	POELE_AU_BOIS	18346	2452	2	97	126	16.569 €	130.559 €	139.312 €
36894 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,15	235	11239	POELE_AU_BOIS	19140	2452	2	97	129	16.441 €	130.226 €	139.056 €
37350 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,15	250	11796	POELE_AU_BOIS	20088	2452	2	108	137	14.220 €	130.117 €	139.466 €
36533 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,24	235	11013	POELE_AU_BOIS	18755	2452	2	99	129	15.307 €	129.689 €	138.518 €
36229 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,3	237	11173	POELE_AU_BOIS	19027	2452	2	100	130	14.955 €	129.599 €	138.508 €
58115 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,15	228	10773	POELE_AU_BOIS	18346	2452	2	97	125	15.479 €	129.403 €	138.158 €
36552 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,24	239	11479	POELE_AU_BOIS	19549	2452	2	99	131	15.178 €	129.354 €	138.260 €
36248 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,3	242	11640	POELE_AU_BOIS	19822	2452	2	100	133	14.826 €	129.263 €	138.249 €
37179 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	254	12034	POELE_AU_BOIS	20493	2452	2	110	139	12.957 €	129.239 €	138.661 €
37027 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	257	12202	POELE_AU_BOIS	20781	2452	2	111	141	12.605 €	129.156 €	138.662 €
58134 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,15	233	11239	POELE_AU_BOIS	19140	2452	2	97	128	15.351 €	129.070 €	137.902 €
37198 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	259	12507	POELE_AU_BOIS	21300	2452	2	110	142	12.829 €	129.031 €	138.578 €
58590 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,15	247	11796	POELE_AU_BOIS	20088	2452	2	108	136	13.130 €	128.961 €	138.312 €
37046 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	262	12667	POELE_AU_BOIS	21572	2452	2	111	144	12.477 €	128.935 €	138.561 €
57773 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,24	232	11013	POELE_AU_BOIS	18755	2452	2	99	128	14.217 €	128.533 €	137.364 €
57469 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,3	235	11173	POELE_AU_BOIS	19027	2452	2	100	129	13.865 €	128.443 €	137.354 €
57792 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,24	237	11479	POELE_AU_BOIS	19549	2452	2	99	130	14.088 €	128.199 €	137.106 €
57488 C	1,76	0,63	1,54	0,94	0,3	240	11640	POELE_AU_BOIS	19822	2452	2	100	132	13.736 €	128.108 €	137.095 €
58419 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	252	12034	POELE_AU_BOIS	20493	2452	2	110	138	11.867 €	128.083 €	137.507 €
58267 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	255	12202	POELE_AU_BOIS	20781	2452	2	111	140	11.515 €	128.001 €	137.508 €
58286 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,3	260	12667	POELE_AU_BOIS	21572	2452	2	111	143	11.387 €	127.780 €	137.407 €
56022 C	1,76	0,63	0,24	0,94	0,3	139	5953	POELE_AU_BOIS	10138	2452	2	55	76	39.363 €	144.623 €	151.632 €
32488 C	1,43	0,63	1,54	0,94	0,3	166	10864	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12847	1379	2	94	91	28.911 €	139.871 €	144.517 €
57564 C	1,76	0,63	1,54	0,24	0,24	203	9579	POELE_AU_BOIS	16314	2452	2	84	112	20.525 €	131.633 €	139.766 €
58438 C	3,06	0,77	1,54	0,94	0,24	257	12507	POELE_AU_BOIS	21300	2452	2	110	141	11.739 €	127.875 €	137.424 €
base	3,06	0,77	1,54	0,94	1,64	499	20618	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	43159	2205	14	139	274	- €	158.636 €	170.500 €

Coût macroéconomique/Espec

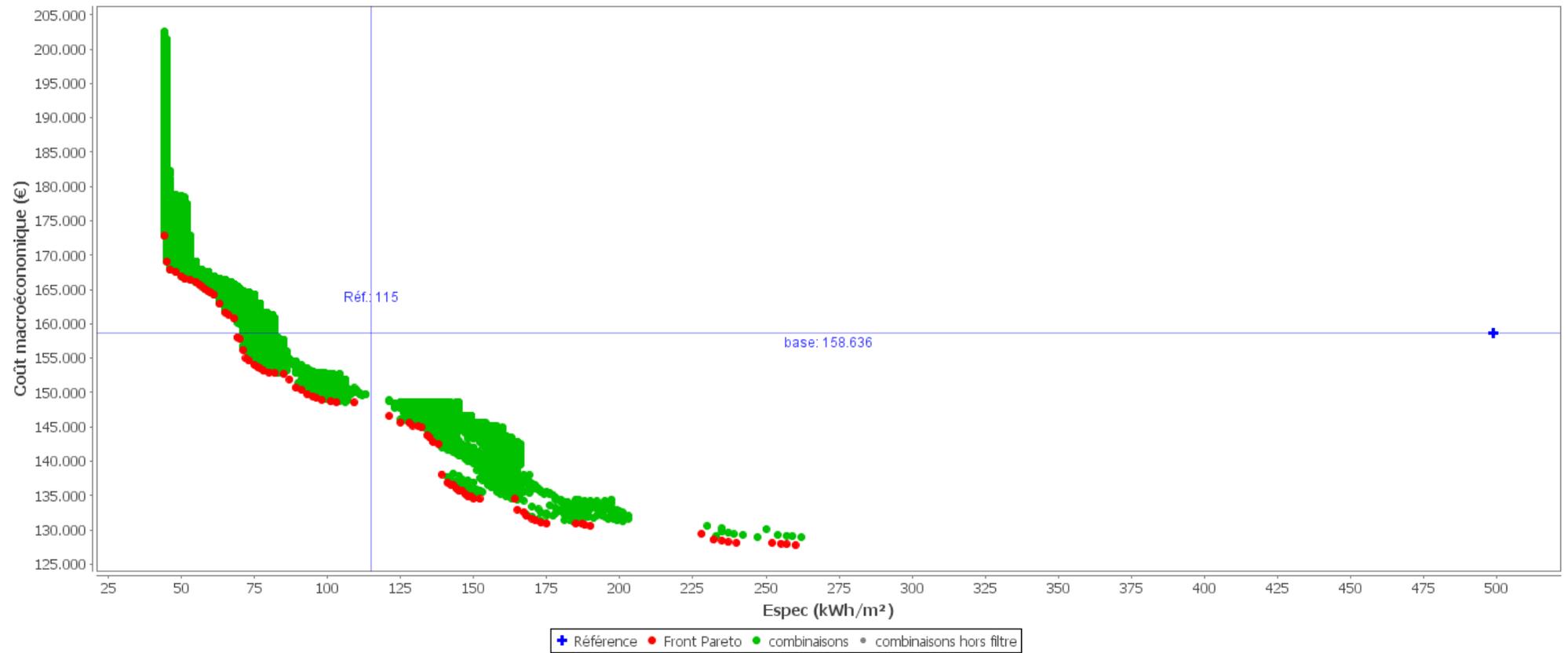


Figure 12: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE10

Tableau 70: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (Espec - CGA macroéconomique)

COMBINAISON
32536 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0,Meanc0.24),Plancher 0.3(PISol0.3,Pleanc0.3),Toit 0.24(TP0.24),V1.1/0.63-PVC existant(V1.1/0.63-pvc existant), Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]), (F3,M1,M14,M9,S2,S4,T3,VCC2)
63315 CHS-PB (poele bois)(PB (poele bois)),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.20 + MI1.0(ME0.20,MI1.0,Meanc0.2),Plancher 0.24(PISol0.24,Pleanc0.24),ST6(ST6),V1.1/0.63-PVC existant(V1.1/0.63-pvc existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F3,M1,M14,M9,S2,S4,VCC2)
32488 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63,Peanc2,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.3(PISol0.3,Pleanc0.3),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,P2-P,P5-P,S2,S4,VCC2)
base

5.10.HE11 - La villa 4 façades K70

Tableau 71: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE11 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN L_TOTAL_N EEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
42479	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	60	4509	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5193	2	19	34	109.027 €	325.430 €	333.970 €
43614	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	61	3863	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	4568	2	19	34	99.476 €	317.188 €	325.538 €
43613	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	62	4509	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5332	2	19	35	99.313 €	316.275 €	324.443 €
44195	0,87	0,5	0,15	0,15	0,24	64	4318	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5107	2	20	36	97.549 €	315.910 €	324.234 €
43973	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	65	5004	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5917	2	21	37	97.303 €	314.914 €	323.037 €
43976	0,87	0,5	0,15	0,15	0,3	67	5307	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6276	2	22	38	96.725 €	314.744 €	322.883 €
44315	0,87	0,5	0,24	0,15	0,15	68	5404	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6390	2	22	38	96.273 €	314.423 €	322.552 €
44213	1,36	0,5	0,15	0,15	0,15	69	5608	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6632	2	23	39	94.399 €	312.803 €	320.846 €
43757	1,36	0,5	0,2	0,15	0,15	72	5441	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6435	2	25	40	92.550 €	312.527 €	320.779 €
41914	1,66	0,64	0,15	0,15	0,15	73	5513	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6349	2	26	41	80.652 €	301.208 €	308.958 €
43558	1,66	0,64	0,15	0,15	0,15	74	5513	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6520	2	26	41	78.000 €	298.664 €	306.283 €
43572	1,66	0,64	0,15	0,15	0,15	76	6178	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7305	2	26	42	77.838 €	297.932 €	305.433 €
44134	1,66	0,64	0,15	0,15	0,24	77	5982	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7074	2	28	43	76.073 €	297.381 €	304.967 €
43991	1,66	0,64	0,2	0,15	0,15	78	6012	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7109	2	28	43	75.989 €	297.337 €	304.924 €
43993	1,66	0,64	0,2	0,15	0,15	79	6683	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7902	2	28	44	75.827 €	296.551 €	303.997 €
43639	1,66	0,64	0,24	0,15	0,15	81	7093	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8388	2	29	46	74.797 €	296.048 €	303.491 €
43758	1,66	0,64	0,2	0,15	0,24	82	7165	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8473	2	29	46	73.900 €	295.244 €	302.644 €
43518	1,66	0,64	0,2	0,15	0,3	84	7507	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8877	2	31	47	73.239 €	295.031 €	302.443 €
44187	1,66	0,64	0,24	0,15	0,24	85	7576	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	8959	2	31	47	72.870 €	294.754 €	302.155 €
43977	1,66	0,64	0,24	0,15	0,3	87	7920	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9365	2	32	49	72.209 €	294.550 €	301.968 €
41984	1,66	0,64	0,15	0,53	0,15	91	8853	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10195	2	36	51	61.129 €	284.498 €	291.363 €
43629	1,66	0,64	0,15	0,53	0,15	92	8160	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	9649	2	36	52	58.831 €	283.226 €	290.203 €
43628	1,66	0,64	0,15	0,53	0,15	93	8853	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10469	2	36	52	58.668 €	282.280 €	289.047 €
43780	1,66	0,64	0,15	0,53	0,24	96	9347	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	11053	2	37	54	56.741 €	281.039 €	287.782 €
43939	1,66	0,64	0,2	0,53	0,15	97	9378	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	11089	2	37	54	56.658 €	280.999 €	287.742 €
44078	1,66	0,64	0,2	0,53	0,24	99	9173	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10847	2	39	55	54.893 €	280.762 €	287.715 €
44086	1,66	0,64	0,2	0,53	0,24	100	9873	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	11676	2	39	56	54.731 €	279.770 €	286.493 €
44229	1,66	0,64	0,2	0,53	0,3	102	10225	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12092	2	40	57	54.069 €	279.609 €	286.361 €
43574	1,66	0,64	0,24	0,53	0,24	103	10297	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12176	2	41	57	53.701 €	279.342 €	286.086 €
42191	1,66	0,64	0,7	0,15	0,15	111	11220	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	12920	2	46	62	47.696 €	276.243 €	283.144 €
42193	1,66	0,64	0,7	0,15	0,15	112	11931	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	13740	2	46	62	47.533 €	275.170 €	281.811 €
43837	1,66	0,64	0,7	0,15	0,15	114	11931	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	14109	2	46	64	45.286 €	273.289 €	279.864 €
43609	1,66	0,64	0,7	0,15	0,24	117	11723	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	13862	2	48	65	43.522 €	273.157 €	279.985 €
43611	1,66	0,64	0,7	0,15	0,24	118	12437	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	14707	2	48	66	43.359 €	272.101 €	278.668 €
41977	1,66	0,64	0,7	0,53	0,15	131	14741	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	16976	2	56	73	28.173 €	259.841 €	265.914 €
43619	1,66	0,64	0,7	0,53	0,15	133	14019	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	16577	2	56	74	26.279 €	259.362 €	265.677 €
43621	1,66	0,64	0,7	0,53	0,15	134	14741	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	17432	2	56	75	26.117 €	258.264 €	264.300 €
43776	1,66	0,64	0,7	0,53	0,24	137	15254	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	18038	2	58	77	24.190 €	257.103 €	263.139 €
base	2,23	0,77	0,7	0,53	0,76	309	26553	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PARR_RESISTANCE	41762	12	72	172	- €	286.679 €	298.232 €

Coût macroéconomique/Espec

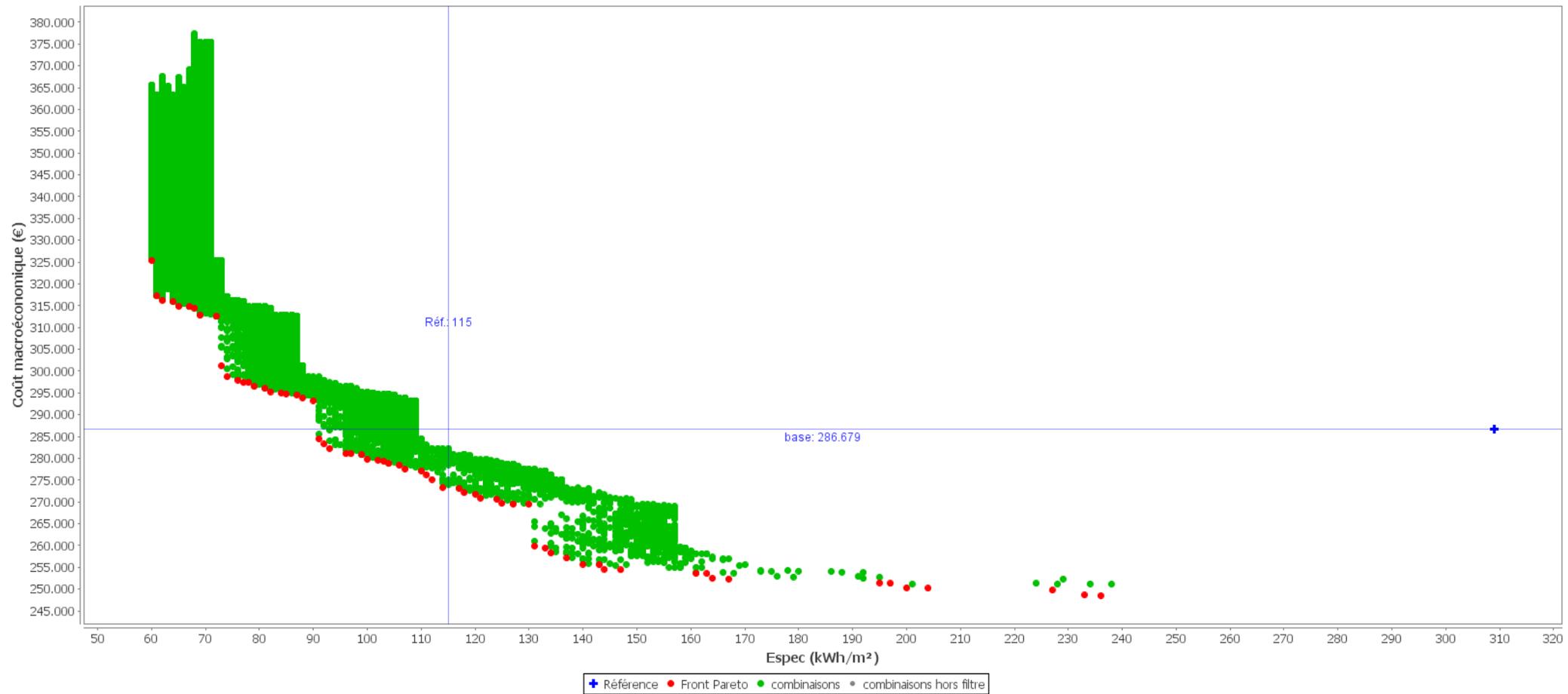


Figure 13: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE11

Tableau 72: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
43518 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.20(ME0.20),Plancher 0.3(PIE0.30,Plvv0.3),Toit 0.15(T0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de (F3,M1,S3,S5,T2,VCC2)
43837 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(PIE0.15,Plvv0.15),Toit 0.15(T0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv (F3,S3,S5,T2,VCC2)
43776 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.24(PIE0.24,Plvv0.24),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F3,S3,S5,VCC2)
base

5.11. HE12 - La maison 3 façades K70

Tableau 73: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE12 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	WATER_F INAL_NE EDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
105457	0,91	0,5	0,15	0,15	0,15	53	2186	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	808	765	2	19	29	86.783 €	207.908 €	214.456 €
105459	0,91	0,5	0,15	0,15	0,15	54	2186	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	831	765	2	19	29	79.683 €	200.877 €	207.028 €
104042	0,91	0,5	0,15	0,47	0,15	70	3467	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3992	765	2	27	38	61.566 €	182.232 €	186.918 €
104069	0,91	0,5	0,15	0,47	0,15	71	3467	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4099	765	2	27	39	59.878 €	180.606 €	185.209 €
106663	0,91	0,5	0,24	0,47	0,15	76	3958	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4681	765	2	30	41	58.220 €	179.649 €	184.249 €
42115 C	0,91	0,5	0,15	0,47	0,15	77	3467	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3992	1681	2	27	42	56.791 €	179.647 €	184.792 €
43753 C	0,91	0,5	0,15	0,47	0,15	78	3467	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4099	1681	2	27	42	55.103 €	178.021 €	183.083 €
105802	1,82	0,67	0,15	0,47	0,15	84	4611	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5310	765	2	35	46	49.485 €	172.307 €	176.709 €
105817	1,82	0,67	0,15	0,47	0,15	86	4611	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5452	765	2	35	46	47.852 €	170.784 €	175.112 €
105560	1,82	0,67	0,15	0,47	0,24	89	4918	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5815	765	2	37	48	46.631 €	169.955 €	174.254 €
41895 C	1,82	0,67	0,15	0,47	0,15	91	4611	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5310	1681	2	35	49	44.710 €	169.722 €	174.583 €
43533 C	1,82	0,67	0,15	0,47	0,15	92	4611	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5452	1681	2	35	50	43.077 €	168.198 €	172.986 €
43692 C	1,82	0,67	0,15	0,47	0,24	95	4918	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5815	1681	2	37	52	41.856 €	167.370 €	172.128 €
43989 C	1,82	0,67	0,2	0,47	0,24	98	5196	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6144	1681	2	38	53	40.763 €	166.664 €	171.408 €
104756	1,82	0,67	0,76	0,15	0,15	106	6664	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7675	765	2	47	58	35.387 €	161.132 €	165.112 €
104783	1,82	0,67	0,76	0,15	0,15	108	6664	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7881	765	2	47	59	34.045 €	159.982 €	163.918 €
104523	1,82	0,67	0,76	0,2	0,15	110	6881	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8137	765	2	49	60	33.692 €	159.916 €	163.867 €
106925	1,82	0,67	0,76	0,15	0,24	111	6982	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8256	765	2	49	60	32.824 €	159.183 €	163.098 €
42106 C	1,82	0,67	0,76	0,15	0,15	113	6664	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7675	1681	2	47	61	30.612 €	158.547 €	162.986 €
43744 C	1,82	0,67	0,76	0,15	0,15	115	6664	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7881	1681	2	47	62	29.270 €	157.396 €	161.792 €
43903 C	1,82	0,67	0,76	0,2	0,15	117	6881	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8137	1681	2	49	63	28.917 €	157.331 €	161.741 €
43517 C	1,82	0,67	0,76	0,15	0,24	118	6982	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8256	1681	2	49	64	28.049 €	156.598 €	160.972 €
44102 C	1,82	0,67	0,76	0,15	0,3	120	7207	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8523	1681	2	50	65	27.628 €	156.473 €	160.857 €
104278	1,82	0,67	0,76	0,47	0,15	121	8065	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9288	765	2	56	65	23.745 €	151.335 €	154.848 €
104305	1,82	0,67	0,76	0,47	0,15	123	8065	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9537	765	2	56	67	22.483 €	150.321 €	153.805 €
104070	1,82	0,67	0,76	0,47	0,24	126	8387	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9918	765	2	57	68	21.262 €	149.551 €	153.023 €
41887 C	1,82	0,67	0,76	0,47	0,15	127	8065	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9288	1681	2	56	69	18.970 €	148.750 €	152.722 €
43525 C	1,82	0,67	0,76	0,47	0,15	130	8065	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9537	1681	2	56	70	17.708 €	147.736 €	151.679 €
43679 C	1,82	0,67	0,76	0,47	0,24	133	8387	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9918	1681	2	57	72	16.487 €	146.966 €	150.896 €
44143 C	2,23	0,77	0,76	0,47	0,15	134	8397	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9929	1681	2	58	73	15.998 €	146.830 €	150.865 €
43684 C	1,82	0,67	0,76	0,47	0,24	136	8929	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10559	1681	2	57	74	16.353 €	146.694 €	150.583 €
base	2,23	0,77	0,76	0,47	0,6	287	15547	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	25157	2986	12	68	155	- €	155.641 €	160.539 €

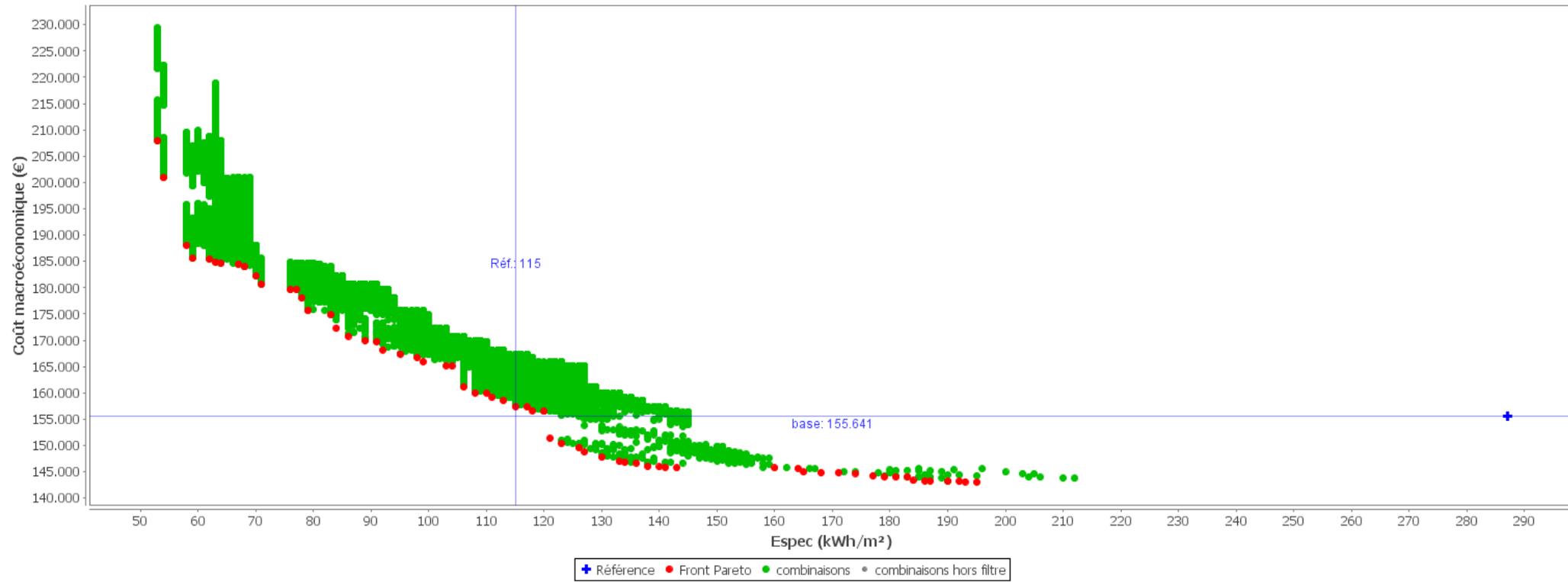
Coût macroéconomique/Espec

Figure 14: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE12

Tableau 74: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
105802 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 + MI 1.0(ME0.15,MI1.0,Meanc0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15), ST6(ST6),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,M1,M14,M9,S3)
43744 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),Toit 0.15(T0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,S3,T2)
43684 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.24(Plvv0.24),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F3,S3,VCC2)
base

5.12. HE13 - La maison mitoyenne bel-étage K70

Tableau 75: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE13 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
110116 C	0,92	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	41	3169	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTAN	1175	2	22	29	113.893 €	362.681 €	372.473 €
109874 C	0,92	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	42	3347	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTAN	1247	2	23	29	111.570 €	360.837 €	370.597 €
36167 C	0,92	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	44	3169	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3747	2	22	31	105.042 €	351.771 €	360.785 €
35613 C	0,92	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	45	3169	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3747	2	22	32	96.939 €	344.209 €	352.946 €
35786 C	0,92	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	46	3347	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3957	2	23	32	94.627 €	342.166 €	350.805 €
109248 C	0,92	0,5	0,15	0,2	0,41	0,2	47	4447	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTAN	1708	2	28	33	86.235 €	338.707 €	347.698 €
108987 C	0,92	0,5	0,15	0,24	0,41	0,24	48	4598	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTAN	1774	2	29	34	85.073 €	337.976 €	346.994 €
34458 C	0,92	0,5	0,15	0,15	0,41	0,15	49	4258	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4904	2	27	35	82.272 €	330.779 €	338.731 €
36262 C	0,92	0,5	0,15	0,15	0,41	0,15	50	4258	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5035	2	27	35	79.766 €	328.329 €	336.150 €
35547 C	0,92	0,5	0,15	0,2	0,41	0,2	51	4447	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5258	2	28	36	77.454 €	326.303 €	334.029 €
36122 C	0,92	0,5	0,2	0,2	0,41	0,2	52	4651	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5500	2	29	36	76.240 €	325.344 €	333.025 €
35986 C	0,92	0,5	0,24	0,24	0,41	0,24	53	4971	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5878	2	31	38	74.739 €	324.286 €	331.935 €
35662 C	0,92	0,5	0,15	0,39	0,41	0,35	54	5013	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5928	2	31	38	72.346 €	322.055 €	329.607 €
35887 C	0,92	0,5	0,2	0,39	0,41	0,35	55	5223	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6176	2	32	38	71.133 €	321.104 €	328.611 €
35889 C	0,92	0,5	0,2	0,39	0,41	0,35	56	5887	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6962	2	32	39	70.969 €	320.481 €	327.937 €
36107 C	0,92	0,5	0,24	0,39	0,41	0,35	57	6057	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7162	2	33	40	70.621 €	320.321 €	327.769 €
108971 C	0,92	0,5	0,59	0,15	0,41	0,15	58	6096	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7208	2	36	41	68.608 €	318.389 €	325.117 €
35574 C	0,92	0,5	0,59	0,15	0,41	0,15	59	6774	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8011	2	36	42	65.775 €	316.051 €	323.179 €
35908 C	0,92	0,5	0,59	0,24	0,41	0,24	60	6456	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7634	2	38	42	62.472 €	313.964 €	321.105 €
35910 C	0,92	0,5	0,59	0,24	0,41	0,24	61	7139	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8442	2	38	43	62.309 €	313.140 €	320.145 €
109586 C	0,92	0,5	0,59	0,39	0,41	0,35	62	6890	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8148	2	40	44	61.188 €	312.180 €	318.650 €
35768 C	0,92	0,5	0,59	0,39	0,41	0,35	63	6890	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8148	2	40	44	58.518 €	310.671 €	317.677 €
35770 C	0,92	0,5	0,59	0,39	0,41	0,35	64	7579	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8962	2	40	45	58.354 €	309.852 €	316.722 €
111168 C	1,83	0,67	0,15	0,15	0,41	0,15	68	7975	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9184	2	46	48	48.512 €	301.868 €	308.143 €
110922 C	1,83	0,67	0,15	0,2	0,41	0,2	69	8179	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9419	2	46	49	46.189 €	299.848 €	306.031 €
36022 C	1,83	0,67	0,15	0,15	0,41	0,15	70	7975	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9430	2	46	49	43.466 €	298.187 €	304.899 €
36190 C	1,83	0,67	0,15	0,2	0,41	0,2	71	8179	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9672	2	46	50	41.153 €	296.185 €	302.807 €
35645 C	1,83	0,67	0,2	0,2	0,41	0,2	72	8400	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9933	2	47	51	39.940 €	295.253 €	301.833 €
34410 C	1,83	0,67	0,15	0,39	0,41	0,35	73	8785	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10117	2	49	51	38.382 €	294.097 €	300.646 €
36214 C	1,83	0,67	0,15	0,39	0,41	0,35	74	8785	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10388	2	49	52	36.046 €	291.998 €	298.455 €
35962 C	1,83	0,67	0,2	0,39	0,41	0,35	75	9014	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10659	2	50	53	34.832 €	291.079 €	297.496 €
35714 C	1,83	0,67	0,24	0,39	0,41	0,35	76	9191	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10869	2	51	53	34.484 €	290.959 €	297.382 €
35716 C	1,83	0,67	0,24	0,39	0,41	0,35	77	9896	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11702	2	51	54	34.321 €	290.327 €	296.680 €
34212 C	1,83	0,67	0,59	0,15	0,41	0,15	78	9937	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11443	2	54	55	31.939 €	288.948 €	295.214 €
36016 C	1,83	0,67	0,59	0,15	0,41	0,15	79	9937	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11750	2	54	56	29.637 €	286.929 €	293.114 €
36179 C	1,83	0,67	0,59	0,2	0,41	0,2	80	10146	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11998	2	55	56	27.325 €	284.937 €	291.032 €
36346 C	1,83	0,67	0,59	0,24	0,41	0,24	81	10314	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12197	2	56	57	26.171 €	284.040 €	290.106 €
34110 C	1,83	0,67	0,59	0,39	0,41	0,35	82	10768	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12400	2	58	58	24.479 €	282.721 €	288.731 €
34112 C	1,83	0,67	0,59	0,39	0,41	0,35	83	11483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	13224	2	58	58	24.316 €	281.910 €	287.784 €
35914 C	1,83	0,67	0,59	0,39	0,41	0,35	84	10768	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12733	2	58	59	22.217 €	280.776 €	286.711 €
35916 C	1,83	0,67	0,59	0,39	0,41	0,35	85	11483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	13579	2	58	59	22.054 €	279.993 €	285.798 €
base	2,23	0,77	0,59	0,39	0,41	0,35	157	18107	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	28479	10	63	110	- €	284.870 €	291.310 €

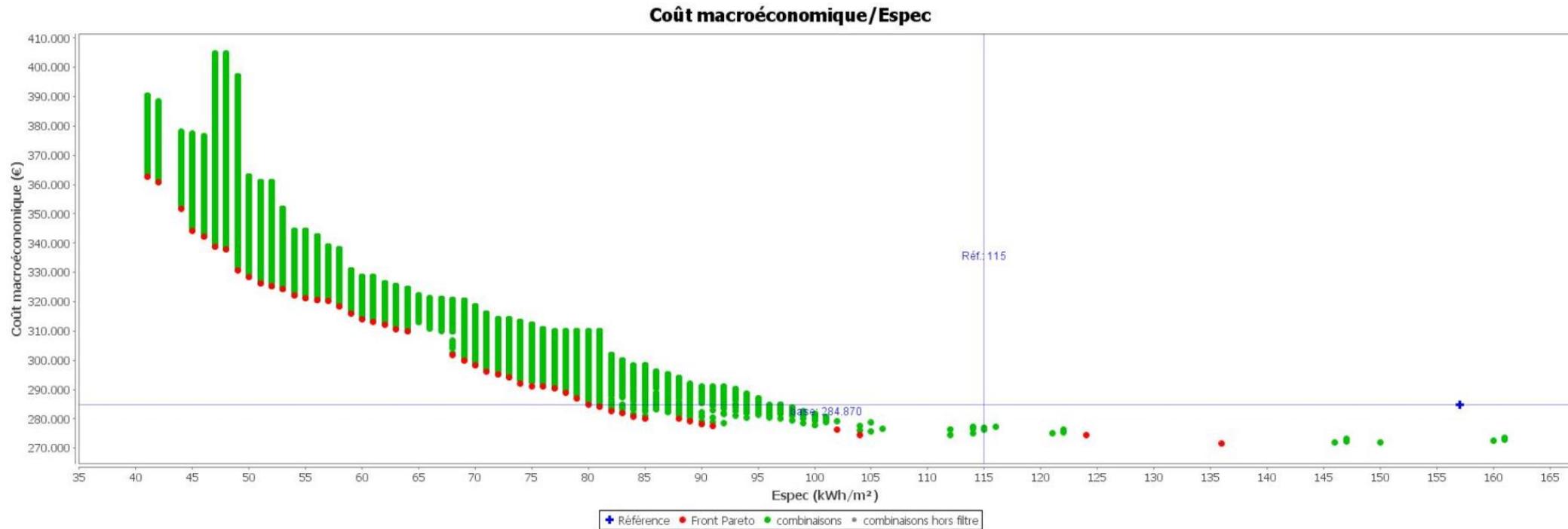


Figure 15: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE13

Tableau 76: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
35916 CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stockage,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),EA 2(Etanchéité 2),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F3,VCC2)
base

5.13. HE14 - La villa 4 façades K55

Tableau 77: Combinaisons viables enveloppe-systèmes du HE14 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espac

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG _WALL_ EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	V50	LEVEL K	LEVEL E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
123614 C	0,88	0,5	0,15	0,2	0,15	53	4111	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4861	2	21	28	92.159 €	332.036 €	339.007 €
122692 C	0,88	0,5	0,15	0,33	0,15	56	4751	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5471	2	23	30	86.087 €	326.853 €	333.575 €
122710 C	0,88	0,5	0,15	0,33	0,15	57	4751	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5618	2	23	31	82.602 €	323.418 €	329.952 €
123834 C	0,88	0,5	0,15	0,33	0,15	59	5374	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6354	2	23	31	82.376 €	322.815 €	329.273 €
125762 C	0,88	0,5	0,15	0,33	0,24	62	5890	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6965	2	25	33	80.321 €	321.397 €	327.795 €
123329 C	0,88	0,5	0,2	0,33	0,24	63	5732	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6778	2	27	34	78.621 €	320.818 €	327.300 €
123856 C	0,88	0,5	0,15	0,33	0,15	64	4751	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	6310	2	23	34	73.954 €	317.258 €	323.130 €
123991 C	1,67	0,63	0,15	0,15	0,15	65	5739	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6786	2	28	35	73.448 €	316.128 €	322.485 €
124582 C	1,92	0,63	0,15	0,15	0,15	67	6173	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7299	2	30	36	69.926 €	313.190 €	319.408 €
123692 C	1,67	0,63	0,15	0,24	0,15	68	6302	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7452	2	30	37	69.565 €	313.073 €	319.318 €
126495 C	1,92	0,63	0,15	0,2	0,15	69	6486	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7669	2	31	37	67.334 €	311.059 €	317.190 €
123682 C	1,67	0,63	0,15	0,33	0,15	70	6712	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7729	2	32	37	64.686 €	308.661 €	314.665 €
123695 C	1,67	0,63	0,15	0,33	0,15	71	6712	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7937	2	32	38	61.299 €	305.403 €	311.238 €
124854 C	1,67	0,63	0,15	0,33	0,15	73	7348	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8690	2	32	39	61.072 €	304.857 €	310.633 €
124434 C	1,92	0,63	0,15	0,33	0,15	74	7150	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	8455	2	34	40	57.777 €	302.479 €	308.179 €
125568 C	1,92	0,63	0,15	0,33	0,15	76	7791	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9213	2	34	40	57.551 €	301.880 €	307.499 €
126332 C	1,92	0,63	0,15	0,33	0,24	77	7676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9077	2	36	41	55.722 €	301.150 €	306.822 €
124501 C	0,88	0,5	0,49	0,33	0,15	78	7995	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	9454	2	36	42	53.345 €	298.827 €	304.264 €
125649 C	0,88	0,5	0,49	0,33	0,15	79	8648	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10226	2	36	42	53.119 €	297.965 €	303.215 €
126392 C	0,88	0,5	0,49	0,33	0,24	82	8531	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10088	2	38	44	51.290 €	297.561 €	302.991 €
123403 C	0,88	0,5	0,49	0,33	0,24	83	9186	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10863	2	38	44	51.063 €	296.675 €	301.908 €
125196 C	1,67	0,63	0,49	0,15	0,15	84	8998	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10363	2	41	45	47.415 €	294.460 €	299.828 €
126301 C	1,67	0,63	0,49	0,15	0,15	85	9651	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11115	2	41	46	47.189 €	293.648 €	298.855 €
125218 C	1,67	0,63	0,49	0,15	0,15	86	8998	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10641	2	41	46	44.190 €	291.455 €	296.679 €
126313 C	1,67	0,63	0,49	0,15	0,15	87	9651	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11413	2	41	46	43.964 €	290.670 €	295.736 €
122985 C	1,67	0,63	0,49	0,2	0,15	88	9323	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11024	2	42	47	41.597 €	289.351 €	294.492 €
124122 C	1,67	0,63	0,49	0,2	0,15	89	9978	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11799	2	42	48	41.371 €	288.561 €	293.543 €
122803 C	1,92	0,63	0,49	0,15	0,15	90	10104	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11948	2	43	48	40.443 €	287.775 €	292.712 €
124934 C	1,67	0,63	0,49	0,33	0,15	91	10009	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11526	2	45	48	35.196 €	283.712 €	288.569 €
124952 C	1,67	0,63	0,49	0,33	0,15	92	10009	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11836	2	45	49	32.041 €	280.819 €	285.541 €
126056 C	1,67	0,63	0,49	0,33	0,15	94	10667	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12614	2	45	50	31.815 €	280.023 €	284.582 €
base	1,92	0,63	0,49	0,33	0,49	180	19143	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	25424	9	54	96	- €	273.560 €	278.557 €

Coût macroéconomique/Espec

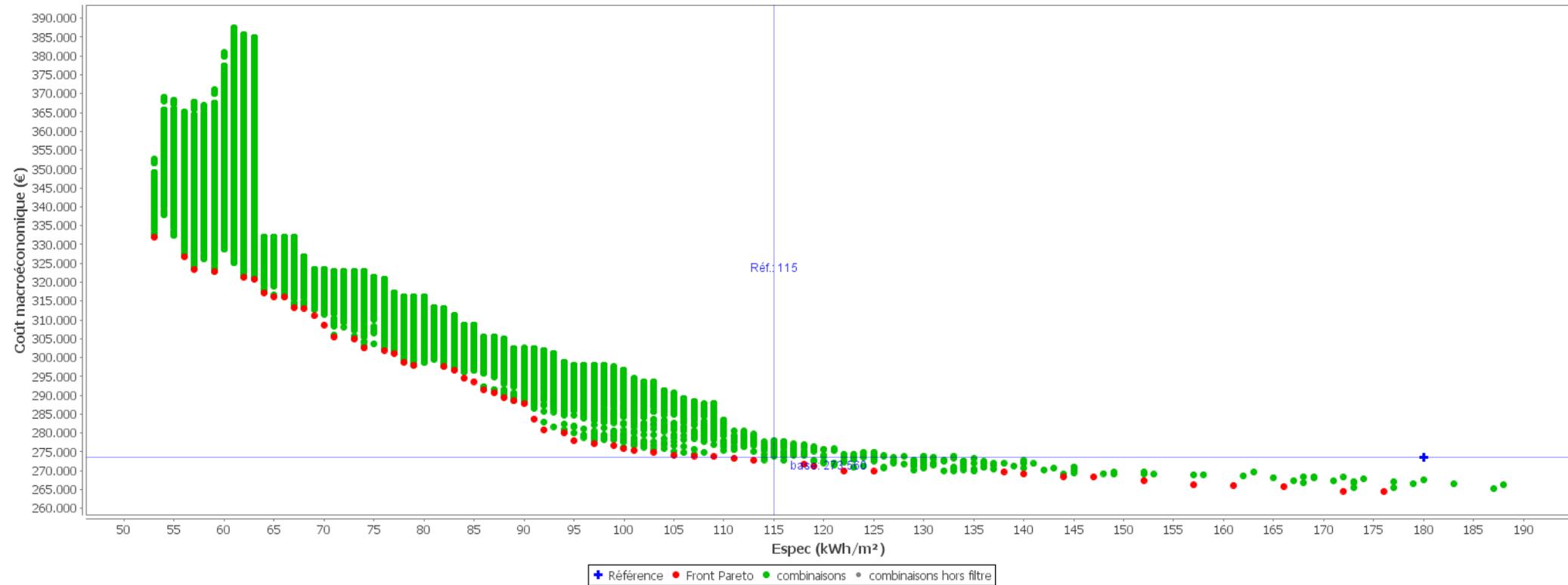


Figure 16: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE14

Tableau 78: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} - CGA macroéconomique)

COMBINAISON
126301 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),EA 2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toit + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F3,H1,S3,T2,VCC2)
base

5.14. HN2 T1 - Maison neuve 4 façades maçonnerie traditionnelle

Tableau 79: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	U_AVG_DOOR	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NET_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
39982 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,8	42	4749	HEAT_PUMP	1630	2	19	23	37.475 €	338.277 €	349.920 €
59122 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,8	43	4749	HEAT_PUMP	1630	2	19	24	27.293 €	324.695 €	333.058 €
57273 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	0,8	46	5338	HEAT_PUMP	1832	2	21	25	22.816 €	321.468 €	329.160 €
59263 C	0,87	0,5	0,22	0,15	0,15	0,8	47	5549	HEAT_PUMP	1905	2	22	26	22.297 €	321.400 €	329.081 €
59106 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,8	52	4749	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5616	2	19	28	20.928 €	314.591 €	320.267 €
57251 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	0,8	55	5338	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6313	2	21	30	16.494 €	310.976 €	315.829 €
59279 C	1,37	0,5	0,2	0,15	0,15	1,69	62	6442	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7618	2	25	34	11.076 €	307.118 €	311.047 €
57004 C	1,43	0,62	0,2	0,15	0,15	1,69	63	6362	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7523	2	25	34	10.755 €	307.036 €	311.019 €
57397 C	1,43	0,62	0,22	0,15	0,15	1,69	64	6574	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7774	2	26	35	10.251 €	306.824 €	310.738 €
base	1,68	0,63	0,22	0,2	0,15	1,69	118	12338	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15274	6	29	65	- €	310.743 €	315.036 €

Coût macroéconomique/Espec

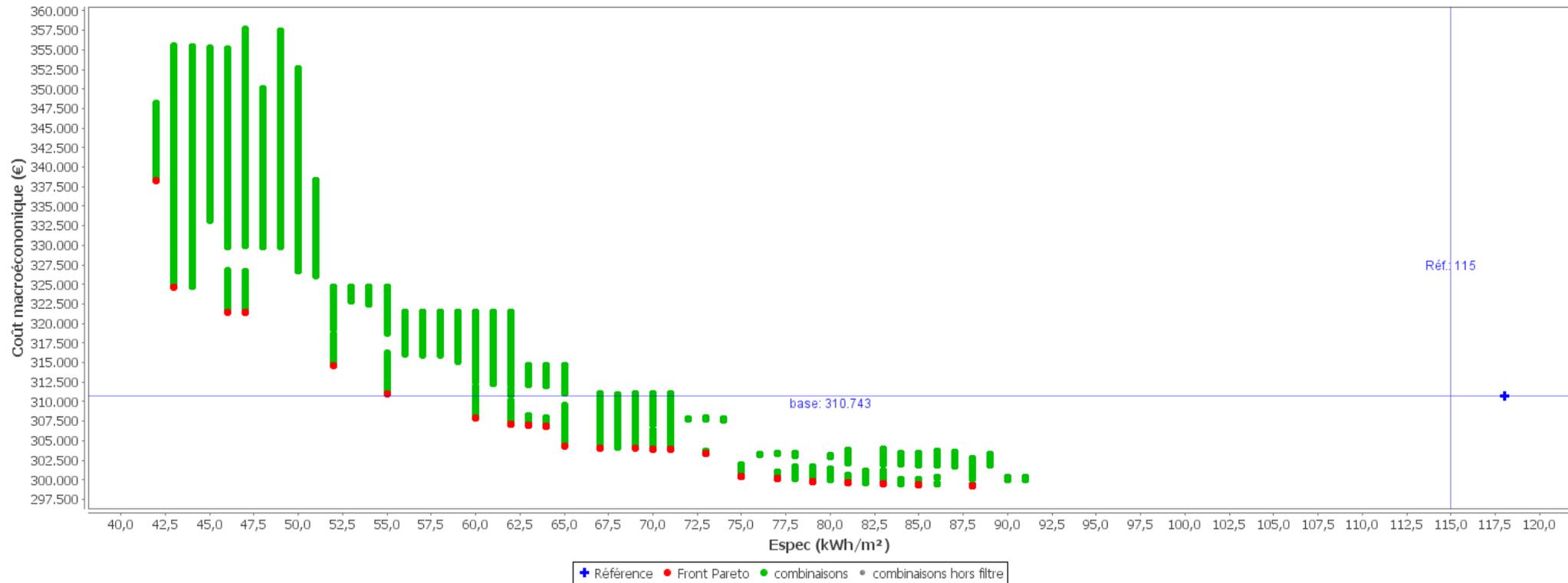


Figure 17: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T1

Tableau 80: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
57397 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1),EA 2(Etanchéité 2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M9,P1-Bois,S1,S12,S4,T3,VCC2)
base

5.15. HN2 T2 - Maison neuve 4 façades crépi sur isolant

Tableau 81: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL_ E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
38553 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	42	4749	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTANCE	1630	585	2	19	23	37.900 €	328.813 €	340.545 €
56212 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	43	4749	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1630	1257	2	19	24	27.718 €	315.231 €	323.683 €
54449 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	46	5338	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1832	1257	2	21	25	24.085 €	312.848 €	320.806 €
56360 C	0,87	0,5	0,22	0,15	0,15	47	5618	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1928	1257	2	22	26	22.288 €	311.651 €	319.362 €
56197 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	52	4749	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	5616	1257	2	19	28	21.353 €	305.127 €	310.892 €
54428 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	55	5338	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	6313	1257	2	21	30	17.762 €	302.356 €	307.475 €
54562 C	1,43	0,62	0,22	0,15	0,15	64	6644	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	7856	1257	2	26	35	10.247 €	297.027 €	300.953 €
base	1,68	0,63	0,22	0,2	0,15	119	12412	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	15364	3979	6	29	65	- €	300.995 €	305.312 €

Coût macroéconomique/Espec

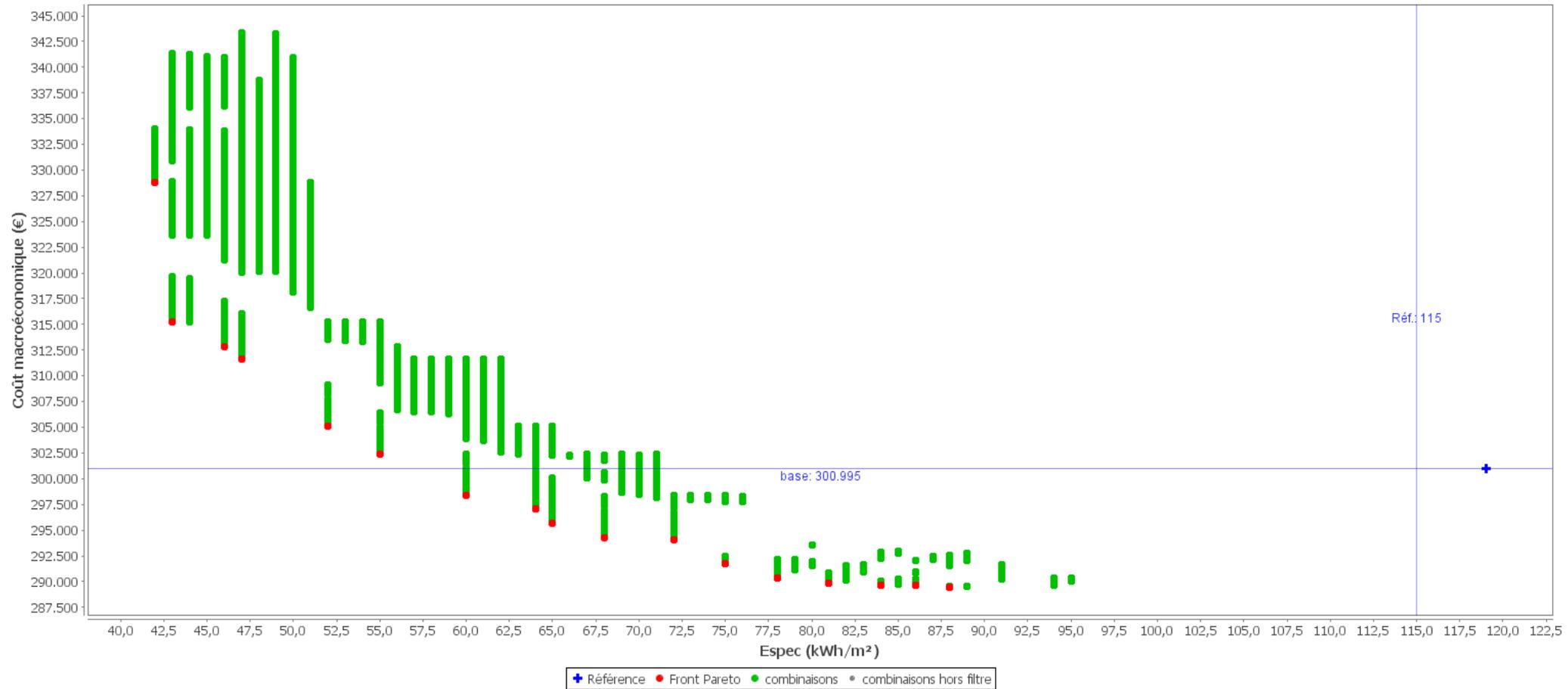


Figure 18: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T2

Tableau 82: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
38553 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 + prot sol(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Mur 0.15 (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
56212 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43((F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
54449 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20,Mcave0.2,Ms0.2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(S (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
56360 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Système de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
56197 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Système de ventilatio (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
54428 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20,Mcave0.2,Ms0.2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Système de ventilation (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
54562 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch1.7-DV1.1/0.63 + Ftoit 1(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1),EA 2(Etanchéité 2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Système de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M3,P1-Bois,S1,S12,S4,T3,VCC2)
base

5.16. HN2 T3 - Maison neuve 4 façades ossature bois

Tableau 83: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET _NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	WATER_ FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
28753 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	47	5037	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTANCE	585	2	19	26	33.974 €	326.957 €	338.560 €
44634 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	48	5037	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	19	27	23.792 €	313.691 €	322.136 €
44785 C	0,87	0,5	0,19	0,15	0,15	0,15	50	5542	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	21	28	22.336 €	313.165 €	321.480 €
42992 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,15	0,15	51	5635	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	21	28	21.414 €	312.417 €	320.572 €
43731 C	1,37	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	53	6142	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	23	29	18.318 €	310.226 €	317.897 €
44599 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	57	5037	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	19	31	20.592 €	306.466 €	312.805 €
44619 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	58	5037	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	19	32	17.427 €	303.376 €	309.055 €
44435 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	59	5331	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	20	33	16.843 €	303.188 €	308.793 €
43713 C	1,37	0,5	0,15	0,15	0,15	0,15	64	6142	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	23	35	12.008 €	299.158 €	303.774 €
43512 C	1,37	0,5	0,15	0,2	0,15	0,2	66	6442	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	1257	2	24	36	11.424 €	298.995 €	303.544 €
base	1,68	0,63	0,19	0,2	0,15	0,22	122	12390	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	3979	6	28	67	- €	302.201 €	306.992 €

Tableau 84: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
28753 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2 + prot sol(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Mur 0.15 (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
44634 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43((F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
44785 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
42992 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20,Mcave0.2,Ms0.2),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(S (F1,Ftoit1,M1,M12,M16,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
43731 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE,Ftoit 1),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-Bois,S1,S12,S4,T3,VCC2)
44599 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilati (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
44619 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilatio (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
44435 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 0.95/0.6/0.5 + porte 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.20 + plafond 0.20(PfGr0.2,T0.20),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-PVC,P3-PVC,S1,S12,S4,T3,VCC2)
43713 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE,Ftoit 1),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.15 + plafond 0.15(PfGr0.15,T0.15),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-Bois,S1,S12,S4,T3,VCC2)
43512 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch 1.7/1.0/0.5 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE,Ftoit 1),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST6(ST6),Toit 0.20 + plafond 0.20(PfGr0.2,T0.20),Ventil C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M4,P1-Bois,S1,S12,S4,T3,VCC2)
base

Coût macroéconomique/Espec

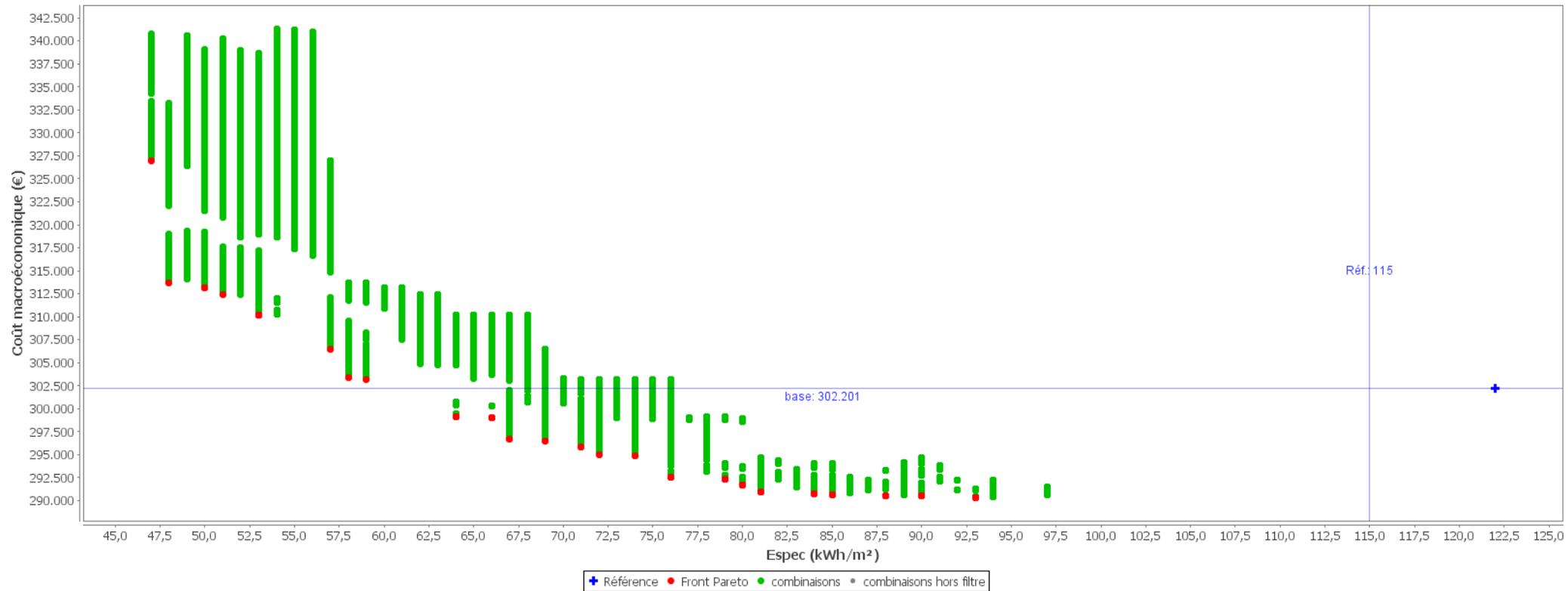


Figure 19: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T3

5.17. HN3 T1- Maison neuve 3 façades maçonnerie traditionnelle

Tableau 85: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN3 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_N ET_NEE DS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN L_TOTAL_ NEEDS	WATER_ FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
31180	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	36	2953	HEAT_PUMP	1013	477	2	17	20	25.393 €	267.344 €	274.282 €
30013	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	38	2953	HEAT_PUMP	1013	477	2	17	21	21.920 €	264.480 €	270.924 €
30450	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	39	3301	HEAT_PUMP	1133	477	2	19	22	18.778 €	261.938 €	267.827 €
30332	0,85	0,5	0,22	0,15	0,15	40	3433	HEAT_PUMP	1178	477	2	19	23	18.440 €	261.836 €	267.697 €
32385	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	41	3669	HEAT_PUMP	1259	477	2	21	23	16.348 €	260.178 €	265.682 €
32252	0,85	0,5	0,22	0,24	0,15	42	3803	HEAT_PUMP	1305	477	2	21	24	16.010 €	260.093 €	265.575 €
31160	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	43	2953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3492	477	2	17	24	20.066 €	259.633 €	264.600 €
30855	1,36	0,5	0,2	0,22	0,15	44	4200	HEAT_PUMP	1442	477	2	23	25	14.010 €	258.862 €	264.077 €
31454	1,36	0,5	0,2	0,24	0,15	44	4270	HEAT_PUMP	1466	477	2	24	25	13.873 €	258.862 €	264.075 €
29988	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	45	2953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3492	477	2	17	25	16.593 €	256.769 €	261.241 €
30417	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	46	3301	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3802	477	2	19	26	15.578 €	256.053 €	260.320 €
30423	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	47	3301	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3904	477	2	19	27	13.473 €	253.994 €	257.820 €
30303	0,85	0,5	0,22	0,15	0,15	48	3433	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4060	477	2	19	27	13.143 €	253.803 €	257.568 €
base	1,67	0,63	0,22	0,22	0,22	104	8768	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10854	1783	6	27	59	- €	251.875 €	254.813 €

Coût macroéconomique/Espec

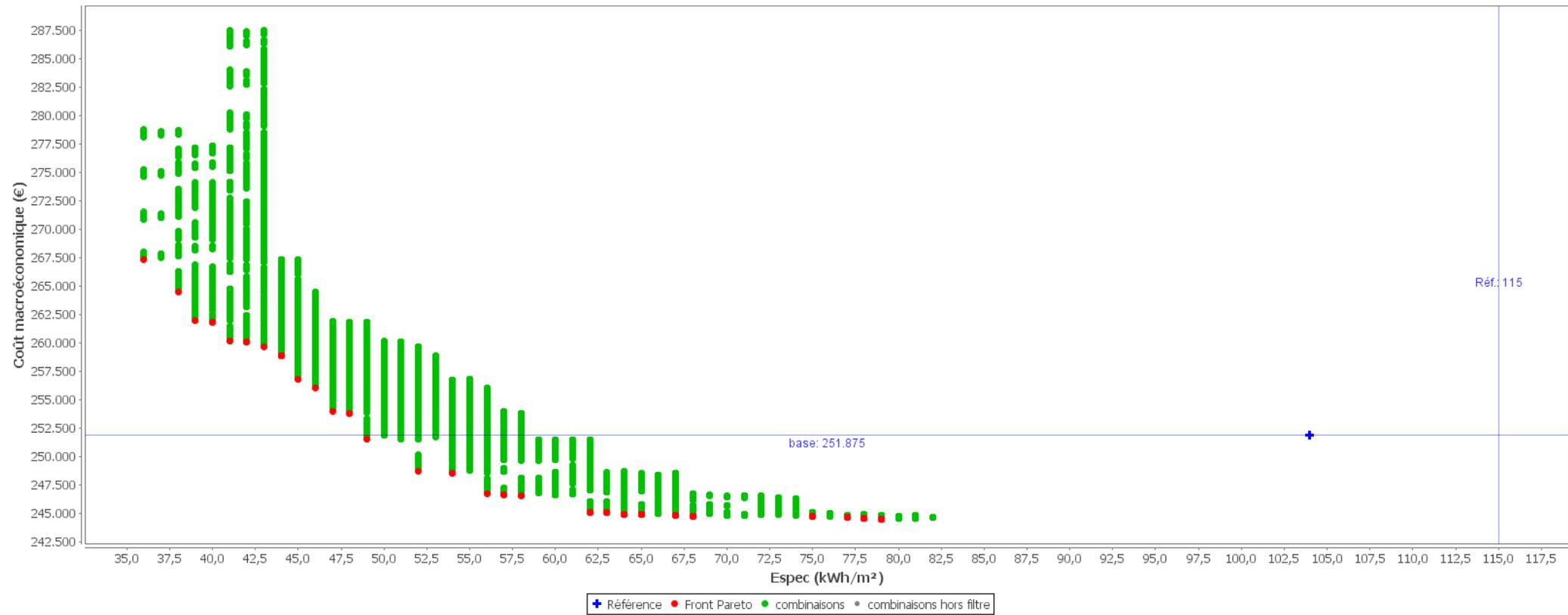


Figure 20: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN3 T1

Tableau 86: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (*E_{spec}* – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
31180 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30013 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30450 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30332 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
32385 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
32252 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
31160 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13] (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30855 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-Bois,S12,S3,VCC2)
31454 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-Bois,S12,S3,VCC2)
29988 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30417 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30423 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
30303 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
base

5.18. HN3 T2- Maison neuve 3 façades crépi sur isolant

Tableau 87: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN3 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COM BINAI SON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
34935	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	36	2953	HEAT_PUMP	1013	477	2	17	20	25.708 €	259.519 €	266.523 €
33765	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	38	2953	HEAT_PUMP	1013	477	2	17	21	22.235 €	256.655 €	263.165 €
34205	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	39	3301	HEAT_PUMP	1133	477	2	19	22	19.717 €	254.737 €	260.823 €
34088	0,85	0,5	0,23	0,15	0,15	40	3483	HEAT_PUMP	1195	477	2	20	23	18.435 €	253.781 €	259.658 €
36106	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	41	3669	HEAT_PUMP	1259	477	2	21	23	17.287 €	252.977 €	258.678 €
35990	0,85	0,5	0,23	0,24	0,15	42	3853	HEAT_PUMP	1323	477	2	22	24	16.005 €	252.043 €	257.543 €
34916	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	43	2953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3492	477	2	17	24	20.381 €	251.808 €	256.841 €
33733	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	44	2953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3400	477	2	17	25	19.035 €	251.040 €	256.024 €
33739	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	45	2953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3492	477	2	17	25	16.908 €	248.944 €	253.483 €
34172	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	46	3301	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3802	477	2	19	26	16.517 €	248.853 €	253.316 €
34059	0,85	0,5	0,23	0,15	0,15	48	3483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4118	477	2	20	27	13.140 €	245.715 €	249.483 €
base	1,67	0,63	0,23	0,22	0,22	105	8822	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10921	1783	6	27	59	- €	243.813 €	246.761 €

Coût macroéconomique/Espec

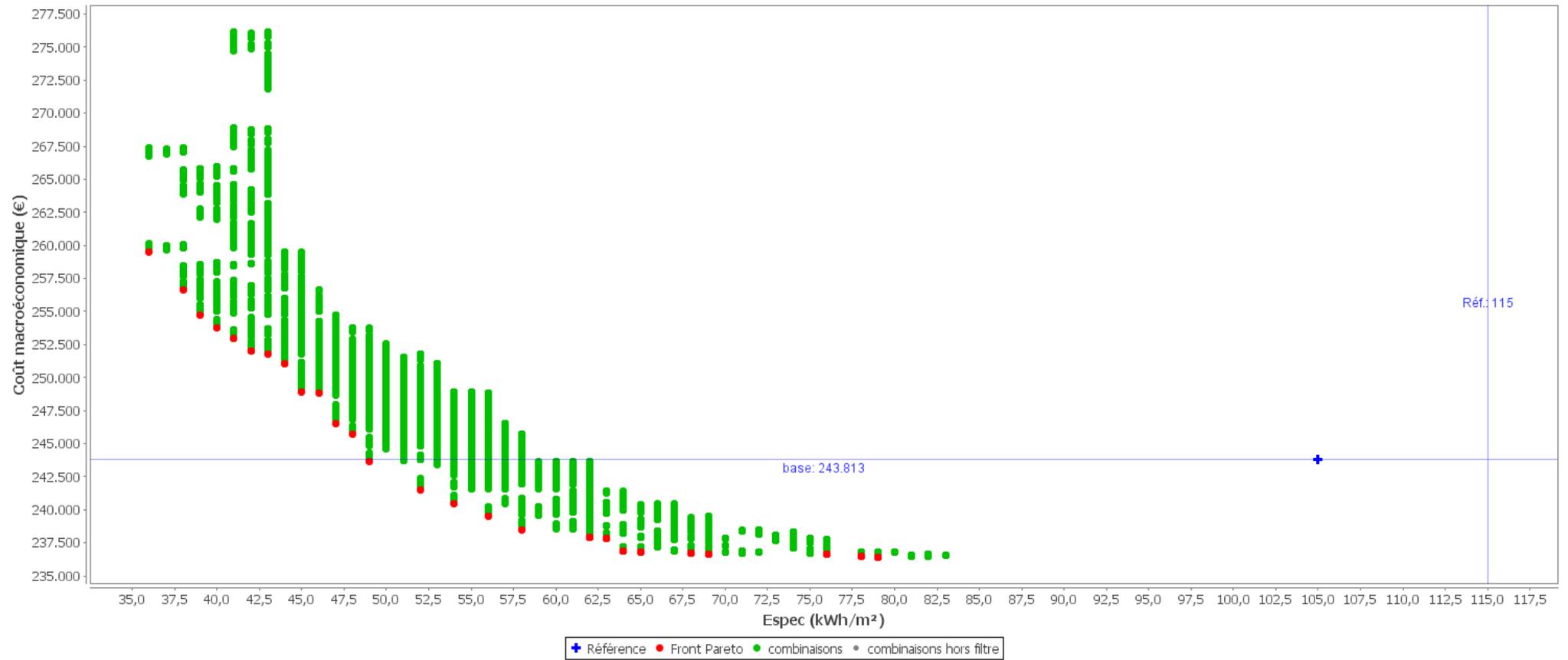


Figure 21: Front de Pareto des combinaisons enveloppes/systèmes du HN3 T2

Tableau 88: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (*E_{spec}* – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
34935 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
33765 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
34205 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
34088 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
36106 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
35990 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
34916 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13] (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
33733 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
33739 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
34172 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
34059 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
base

5.19. HN4 T1 - Maison mitoyenne neuve maçonnerie traditionnelle

Tableau 89: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET _NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
21760 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	39	2841	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	18	24	33.209 €	279.914 €	289.519 €
21564 C	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	40	2997	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	19	24	31.223 €	278.240 €	287.492 €
22096 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	41	2841	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	18	25	27.621 €	275.034 €	283.739 €
21928 C	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	42	2997	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	19	25	25.635 €	273.326 €	281.664 €
20136 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	44	3422	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	22	27	23.104 €	271.580 €	279.536 €
23495 C	0,85	0,5	0,22	0,24	0,15	45	3508	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	22	27	22.880 €	271.520 €	279.460 €
21298 C	1,36	0,5	0,15	0,19	0,15	46	3844	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	24	28	21.765 €	271.052 €	278.886 €
19422 C	1,36	0,5	0,2	0,19	0,15	47	4068	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	25	29	19.748 €	269.475 €	276.975 €
22089 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	48	2841	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	18	29	22.066 €	267.169 €	273.883 €
21991 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	50	3203	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	475	2	21	30	19.587 €	265.079 €	271.295 €
base	1,67	0,63	0,22	0,19	0,22	112	8600	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	3243	6	30	67	- €	255.088 €	258.416 €

Coût macroéconomique/Espec

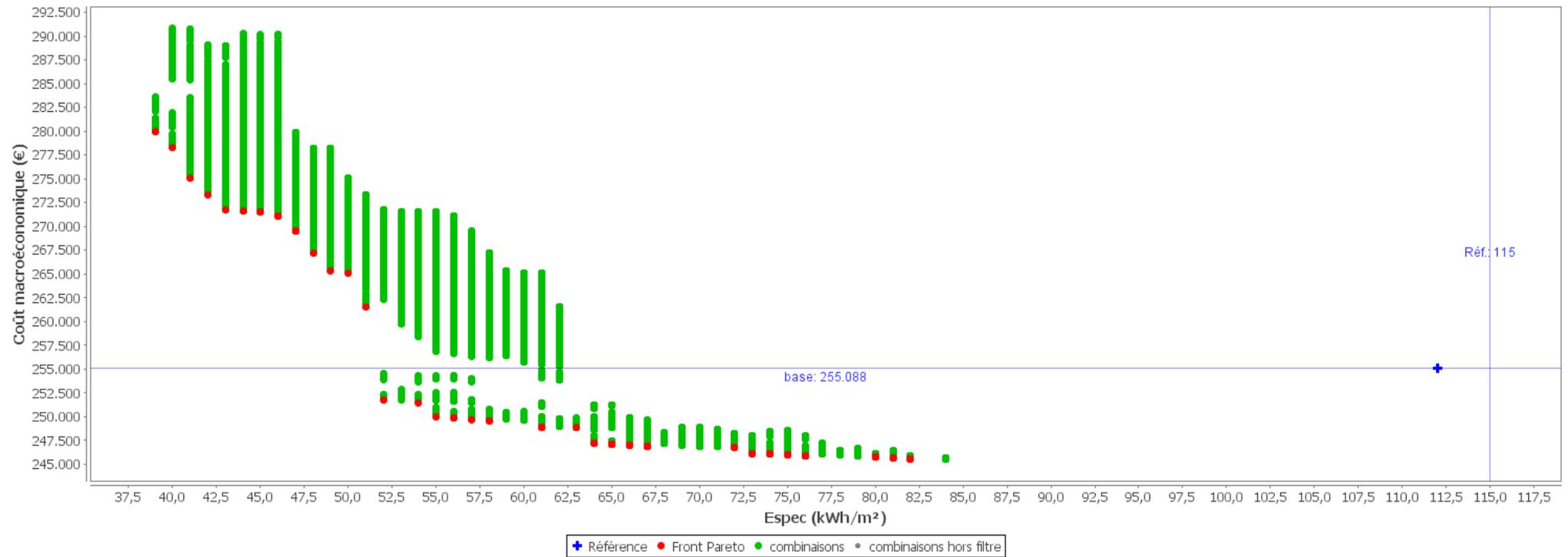


Figure 22: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T1

Tableau 90: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
21760 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(PI (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
21564 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfG (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
22096 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),Toiture 0.15(PfGr0 (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
21928 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43((F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
20136 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.24(Plvv0.24),Toiture 0.15(PfGr0 (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
23495 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Plancher 0.24(Plvv0.24),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C (F1,M8,M9,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
21298 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation (F1,M1,M8,P1-Bois,S12,S3,VCC2))
19422 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.20(ME0.20),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation (F1,M8,M9,P1-Bois,S12,S3,VCC2))
22089 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0. (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
21991 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.24(Plvv0.24),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0. (F1,M1,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
base

5.20. HN4 T2 – Maison mitoyenne neuve crépi sur isolant

Tableau 91: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ _WALL_ EXT	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_ CEILING	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET _NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL _NEEDS	V50	LEVEL_ K	LEVEL_ E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN	
25126	C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	39	2841	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	975	475	2	18	24	33.384 €	271.907 €	281.548 €
24916	C	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	40	2997	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1029	475	2	19	24	31.398 €	270.233 €	279.521 €
25486	C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	41	2841	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	975	475	2	18	25	27.795 €	267.027 €	275.768 €
25306	C	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	42	2997	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1029	475	2	19	25	25.809 €	265.318 €	273.693 €
23340	C	0,85	0,5	0,2	0,19	0,15	43	3213	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1103	475	2	21	26	24.207 €	264.111 €	272.223 €
26924	C	0,85	0,5	0,23	0,19	0,15	44	3326	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1141	475	2	21	26	23.390 €	263.504 €	271.484 €
26984	C	0,85	0,5	0,23	0,24	0,15	45	3535	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1213	475	2	22	27	22.877 €	263.386 €	271.336 €
24631	C	1,36	0,5	0,15	0,19	0,15	46	3844	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	1319	475	2	24	28	21.940 €	263.045 €	270.916 €
25475	C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	47	2841	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	3272	475	2	18	29	24.595 €	261.498 €	268.745 €
25299	C	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	49	2997	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	3543	475	2	19	30	20.264 €	257.348 €	263.692 €
25374	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	50	3203	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANC	3788	475	2	21	30	19.762 €	257.072 €	263.324 €
base		1,67	0,63	0,23	0,19	0,22	112	8629	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	10682	3243	6	30	67	- €	246.947 €	250.280 €

Coût macroéconomique/Espec

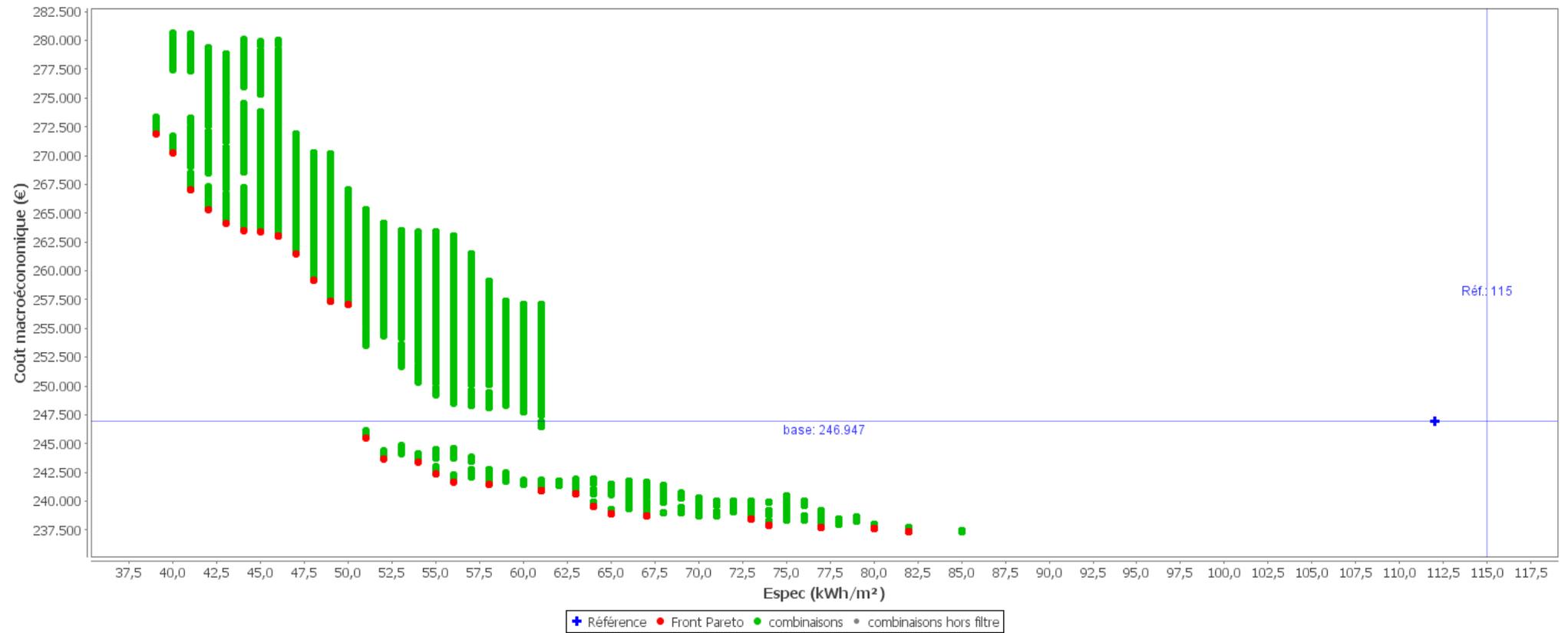


Figure 23: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T2

Tableau 92: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
25126 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(PI (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
24916 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfG (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
25486 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plv0.15),Toiture 0.15(PfGr0 (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
25306 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43((F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
23340 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.20(ME0.20),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43((F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
26924 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventila (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
26984 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Plancher 0.24(Plv0.24),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
24631 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch1.7-DV1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation (F1,M3,M8,P1-Bois,S12,S3,VCC2)
25475 CHS-CCgaz surf(CCgaz surf),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plv0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0 (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
25299 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilatio (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
25374 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.24(Plv0.24),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0. (F1,M3,M8,P1-PVC,S12,S3,VCC2)
base

5.21. HN4 T3 - Maison mitoyenne neuve ossature bois

Tableau 93: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_FLOOR	U_AVG_CEILING	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	WATER_FINAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
23752	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	47	3253	HEAT_PUMP	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE ELECTRIQUE PAR RESISTANCE	475	2	19	29	29.667 €	270.976 €	280.764 €
39373	0,85	0,5	0,2	0,19	0,15	48	3474	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	880	2	21	29	23.841 €	262.307 €	269.860 €
37530	0,85	0,5	0,2	0,19	0,15	51	3474	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	880	2	21	31	18.252 €	257.953 €	264.810 €
39553	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	52	3686	HEAT_PUMP	APPAREIL_A_COMBUSTION	880	2	22	31	17.739 €	257.738 €	264.525 €
38488	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	53	3094	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	880	2	18	32	21.023 €	256.608 €	262.698 €
39520	0,85	0,5	0,15	0,19	0,15	58	3253	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	880	2	19	35	13.653 €	250.463 €	255.390 €
base	1,67	0,63	0,19	0,19	0,22	119	8805	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	3243	6	29	72	- €	249.271 €	253.436 €

Coût macroéconomique/Espec

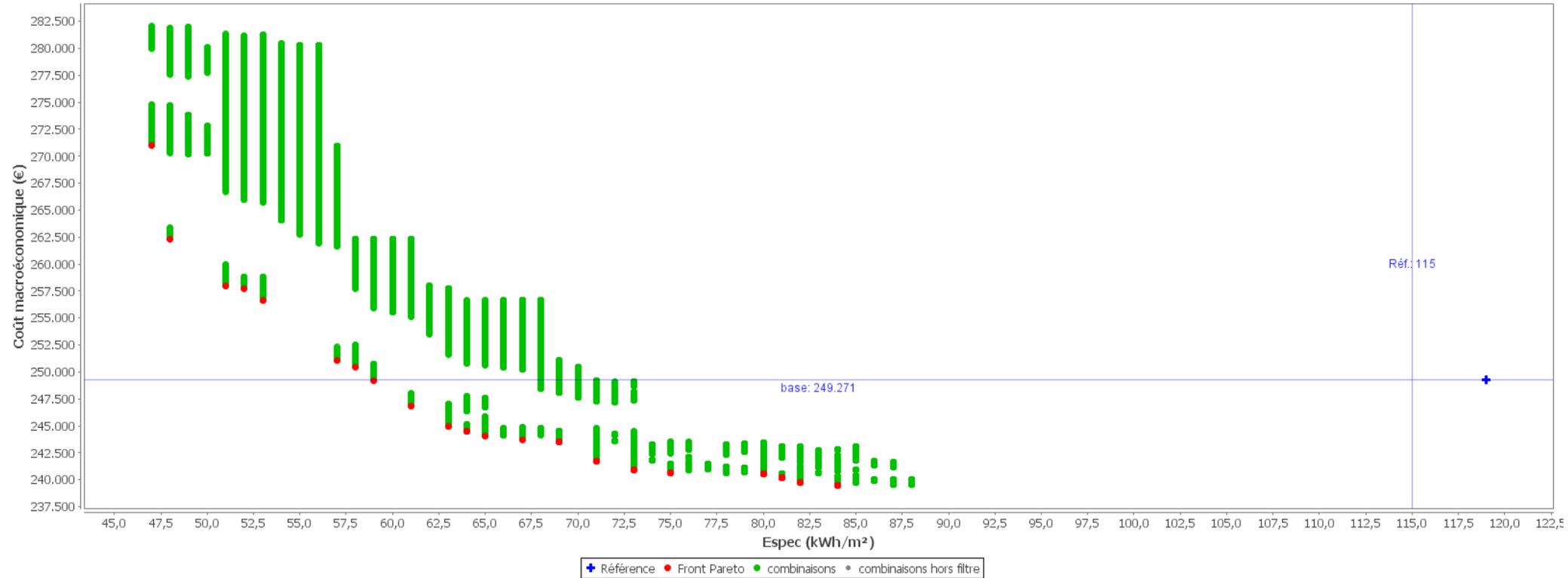


Figure 24: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T3

Tableau 94: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
23752 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon(PAC air-eau (boiler thermo) +R),Murs 0.15(ME0.15),Toiture 0.15(PfG (F1,M4,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
39373 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M1,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
37530 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M1,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
39553 CHS-PAC air-eau surf 4(PAC air-eau noR surf 4),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20(ME0.20),Plancher 0.24(Plvv0.24),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M1,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
38488 Ch0.95-TV0.6/0.5 + prot sol + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE + Prot Sol Man,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),Plancher 0.15(Plvv0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M4,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
39520 CHS-CCgaz VC(CCgaz VC BT),Ch0.95-TV0.6/0.5 + porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8),EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15(ME0.15),ST6(ST6),Toiture 0.15(PfGr0.15),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,M4,M7,P1-PVC,S12,S3,VCC2))
base

5.22. IAE1 - Immeuble à appartements d'avant 1919

Tableau 95: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WINDO W	G_AVG	U_AVG_WALL_E XT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTA L_NEEDS	WATER_FINAL_NE EDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
44673 CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stoc	1,63	0,63	0,24	0,2	0,24	78	26366	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	34240	28139	2	31	52	788.257 €	1.444.094 €	1.502.804 €
44451 CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stoc	1,63	0,63	0,24	0,24	0,24	79	26814	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	34821	28139	2	32	52	786.187 €	1.442.780 €	1.501.484 €
46158 CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stoc	1,63	0,63	0,15	0,15	0,15	87	29221	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37947	28139	15	27	58	696.410 €	1.368.997 €	1.425.562 €
44530 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	88	10619	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	21948	45022	2	18	59	597.373 €	1.284.481 €	1.333.332 €
45527 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	89	11120	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	22983	45022	2	18	60	590.392 €	1.279.085 €	1.327.709 €
46552 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	90	11531	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	23832	45022	2	18	60	588.156 €	1.278.150 €	1.326.798 €
46319 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	92	12285	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	25391	45022	2	19	61	585.170 €	1.277.518 €	1.326.264 €
46790 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,2	0,2	0,15	93	12714	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	26278	45022	2	20	62	583.482 €	1.277.209 €	1.326.026 €
44371 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,2	0,24	0,15	94	13133	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	27145	45022	2	20	63	581.246 €	1.276.300 €	1.325.145 €
44122 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	95	13906	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	28741	45022	2	21	64	578.259 €	1.275.728 €	1.324.678 €
45568 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,24	0,24	0,15	97	14443	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	29852	45022	2	22	65	575.649 €	1.274.841 €	1.323.849 €
45337 Ch0.95-TV0.6/0.5 + Po 0.8(Ch0.95-TV	0,85	0,5	0,24	0,24	0,24	98	15229	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	31476	45022	2	22	65	572.663 €	1.274.312 €	1.323.432 €
45798 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0(Ch1.7-DV	1,43	0,63	0,15	0,15	0,15	99	15458	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	31950	45022	2	24	67	560.065 €	1.262.711 €	1.311.269 €
46835 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0(Ch1.7-DV	1,43	0,63	0,15	0,2	0,15	100	15976	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	33020	45022	2	24	67	553.084 €	1.257.369 €	1.305.706 €
44426 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0(Ch1.7-DV	1,43	0,63	0,15	0,24	0,15	101	16398	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	33893	45022	2	25	68	550.848 €	1.256.470 €	1.304.835 €
44171 Ch1.7-DV1.1/0.63 + Po 2.0(Ch1.7-DV	1,43	0,63	0,15	0,24	0,24	103	17176	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	35501	45022	2	26	69	547.862 €	1.255.886 €	1.304.348 €
46155 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15 + MI1.0	1,63	0,63	0,15	0,15	0,15	104	17453	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	36074	45022	2	27	69	462.713 €	1.171.645 €	1.215.117 €
43777 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15 + MI1.0	1,63	0,63	0,15	0,2	0,15	105	17981	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	37165	45022	2	27	70	455.733 €	1.166.335 €	1.209.590 €
44781 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15 + MI1.0	1,63	0,63	0,15	0,24	0,15	106	18411	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	38053	45022	2	28	71	453.497 €	1.165.459 €	1.208.745 €
44552 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.15 + MI1.0	1,63	0,63	0,15	0,24	0,24	107	19203	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	39690	45022	2	28	72	450.510 €	1.164.925 €	1.208.314 €
44223 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20 + MI1.0	1,63	0,63	0,2	0,2	0,15	109	19678	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	40672	45022	2	29	73	448.822 €	1.164.776 €	1.208.261 €
45208 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20 + MI1.0	1,63	0,63	0,2	0,24	0,15	110	20113	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	41571	45022	2	29	73	446.586 €	1.163.917 €	1.207.435 €
44983 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.20 + MI1.0	1,63	0,63	0,2	0,24	0,24	111	20919	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	43236	45022	2	30	74	443.600 €	1.163.428 €	1.207.056 €
45677 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.24 + MI1.0	1,63	0,63	0,24	0,24	0,15	113	21495	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	44428	45022	2	31	76	440.990 €	1.162.680 €	1.206.388 €
45440 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.24 + MI1.0	1,63	0,63	0,24	0,24	0,24	115	22311	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	46113	45022	2	32	77	438.003 €	1.162.224 €	1.206.047 €
43445 Murs 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,15	0,15	0,15	131	29221	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	60395	45022	15	27	87	341.331 €	1.087.413 €	1.128.086 €
45909 Murs 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,15	0,2	0,15	132	29792	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	61577	45022	15	27	88	334.350 €	1.082.242 €	1.122.716 €
44967 Murs 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,15	0,24	0,15	133	30252	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	62527	45022	15	28	88	332.114 €	1.081.461 €	1.121.978 €
45993 Murs 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,15	0,24	0,24	135	31117	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	64316	45022	15	28	89	329.128 €	1.081.176 €	1.121.832 €
44528 Murs 0.20 + MI1.0(ME0.20,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,2	0,2	0,15	136	31635	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	65386	45022	15	29	90	327.440 €	1.081.151 €	1.121.913 €
43603 Murs 0.20 + MI1.0(ME0.20,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,2	0,24	0,15	137	32097	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	66340	45022	15	29	91	325.204 €	1.080.376 €	1.121.182 €
44602 Murs 0.20 + MI1.0(ME0.20,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,2	0,24	0,24	139	32968	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	68140	45022	15	30	92	322.218 €	1.080.111 €	1.121.059 €
45597 Murs 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,24	0,24	0,15	140	33586	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	69417	45022	15	31	93	319.607 €	1.079.481 €	1.120.519 €
46627 Murs 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0,Me	1,63	0,63	0,24	0,24	0,24	142	34462	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	71228	45022	15	32	94	316.621 €	1.079.234 €	1.120.416 €
base	2,97	0,77	2,13	2,93	0,79	524	197568	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	408347	66304	15	145	346	- €	1.295.672 €	1.383.172 €

Coût macroéconomique/Espec

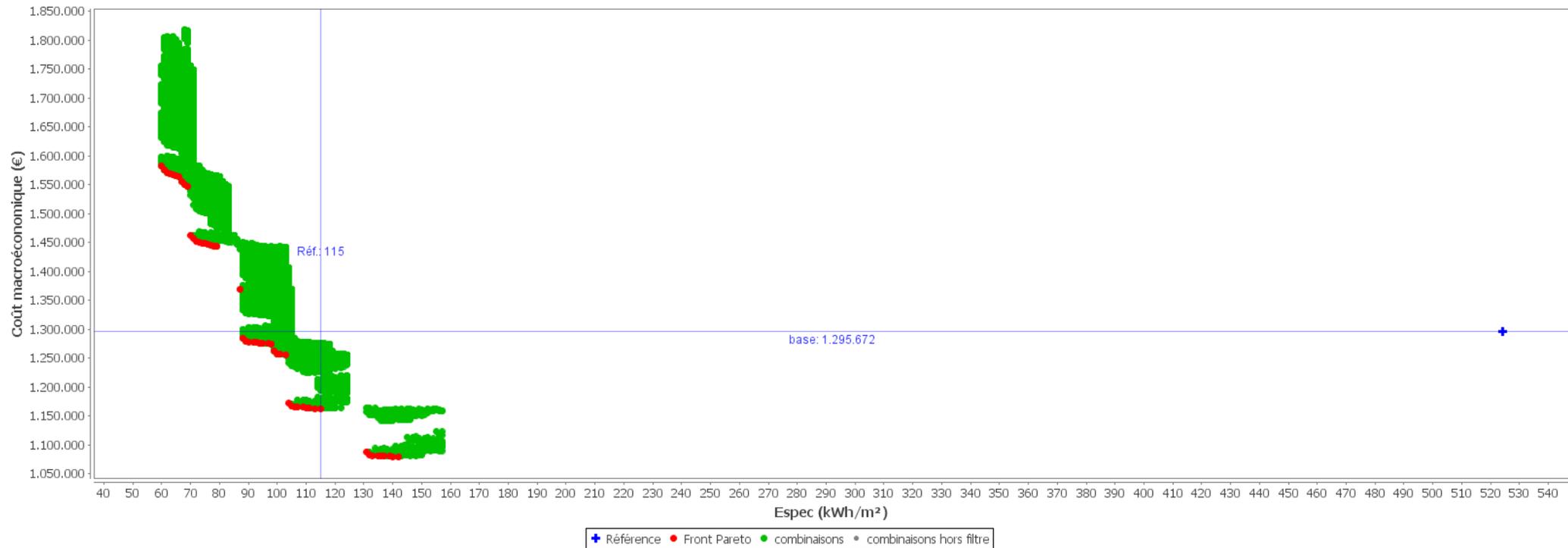


Figure 25: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE1

Tableau 96: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
46158 CHPM-CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock(Systeme d'emission [CCgaz VC BT],pCCgaz VC BT + ECS SANS stockage),Murs 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0,Meanc0.15),Planchers 0.15(PICave0.15,PIE0.15,Pleanc0.15),ST4(ST4ind),Toiture 0.15(TP0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1 (F3,M1,M14,M9,S1,S2,S5,T3)
45440 EA2(Etanchéité 2),Murs 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0,Meanc0.24),Planchers 0.24(PICave0.24,PIE0.24,Pleanc0.24),ST4(ST4ind),Toiture 0.24(TP0.24),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,M1,M14,M9,S1,S2,S5,T3)
46627 Murs 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0,Meanc0.24),Planchers 0.24(PICave0.24,PIE0.24,Pleanc0.24),ST4(ST4ind),Toiture 0.24(TP0.24),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,M1,M14,M9,S1,S2,S5,T3)
base

5.23.IAE3 - Maison divisée en appartements & service au rez-de-chaussée (< 1919)

Tableau 97: Combinaisons viables enveloppe-systèmes du IAE3 proches du Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AV G_WI NDOW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG _FLOOR	E_CHAR _SURFA _CE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL _NEEDS	V50	LEVE L_K	LEVE L_E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN	
19637	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	201	32164	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37696	4141	2	117	132	79.250 €	366.098 €	380.104 €
19321	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,81	222	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42852	4141	15	116	145	71.739 €	365.272 €	379.872 €
19374	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,81	221	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42501	4141	15	115	144	72.167 €	365.249 €	379.805 €
19793	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,83	203	33563	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	39336	4141	2	117	133	79.039 €	365.155 €	378.864 €
19694	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,83	202	33270	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	38994	4141	2	116	132	79.466 €	365.151 €	378.821 €
19639	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	203	33563	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	39336	4141	2	117	133	78.932 €	365.048 €	378.750 €
19541	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,84	202	33270	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	38994	4141	2	116	132	79.359 €	365.044 €	378.707 €
19423	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,83	222	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42852	4141	15	117	145	71.456 €	364.988 €	379.572 €
19471	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,83	221	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42501	4141	15	116	144	71.883 €	364.965 €	379.505 €
19910	C	5,17	0,87	2,07	0,24	1,16	203	33563	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	39336	4141	2	121	133	78.844 €	364.961 €	378.658 €
19808	C	5,17	0,87	2,07	0,2	1,16	202	33270	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	38994	4141	2	120	132	79.272 €	364.957 €	378.615 €
19522	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	222	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42852	4141	15	117	145	71.348 €	364.881 €	379.458 €
19035	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,84	221	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42501	4141	15	116	144	71.776 €	364.858 €	379.391 €
19327	C	5,17	0,87	2,07	0,24	1,16	222	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42852	4141	15	121	145	71.261 €	364.794 €	379.366 €
19378	C	5,17	0,87	2,07	0,2	1,16	221	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42501	4141	15	120	144	71.689 €	364.771 €	379.299 €
19856	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,81	219	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42092	4141	15	116	143	71.739 €	364.284 €	378.730 €
19909	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,81	218	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	41747	4141	15	115	142	72.167 €	364.269 €	378.672 €
19323	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,81	225	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44530	4141	15	116	147	71.420 €	364.261 €	378.562 €
19376	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,81	224	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44178	4141	15	115	146	71.848 €	364.242 €	378.501 €
19958	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,83	219	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42092	4141	15	117	143	71.456 €	364.001 €	378.429 €
20006	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,83	218	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	41747	4141	15	116	142	71.883 €	363.986 €	378.371 €
19425	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,83	225	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44530	4141	15	117	147	71.137 €	363.977 €	378.261 €
19473	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,83	224	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44178	4141	15	116	146	71.564 €	363.958 €	378.201 €
20057	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	219	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42092	4141	15	117	143	71.348 €	363.894 €	378.315 €
19570	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,84	218	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	41747	4141	15	116	142	71.776 €	363.878 €	378.258 €
19527	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	225	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44530	4141	15	117	147	71.030 €	363.870 €	378.148 €
19037	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,84	224	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44178	4141	15	116	146	71.457 €	363.851 €	378.087 €
19862	C	5,17	0,87	2,07	0,24	1,16	219	35914	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	42092	4141	15	121	143	71.261 €	363.806 €	378.223 €
19913	C	5,17	0,87	2,07	0,2	1,16	218	35619	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	41747	4141	15	120	142	71.689 €	363.791 €	378.165 €
19328	C	5,17	0,87	2,07	0,24	1,16	225	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44530	4141	15	121	147	70.942 €	363.783 €	378.055 €
19379	C	5,17	0,87	2,07	0,2	1,16	224	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	44178	4141	15	120	146	71.370 €	363.764 €	377.995 €
19858	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,81	222	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43740	4141	15	116	145	71.420 €	363.234 €	377.374 €
19911	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,81	220	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43394	4141	15	115	144	71.848 €	363.224 €	377.323 €
19960	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,83	222	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43740	4141	15	117	145	71.137 €	362.951 €	377.074 €
20008	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,83	220	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43394	4141	15	116	144	71.564 €	362.940 €	377.022 €
20062	C	5,17	0,87	2,07	0,24	0,84	222	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43740	4141	15	117	145	71.030 €	362.844 €	376.960 €
19572	C	5,17	0,87	2,07	0,2	0,84	220	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43394	4141	15	116	144	71.457 €	362.833 €	376.909 €
19863	C	5,17	0,87	2,07	0,24	1,16	222	37320	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43740	4141	15	121	145	70.942 €	362.756 €	376.868 €
19914	C	5,17	0,87	2,07	0,2	1,16	220	37025	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	43394	4141	15	120	144	71.370 €	362.746 €	376.816 €
base		5,17	0,87	2,07	1,67	1,16	518	55355	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	110704	6563	15	151	331	- €	378.260 €	400.608 €

Tableau 98: Détail de la première combinaison viable proche du Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
19914 CHIM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock(CCgaz (+ECS) SANS stock,CCgaz VC (+ECS) SANS stock),Toit 0.20(T0.20,TP0.20),Ventilation C+0.43(Système de ventilation [zv13]) (T2,T3,VCC2)
base

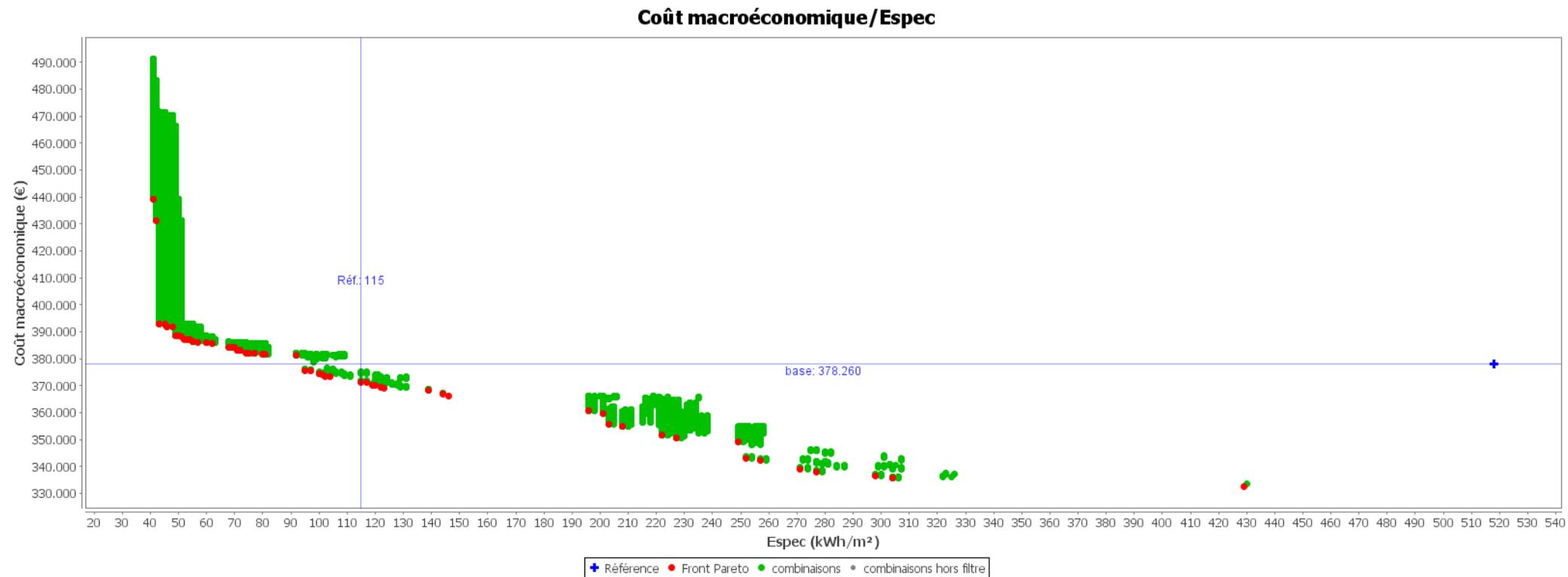


Figure 26: Combinaisons viables enveloppe/systèmes du IAE3 proches du Front de Pareto

5.24.IAE4 - Maison divisée en appartements de 1919-1945

Tableau 99: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE4 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COM BINA ISON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ _ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NET _NEEDS	HEAT_FINAL _TOTAL_NEE DS	V50	LEVEL K	LEVEL E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
6331	0,9	0,5	0,24	0,24	0,24	82	6864	13087	2	22	57	289.463 €	623.382 €	649.794 €
6343	0,9	0,5	0,24	0,24	0,27	83	7048	13437	2	22	57	288.972 €	623.323 €	649.769 €
6945	1,38	0,49	0,15	0,2	0,15	84	7551	14396	2	23	59	282.033 €	616.861 €	642.789 €
6981	1,38	0,49	0,2	0,2	0,15	86	7846	14960	2	24	60	280.390 €	615.895 €	641.818 €
7017	1,38	0,49	0,24	0,2	0,15	87	8086	15416	2	25	61	279.166 €	615.221 €	641.148 €
7021	1,38	0,49	0,24	0,24	0,15	88	8462	16134	2	25	62	277.882 €	614.744 €	640.691 €
3195	0,9	0,5	0,15	0,2	0,66	89	8443	16098	2	27	62	271.894 €	609.799 €	635.801 €
3228	0,9	0,5	0,2	0,2	0,66	90	8714	16615	2	28	63	270.250 €	608.750 €	634.729 €
3261	0,9	0,5	0,24	0,2	0,66	92	8936	17037	2	28	63	269.026 €	608.021 €	633.992 €
3265	0,9	0,5	0,24	0,24	0,66	93	9318	17765	2	29	65	267.742 €	607.511 €	633.488 €
3444	0,9	0,5	0,15	0,2	0,15	98	10339	19712	15	18	68	263.985 €	606.298 €	632.451 €
4077	1,38	0,49	0,15	0,2	0,66	99	10796	20583	2	32	69	257.083 €	599.740 €	625.353 €
4110	1,38	0,49	0,2	0,2	0,66	100	11098	21159	2	33	70	255.439 €	598.794 €	624.406 €
4143	1,38	0,49	0,24	0,2	0,66	101	11342	21624	2	34	71	254.216 €	598.136 €	623.754 €
4147	1,38	0,49	0,24	0,24	0,66	103	11733	22369	2	34	72	252.932 €	597.703 €	623.351 €
4326	1,38	0,49	0,15	0,2	0,15	108	12849	24497	15	23	75	249.174 €	596.709 €	622.565 €
4362	1,38	0,49	0,2	0,2	0,15	110	13169	25108	15	24	76	247.530 €	595.813 €	621.677 €
4398	1,38	0,49	0,24	0,2	0,15	111	13428	25601	15	25	77	246.307 €	595.194 €	621.071 €
1186	0,9	0,5	0,15	0,2	0,66	112	13693	26108	15	27	77	239.035 €	589.405 €	615.268 €
1219	0,9	0,5	0,2	0,2	0,66	114	13998	26689	15	28	78	237.391 €	588.451 €	614.310 €
1252	0,9	0,5	0,24	0,2	0,66	115	14244	27158	15	28	79	236.167 €	587.793 €	613.656 €
1256	0,9	0,5	0,24	0,24	0,66	117	14652	27935	15	29	80	234.883 €	587.377 €	613.267 €
1734	1,38	0,49	0,15	0,2	0,66	123	16256	30993	15	32	85	224.224 €	580.046 €	605.671 €
1767	1,38	0,49	0,2	0,2	0,66	125	16580	31611	15	33	86	222.580 €	579.160 €	604.795 €
1800	1,38	0,49	0,24	0,2	0,66	126	16841	32108	15	34	87	221.357 €	578.550 €	604.200 €
1804	1,38	0,49	0,24	0,24	0,66	128	17254	32897	15	34	88	220.073 €	578.203 €	603.904 €
3269	0,9	0,5	2,21	0,15	0,15	131	17858	34047	2	47	98	214.004 €	573.909 €	599.588 €
3273	0,9	0,5	2,21	0,2	0,15	133	18341	34969	2	48	99	189.165 €	550.096 €	574.407 €
3277	0,9	0,5	2,21	0,24	0,15	135	18731	35712	2	49	100	187.881 €	549.656 €	573.995 €
3285	0,9	0,5	2,21	0,2	0,24	136	19101	36418	2	50	101	185.936 €	548.685 €	573.073 €
3289	0,9	0,5	2,21	0,24	0,24	138	19495	37168	2	50	102	184.652 €	548.257 €	572.674 €
5037	1,43	0,6	2,21	0,2	0,15	145	20891	39831	2	54	108	173.023 €	540.328 €	564.684 €
5041	1,43	0,6	2,21	0,24	0,15	146	21289	40590	2	55	109	171.739 €	539.939 €	564.338 €
1090	0,9	0,5	2,21	0,2	0,66	148	21644	41266	2	57	109	164.214 €	533.109 €	557.123 €
1094	0,9	0,5	2,21	0,24	0,66	149	22045	42031	2	58	110	162.930 €	532.706 €	556.755 €
1264	0,9	0,5	2,21	0,2	0,15	159	24048	45850	15	48	116	156.305 €	531.053 €	555.488 €
2186	1,43	0,6	2,21	0,2	0,66	160	24236	46208	2	63	118	148.073 €	523.431 €	547.501 €
2190	1,43	0,6	2,21	0,24	0,66	162	24643	46985	2	64	119	146.789 €	523.075 €	547.195 €
2360	1,43	0,6	2,21	0,2	0,15	171	26662	50833	15	54	125	140.164 €	521.494 €	546.018 €
2364	1,43	0,6	2,21	0,24	0,15	173	27079	51628	15	55	126	138.880 €	521.174 €	545.757 €
290 C	0,9	0,5	2,21	0,2	0,66	174	27483	52398	15	57	127	131.355 €	514.445 €	538.655 €
294 C	0,9	0,5	2,21	0,24	0,66	176	27905	53204	15	58	127	130.071 €	514.122 €	538.385 €
650 C	1,43	0,6	2,21	0,2	0,66	186	30118	57423	15	63	135	115.214 €	504.928 €	529.231 €
654 C	1,43	0,6	2,21	0,24	0,66	188	30541	58228	15	64	136	113.930 €	504.629 €	528.995 €
39 Ch	0,9	0,5	2,21	1,06	0,66	211	35776	68209	15	73	145	99.467 €	502.057 €	527.175 €
37 Ch	0,9	0,5	2,21	1,06	0,66	217	38138	72713	15	73	150	99.021 €	501.973 €	526.808 €
97 Ch	1,43	0,6	2,21	1,06	0,66	230	40821	77829	15	78	159	82.880 €	493.045 €	518.174 €
99 Ch	1,43	0,6	2,21	1,06	0,66	223	38458	73323	15	78	154	83.326 €	492.947 €	518.289 €
200 T	4,62	0,84	2,21	0,2	0,66	265	45863	87441	15	96	193	45.739 €	480.667 €	509.325 €
204 T	4,62	0,84	2,21	0,24	0,66	267	46286	88249	15	97	195	44.455 €	480.243 €	508.916 €
24 Ve	4,62	0,84	2,21	1,06	0,66	299	54160	103260	15	111	211	13.851 €	466.587 €	495.497 €
base	4,62	0,84	2,21	1,06	0,66	356	69004	131562	15	111	253	- €	475.864 €	506.695 €



Coût macroéconomique/Espec

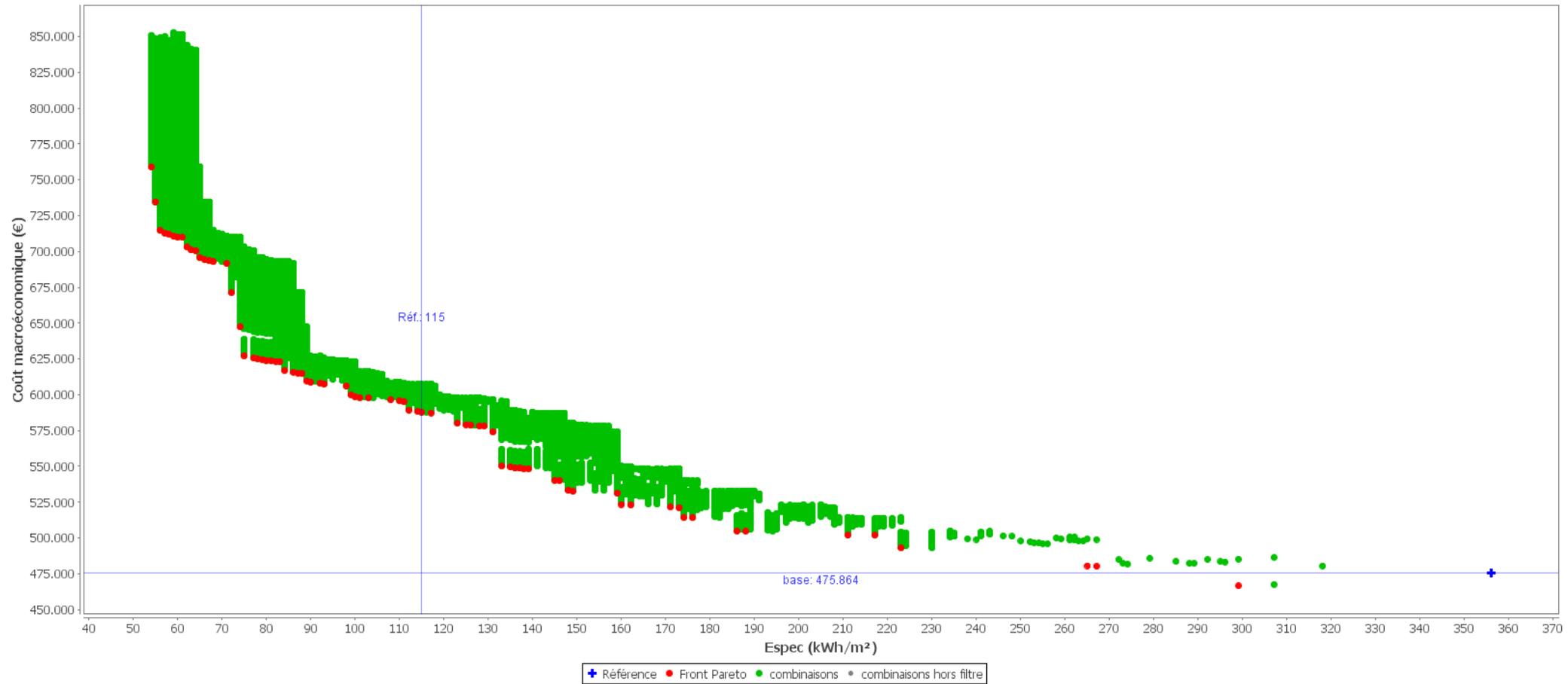


Figure 27: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE4

Tableau 100: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
6945 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 + MI1.0(ME0.15,MI1.0),Plancher 0.15(PIcave0.15,PIsol0.15),Toit 0.20(TO.20,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,Ftoit1,M1,M9,P2-P,S1,S4,T2,T3)
1252 Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2(Ch0.95-TV0.6/0.5,Ftoit 2,Pext0.8),Mur 0.24 + MI1.0(ME0.24,MI1.0),Toit 0.20(TO.20,TP0.20),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,Ftoit1,M1,M9,P2-P,T2,T3)
base

5.25. IAE5 - Immeuble à appartements de 1946-1970-

Tableau 101: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE5 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL _EXT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	WATER_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL _NEEDS	V50	LEVEL K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
33721 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,45	46	9486	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	15730	5591	2	16	35	927.992 €	2.371.387 €	2.462.758 €
33858 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,45	47	10314	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	17103	5591	2	17	36	919.711 €	2.364.675 €	2.455.598 €
34568 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,45	48	9941	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	16484	5591	2	17	37	863.752 €	2.312.878 €	2.402.302 €
34818 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,45	49	11459	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	19002	5591	2	18	37	857.277 €	2.308.601 €	2.397.464 €
34300 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,5	50	12291	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	20380	5591	2	19	38	852.211 €	2.305.389 €	2.394.105 €
35283 C	0,85	0,5	0,24	0,2	0,5	51	13163	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	21826	5591	2	20	38	849.193 €	2.303.543 €	2.391.944 €
34723 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,54	52	13863	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	22988	5591	2	21	39	846.138 €	2.302.035 €	2.390.379 €
34411 C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,45	53	15823	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	26238	5591	2	22	40	823.790 €	2.281.552 €	2.367.957 €
33789 C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,5	54	16689	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	27675	5591	2	23	40	818.724 €	2.278.456 €	2.364.735 €
34661 C	1,36	0,5	0,2	0,2	0,45	55	17485	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	28994	5591	2	24	41	817.316 €	2.277.879 €	2.363.859 €
34620 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,45	56	19898	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	32996	5591	15	16	41	686.109 €	2.146.538 €	2.222.970 €
34793 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,45	57	19898	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	32996	5591	15	16	43	628.118 €	2.093.315 €	2.168.110 €
34229 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,5	58	20920	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	34689	5591	15	17	43	618.833 €	2.086.244 €	2.160.650 €
35213 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,54	59	21679	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	35948	5591	15	18	44	615.778 €	2.084.864 €	2.159.223 €
33686 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,5	60	22651	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	37561	5591	15	19	45	612.358 €	2.082.794 €	2.156.815 €
34745 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,54	61	23415	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	38828	5591	15	19	45	609.303 €	2.081.462 €	2.155.450 €
35022 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,5	62	24475	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	40585	5591	15	20	46	605.279 €	2.079.129 €	2.152.816 €
34308 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,54	63	24825	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	41165	5591	15	21	46	604.255 €	2.078.980 €	2.152.708 €
35327 C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,45	64	26989	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	44754	5591	15	22	48	581.907 €	2.059.487 €	2.131.522 €
34718 C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,5	65	27937	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	46325	5591	15	23	48	576.841 €	2.056.643 €	2.128.595 €
34846 C	1,36	0,5	0,2	0,2	0,45	66	28807	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	47767	5591	15	24	49	575.433 €	2.056.486 €	2.128.251 €
34282 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,5	67	29759	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	49346	5591	15	25	49	570.366 €	2.053.666 €	2.125.354 €
33742 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,5	68	31232	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	51789	5591	15	26	50	565.318 €	2.051.517 €	2.123.032 €
34654 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,54	69	31593	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	52387	5591	15	26	51	564.294 €	2.051.398 €	2.122.958 €
37950 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,45	73	19898	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	32996	38205	15	16	55	570.829 €	2.042.003 €	2.110.820 €
38233 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,45	74	20825	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	34532	38205	15	17	55	562.548 €	2.035.672 €	2.104.121 €
38281 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,45	75	20412	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	33847	38205	15	17	56	506.589 €	1.983.476 €	2.050.300 €
37709 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,5	76	21333	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	35375	38205	15	17	57	501.522 €	1.980.489 €	2.047.193 €
37828 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,45	77	22140	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	36712	38205	15	18	57	500.114 €	1.980.016 €	2.046.454 €
37179 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,5	78	23067	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	38250	38205	15	19	58	495.048 €	1.977.080 €	2.043.413 €
38352 C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,5	79	24475	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	40585	38205	15	20	59	489.999 €	1.974.593 €	2.040.666 €
35078 E	2,3	0,63	0,15	0,24	0,5	80	39541	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	HEAT_PUMP,CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	65567	5591	15	34	59	462.274 €	1.973.753 €	2.043.262 €
38498 C	1,36	0,5	0,15	0,15	0,45	81	26469	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	43891	38205	15	22	61	472.877 €	1.960.128 €	2.024.857 €
37920 C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,5	82	27518	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	45631	38205	15	23	61	463.592 €	1.953.241 €	2.017.635 €
38176 C	1,36	0,5	0,2	0,2	0,45	83	28807	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	47767	38205	15	24	62	460.153 €	1.951.951 €	2.016.101 €
37451 C	1,36	0,5	0,2	0,2	0,5	84	29338	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	48649	38205	15	24	63	457.117 €	1.950.247 €	2.014.372 €
38449 C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,54	85	30118	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	49943	38205	15	25	63	454.062 €	1.949.008 €	2.013.127 €
37072 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,5	86	31232	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	51789	38205	15	26	64	450.038 €	1.946.982 €	2.010.882 €
37984 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,54	87	31593	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	52387	38205	15	26	64	449.014 €	1.946.863 €	2.010.808 €
37420 E	2,3	0,63	0,15	0,2	0,45	96	38575	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	63966	38205	15	33	72	352.060 €	1.872.038 €	1.934.018 €
38408 E	2,3	0,63	0,15	0,24	0,5	97	39541	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	65567	38205	15	34	73	346.994 €	1.869.218 €	1.931.111 €
37703 E	2,3	0,63	0,15	0,24	0,54	98	39907	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	66174	38205	15	34	73	345.970 €	1.869.113 €	1.931.054 €
38335 E	2,3	0,63	0,2	0,24	0,5	99	41439	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	68715	38205	15	36	74	340.519 €	1.866.534 €	1.928.226 €
38104 E	2,3	0,63	0,24	0,2	0,5	100	42544	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	70547	38205	15	37	75	337.501 €	1.865.686 €	1.927.292 €
37536 E	2,3	0,63	0,24	0,24	0,54	101	43336	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	71861	38205	15	37	75	334.446 €	1.864.491 €	1.926.099 €
38309 E	2,3	0,63	2,31	0,2	0,45	193	127159	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	210856	38205	15	98	141	145.408 €	1.860.309 €	1.925.596 €
37740 E	2,3	0,63	2,31	0,24	0,5	194	128199	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	212580	38205	15	99	142	140.342 €	1.857.874 €	1.923.175 €
38580 E	2,3	0,63	2,31	0,24	0,54	195	128591	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	APPAREIL_A_COMBUSTION	213230	38205	15	100	142	139.318 €	1.857.841 €	1.923.199 €
base	3,62	0,77	2,31	1,68	1,34	310	216027	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	CHAUFFAGE_ELECTRIQUE_PAR_RESISTANCE	358217	24383	15	132	224	- €	2.017.054 €	2.120.790 €

Coût macroéconomique/Espec

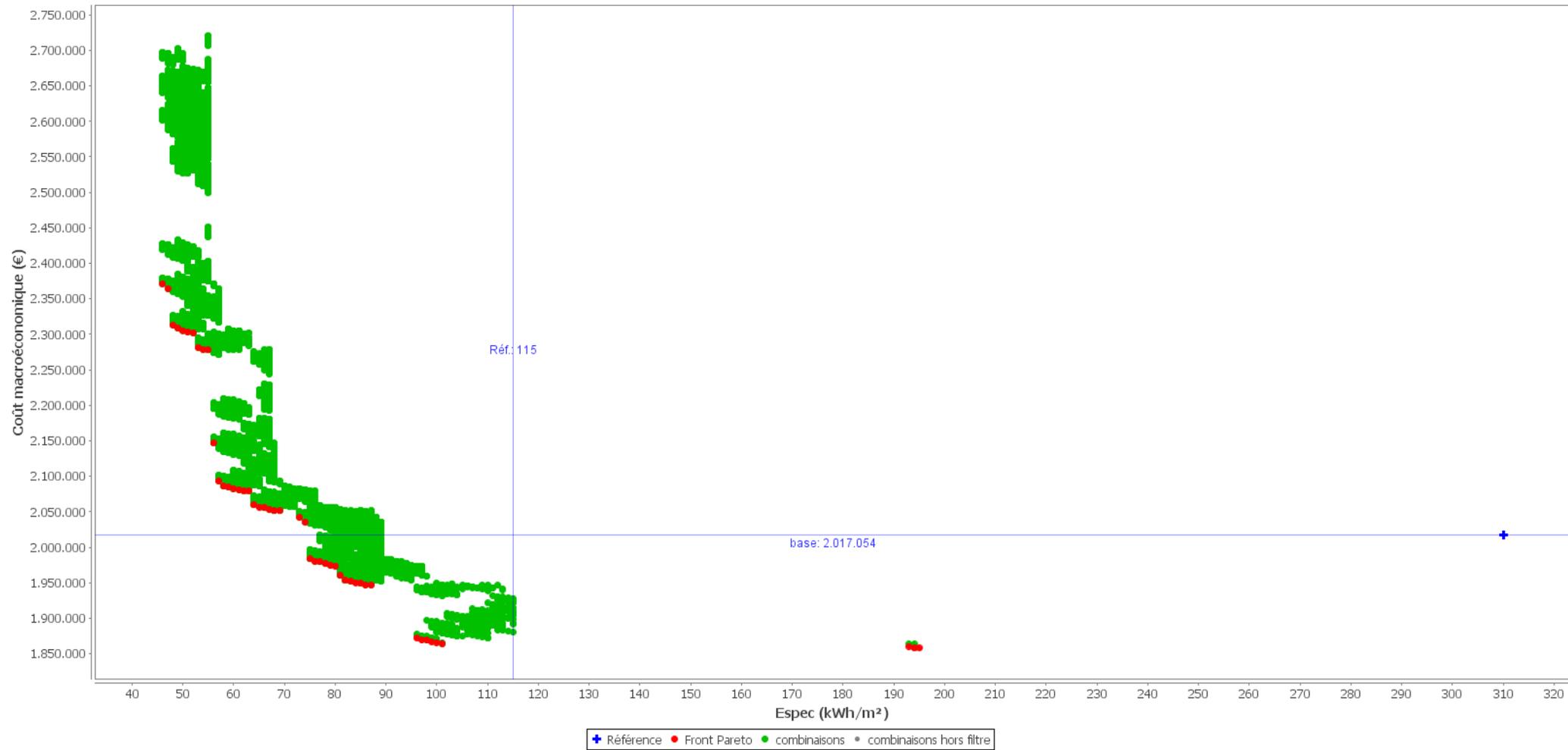


Figure 28: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE5

Tableau 102: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
38449 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0(Ch1.7-DV1.0/0.5,Pext2),ECSI-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Mur 0.20 + MI1.0(ME0.20,MI1.0),Plancher 0.3 + Plmit 1.0(PICave0.3,PIE0.30,PIMit1.0,Pleanc0.3),Toit 0.24(TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation (F1,M1,M9,P2-P,S1,S2,S5,T3))
38580 ECSI-Ch-eau gaz SANS ballon(Ch-eau gaz SANS ballon),Plancher 0.3 + Plmit 1.0(PICave0.3,PIE0.30,PIMit1.0,Pleanc0.3),Toit 0.24(TP0.24),V1.1/0.63-alu avec coupure th existant(V1.1/0.63-alu existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,S1,S2,S5,T3)
base

5.26. IAE7 - Maison divisée en appartements de 1946-1970

Tableau 103: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE7 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL_ E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
23634 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	72	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	41	149.003 €	337.456 €	351.034 €
24056 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	72	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	41	149.003 €	337.456 €	351.034 €
24399 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	72	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	41	149.003 €	337.456 €	351.034 €
24058 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	73	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	42	144.114 €	332.957 €	346.391 €
24386 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	73	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	42	144.114 €	332.957 €	346.391 €
24774 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	73	1267	HEAT_PUMP	511	2	16	42	144.114 €	332.957 €	346.391 €
21189 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	74	1398	HEAT_PUMP	564	2	17	42	142.415 €	331.600 €	345.009 €
21508 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	74	1398	HEAT_PUMP	564	2	17	42	142.415 €	331.600 €	345.009 €
21853 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	74	1398	HEAT_PUMP	564	2	17	42	142.415 €	331.600 €	345.009 €
20966 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	75	1267	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1778	2	16	43	113.411 €	300.240 €	311.246 €
22747 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	75	1267	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1778	2	16	43	113.411 €	300.240 €	311.246 €
24484 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	75	1267	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1778	2	16	43	113.411 €	300.240 €	311.246 €
21745 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	77	1267	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	1778	2	16	44	108.521 €	295.740 €	306.603 €
22025 C	1,37	0,5	0,15	0,2	0,15	83	2043	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	2866	2	22	48	103.127 €	291.556 €	302.237 €
23698 C	1,37	0,5	0,15	0,2	0,15	83	2043	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	2866	2	22	48	103.127 €	291.556 €	302.237 €
25719 C	1,37	0,5	0,15	0,2	0,15	83	2043	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	2866	2	22	48	103.127 €	291.556 €	302.237 €
21216 C	1,37	0,5	0,15	0,24	0,15	84	2156	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3024	2	23	48	102.060 €	290.691 €	301.340 €
22807 C	1,37	0,5	0,15	0,24	0,15	84	2156	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3024	2	23	48	102.060 €	290.691 €	301.340 €
24544 C	1,37	0,5	0,15	0,24	0,15	84	2156	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3024	2	23	48	102.060 €	290.691 €	301.340 €
21711 C	1,37	0,5	0,15	0,24	0,24	86	2360	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3310	2	24	49	100.973 €	289.937 €	300.563 €
23623 C	1,37	0,5	0,15	0,24	0,24	86	2360	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3310	2	24	49	100.973 €	289.937 €	300.563 €
6945 Ch	1,37	0,5	0,15	0,2	0,15	104	2043	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	2866	2	22	60	91.877 €	285.832 €	297.080 €
6973 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	108	2502	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3509	2	25	62	89.443 €	284.170 €	295.378 €
7009 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	108	2502	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3509	2	25	62	89.443 €	284.170 €	295.378 €
7045 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	108	2502	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	3509	2	25	62	89.443 €	284.170 €	295.378 €
6971 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	112	3224	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4522	2	25	65	89.110 €	284.135 €	295.416 €
7007 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	112	3224	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4522	2	25	65	89.110 €	284.135 €	295.416 €
7043 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,3	112	3224	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	4522	2	25	65	89.110 €	284.135 €	295.416 €
4330 Ch	1,37	0,5	0,15	0,24	0,15	123	4073	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5713	15	23	70	85.940 €	283.511 €	294.950 €
2159 Ch	1,43	0,61	2,14	0,2	0,15	228	16246	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22786	2	72	133	33.295 €	248.768 €	259.572 €
2160 Ch	1,43	0,61	2,14	0,24	0,15	229	16385	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22980	2	73	134	32.229 €	247.954 €	258.734 €
2167 Ch	1,43	0,61	2,14	0,24	0,24	232	16635	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	23331	2	74	135	31.141 €	247.312 €	258.095 €
624 Ch	1,43	0,61	2,14	0,24	0,15	251	18678	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26197	15	73	146	27.358 €	247.256 €	258.398 €
631 Ch	1,43	0,61	2,14	0,24	0,24	254	18931	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	26552	15	74	148	26.271 €	246.623 €	257.768 €
790 EA	6,71	0,87	2,14	0,24	0,15	303	24069	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	33758	2	111	177	15.910 €	245.823 €	257.894 €
797 EA	6,71	0,87	2,14	0,24	0,24	305	24321	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	34112	2	113	179	14.822 €	245.177 €	257.248 €
174 Pla	6,71	0,87	2,14	0,24	0,15	325	26391	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37015	15	111	190	11.040 €	245.166 €	257.602 €
181 Pla	6,71	0,87	2,14	0,24	0,24	327	26645	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37372	15	113	191	9.952 €	244.527 €	256.964 €
base	6,71	0,87	2,14	2,01	1,1	404	34701	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	48670	15	157	232	- €	249.138 €	263.237 €

Coût macroéconomique/Espec

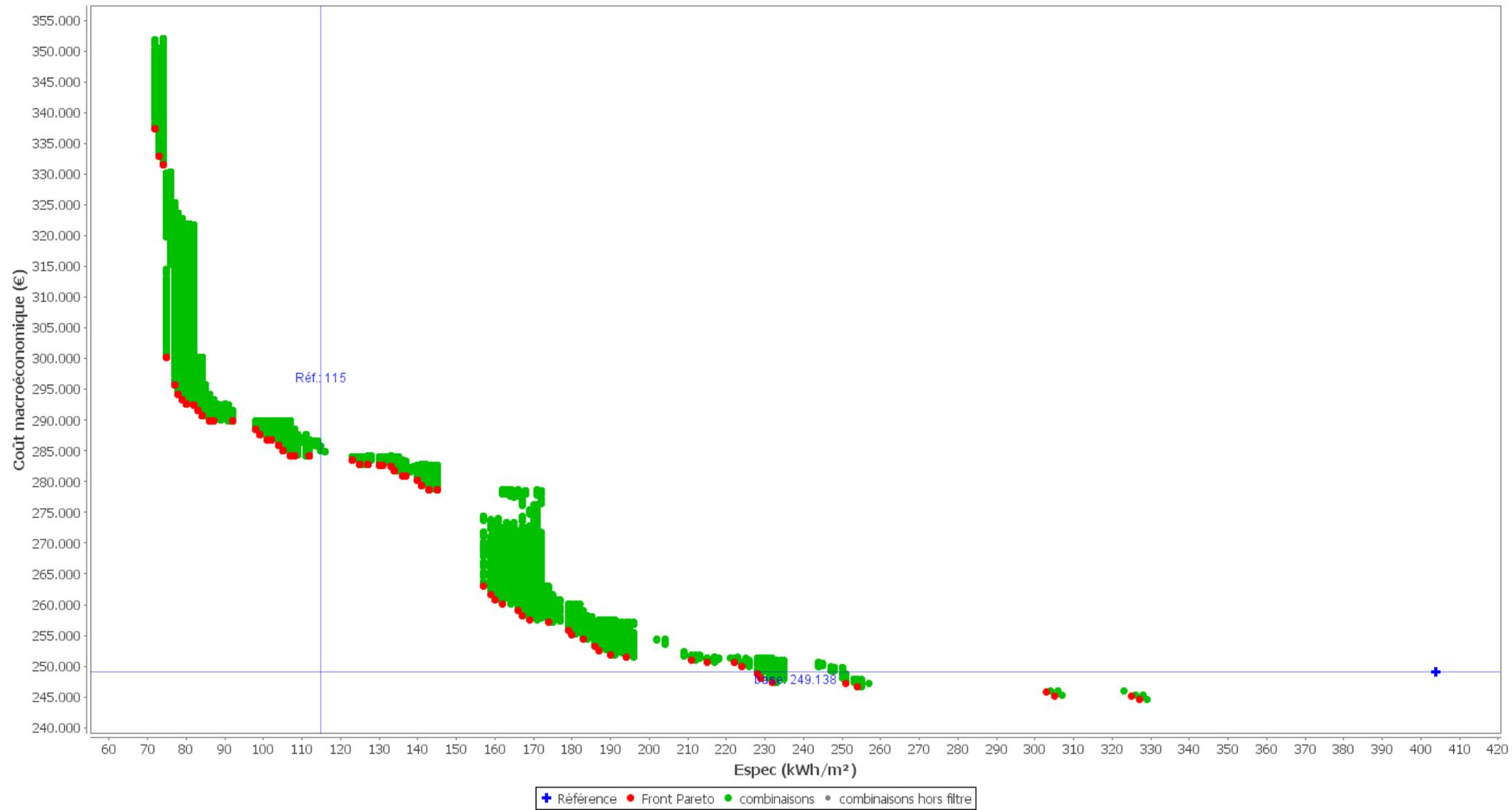


Figure 29: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE7

Tableau 104: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
24544 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15 + MI 1.0(ME0.15,MI1.0),Plancher 0.15(PIcave0.15,PIE0.15,PIsol0.15),ST2(ST2ind),Toit 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F1,Ftoit1,H1,M1,M9,P2-P,S1,S4,S5,T3)
7043 Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.0/0.5,Ftoit 1,Pext2),EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.24 + MI 1.0(ME0.15,MI1.0),Plancher 0.3(PIcave0.3,PIE0.30,PIsol0.30),Toit 0.24(PfGr0.24,TP0.24),Ventilation C+ 0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,H1,M1,M9,P2-P,S1,S4,S5,T3,VCC2)
631 Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1(Ch1.7-DV1.1/0.63,Ftoit 1,Pext2),Plancher 0.24(PIcave0.24,PIE0.24,PIsol0.24),Toit 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (F1,Ftoit1,H1,P2-P,S1,S4,S5,T3)
181 Plancher 0.24(PIcave0.24,PIE0.24,PIsol0.24),Toit 0.24(PfGr0.24,TP0.24) (H1,S1,S4,S5,T3)
base

5.27.IAE9 - Immeuble à appartements d'après 1990

Tableau 105: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE9 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBINAISON	U_AVG_WIND	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	E_CHAR_SURFACE	HEAT_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	WATER_FINAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
23506	0,89	0,5	0,15	0,15	0,15	50	3880	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5039	2446	2	17	29	297.619 €	764.868 €	782.982 €
23836	0,89	0,5	0,15	0,15	0,15	51	3880	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5039	2446	2	17	29	288.242 €	755.914 €	773.629 €
23471	0,89	0,5	0,15	0,24	0,15	52	4354	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5654	2446	2	18	30	286.095 €	754.440 €	772.101 €
22631	0,89	0,5	0,15	0,2	0,24	53	4515	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	5863	2446	2	19	30	285.162 €	753.794 €	771.446 €
24513	1,38	0,49	0,15	0,15	0,15	54	5029	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6531	2446	2	20	31	281.866 €	751.081 €	768.559 €
23038	0,89	0,5	0,15	0,15	0,42	55	5087	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6607	2446	2	20	31	271.003 €	740.625 €	757.585 €
22888	0,89	0,5	0,15	0,2	0,42	56	5348	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	6945	2446	2	21	31	269.558 €	739.546 €	756.460 €
23964	0,89	0,5	0,2	0,15	0,42	57	5953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	7730	2446	2	23	33	266.399 €	737.360 €	754.222 €
24393	0,89	0,5	0,15	0,15	0,15	59	3880	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	7251	3262	2	17	34	211.458 €	684.944 €	698.268 €
22590	0,89	0,5	0,15	0,2	0,15	60	4140	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	7737	3262	2	18	34	209.945 €	684.102 €	697.398 €
23552	1,76	0,65	0,15	0,5	0,42	84	8878	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	16590	3262	2	31	48	144.147 €	632.430 €	643.642 €
24150	1,76	0,65	0,2	0,5	0,42	106	13427	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	25092	3262	10	33	60	116.954 €	617.859 €	628.867 €
3356 E	2,25	0,77	0,2	0,5	0,42	107	10793	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	20171	7942	2	36	61	112.536 €	617.737 €	630.235 €
24902	1,76	0,65	0,24	0,5	0,42	110	14221	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	26576	3262	10	36	62	114.202 €	617.272 €	628.348 €
3367 E	2,25	0,77	0,24	0,5	0,42	111	11554	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	21591	7942	2	38	63	109.784 €	616.963 €	629.484 €
23362	2,25	0,77	0,2	0,5	0,42	112	14423	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	26954	3262	10	36	64	111.262 €	615.866 €	627.206 €
3529 M	1,76	0,65	0,15	0,5	0,42	114	12446	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	23259	7942	10	31	65	100.773 €	609.668 €	621.634 €
3572 M	1,76	0,65	0,2	0,5	0,42	118	13427	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	25092	7942	10	33	67	95.904 €	607.453 €	619.410 €
3615 M	1,76	0,65	0,24	0,5	0,42	122	14221	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	26576	7942	10	36	69	93.152 €	606.866 €	618.891 €
2726 M	2,25	0,77	0,2	0,5	0,42	124	14423	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	26954	7942	10	36	71	90.212 €	605.459 €	617.748 €
2737 M	2,25	0,77	0,24	0,5	0,42	128	15219	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	28440	7942	10	38	73	87.460 €	604.821 €	617.157 €
23405	2,25	0,77	0,81	0,5	0,42	171	26781	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	50047	3262	10	68	98	38.150 €	576.722 €	587.428 €
2766 T	2,25	0,77	0,81	0,15	0,42	173	24504	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	45793	7942	10	63	99	33.797 €	576.707 €	588.655 €
2771 T	2,25	0,77	0,81	0,2	0,42	174	24830	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	46402	7942	10	64	100	32.284 €	576.093 €	588.049 €
2776 T	2,25	0,77	0,81	0,24	0,42	176	25092	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	46892	7942	10	64	101	31.527 €	576.059 €	588.051 €
base	2,25	0,77	0,81	0,5	0,42	233	38694	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	72310	7942	10	68	134	- €	573.837 €	586.542 €

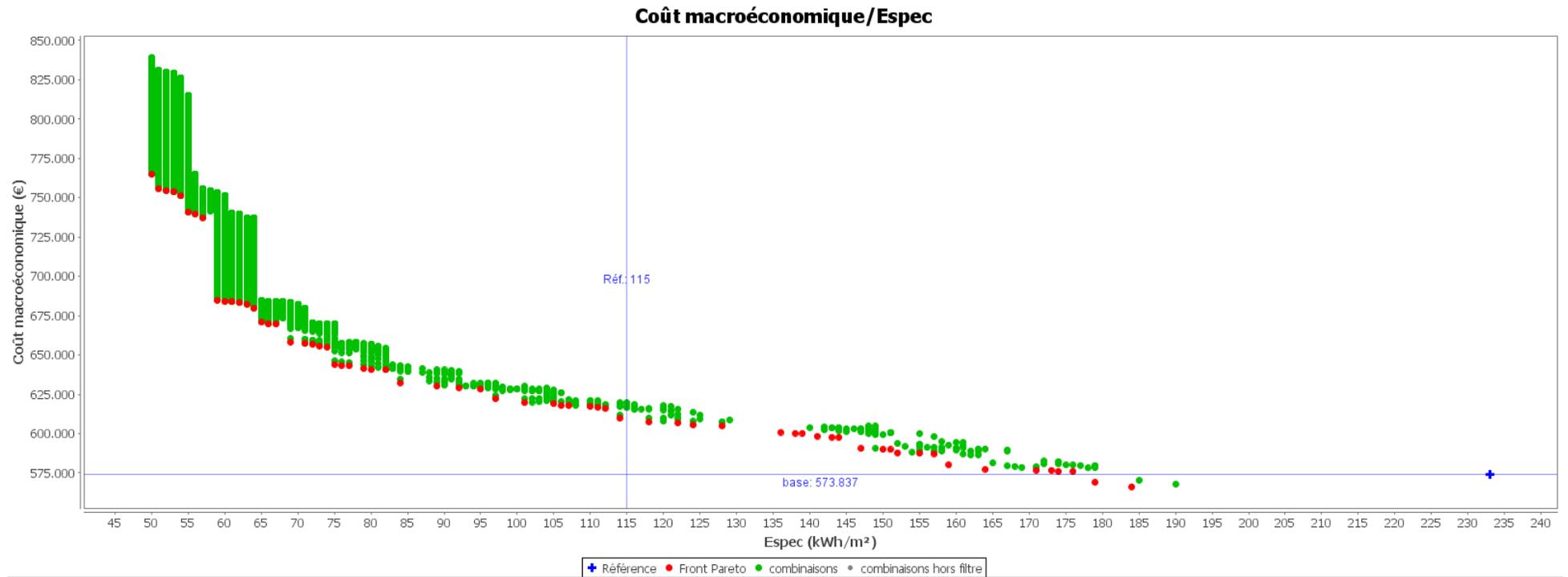


Figure 30: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE9

Tableau 106: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
23552 EA 2(Etanchéité 2),Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),ST4(ST4ind),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,M1,M12,M16)
3529 Mur 0.15(ME0.15,Mcave0.15,Ms0.15),V1.1/0.63-bois existant(V1.1/0.63-bois existant),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (F3,M1,M12,M16)
2776 Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24),Ventilation D(Systeme de ventilation [zv12]) (H1,T2)
base

5.28. IAN1 - Immeuble de 6 appartements neuf

Tableau 107: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAN1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec

COMBI NAISO N	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL_ EXT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	E_CHAR_ SURFACE	HEAT_NE T_NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL_ E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
8691 CH	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	32	8298	HEAT_PUMP	3346	2	18	20	153.019 €	1.275.950 €	1.308.539 €
10513 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	33	8298	HEAT_PUMP	3346	2	18	20	127.630 €	1.251.046 €	1.278.491 €
10512 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	34	8298	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	10776	2	18	21	100.856 €	1.231.769 €	1.257.897 €
10406 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	35	8982	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	11664	2	19	22	98.649 €	1.230.562 €	1.256.346 €
9303 CH	0,87	0,5	0,15	0,15	0,24	36	9284	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	12056	2	19	23	90.024 €	1.222.602 €	1.246.715 €
12238 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	37	11042	HEAT_PUMP	4452	6	18	23	76.528 €	1.207.322 €	1.225.683 €
13854 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,23	38	11993	HEAT_PUMP	4836	6	19	24	65.994 €	1.199.323 €	1.216.045 €
12823 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,24	39	14811	HEAT_PUMP	5972	6	19	24	64.925 €	1.199.234 €	1.216.132 €
12223 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,15	40	11042	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	14339	6	18	25	43.765 €	1.179.198 €	1.194.015 €
13587 C	0,87	0,5	0,15	0,2	0,15	41	11762	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15274	6	19	25	41.558 €	1.178.072 €	1.192.562 €
9019 CH	0,87	0,5	0,15	0,15	0,24	42	12083	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	15692	6	19	26	32.933 €	1.170.125 €	1.182.941 €
11724 C	0,87	0,5	0,15	0,15	0,23	43	14718	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	19114	6	19	27	32.461 €	1.167.570 €	1.179.684 €
13197 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,24	44	13126	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	17046	6	21	27	22.348 €	1.161.237 €	1.172.081 €
11105 C	0,87	0,5	0,2	0,2	0,23	45	13762	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	17872	6	21	28	20.439 €	1.160.274 €	1.170.835 €
11010 C	0,87	0,5	0,2	0,15	0,24	46	15892	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	20637	6	21	29	21.577 €	1.158.526 €	1.168.609 €
13356 C	0,87	0,5	0,2	0,2	0,24	47	16640	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	21609	6	22	29	19.370 €	1.157.302 €	1.167.012 €
11347 C	0,87	0,5	0,22	0,2	0,24	48	17093	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22197	6	22	30	18.317 €	1.156.966 €	1.166.556 €
13418 C	1,43	0,61	0,2	0,15	0,24	50	15985	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	20758	6	26	31	4.690 €	1.148.709 €	1.156.717 €
9235 CH	1,43	0,61	0,2	0,2	0,24	51	16723	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	21717	6	27	32	2.483 €	1.147.594 €	1.155.274 €
12543 C	1,43	0,61	0,2	0,15	0,24	52	18796	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24410	6	26	32	3.919 €	1.146.615 €	1.154.084 €
12339 C	1,37	0,5	0,2	0,2	0,24	53	19875	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25810	6	26	33	3.145 €	1.146.040 €	1.153.005 €
8458 CH	1,43	0,61	0,2	0,2	0,24	54	19552	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25391	6	27	33	1.713 €	1.145.367 €	1.152.450 €
10086 C	1,83	0,63	0,2	0,15	0,24	55	18526	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	24059	6	29	34	8.304 €	1.140.006 €	1.145.957 €
13847 C	1,83	0,63	0,2	0,2	0,24	56	19272	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	25027	6	30	35	10.511 €	1.138.913 €	1.144.540 €
13878 C	1,83	0,63	0,2	0,15	0,24	57	21409	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	27802	6	29	36	9.075 €	1.137.737 €	1.143.054 €
11321 C	1,83	0,63	0,2	0,2	0,23	58	22074	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	28667	6	30	36	10.983 €	1.136.649 €	1.141.625 €
13260 C	1,83	0,63	0,22	0,2	0,23	59	22544	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	29276	6	31	37	12.036 €	1.136.306 €	1.141.152 €
10164 C	1,83	0,63	0,22	0,2	0,24	60	22639	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	29400	6	31	37	12.335 €	1.136.168 €	1.140.977 €
11709 C	1,83	0,63	0,2	0,2	0,24	62	22170	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	28790	6	30	39	15.442 €	1.135.292 €	1.139.798 €
10136 C	1,83	0,63	0,22	0,2	0,24	63	22639	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	29400	6	31	39	16.495 €	1.134.949 €	1.139.326 €
base	1,83	0,63	0,22	0,21	0,23	109	38409	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	54277	6	31	68	- €	1.213.838 €	1.229.262 €

Coût macroéconomique/Espec

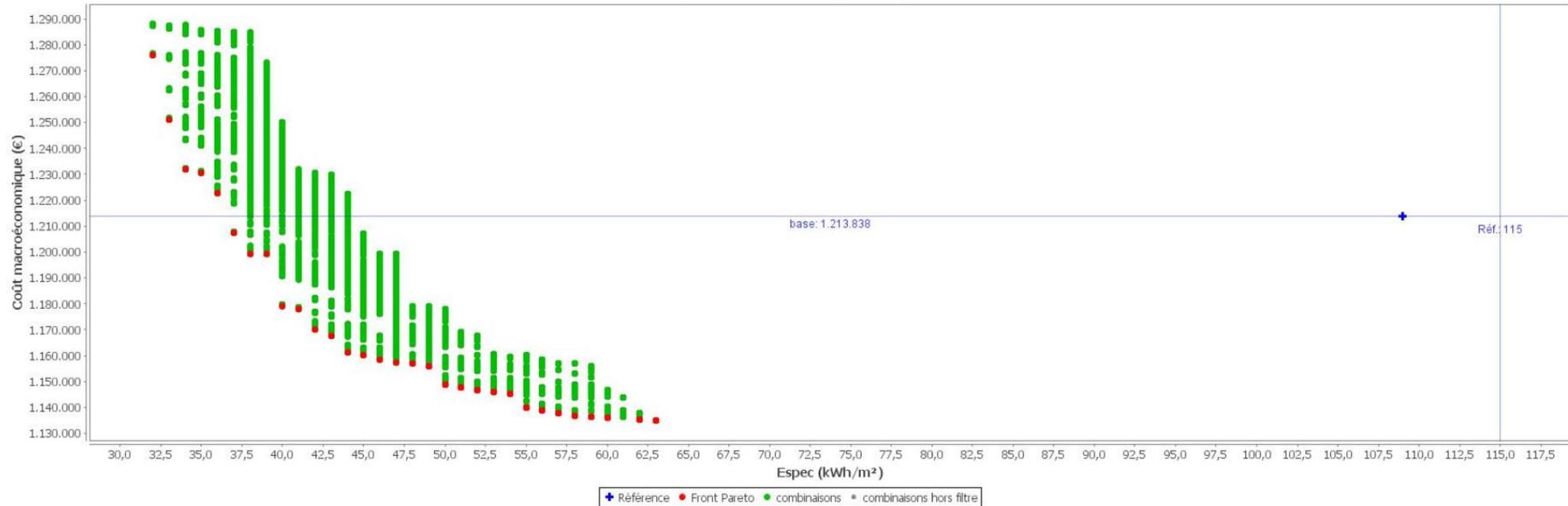


Figure 31: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAN1

Tableau 108: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (Espec – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
10136 CHPM:CCgaz VC BT (+ECS) stock(Systeme d'emission [CCgaz VC BT],mCCgaz VC BT + ECS stock),Plancher 0.24(PISol0.24,Pleanc0.24),ST4(ST4ind),Toiture 0.20(T0.20),Ventilation C+0.43(Systeme de ventilation [zv13]) (F1,Ftoit1,M12,M16,M9,P1-Bois,P3-PVC,S1,S5,T3,VCC2)
base

5.29. BUEI - Grand bureau existant (avant 1945)

Tableau 109: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE1 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBI NAISO N	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	LIGHT_FIN AL_NEEDS	HEAT_NET _NEEDS	COOL_NET _NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	V50	LEVEL E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN	
56009	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	40713	52830	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	13232	2	79	1.096.731 €	4.694.432 €	5.002.151 €
40709	C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	47610	48464	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	15473	2	80	1.083.278 €	4.693.131 €	5.001.728 €
38071	C	0,86	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	55005	56165	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	17877	2	81	1.004.643 €	4.605.759 €	4.893.720 €
56152	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	64685	50279	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	21023	2	82	967.087 €	4.585.312 €	4.870.531 €
40852	C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	71984	46317	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	23395	2	83	953.635 €	4.584.873 €	4.871.031 €
51282	C	1,43	0,63	0,15	0,24	0,24	46907	63768	62774	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	20725	2	85	962.273 €	4.581.907 €	4.862.597 €
36171	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,24	46907	70877	58355	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	23035	2	86	948.821 €	4.580.996 €	4.862.661 €
57308	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,15	46907	60899	53273	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	72425	2	87	986.231 €	4.568.639 €	4.840.775 €
56129	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	64685	50279	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	76928	2	88	974.012 €	4.561.099 €	4.831.897 €
48353	C	1,36	0,5	0,2	0,24	0,24	46907	68730	48031	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	81738	2	89	966.439 €	4.558.693 €	4.829.044 €
40829	C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	71984	46317	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	85607	2	90	960.560 €	4.556.989 €	4.827.007 €
43609	C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	46907	67706	60277	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	80520	2	91	961.625 €	4.554.959 €	4.821.621 €
36148	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,24	46907	70877	58355	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	84291	2	92	955.746 €	4.553.100 €	4.819.454 €
35599	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,3	46907	73554	56631	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	87474	2	93	951.900 €	4.552.632 €	4.818.979 €
53348	C	0,86	0,5	0,15	0,2	0,24	46907	23759	66800	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	39023	2	106	918.029 €	4.538.653 €	4.743.613 €
53186	C	0,86	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	25325	65224	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	41595	2	107	912.969 €	4.536.294 €	4.740.864 €
45473	C	0,86	0,5	0,2	0,24	0,24	46907	28845	61945	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	47377	2	108	905.088 €	4.534.529 €	4.738.914 €
38012	C	0,86	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	31721	59483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	52100	2	109	898.963 €	4.533.438 €	4.737.698 €
57209	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,15	46907	37112	56023	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	60954	2	110	871.507 €	4.515.628 €	4.716.092 €
56030	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	40713	52830	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	66869	2	111	858.982 €	4.509.397 €	4.708.697 €
53878	C	0,86	0,5	0,15	0,24	0,15	46907	44286	64493	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	72738	2	112	813.426 €	4.448.632 €	4.631.994 €
53266	C	0,86	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	47957	61087	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	78766	2	113	800.901 €	4.442.493 €	4.624.748 €
45553	C	0,86	0,5	0,2	0,24	0,24	46907	51856	58295	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	85170	2	114	793.020 €	4.441.540 €	4.623.613 €
38092	C	0,86	0,5	0,24	0,24	0,24	46907	55005	56165	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	90342	2	115	786.895 €	4.441.034 €	4.622.987 €
57352	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,15	46907	60899	53273	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	100024	2	117	759.439 €	4.424.292 €	4.602.466 €
56173	C	1,36	0,5	0,15	0,24	0,24	46907	64685	50279	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	106242	2	118	746.914 €	4.418.453 €	4.595.469 €
51303	C	1,43	0,63	0,15	0,24	0,24	46907	63768	62774	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	104736	2	120	741.920 €	4.414.248 €	4.587.450 €
43653	C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	46907	67706	60277	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	111204	2	121	734.040 €	4.413.426 €	4.586.400 €
36192	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,24	46907	70877	58355	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	116412	2	122	727.914 €	4.413.000 €	4.585.820 €
base		5,11	0,87	2,13	2,9	2,98	152449	616092	14972	GENERATOR_TYPE_CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1051695	15	466	- €	5.451.636 €	5.669.713 €

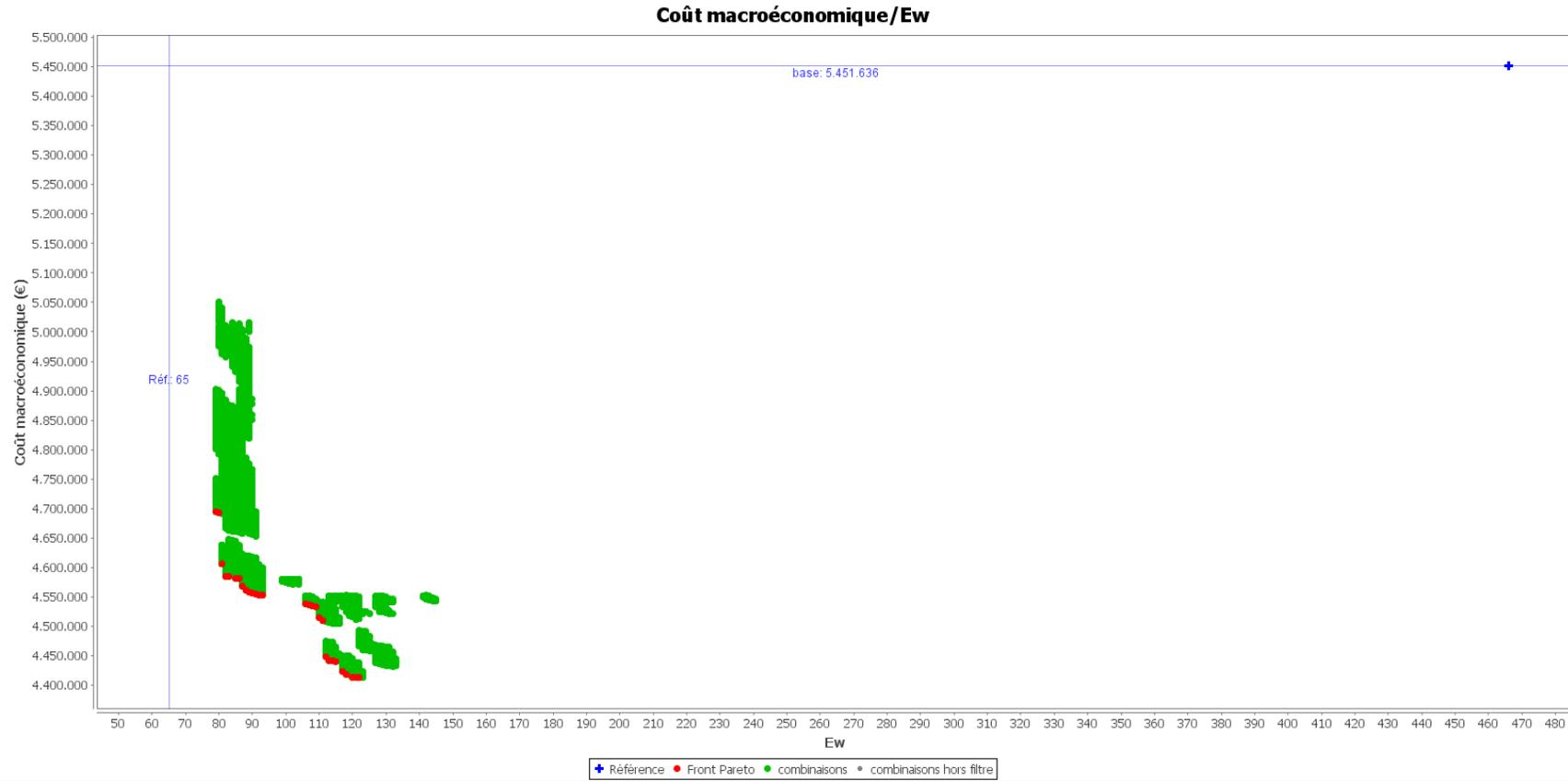


Figure 32: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE1

Tableau 110: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} - CGA macroéconomique)

COMBINAISON
36192 Châssis 1.7/1.1/0.63(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE), Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.24), Plancher 0.24(PIE0.24), Toiture 0.24(TP0.24),ECS Ch-eau Gaz(Ch-eau gaz sans ballon),Eclairage LED(Eclairage73),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR) (F1,M1,S5,T3)
base

5.30. BUE2 - Petit bureau existant (1970)

Tableau 111: combinaisons enveloppe-systèmes du BUE2 situées sur le front de Pareto du Ew macroéconomique

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDOW	G_AVG	U_AVG_W ALL_EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG _FLOOR	AUX_F ANS	LIGHT_ FINAL_ NEEDS	HEAT_ NET_N EEDS	COOL_ NET_N EEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	V50	LEVE L_E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
334891	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	60524	55436	100987	46541	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	32821	2	48	1.748.843 €	6.194.654 €	6.729.236 €
327293	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	60524	55436	112876	44297	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	36685	2	49	1.699.477 €	6.167.550 €	6.696.832 €
336677	1,36	0,5	0,15	0,2	0,24	60524	55436	138767	40591	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	45099	2	51	1.610.180 €	6.127.037 €	6.648.302 €
326156	0,85	0,5	0,2	0,2	0,62	60524	55436	146221	40163	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	47522	2	52	1.512.577 €	6.044.117 €	6.547.904 €
330944	1,36	0,5	0,15	0,2	0,62	60524	55436	172926	36905	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	56201	2	54	1.423.281 €	6.005.314 €	6.501.245 €
324392	1,43	0,63	0,2	0,2	0,62	60524	55436	174402	47014	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	56681	2	55	1.401.164 €	5.988.599 €	6.477.876 €
326539	0,85	0,5	0,2	0,81	0,62	60524	55436	203715	35654	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	66207	2	57	1.346.337 €	5.987.124 €	6.478.920 €
326124	0,85	0,5	0,2	0,2	0,62	60524	55436	146221	40163	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	173894	2	58	1.471.457 €	5.927.267 €	6.389.234 €
319416	0,85	0,5	0,24	0,2	0,62	60524	55436	150342	39610	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	178795	2	59	1.464.795 €	5.926.223 €	6.387.602 €
327332	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	60524	55436	112876	44297	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	172832	2	60	1.465.704 €	5.925.360 €	6.380.696 €
320468	0,85	0,5	0,24	0,2	0,24	60524	55436	116682	43663	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	178659	2	61	1.458.750 €	5.925.089 €	6.379.926 €
331284	1,43	0,63	0,15	0,2	0,62	60524	55436	169605	47697	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	201703	2	62	1.372.824 €	5.862.717 €	6.306.371 €
317844	1,43	0,63	0,24	0,2	0,62	60524	55436	178251	45956	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	211985	2	63	1.353.382 €	5.854.975 €	6.296.334 €
333131	0,85	0,5	0,15	0,2	0,62	60524	55436	141402	40834	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	216510	2	65	1.270.246 €	5.780.279 €	6.201.493 €
326183	0,85	0,5	0,2	0,2	0,62	60524	55436	146221	40163	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	223888	2	66	1.257.100 €	5.775.620 €	6.195.265 €
331343	1,43	0,63	0,15	0,2	0,62	60524	55436	169605	47697	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	259693	2	70	1.156.193 €	5.718.143 €	6.120.139 €
324419	1,43	0,63	0,2	0,2	0,62	60524	55436	174402	47014	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	267039	2	71	1.143.047 €	5.713.449 €	6.113.869 €
317903	1,43	0,63	0,24	0,2	0,62	60524	55436	178251	45956	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	272931	2	72	1.136.093 €	5.713.199 €	6.113.184 €
333514	0,85	0,5	0,15	0,81	0,62	60524	55436	198766	35947	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	304343	2	74	1.099.694 €	5.711.415 €	6.110.351 €
326566	0,85	0,5	0,2	0,81	0,62	60524	55436	203715	35654	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	311921	2	75	1.086.548 €	5.707.068 €	6.104.386 €
324443	1,43	0,63	0,2	0,2	0,62	36314	55436	335949	35879	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	399529	2	77	1.130.749 €	5.700.336 €	6.094.043 €
317927	1,43	0,63	0,24	0,2	0,62	36314	55436	339919	35546	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	404250	2	78	1.124.087 €	5.699.124 €	6.092.175 €
331570	1,43	0,63	0,15	0,81	0,62	60524	55436	226471	42720	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	346764	2	80	985.641 €	5.648.375 €	6.027.999 €
318130	1,43	0,63	0,24	0,81	0,62	60524	55436	235289	41503	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	360266	2	81	965.541 €	5.643.843 €	6.021.390 €
331594	1,43	0,63	0,15	0,81	0,62	36314	55436	388795	31909	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	462377	2	84	977.289 €	5.619.542 €	5.990.806 €
318154	1,43	0,63	0,24	0,81	0,62	36314	55436	397720	31169	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	472990	2	85	957.847 €	5.612.360 €	5.981.204 €
328726	3,85	0,77	0,2	0,81	0,62	60524	55436	373414	40321	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	444084	2	89	840.143 €	5.612.142 €	5.979.927 €
321862	3,85	0,77	0,24	0,81	0,62	60524	55436	377328	40169	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	448739	2	90	833.481 €	5.610.890 €	5.977.973 €
324106	3,85	0,77	0,2	0,2	0,62	60524	55436	316327	44087	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	484349	2	95	771.375 €	5.595.353 €	5.949.233 €
324214	3,85	0,77	0,2	0,2	0,62	36314	55436	478180	34915	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	568678	2	96	774.366 €	5.541.604 €	5.884.799 €
317698	3,85	0,77	0,24	0,2	0,62	36314	55436	482110	34734	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	573351	2	97	767.705 €	5.540.368 €	5.882.870 €
335949	3,85	0,77	0,15	0,81	0,62	36314	55436	530409	33016	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	630791	2	103	623.629 €	5.463.127 €	5.783.942 €
328845	3,85	0,77	0,2	0,81	0,62	36314	55436	535311	32848	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	636621	2	104	610.848 €	5.457.127 €	5.776.125 €
321981	3,85	0,77	0,24	0,81	0,62	36314	55436	539231	32717	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	641283	2	105	604.186 €	5.455.889 €	5.774.181 €
340112	3,85	0,77	0,95	0,81	0,62	36314	55436	644265	29838	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	766195	9,5	119	392.147 €	5.389.284 €	5.681.484 €
base	3,85	0,77	0,95	0,81	0,62	36314	185712	627400	34138	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	998438	9,5	191	- €	6.056.078 €	6.424.906 €

Coût macroéconomique/Ew

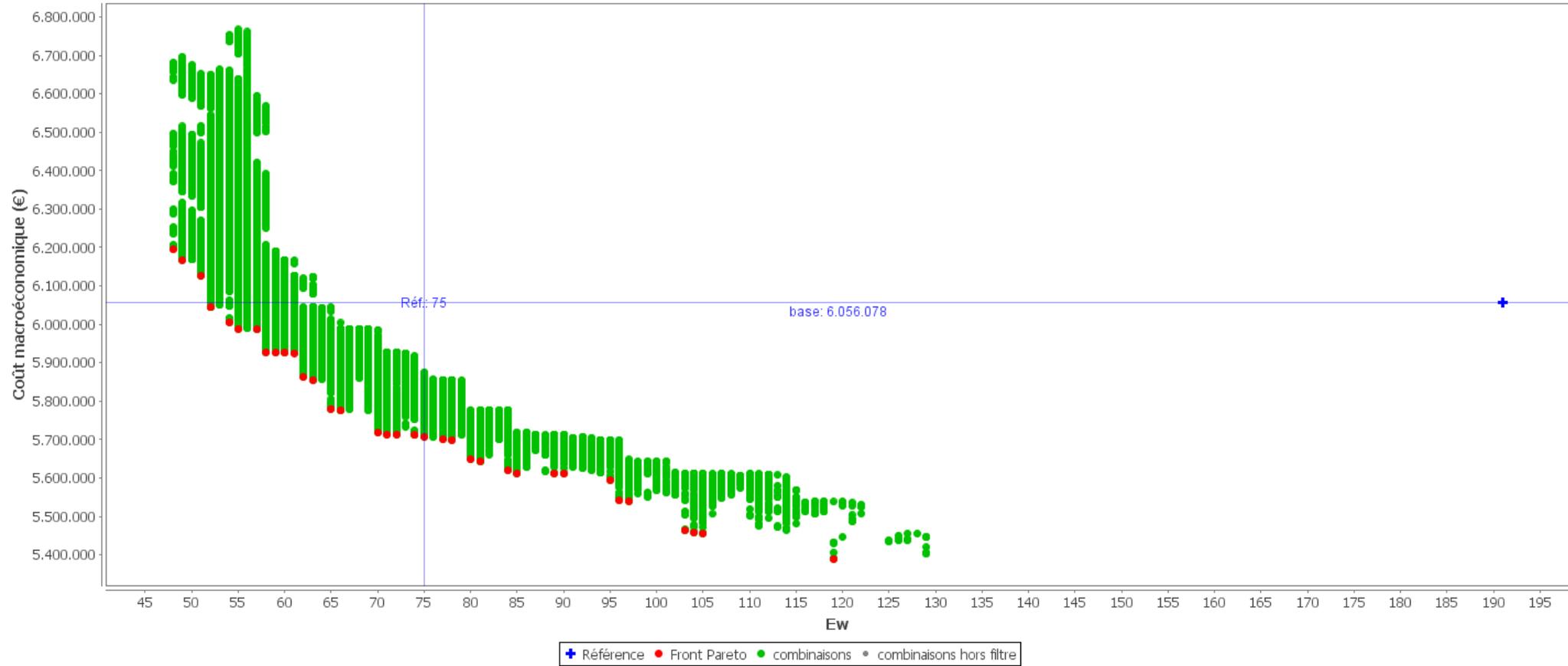


Figure 33: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE2

Tableau 112: Détail de combinaisons cost optimum sur le Front de Pareto (Ew – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
333131 Châssis 0.95/0.6/0.5(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15), Toiture 0.20(T0.20), Vent D(Système de ventilation [zv12]),ECS Ch-eau Gaz(Ch-eau gaz sans ballon),Eclairage LED(Eclairage73),Froid Clim air-air 4(Clim air-air EER 4 c (F1,M1,T2)
340112 Ch Gaz VC(CCgaz VC BT AIR-EAU s/tampon),ECS Ch-eau Gaz(Ch-eau gaz sans ballon),Eclairage LED(Eclairage73),Froid Clim air-air 4(Clim air-air EER 4 central AIR)
base

5.31. BUE3 - Petit bureau existant (1984)

Tableau 113: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE3 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EX_T	U_AVG_FLOOR	LIGHT_FINAL_NEEDS	HEAT_NET_NEEDS	COOL_NET_NEEDS	PROTECTION SOLAIRE	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
295994	0,85	0,5	0,15	0,15	878	2053	146		GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	667	2	15	37	29.513,00 €	146.837,00 €	154.813,00 €
297906	0,85	0,5	0,2	0,15	878	2150	143		GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	699	2	16	38	29.060,00 €	146.571,00 €	154.488,00 €
298373	1,43	0,63	0,15	0,15	878	2507	185		GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	815	2	19	41	27.511,00 €	145.707,00 €	153.434,00 €
295727	1,43	0,63	0,2	0,15	878	2604	182		GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	846	2	20	42	27.058,00 €	145.439,00 €	153.108,00 €
296389	1,43	0,63	0,2	0,24	878	3169	168		GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1030	2	24	46	25.774,00 €	145.242,00 €	152.855,00 €
298826	2,92	0,77	0,15	0,15	878	3493	204	PS MOBILE	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1135	2	28	48	19.680,00 €	139.769,00 €	146.225,00 €
296689	2,92	0,77	0,2	0,15	878	3590	202	PS MOBILE	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1167	2	28	49	19.226,00 €	139.502,00 €	145.899,00 €
295925	0,85	0,5	0,15	0,15	878	2053	146		CHAUDIERE NON A CONDENSATION	2839	2	15	51	22.217,00 €	139.064,00 €	144.881,00 €
298633	0,85	0,5	0,2	0,15	878	2150	143		CHAUDIERE NON A CONDENSATION	2973	2	16	52	21.758,00 €	138.762,00 €	144.502,00 €
296985	1,43	0,63	0,15	0,15	878	2507	185		CHAUDIERE NON A CONDENSATION	3467	2	19	56	20.194,00 €	137.775,00 €	143.256,00 €
299646	1,43	0,63	0,2	0,15	878	2604	182		CHAUDIERE NON A CONDENSATION	3600	2	20	58	19.734,00 €	137.473,00 €	142.876,00 €
296102	2,92	0,77	0,58	0,15	878	5158	174	PS MOBILE	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1676	8,5	34	60	12.937,00 €	136.223,00 €	141.894,00 €
296724	2,92	0,77	0,58	0,24	878	5712	168	PS MOBILE	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1856	8,5	38	64	11.654,00 €	136.004,00 €	141.615,00 €
296720	2,92	0,77	0,15	0,15	878	2689	436	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	3718	2	28	66	15.871,00 €	135.538,00 €	140.502,00 €
299161	2,92	0,77	0,2	0,15	878	2785	418	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	3851	2	28	67	15.411,00 €	135.234,00 €	140.120,00 €
298055	2,92	0,77	0,15	0,15	878	3493	204	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	4830	2	28	68	12.307,00 €	131.484,00 €	135.502,00 €
299115	2,92	0,77	0,2	0,15	878	3590	202	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	4964	2	28	69	11.847,00 €	131.181,00 €	135.122,00 €
299683	2,92	0,77	0,15	0,24	878	4057	192	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	5610	2	32	74	10.992,00 €	131.081,00 €	134.934,00 €
296262	2,92	0,77	0,2	0,24	878	4154	190	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	5744	2	33	75	10.532,00 €	130.779,00 €	134.555,00 €
295516	2,92	0,77	0,58	0,15	878	5158	174	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	7132	8,5	34	87	5.423,00 €	127.293,00 €	130.193,00 €
297196	2,92	0,77	0,58	0,24	878	5712	168	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	7899	8,5	38	93	4.108,00 €	126.875,00 €	129.608,00 €
base	2,92	0,77	0,58	0,55	2855	7429	135	PS MOBILE	CHAUDIERE NON A CONDENSATION	10273	8,5	54	154	0,00 €	138.836,00 €	143.880,00 €

Figure 34: Front de Pareto des combinaisons enveloppe du BUE3 et détail des combinaisons sur le Front de Pareto

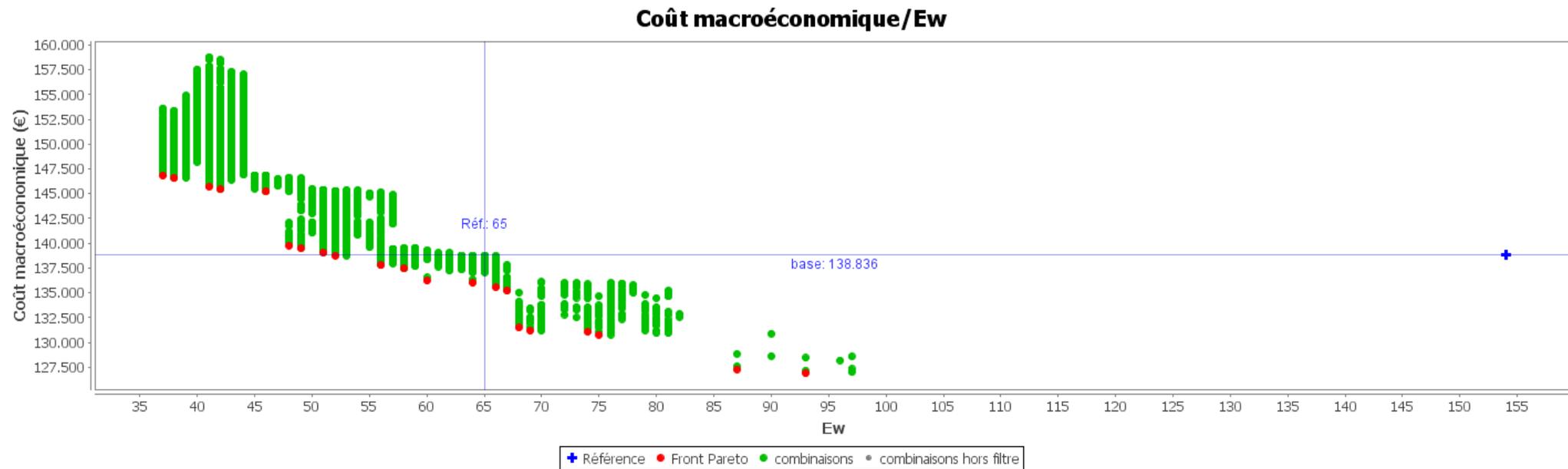


Figure 35: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE3

Tableau 114: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)

COMBINAISON
295727 Châssis 1.7/1.1/0.63 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Pext2), Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20,MI1.0), Plancher 0.15(PICave0.15),Ch PAC air-air 3.2(PAC air-air noR 3.2),ECS Rélec ballon(R elec ballon),Eclairage
296724 Plancher 0.24(PICave0.24),Ch PAC air-air 3.2(PAC air-air noR 3.2),ECS Rélec ballon(R elec ballon),Eclairage LED(Eclairage73) (S1)
297196 Plancher 0.24(PICave0.24),ECS Rélec ballon(R elec ballon),Eclairage LED(Eclairage73) (S1)
base

5.32.BUE4 - Bureau existant (1996)

Tableau 115: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE4 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBIN AISON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG _FLOOR	LIGHT FINAL_ NEEDS	HEAT_N ET_NEE DS	COOL_ NET_N EEDS	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_TYPE	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	V50	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
99143	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	20244	28248	26160		HEAT_PUMP	9181	2	55	658.912 €	4.092.224 €	4.272.151 €
121535	1,36	0,5	0,15	0,15	0,15	20244	33666	23099		HEAT_PUMP	10941	2	56	635.150 €	4.078.097 €	4.255.853 €
97631	0,85	0,5	0,2	0,48	0,15	20244	38634	21194		HEAT_PUMP	12556	2	57	589.527 €	4.041.526 €	4.212.070 €
108575	1,36	0,5	0,15	0,48	0,15	20244	46223	18094		HEAT_PUMP	15023	2	59	560.585 €	4.026.368 €	4.194.496 €
115593	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	20244	23887	28790		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	33950	2	60	567.041 €	3.986.926 €	4.140.404 €
100041	0,85	0,5	0,2	0,15	0,15	20244	26417	27244		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	37547	2	61	558.148 €	3.981.930 €	4.134.361 €
99177	0,85	0,5	0,2	0,2	0,15	20244	28248	26160		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	40149	2	62	552.828 €	3.979.435 €	4.131.338 €
105982	2,49	0,63	0,2	0,15	0,15	20244	57789	18973	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	HEAT_PUMP	18781	2	63	488.515 €	3.976.737 €	4.133.877 €
119301	1,36	0,5	0,15	0,2	0,15	20244	35567	22204		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	50552	2	65	523.297 €	3.961.273 €	4.109.253 €
113217	0,85	0,5	0,15	0,48	0,15	20244	35977	22288		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	51135	2	66	491.131 €	3.929.802 €	4.071.096 €
97665	0,85	0,5	0,2	0,48	0,15	20244	38634	21194		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	54911	2	67	482.238 €	3.925.104 €	4.065.291 €
97449	0,85	0,5	0,2	0,48	0,24	20244	41549	20390		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	59054	2	69	477.220 €	3.924.768 €	4.064.654 €
108609	1,36	0,5	0,15	0,48	0,15	20244	46223	18094		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	65698	2	71	452.708 €	3.907.556 €	4.043.709 €
93057	1,36	0,5	0,2	0,48	0,15	20244	48950	17251		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	69573	2	72	443.815 €	3.903.023 €	4.038.033 €
94029	1,43	0,63	0,2	0,48	0,15	20244	48166	23358		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	68459	2	73	440.260 €	3.899.423 €	4.032.270 €
129848	0,85	0,5	0,51	0,15	0,15	20244	52681	16683		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	74876	7	74	431.713 €	3.897.007 €	4.030.346 €
91833	2,49	0,63	0,51	0,48	0,15	20244	97654	11320	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	HEAT_PUMP	31737	7	75	304.901 €	3.868.168 €	4.003.926 €
121676	2,49	0,63	0,15	0,15	0,15	20244	55036	19828	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	78223	2	77	386.795 €	3.856.658 €	3.980.387 €
106016	2,49	0,63	0,2	0,15	0,15	20244	57789	18973	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	82136	2	78	377.902 €	3.852.166 €	3.974.759 €
103856	2,49	0,63	0,2	0,2	0,15	20244	59736	18381	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	84903	2	79	372.581 €	3.849.960 €	3.971.952 €
101695	2,49	0,63	0,2	0,24	0,15	20244	61290	17938	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	87112	2	80	369.921 €	3.849.791 €	3.971.630 €
127472	0,85	0,5	0,51	0,48	0,15	20244	65457	13499		CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	93035	7	81	355.803 €	3.841.680 €	3.962.318 €
108716	2,49	0,63	0,15	0,48	0,15	20244	67753	16271	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	96298	2	83	310.885 €	3.801.154 €	3.912.248 €
93164	2,49	0,63	0,2	0,48	0,15	20244	70503	15668	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	100207	2	85	301.992 €	3.796.708 €	3.906.615 €
92624	2,49	0,63	0,2	0,48	0,24	20244	73487	15231	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	104448	2	87	296.974 €	3.796.560 €	3.906.107 €
108501	2,49	0,63	0,15	0,48	0,15	20244	67753	16271	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	96298	2	88	290.725 €	3.794.540 €	3.901.629 €
92949	2,49	0,63	0,2	0,48	0,15	20244	70503	15668	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	100207	2	90	281.832 €	3.789.563 €	3.895.450 €
92409	2,49	0,63	0,2	0,48	0,24	20244	73487	15231	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	104448	2	91	276.814 €	3.789.031 €	3.894.546 €
134851	2,49	0,63	0,51	0,15	0,15	20244	84827	13102	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	120566	7	93	251.467 €	3.769.467 €	3.872.188 €
133015	2,49	0,63	0,51	0,2	0,15	20244	86792	12799	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	123359	7	94	246.146 €	3.767.350 €	3.869.414 €
131286	2,49	0,63	0,51	0,24	0,15	20244	88365	12566	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	125594	7	95	243.485 €	3.767.255 €	3.869.127 €
132583	2,49	0,63	0,51	0,2	0,24	20244	89785	12505	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	127612	7	96	241.128 €	3.767.246 €	3.868.922 €
134636	2,49	0,63	0,51	0,15	0,15	20244	84827	13102	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	120566	7	97	231.307 €	3.760.065 €	3.858.702 €
108931	2,49	0,63	0,15	0,48	0,15	20244	92076	16271	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	130869	2	98	214.890 €	3.742.894 €	3.838.176 €
91867	2,49	0,63	0,51	0,48	0,15	20244	97654	11320	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	138796	7	100	175.556 €	3.714.508 €	3.804.253 €
91435	2,49	0,63	0,51	0,48	0,24	20244	100643	11068	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	143046	7	102	170.539 €	3.714.408 €	3.803.756 €
91652	2,49	0,63	0,51	0,48	0,15	20244	97654	11320	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	138796	7	104	155.396 €	3.703.530 €	3.789.148 €
91220	2,49	0,63	0,51	0,48	0,24	20244	100643	11068	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	143046	7	105	150.379 €	3.703.208 €	3.788.423 €
134527	2,49	0,63	0,51	0,15	0,15	20244	109225	13102	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	155243	7	112	135.311 €	3.701.930 €	3.784.770 €
132799	2,49	0,63	0,51	0,2	0,15	20244	111197	12799	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	158045	7	113	129.991 €	3.699.556 €	3.781.733 €
132367	2,49	0,63	0,51	0,2	0,24	20244	114195	12505	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	162306	7	114	124.973 €	3.699.200 €	3.780.983 €
92082	2,49	0,63	0,51	0,48	0,15	20244	122081	11320	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	173515	7	115	79.561 €	3.656.421 €	3.730.375 €
91650	2,49	0,63	0,51	0,48	0,24	20244	125073	11068	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	177767	7	117	74.543 €	3.656.325 €	3.729.882 €
91651	2,49	0,63	0,51	0,48	0,15	20244	122081	11320	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	173515	7	118	59.401 €	3.645.443 €	3.715.270 €
91219	2,49	0,63	0,51	0,48	0,24	20244	125073	11068	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	177767	7	120	54.383 €	3.645.124 €	3.714.549 €
base	2,49	0,63	0,51	0,48	0,59	65794	130918	12394	WINDOW_SOLAR_PROTECTION_MOBILE	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	186075	7	173	- €	3.868.438 €	3.979.928 €

Coût macroéconomique/Ew

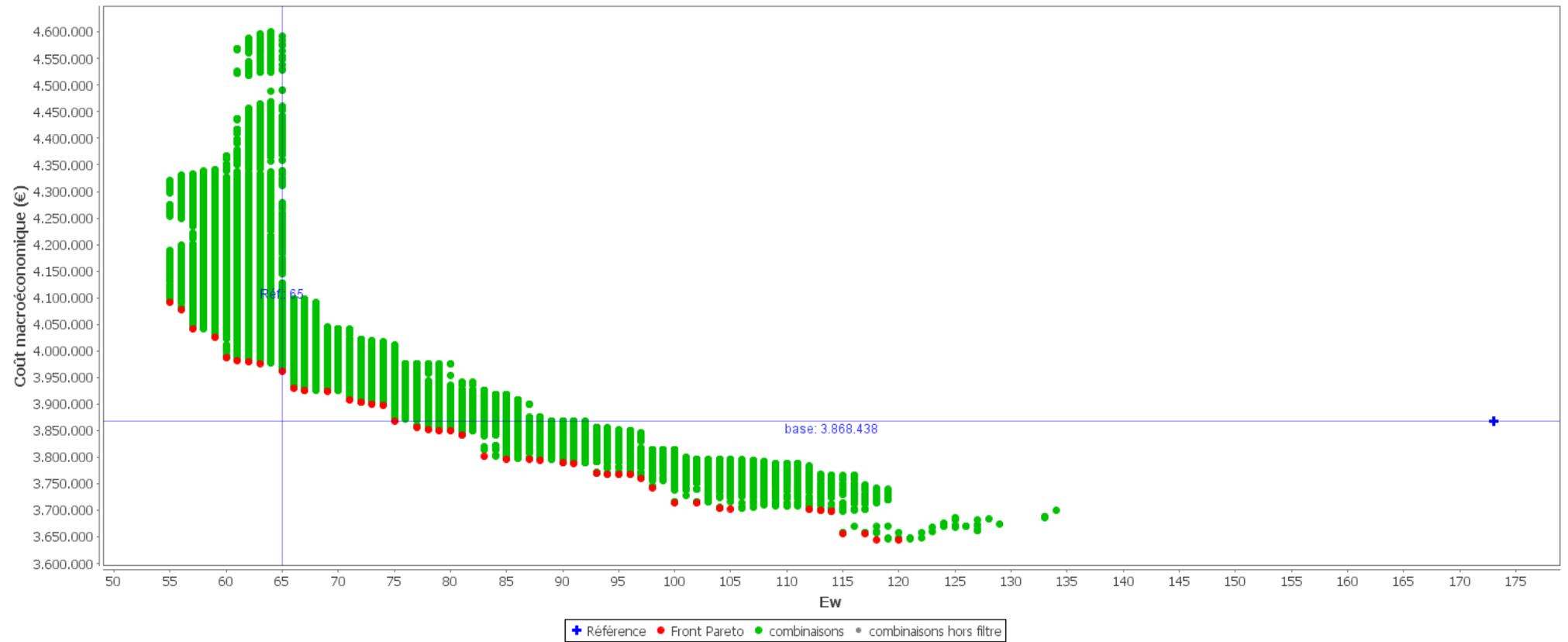


Figure 36: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE4

Tableau 116: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
119301 Châssis 1.7/1.0/0.5(Ch1.7-DV1.0/0.5-WE), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15), Plancher 0.15(PICave0.15), Toit 0.20(T0.20,TP0.20), Vent D(Système de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage73),Froid Clim Air-Air EER4(Clim air-air EER 4 central (F1,M1,S1,T2,T3)
91219 Plancher 0.24(PICave0.24),Eclairage LED(Eclairage73) (S1)
base

5.33.BUE5 - Bureau existant (<1945)

Tableau 117: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE5 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	LIGHT_FINAL_NEEDS	HEAT_NET_N_EEDS	COOL_NET_N_EEDS	WINDOW_SO_LAR_PROTECTION_TYPE	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN
79991	1,08	0,53	0,15	0,15	0,15	1883	5546	4060	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1802	2	45	96.310 €	229.353 €	253.615 €
79794	1,08	0,53	0,15	0,2	0,15	1883	5889	3889	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	1914	2	46	95.648 €	229.307 €	253.604 €
78637	1,08	0,53	0,15	0,15	0,15	1883	7210	3902	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	2343	2	47	87.481 €	221.874 €	244.589 €
79546	1,08	0,53	0,15	0,2	0,15	1883	7565	3742	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	2459	2	48	86.820 €	221.853 €	244.605 €
78690	1,08	0,53	0,15	0,48	0,15	1883	7883	3122	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	2562	2	49	74.641 €	211.935 €	232.769 €
79707	1,08	0,53	0,15	0,48	0,15	1883	9569	2991	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	3110	2	50	67.136 €	205.773 €	225.408 €
79088	1,08	0,53	0,15	0,48	0,15	1883	9569	2991	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	3110	2	51	66.743 €	205.447 €	224.933 €
77363	1,52	0,53	0,15	0,48	0,15	1883	11651	2621	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	3787	2	55	57.753 €	200.361 €	218.842 €
79505	1,57	0,63	0,15	0,48	0,15	1883	11480	3403	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	3731	2	56	57.335 €	199.745 €	217.943 €
79978	1,57	0,63	0,15	0,48	0,15	1883	11480	3403	PS_FIXES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	3731	2	57	56.941 €	199.419 €	217.467 €
77379	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	17018	1461	PS_MOBILES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	5531	2	67	37.891 €	192.346 €	209.421 €
79173	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	17018	1461	PS_MOBILES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	5531	2	68	37.497 €	192.019 €	208.946 €
80211	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	18752	1428	PS_MOBILES	GENERATOR_TYPE_HEAT_PUMP	6095	2	70	29.599 €	185.644 €	201.220 €
77904	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	17018	1461	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	20239	2	87	36.847 €	182.540 €	195.614 €
77699	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	18752	1428	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	22301	2	91	28.949 €	175.248 €	186.607 €
80208	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	18752	1428	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	21315	2	97	23.849 €	169.677 €	178.895 €
80251	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	18752	1428	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	27022	2	112	15.871 €	169.121 €	177.545 €
79230	3,52	0,77	0,15	0,48	0,15	1883	18752	1428	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	28760	2	121	10.771 €	165.744 €	172.788 €
base	3,52	0,77	0,56	0,48	0,92	6121	28779	1239	PS_MOBILES	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	44137	12	195	- €	197.583 €	209.593 €

Coût macroéconomique/Ew

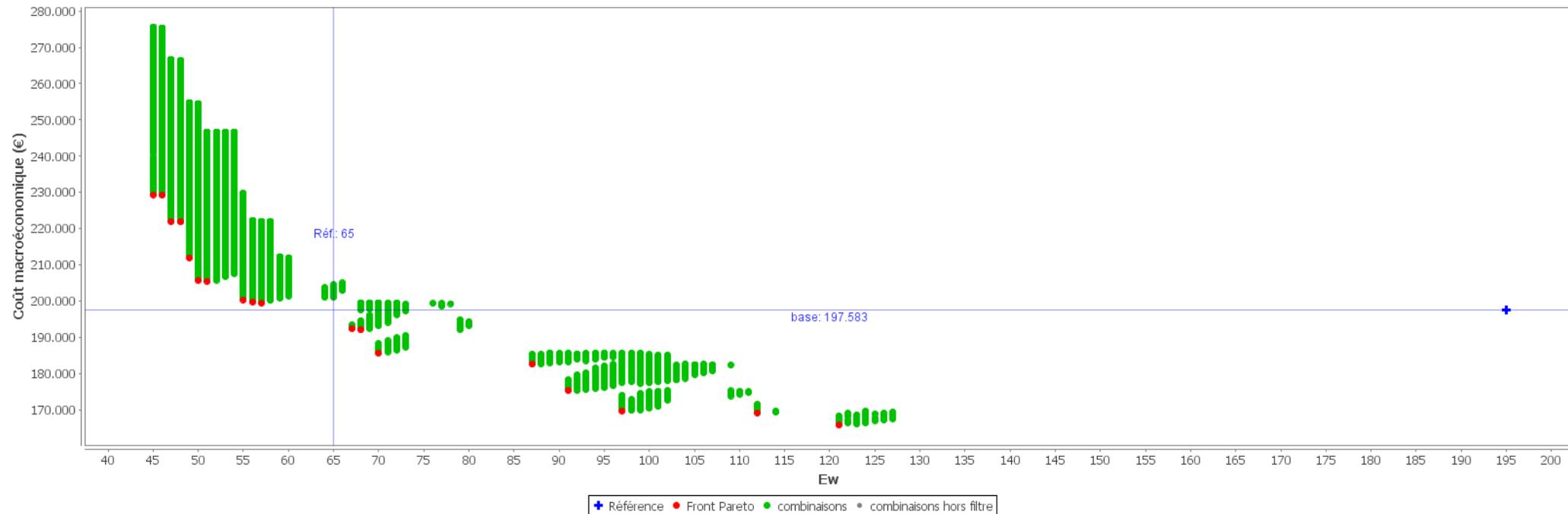


Figure 37: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE5

Tableau 118: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
79991 Châssis 0.95/0.6/0.5 + Ftoit 2 +Pext0.8 +Pcave0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pcave0.8,Pext0.8), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,MI1.0,Mcave0.15), Plancher 0.15(PICave0.15,PISol0.15), Toit 0.15(T0.15), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Ch P (F4,M12,P3-P,S1,T2)
79230 Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,MI1.0,Mcave0.15), Plancher 0.15(PICave0.15,PISol0.15),Eclairage LED(Eclairage73) (M12,S1)
base

5.34.BUN1 - Bâtiment de bureau 4 façades, neuf

Tableau 119: combinaisons enveloppe-systèmes du BUN1 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBI	U_AVG_W INDOW	G_AVG	U_AVG_W ALL_EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG FLOOR	LIGHT_FIN AL_NEEDS	HEAT_NET NEEDS	COOL_NE T_NEEDS	HEAT_FINAL_ TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_K	LEVEL_E	INVESTMENT_C _ECO	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
76951 C	0,86	0,5	0,15	0,2	0,15	12410	35053	14456	44167	2	21	45	166.029 €	3.648.032 €	3.705.405 €
76955 C	0,86	0,5	0,15	0,2	0,15	12410	35053	14456	44167	2	21	45	166.029 €	3.648.032 €	3.705.405 €
79862 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	37569	14091	47277	2	23	46	153.862 €	3.639.429 €	3.694.769 €
79863 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	37569	14091	47277	2	23	46	153.862 €	3.639.429 €	3.694.769 €
76829 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	37569	14091	48593	2	23	47	150.967 €	3.637.155 €	3.691.882 €
76830 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	37569	14091	48593	2	23	47	150.967 €	3.637.155 €	3.691.882 €
77480 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,24	12410	41029	13744	52997	2	25	48	140.684 €	3.631.960 €	3.685.217 €
77481 C	0,86	0,5	0,22	0,2	0,24	12410	41029	13744	52997	2	25	48	140.684 €	3.631.960 €	3.685.217 €
77438 C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,15	12410	44624	12802	55987	2	27	49	132.106 €	3.627.614 €	3.679.890 €
77439 C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,15	12410	44624	12802	55987	2	27	49	132.106 €	3.627.614 €	3.679.890 €
75931 C	1,36	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	47174	12596	59148	2	28	50	121.024 €	3.620.216 €	3.670.653 €
75933 C	1,36	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	47174	12596	59148	2	28	50	121.024 €	3.620.216 €	3.670.653 €
77196 C	1,36	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	47174	12596	60795	2	28	51	117.534 €	3.617.713 €	3.667.455 €
77226 C	1,36	0,5	0,22	0,2	0,15	12410	47174	12596	60795	2	28	51	117.534 €	3.617.713 €	3.667.455 €
76953 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,15	12410	49739	12374	64060	2	29	52	110.302 €	3.614.263 €	3.662.988 €
76954 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,15	12410	49739	12374	64060	2	29	52	110.302 €	3.614.263 €	3.662.988 €
77764 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,24	12410	53041	12117	66416	2	31	53	103.884 €	3.611.513 €	3.659.464 €
77768 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,24	12410	53041	12117	66416	2	31	53	103.884 €	3.611.513 €	3.659.464 €
78888 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,24	12410	53041	12117	68266	2	31	54	100.019 €	3.608.859 €	3.656.063 €
78892 C	1,36	0,5	0,22	0,27	0,24	12410	53041	12117	68266	2	31	54	100.019 €	3.608.859 €	3.656.063 €
78859 M	2,14	0,62	0,15	0,15	0,15	12410	55433	14913	69508	2	33	55	59.309 €	3.571.368 €	3.609.595 €
78860 M	2,14	0,62	0,15	0,15	0,15	12410	55433	14913	69508	2	33	55	59.309 €	3.571.368 €	3.609.595 €
78553 M	2,14	0,62	0,15	0,2	0,15	12410	57260	14749	71770	2	34	56	44.338 €	3.559.019 €	3.594.453 €
78554 M	2,14	0,62	0,15	0,2	0,15	12410	57260	14749	71770	2	34	56	44.338 €	3.559.019 €	3.594.453 €
77859 M	2,14	0,62	0,22	0,2	0,15	12410	59800	14564	74919	2	36	57	32.171 €	3.550.512 €	3.583.869 €
77861 M	2,14	0,62	0,22	0,2	0,15	12410	59800	14564	74919	2	36	57	32.171 €	3.550.512 €	3.583.869 €
78485 M	2,14	0,62	0,22	0,2	0,24	12410	63099	14296	79006	2	37	58	22.097 €	3.545.184 €	3.577.049 €
78487 M	2,14	0,62	0,22	0,2	0,24	12410	63099	14296	79006	2	37	58	22.097 €	3.545.184 €	3.577.049 €
77147 M	2,14	0,62	0,22	0,27	0,24	12410	65663	13478	82157	2	39	59	15.030 €	3.541.625 €	3.572.639 €
77148 M	2,14	0,62	0,22	0,27	0,24	12410	65663	13478	82157	2	39	59	15.030 €	3.541.625 €	3.572.639 €
78290 M	2,14	0,62	0,22	0,27	0,24	12410	65663	13478	84445	2	39	60	10.250 €	3.538.537 €	3.568.667 €
78291 M	2,14	0,62	0,22	0,27	0,24	12410	65663	13478	84445	2	39	60	10.250 €	3.538.537 €	3.568.667 €
79749 F	2,14	0,62	0,33	0,27	0,24	12410	73414	12912	91763	4	41	63	972 €	3.536.791 €	3.565.896 €
79752 F	2,14	0,62	0,33	0,27	0,24	12410	73414	12912	91763	4	41	63	972 €	3.536.791 €	3.565.896 €
76617 F	2,14	0,62	0,33	0,27	0,24	12410	73414	12912	94319	4	41	64	6.194 €	3.533.559 €	3.561.724 €
76618 F	2,14	0,62	0,33	0,27	0,24	12410	73414	12912	94319	4	41	64	6.194 €	3.533.559 €	3.561.724 €
base	2,14	0,62	0,32	0,27	0,35	15948	76781	12840	99540	4	43	70	- €	3.568.576 €	3.602.348 €

Coût macroéconomique/Ew

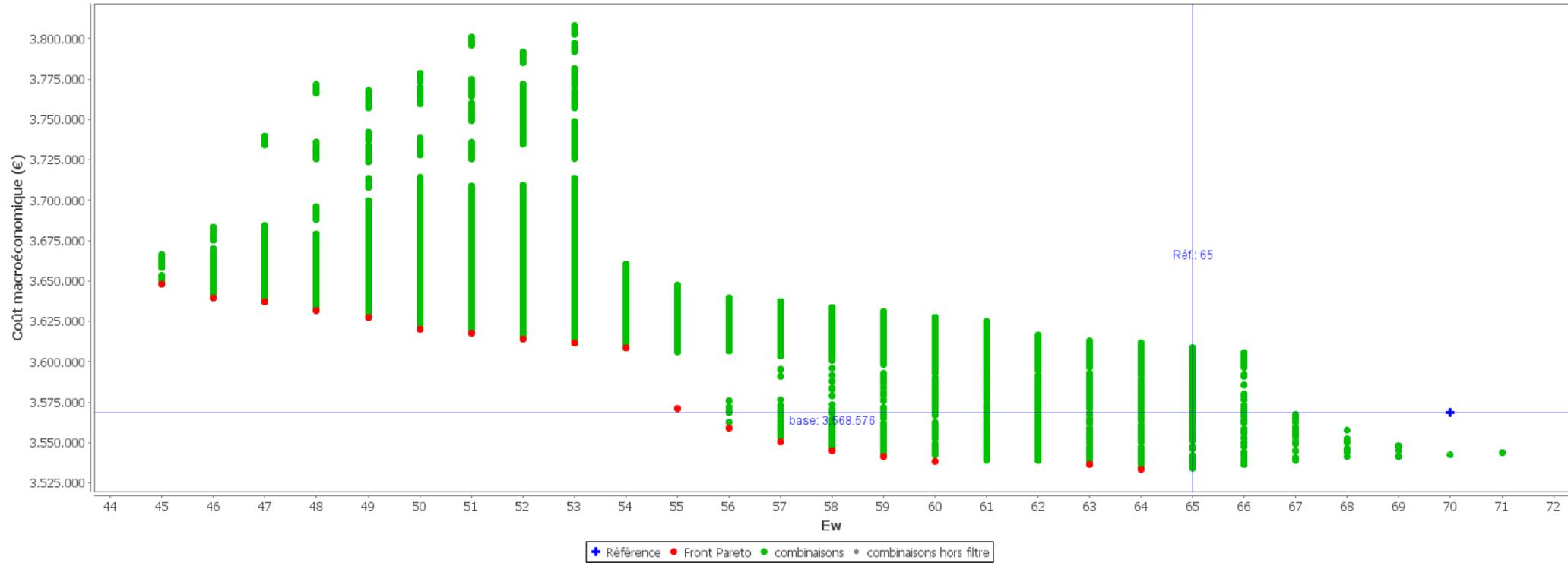


Figure 38: Front de Pareto des combinaisons enveloppe-systèmes du BUN1

Tableau 120: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
76951 Châssis 0.95/0.6/0.5 + Ftoit 2 +Peanc 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Peanc0.8), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,Meanc0.15,Ms0.15), Plancher 0.15(PIE0.15,PISol0.15,Pleanc0.15), Toit 0.20(T0.20,TPO.20),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-a (F1,Ftoit1,M13,M16,M3,P5-PVC,S1,S2,S5,T2,T3)
76955 Châssis 0.95/0.6/0.5 + Ftoit 2 +Peanc 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Peanc0.8), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,Meanc0.15,Ms0.15), Plancher 0.15(PIE0.15,PISol0.15,Pleanc0.15), Toit 0.20(T0.20,TPO.20),Eclairage LED(Eclairage75),Froid PAC air-ea (F1,Ftoit1,M13,M16,M3,P5-PVC,S1,S2,S5,T2,T3)
76618 Plancher 0.24(PIE0.24,PISol0.24,Pleanc0.24),Eclairage LED(Eclairage75),Froid PAC air-eau EER3(PAC air-eau EER 3 central AIR),Mix CCgaz VC NoStock(CCgaz VC HT + ECS SANS stockage, Systeme d'emission [CCgaz VC (+ECS) SANS stock AIR-EAU]) (F1,M13,M16,M3,S1,S2,S5,T2,T3)
base

5.35. EEI - Ecole maternelle/primaire (<1945) de surface < 5000 m²

Tableau 121: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE1 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBINAISON	U_AVG_WINDOW	G_AVG	U_AVG_WALL_EXT	U_AVG_ROOF	U_AVG_FLOOR	LIGHT_FI_NAL_NE_EDS	HEAT_NET_NEE_DS	COOL_NET_N_EEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINAL_TOTAL_NEEDS	V50	LEVEL_E	INVESTMENT_COST	COST_MACRO_ECO	COST_FIN	
314197	0,86	0,5	0,15	0,15	0,15	6793	26754	5774	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	32105	2	40	709.597 €	1.541.491 €	1.713.954 €	
312723	0,86	0,5	0,15	0,24	0,15	6793	29932	5287	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	35919	2	41	629.919 €	1.466.195 €	1.622.555 €	
313765	0,86	0,5	0,2	0,2	0,15	6793	31441	5173	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37729	2	42	625.069 €	1.463.443 €	1.619.065 €	
313648	0,86	0,5	0,15	0,15	0,15	6793	50794	932	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	60953	2	43	582.939 €	1.399.822 €	1.541.043 €	
314316	0,86	0,5	0,15	0,2	0,15	6793	52623	926	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	63147	2	44	506.093 €	1.325.539 €	1.450.937 €	
313886	0,86	0,5	0,2	0,2	0,15	6793	55642	915	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	66770	2	45	498.410 €	1.322.087 €	1.446.392 €	
313463	0,86	0,5	0,24	0,2	0,15	6793	58039	907	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	69646	2	46	493.416 €	1.320.451 €	1.444.120 €	
314446	1,43	0,63	0,15	0,2	0,15	6793	58755	1160	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	70506	2	47	480.244 €	1.308.586 €	1.429.553 €	
314024	1,43	0,63	0,2	0,2	0,15	6793	61755	1147	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	74105	2	48	472.561 €	1.305.103 €	1.424.974 €	
313583	0,86	0,5	0,15	0,2	0,53	6793	65256	883	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	78307	2	49	460.654 €	1.297.534 €	1.415.721 €	
312880	0,86	0,5	0,15	0,24	0,53	6793	66722	879	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	80066	2	50	442.823 €	1.282.026 €	1.396.568 €	
312338	0,86	0,5	0,2	0,2	0,53	6793	68280	874	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	81936	2	51	437.972 €	1.279.359 €	1.393.151 €	
312516	0,86	0,5	0,24	0,2	0,53	6793	70679	867	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	84815	2	52	432.978 €	1.277.727 €	1.390.884 €	
313634	1,43	0,63	0,15	0,24	0,53	6793	72761	1104	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	87313	2	53	416.974 €	1.264.931 €	1.375.027 €	
313095	1,43	0,63	0,2	0,2	0,53	6793	74310	1097	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	89171	2	54	412.123 €	1.262.248 €	1.371.594 €	
313260	1,43	0,63	0,24	0,2	0,53	6793	76694	1088	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	92032	2	55	407.129 €	1.260.593 €	1.369.302 €	
314072	3,42	0,81	0,15	0,2	0,15	6793	79603	1571	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	95523	2	56	399.490 €	1.256.672 €	1.364.335 €	
313141	3,42	0,81	0,15	0,24	0,15	6793	81045	1565	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	97254	2	57	381.658 €	1.241.804 €	1.345.797 €	
312640	3,42	0,81	0,2	0,2	0,15	6793	82578	1556	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	99094	2	58	376.808 €	1.239.098 €	1.342.338 €	
313361	3,42	0,81	0,2	0,2	0,24	6793	85429	1542	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	102514	2	59	369.491 €	1.235.770 €	1.337.966 €	
313548	3,42	0,81	0,24	0,2	0,24	6793	87791	1530	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	105349	2	60	364.497 €	1.234.081 €	1.335.637 €	
314203	3,42	0,81	0,24	0,24	0,24	6793	89235	1524	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	107081	2	61	361.666 €	1.233.271 €	1.334.481 €	
313122	3,42	0,81	0,15	0,2	0,53	6793	92050	1510	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	110460	2	62	324.052 €	1.199.596 €	1.293.394 €	
313821	3,42	0,81	0,15	0,24	0,53	6793	93494	1504	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	112193	2	63	321.220 €	1.198.787 €	1.292.240 €	
314538	3,42	0,81	0,2	0,24	0,53	6793	96475	1490	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	115769	2	64	313.538 €	1.195.276 €	1.287.630 €	
312814	3,42	0,81	0,24	0,24	0,53	6793	98839	1479	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	118606	2	65	308.544 €	1.193.591 €	1.285.306 €	
313360	E	3,42	0,81	1,39	1,54	0,53	6793	234139	0	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	280965	15	126	104.024 €	1.177.409 €	1.249.760 €
base		3,42	0,81	1,39	1,54	0,53	22077	231667	0	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	412259	15	196	- €	1.420.485 €	1.502.607 €

Coût macroéconomique/Ew

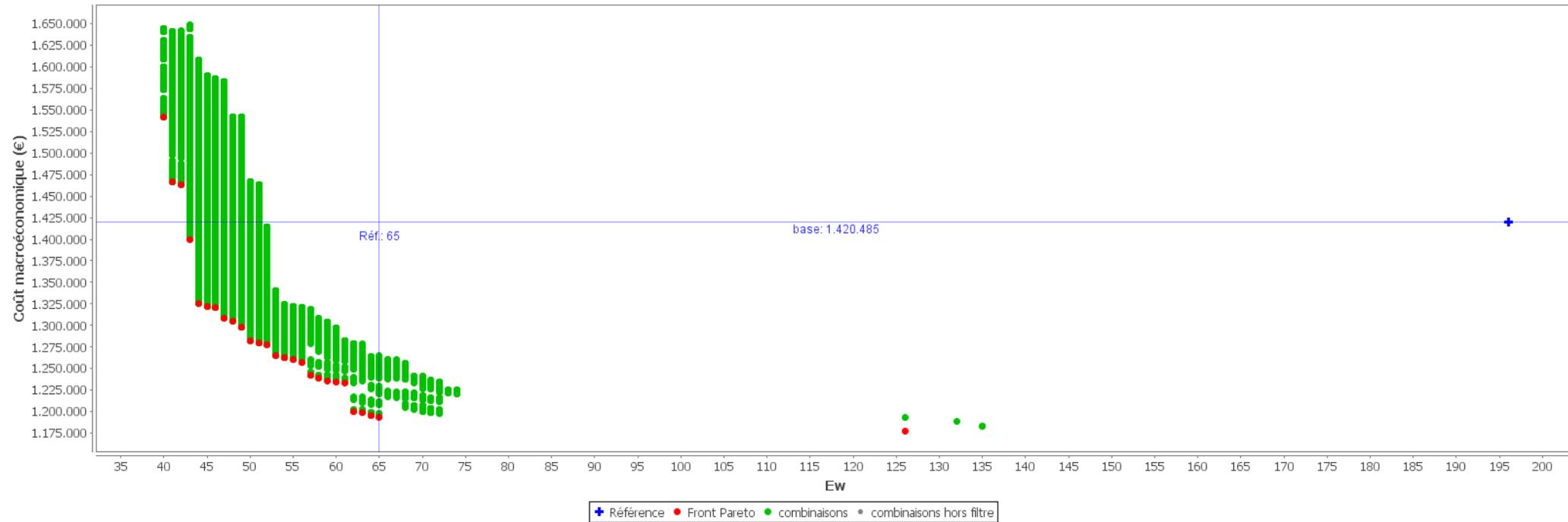


Figure 39: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE1

Tableau 122: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
313886 Châssis 0.95/0.6/0.5 +Ftoit 2 +Porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Ftoit 2,Pext0.8), Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20,Mcave0.2,Ms0.20), Plancher 0.15(PICave0.15,PIsol0.15), Toit 0.20(PfGr0.2,T0.20,TP0.20),Eclairage LED(Eclairage73),Mix CCgaz Rad NoSt (F1,F4,H1,M1,M12,P2-P,S1,S4,T2,T3)
312814 Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.24,Mcave0.24,Ms0.24), Toit 0.24(PfGr0.24,T0.24,TP0.24),Eclairage LED(Eclairage73),Mix CCgaz Rad NoStock(CCgaz rad + ECS SANS stockage, Systeme d'emission [CCgaz rad (+ECS) SANS stockage]) (H1,M1,M12,T2,T3)
313360 Eclairage LED(Eclairage73),Mix CCgaz Rad NoStock(CCgaz rad + ECS SANS stockage, Systeme d'emission [CCgaz rad (+ECS) SANS stockage])
base

5.36. EE2 - Ecole maternelle primaire (1950) de surface < 5000 m²

Tableau 123: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE2 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBIN AISON	U_AVG_ WINDOW	G_AVG	U_AVG_ _WALL EXT	U_AVG_ FLOOR	U_AVG_C EILING	LIGHT_FI NAL_NEE DS	HEAT_NET NEEDS	COOL_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL NEEDS	V50	LEVEL_ E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO ECO	COST_FIN
314283 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	10041	27737	12900	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	34211	2	35	631.719 €	2.022.391 €	2.175.324 €
317741 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	10041	30250	12054	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	37311	2	36	623.843 €	2.017.973 €	2.169.860 €
314495 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	10041	32794	12054	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	39353	2	37	617.915 €	2.015.392 €	2.166.527 €
318907 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	10041	27737	12900	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	38354	2	38	582.307 €	1.973.520 €	2.126.373 €
317987 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,24	10041	30258	12900	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	41840	2	39	572.445 €	1.967.070 €	2.119.131 €
318703 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	10041	43765	11676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	52518	2	40	553.913 €	1.951.977 €	2.088.671 €
317755 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,24	10041	46392	11676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	55670	2	41	544.431 €	1.946.186 €	2.081.339 €
314828 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	10041	49018	10993	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	58822	2	42	536.722 €	1.942.032 €	2.076.153 €
317152 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	10041	49018	10993	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	60460	2	43	533.880 €	1.940.176 €	2.073.739 €
315742 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	10041	43765	11676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	60517	2	44	500.566 €	1.898.530 €	2.039.644 €
317806 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	10041	46383	10993	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	64137	2	45	492.899 €	1.894.270 €	2.035.239 €
314792 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,24	10041	46392	11676	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	64149	2	46	491.124 €	1.892.643 €	2.033.107 €
316808 C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	10041	49018	10993	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	67781	2	47	483.038 €	1.887.975 €	2.028.209 €
315238 C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	10041	52479	10075	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	72566	2	48	476.440 €	1.885.883 €	2.026.664 €
314377 C	1,36	0,5	0,15	0,15	0,15	10041	54294	9292	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	75076	2	49	462.518 €	1.874.261 €	2.013.196 €
316720 C	1,43	0,63	0,15	0,15	0,2	10041	54565	13483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	75451	2	50	455.467 €	1.868.393 €	2.005.169 €
318723 C	1,43	0,63	0,15	0,15	0,24	10041	55723	13483	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	77052	2	51	449.412 €	1.863.910 €	2.000.003 €
315816 C	1,43	0,63	0,15	0,24	0,24	10041	58323	12755	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	80647	2	52	441.325 €	1.859.206 €	1.995.057 €
317894 C	1,43	0,63	0,15	0,3	0,24	10041	60167	12401	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	83198	2	53	438.495 €	1.858.801 €	1.995.063 €
314256 C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,24	10041	61747	12116	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	85382	2	54	433.047 €	1.855.435 €	1.991.412 €
317573 C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,24	10041	64493	11663	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	89179	2	55	426.634 €	1.852.645 €	1.988.759 €
314716 C	1,43	0,63	0,24	0,3	0,24	10041	66345	11432	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	91740	2	56	423.803 €	1.852.276 €	1.988.780 €
315099 C	1,36	0,5	0,24	0,24	0,24	10041	66072	8189	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	91362	2	58	415.536 €	1.850.298 €	1.985.241 €
316864 C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,24	10041	64493	11663	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	89179	2	59	411.850 €	1.848.490 €	1.981.096 €
317558 C	1,43	0,63	0,24	0,3	0,24	10041	66345	11432	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	91740	2	60	409.019 €	1.847.899 €	1.980.901 €
315855 N	5,11	0,87	0,15	0,15	0,15	10041	119869	14795	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	165751	2	85	324.990 €	1.826.670 €	1.968.930 €
314888 N	5,11	0,87	0,15	0,15	0,24	10041	122462	14795	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	169337	2	86	315.129 €	1.820.317 €	1.961.823 €
316951 N	5,11	0,87	0,15	0,24	0,24	10041	125048	14620	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	172913	2	88	307.042 €	1.815.696 €	1.956.849 €
315960 N	5,11	0,87	0,2	0,24	0,24	10041	128447	14401	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	177613	2	89	298.764 €	1.811.974 €	1.953.158 €
317999 N	5,11	0,87	0,2	0,3	0,24	10041	130280	14286	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	180147	2	90	295.934 €	1.811.601 €	1.953.143 €
314905 N	5,11	0,87	0,24	0,24	0,24	10041	131168	14233	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	181375	2	91	292.351 €	1.809.208 €	1.950.458 €
316985 N	5,11	0,87	0,24	0,3	0,24	10041	133001	14121	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	183910	2	92	289.520 €	1.808.836 €	1.950.445 €
318499 N	5,11	0,87	0,24	0,24	0,24	10041	131168	14233	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	181375	2	96	277.567 €	1.807.547 €	1.945.222 €
314312 N	5,11	0,87	0,24	0,3	0,24	10041	133001	14121	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	183910	2	97	274.736 €	1.807.069 €	1.945.104 €
base	5,11	0,87	2	1,39	1,29	32633	341103	5384	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	577015	15	263	- €	2.148.325 €	2.271.320 €

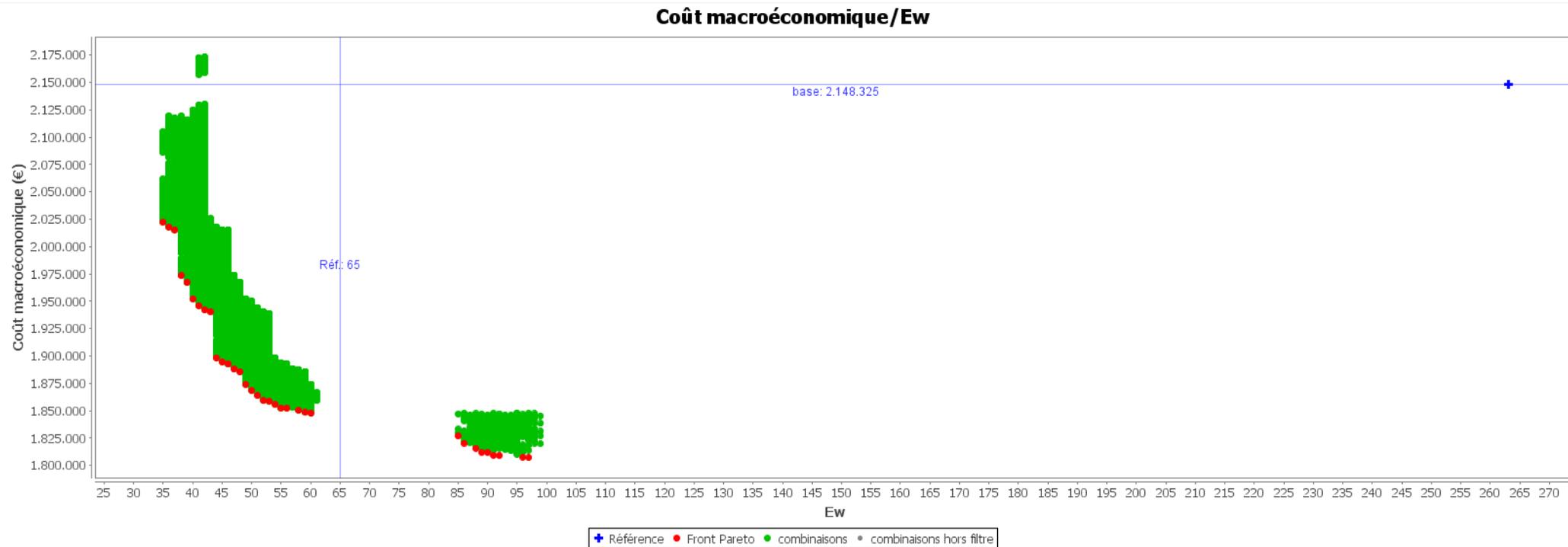


Figure 40: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE2

Tableau 124: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
317806 Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,Meanc0.15), Plafond 0.15(PfGr0.15), Plancher 0.24(Plv0.24),Eclairage LED(Eclairage73),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix CN (F1,H2,M1,M14,P2-P,S3)
314312 Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.24,Meanc0.24), Plafond 0.24(PfGr0.24), Plancher 0.30(Plv0.30),Eclairage LED(Eclairage73),Mix CNCbio Rad/VC Stock(CNC bio surf/rad +ECS stockage) (H1,M1,M14,S3)
base

5.37.EE3 - Ecole secondaire (>1970) surface comprise entre 5.000 et 10.000 m²

Tableau 125: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE3 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBI NAISON	U_AVG _WIND OW	G_AVG	U_AVG _WALL_ EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	LIGHT_ FINAL_ NEEDS	HEAT_NET _NEEDS	COOL_NET _NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL_ K	LEVEL_ E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN
325535	0,85	0,5	0,15	0,15	0,15	35192	69040	18351	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	82848	21938	2	14	37	2.153.724 €	4.768.525 €	5.304.190 €
324047	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	35192	69425	22890	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	83310	21938	2	15	38	1.820.022 €	4.440.640 €	4.905.287 €
326015	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	35192	74941	21821	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	92433	21938	2	16	39	1.781.617 €	4.408.417 €	4.865.846 €
324775	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	35192	83397	20498	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	102863	21938	2	17	40	1.763.337 €	4.400.795 €	4.856.168 €
324431	1,36	0,5	0,15	0,2	0,15	35192	91976	19308	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	113444	21938	2	18	41	1.731.017 €	4.379.459 €	4.829.821 €
327392	0,85	0,5	0,15	0,2	0,67	35192	103295	17514	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	123953	21938	2	20	42	1.640.307 €	4.302.327 €	4.736.215 €
327394	0,85	0,5	0,15	0,2	0,67	35192	103295	17514	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	127405	21938	2	20	43	1.628.221 €	4.290.946 €	4.722.089 €
326060	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	35192	69425	22890	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	117441	35101	2	15	44	1.592.304 €	4.261.976 €	4.687.661 €
326699	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	35192	74941	21821	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	126771	35101	2	16	45	1.563.395 €	4.242.747 €	4.663.923 €
325027	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	35192	141786	19795	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	170143	21938	2	15	46	1.450.226 €	4.104.760 €	4.491.979 €
325654	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	35192	147636	19011	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	182097	21938	2	16	47	1.415.826 €	4.080.295 €	4.461.519 €
327387	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	35192	156532	17915	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	193069	21938	2	17	48	1.397.546 €	4.073.559 €	4.452.760 €
325099	1,36	0,5	0,15	0,2	0,15	35192	165485	16502	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	198581	21938	2	18	49	1.372.578 €	4.056.590 €	4.432.301 €
325330	0,85	0,5	0,15	0,2	0,67	35192	177073	15349	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	212487	21938	2	20	50	1.270.512 €	3.969.453 €	4.325.985 €
325332	0,85	0,5	0,15	0,2	0,67	35192	177073	15349	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	218405	21938	2	20	51	1.262.430 €	3.965.095 €	4.320.103 €
323280	0,85	0,5	0,2	0,2	0,67	35192	186007	14739	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	229423	21938	2	22	52	1.244.150 €	3.958.983 €	4.311.863 €
325590	0,85	0,5	0,24	0,2	0,67	35192	193157	14301	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	238243	21938	2	23	53	1.230.179 €	3.954.813 €	4.306.117 €
325937	1,43	0,63	0,15	0,2	0,67	35192	197631	19032	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	237157	21938	2	25	54	1.185.866 €	3.917.993 €	4.259.458 €
323926	1,43	0,63	0,2	0,2	0,67	35192	206476	18420	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	247771	21938	2	26	55	1.168.126 €	3.911.965 €	4.251.362 €
323928	1,43	0,63	0,2	0,2	0,67	35192	206476	18420	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	254671	21938	2	26	56	1.157.898 €	3.906.536 €	4.244.083 €
326193	1,43	0,63	0,24	0,2	0,67	35192	213557	17966	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	263405	21938	2	27	57	1.143.927 €	3.902.245 €	4.238.208 €
326107	0,85	0,5	0,15	0,2	0,67	35192	177073	15349	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	299540	35101	2	20	63	1.047.019 €	3.856.942 €	4.182.974 €
327103	0,85	0,5	0,2	0,2	0,67	35192	186007	14739	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	314652	35101	2	22	65	1.028.055 €	3.854.932 €	4.179.276 €
323859	0,85	0,5	0,24	0,2	0,67	35192	193157	14301	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	326748	35101	2	23	66	1.013.537 €	3.854.044 €	4.177.167 €
323383	1,43	0,63	0,15	0,2	0,67	35192	197631	19032	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	334317	35101	2	25	68	958.732 €	3.813.601 €	4.125.233 €
324411	1,43	0,63	0,2	0,2	0,67	35192	206476	18420	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	349279	35101	2	26	70	939.767 €	3.811.414 €	4.121.338 €
325377	1,43	0,63	0,24	0,2	0,67	35192	213557	17966	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	361257	35101	2	27	71	925.250 €	3.810.369 €	4.119.057 €
base	5,78	0,87	1,6	1,3	0,67	114373	753236	6953	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1274187	35101	15	111	210	- €	4.401.845 €	4.740.040 €

Coût macroéconomique/Ew



Figure 41: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE3

Tableau 126: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
326699 Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8), Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15), Plancher 0.24(PISol0.24), Toit 0.20(T0.20), Vent D(Système de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage73) (F1,M1,P2-P,S4,T2)
327103 Châssis 0.95/0.6/0.5 +Porte 0.8(Ch0.95-TV0.6/0.5-WE,Pext0.8), Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20), Toit 0.20(T0.20),Eclairage LED(Eclairage73) (F1,M1,P2-P,T2)
325377 Châssis 1.7/1.1/0.63 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Pext2), Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.24), Toit 0.20(T0.20),Eclairage LED(Eclairage73) (F1,M1,P2-P,T2)
base

5.38. EE4 - Bâtiment universitaire (1968) d'une surface d'environ 10.000 m²

Tableau 127: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE4 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBIN AISON	U_AVG_ WINDO W	G_AVG	U_AVG_ WALL_E XT	U_AVG_ ROOF	U_AVG_ FLOOR	LIGHT_F INAL_N EEDS	HEAT_NET NEEDS	COOL_NET NEEDS	HEAT_GENERATOR_TYPE	HEAT_FINA L_TOTAL_N EEDS	WATER_ FINAL_N EEDS	V50	LEVEL E	INVESTMENT_ COST	COST_MACRO_ ECO	COST_FIN	
318766	C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	57138	223624	31097	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	268348	24745	2	49	4.148.307 €	13.430.653 €	14.566.698 €
320542	C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,24	57138	231780	30803	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	285881	24745	2	50	4.079.058 €	13.375.753 €	14.498.603 €
321795	C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,24	57138	244905	30352	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	302070	24745	2	51	4.049.570 €	13.364.671 €	14.483.738 €
319318	C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,62	57138	263995	28050	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	325616	24745	2	52	3.907.958 €	13.248.069 €	14.341.187 €
320593	C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	57138	223624	31097	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	322727	39592	2	53	3.725.072 €	13.078.810 €	14.137.718 €
321139	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	57138	235613	30669	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	340029	39592	2	54	3.675.077 €	13.048.547 €	14.099.521 €
320502	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,24	57138	252281	28379	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	364084	39592	2	55	3.639.374 €	13.038.466 €	14.085.800 €
320902	C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,62	57138	263995	28050	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	380990	39592	2	56	3.512.927 €	12.931.402 €	13.954.668 €
320904	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,62	57138	272740	27801	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	393610	39592	2	57	3.466.262 €	12.899.201 €	13.914.526 €
321112	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,62	57138	289641	27341	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	418000	39592	2	58	3.430.559 €	12.891.479 €	13.902.890 €
319754	C	1,36	0,5	0,15	0,2	0,62	57138	314151	24146	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	453372	39592	2	60	3.331.587 €	12.830.255 €	13.826.586 €
321432	C	1,43	0,63	0,15	0,24	0,62	57138	313221	34026	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	452030	39592	2	61	3.306.676 €	12.815.145 €	13.803.913 €
321685	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,62	57138	330942	33509	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	477605	39592	2	62	3.270.974 €	12.808.742 €	13.793.780 €
318787	M	2,97	0,77	0,15	0,24	0,62	57138	429125	41399	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	529289	24745	2	65	3.193.420 €	12.787.314 €	13.756.402 €
318531	M	2,97	0,77	0,24	0,24	0,62	57138	445693	40887	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	549724	24745	2	66	3.159.058 €	12.776.247 €	13.741.151 €
319179	M	2,97	0,77	0,15	0,15	0,15	57138	376453	47389	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	543285	39592	2	67	3.077.020 €	12.707.691 €	13.658.293 €
319747	M	2,97	0,77	0,15	0,2	0,24	57138	389308	46891	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	561837	39592	2	68	3.003.328 €	12.655.112 €	13.592.997 €
321773	M	2,97	0,77	0,2	0,24	0,24	57138	402329	46404	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	580628	39592	2	69	2.972.783 €	12.645.970 €	13.580.232 €
320009	M	2,97	0,77	0,24	0,24	0,24	57138	409636	46138	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	591173	39592	2	70	2.956.141 €	12.641.348 €	13.573.679 €
319685	M	2,97	0,77	0,15	0,24	0,62	57138	429125	41399	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	619299	39592	2	71	2.783.029 €	12.495.779 €	13.396.736 €
320272	M	2,97	0,77	0,2	0,24	0,62	57138	438367	41111	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	632637	39592	2	72	2.763.968 €	12.491.975 €	13.390.898 €
320853	M	2,97	0,77	0,24	0,24	0,62	57138	445693	40887	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	643209	39592	2	73	2.747.326 €	12.487.433 €	13.384.422 €
319615	C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,15	57138	630327	31097	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	756389	24745	2	77	2.100.041 €	11.895.959 €	12.659.570 €
318798	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,24	57138	642697	30669	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	771234	24745	2	78	2.051.778 €	11.864.582 €	12.620.276 €
318107	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,24	57138	659835	28379	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	791799	24745	2	79	2.018.475 €	11.852.855 €	12.604.923 €
318533	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,62	57138	680016	27801	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	816016	24745	2	80	1.848.189 €	11.710.254 €	12.430.157 €
320532	C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,62	57138	689575	27541	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	827487	24745	2	81	1.830.467 €	11.705.660 €	12.423.541 €
318729	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,62	57138	697148	27341	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	836574	24745	2	82	1.814.886 €	11.700.487 €	12.416.442 €
320465	C	1,43	0,63	0,15	0,2	0,62	57138	714830	34148	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	857793	24745	2	83	1.706.662 €	11.625.039 €	12.319.795 €
321095	C	1,43	0,63	0,2	0,24	0,62	57138	728264	33734	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_A_CONDENSATION	873914	24745	2	84	1.678.008 €	11.614.779 €	12.305.918 €
318224	C	0,85	0,5	0,15	0,24	0,15	57138	634278	30958	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	877060	43991	2	85	1.762.882 €	11.547.001 €	12.459.916 €
321754	C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	57138	648309	30481	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	896463	43991	2	86	1.721.091 €	11.523.647 €	12.435.010 €
318123	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,24	57138	659835	28379	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	912400	43991	2	87	1.692.966 €	11.508.831 €	12.420.518 €
319935	C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,62	57138	676067	27911	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	934845	43991	2	88	1.531.338 €	11.368.624 €	12.254.710 €
320553	C	0,85	0,5	0,2	0,24	0,62	57138	689575	27541	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	953524	43991	2	89	1.500.792 €	11.355.928 €	12.242.535 €
318757	C	0,85	0,5	0,24	0,24	0,62	57138	697148	27341	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	963995	43991	2	90	1.484.151 €	11.349.301 €	12.236.301 €
321020	C	1,36	0,5	0,15	0,15	0,62	57138	716976	24256	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	991413	43991	2	91	1.420.360 €	11.308.860 €	12.193.154 €
319104	C	1,43	0,63	0,15	0,24	0,62	57138	718757	34026	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	993877	43991	2	92	1.360.268 €	11.262.422 €	12.132.886 €
319322	C	1,43	0,63	0,24	0,24	0,62	57138	735795	33509	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1017436	43991	2	93	1.329.449 €	11.254.058 €	12.126.809 €
321281	M	2,97	0,77	0,15	0,24	0,62	57138	831547	41399	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1200061	39592	2	104	785.029 €	11.120.503 €	11.672.981 €
318847	M	2,97	0,77	0,2	0,24	0,62	57138	840968	41111	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1213658	39592	2	105	765.968 €	11.117.002 €	11.667.484 €
320253	M	2,97	0,77	0,24	0,24	0,62	57138	848433	40887	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	1224431	39592	2	106	749.326 €	11.112.694 €	11.661.269 €
base		2,97	0,77	2,85	1,49	0,62	185697	1523989	11993	CHAUDIERE_A_EAU_CHAUDE_NON_A_CONDENSATION	2199371	39592	15	177	- €	12.220.065 €	12.904.677 €

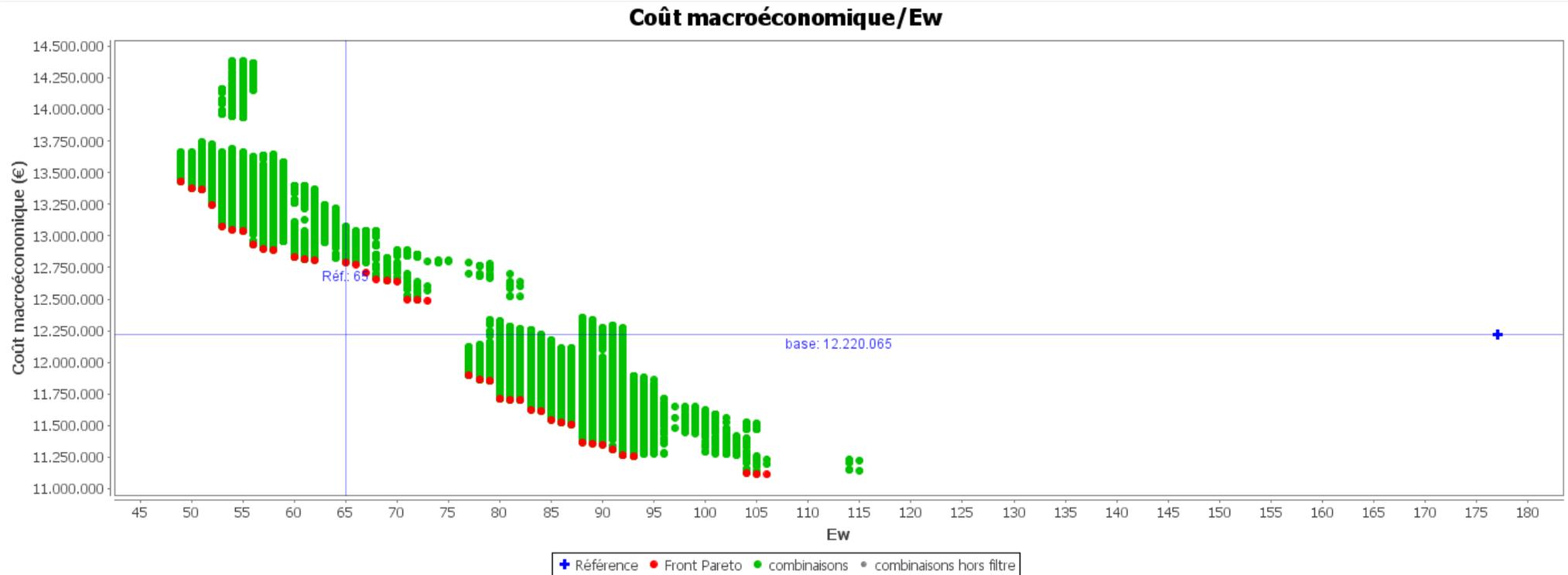


Figure 42: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE4

Tableau 128: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
318787 Mur 0.15 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.15,Ms0.15), Toit 0.24(TP0.24), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage73),Mix CCgaz VC NoStock(CCgaz VC HT + ECS SANS stockage,Systeme d'emission [CCgaz VC (+ECS) SANS stock AIR-EAU]) (M1,M16,T3)
320253 Mur 0.24 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.24,Ms0.24), Toit 0.24(TP0.24),Eclairage LED(Eclairage73) (M1,M16,T3)
base

5.39. EN1 - Ecole maternelle d'une surface < 5000 m²

Tableau 129: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EN1 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBIN AISON	U_AVG_W INDOW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG_ FLOOR	LIGHT_ FINAL_ NEEDS	HEAT_N ET_NEE DS	COOL_ NET_N EEDS	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL _NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL_ E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
316519 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,19	3356	19085	6733	22902	4337	2	23	37	58.723 €	806.610 €	831.337 €
317603 C	0,85	0,5	0,15	0,15	0,19	3356	19085	6733	22902	4337	2	23	37	58.723 €	806.610 €	831.337 €
316623 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,19	3356	20485	6407	24582	4337	2	25	38	44.217 €	794.015 €	815.992 €
322068 C	0,85	0,5	0,15	0,2	0,19	3356	20485	6407	24582	4337	2	25	38	44.217 €	794.015 €	815.992 €
320027 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,19	3356	21516	6295	25819	4337	2	26	39	36.997 €	788.223 €	808.883 €
322022 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,19	3356	21516	6295	25819	4337	2	26	39	36.997 €	788.223 €	808.883 €
320029 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,19	3356	21516	6295	26538	4337	2	26	40	34.618 €	786.325 €	806.513 €
322024 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,19	3356	21516	6295	26538	4337	2	26	40	34.618 €	786.325 €	806.513 €
319118 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	3356	22689	6174	27985	4337	2	27	41	31.308 €	784.684 €	804.407 €
322101 C	0,85	0,5	0,2	0,2	0,24	3356	22689	6174	27985	4337	2	27	41	31.308 €	784.684 €	804.407 €
316699 N	1,64	0,63	0,15	0,15	0,19	3356	27117	4503	32541	4337	2	33	43	18.741 €	777.498 €	795.628 €
321406 N	1,64	0,63	0,15	0,15	0,19	3356	27117	4503	32541	4337	2	33	43	18.741 €	777.498 €	795.628 €
320427 N	1,64	0,63	0,15	0,2	0,19	3356	28407	4426	34088	4337	2	35	44	4.234 €	764.789 €	780.109 €
322239 N	1,64	0,63	0,15	0,2	0,19	3356	28407	4426	34088	4337	2	35	44	4.234 €	764.789 €	780.109 €
316961 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,19	3356	29451	4367	35341	4337	2	36	45	2.985 €	759.026 €	773.020 €
320842 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,19	3356	29451	4367	35341	4337	2	36	45	2.985 €	759.026 €	773.020 €
316963 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,19	3356	29451	4367	36325	4337	2	36	46	5.948 €	756.834 €	770.267 €
320844 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,19	3356	29451	4367	36325	4337	2	36	46	5.948 €	756.834 €	770.267 €
322533 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,24	3356	30638	4303	37789	4337	2	37	47	9.258 €	755.222 €	768.182 €
322775 N	1,64	0,63	0,2	0,2	0,24	3356	30638	4303	37789	4337	2	37	47	9.258 €	755.222 €	768.182 €
base	1,64	0,63	0,19	0,19	0,19	4195	33543	4195	42069	7710	6	35	57	- €	792.242 €	809.228 €

Coût macroéconomique/Ew

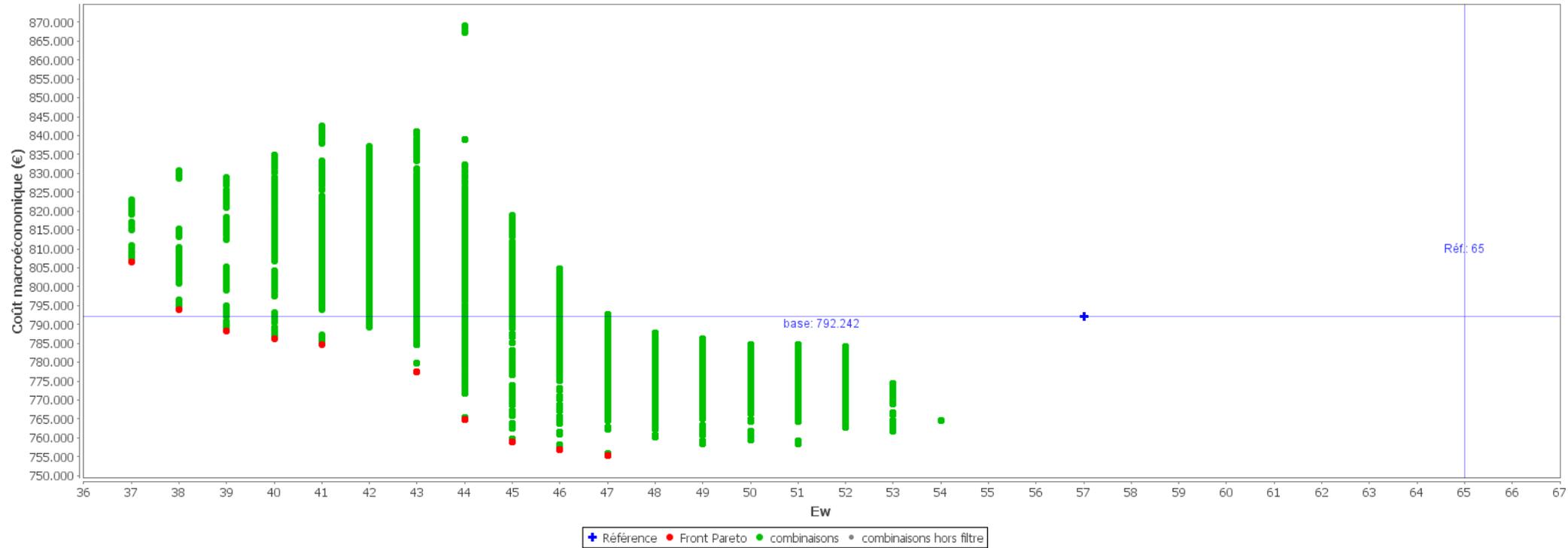


Figure 43: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EN1

Tableau 130: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
320842 Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20), Toit 0.20(TP0.20), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix CCgaz Rad NoStock(CCgaz rad + ECS SANS stockage, Systeme d'emissio (F1,M3,P1-Bois,S1,T2)
322533 Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20), Plancher 0.24(PISol0.24), Toit 0.20(TP0.20),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix CCgaz VC NoStock(CCgaz VC HT + ECS SANS stockage, Systeme d'emission [CCgaz VC (F1,M3,P1-Bois,S1,T2)
322775 Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20), Plancher 0.24(PISol0.24), Toit 0.20(TP0.20), Vent D(Systeme de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix CCgaz VC NoStock(CCgaz VC HT + ECS SANS (F1,M3,P1-Bois,S1,T2)
base

5.40. EN2 - Ecole fondamentale de taille moyenne (3.000 m²)

Tableau 131: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EN2 situées sur le front de Pareto du Ew

COMBI NAISON	U_AVG_ WINDOW	G_AVG	U_AVG _WALL _EXT	U_AVG _ROOF	U_AVG _FLOOR	LIGHT_ FINAL_ NEEDS	HEAT_NET _NEEDS	COOL_NET _NEEDS	HEAT_FIN AL_TOTAL _NEEDS	WATER _FINAL_ NEEDS	V50	LEVEL _K	LEVEL _E	INVESTMENT _COST	COST_MACRO _ECO	COST_FIN
321913	0,86	0,5	0,15	0,15	0,15	21948	52460	21105	62951	13478	2	17	37	181.505 €	5.600.094 €	5.704.905 €
321121	0,86	0,5	0,15	0,2	0,15	21948	55736	20466	68746	13478	2	17	38	146.346 €	5.569.487 €	5.667.413 €
320188	0,86	0,5	0,15	0,2	0,24	21948	61304	19539	75613	13478	2	19	39	108.476 €	5.539.477 €	5.630.599 €
323596	0,86	0,5	0,2	0,2	0,27	21948	66699	18971	82267	13478	2	21	40	93.216 €	5.531.888 €	5.620.864 €
322734	0,86	0,5	0,2	0,24	0,27	21948	69477	18698	85693	13478	2	21	41	84.811 €	5.527.435 €	5.615.188 €
322856	1,36	0,5	0,15	0,15	0,24	21948	76590	18033	94467	13478	2	23	42	71.047 €	5.523.800 €	5.610.043 €
323324	1,43	0,63	0,15	0,2	0,24	21948	79190	22533	97674	13478	2	25	43	38.679 €	5.496.061 €	5.575.086 €
323604	1,43	0,63	0,2	0,2	0,24	21948	82414	22212	101651	13478	2	26	44	26.723 €	5.488.692 €	5.565.836 €
320238	1,43	0,63	0,2	0,24	0,27	21948	87415	21264	107819	13478	2	27	45	15.014 €	5.484.024 €	5.559.760 €
323875	1,43	0,63	0,23	0,2	0,24	21948	97574	19940	120349	13478	6	26	47	- 2.666 €	5.480.753 €	5.554.806 €
319479	1,43	0,63	0,23	0,24	0,27	21948	102634	19564	126591	13478	6	28	48	- 14.375 €	5.476.268 €	5.548.826 €
base	1,64	0,63	0,23	0,24	0,27	27436	115030	12466	143209	23961	6	30	56	- €	5.566.367 €	5.656.199 €

Coût macroéconomique/Ew

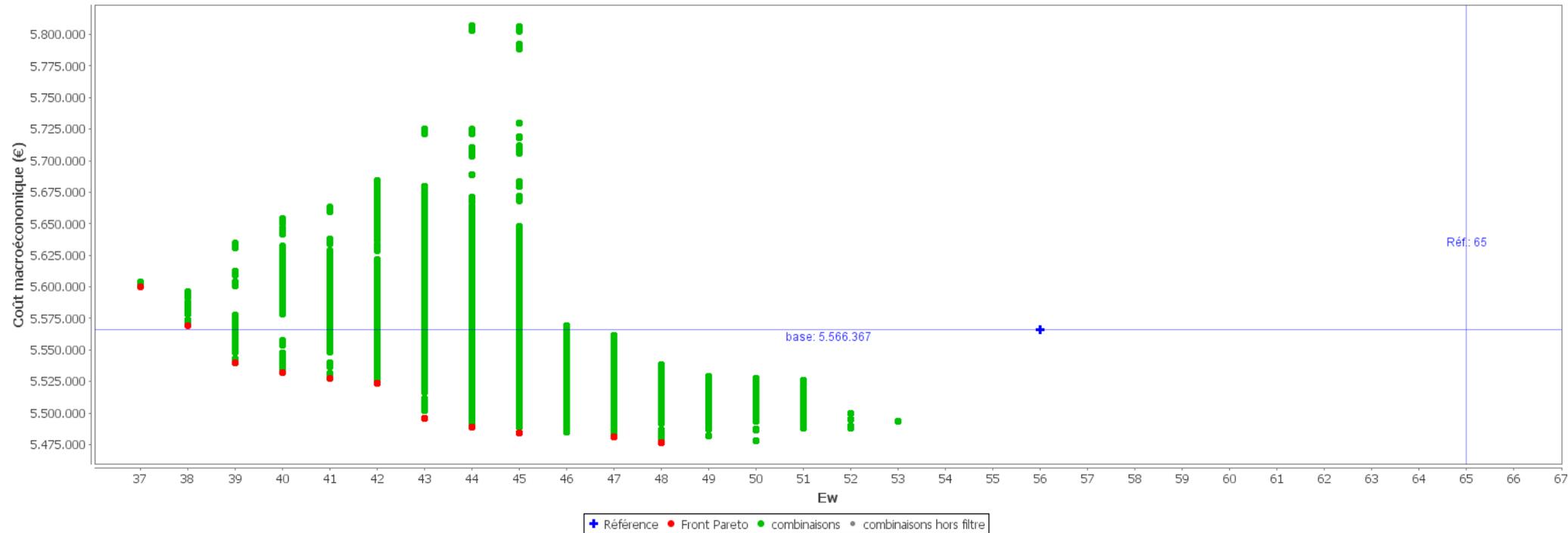


Figure 44: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EN2

Tableau 132: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto

COMBINAISON
320238 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1,Pext2), Mur 0.20 + EA 2(Etanchéité 2,ME0.20,Ms0.20), Vent D(Système de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix (F1,Ftoit1,M16,M3,P1-Bois,S1,T2,T3)
319479 Châssis 1.7/1.1/0.63+ Ftoit 1 + Porte 2.0(Ch1.7-DV1.1/0.63-WE,Ftoit 1,Pext2), Vent D(Système de ventilation [zv12]),Eclairage LED(Eclairage75),Froid Clim air-air EER4(Clim air-air EER 4 central AIR),Mix CCgaz VC NoStock(CCgaz VC HT + ECS SANS stoc (F1,Ftoit1,M16,M3,P1-Bois,S1,T2,T3)
base

6. Conclusions générales de l'étude

Réalisée selon une méthodologie commune sur 40 bâtiments de référence répartis en 8 segments représentatifs du parc immobilier résidentiel et non résidentiel wallon, l'étude a permis de dégager une série d'observations et de conclusions formulées par segment.

Les résultats obtenus ont notamment permis d'établir la différence entre les niveaux optimaux en fonction des coûts des exigences minimales de performance calculés et ceux des exigences en vigueur en 2017 et prévues en 2021 (NZEZ).

Au niveau des indicateurs de performance globaux (Espec, K et Ew) en vigueur pour les bâtiments résidentiels neufs (HN, IAN), on observe des niveaux optimaux moyens pondérés nettement plus performants que les exigences en vigueur en 2017. Signe qu'avec les techniques constructives et les systèmes de production de chaleur disponibles sur le marché actuellement, on peut construire des logements résidentiels globalement plus performants et moins coûteux (sur 30 ans) que ceux répondant strictement aux exigences de performance globales de la réglementation PEB.

Les optimums moyens pondérés **Ew46** et **Espec 82 kWh/m²a** des logements individuels neufs, sont quant à eux remarquablement proches des niveaux d'exigences (**Ew45** et **Espec 85 kWh/m²a**) définis pour 2021. A l'instar de la plupart des méthodes normatives, la réglementation PEB wallonne semble aujourd'hui davantage suivre l'évolution du secteur de la construction que la stimuler.

Au niveau des indicateurs de performance globaux (K et Ew) en vigueur pour les bâtiments non résidentiels neufs, on observe une correspondance quasi parfaite entre le Ew optimum moyen pondéré des **bureaux Ew64** et le niveau d'exigence en vigueur en 2017 pour cette partie fonctionnelle **Ew 65**.

Pour les écoles neuves, le Ew optimum moyen pondéré **Ew48** est nettement plus performant que l'exigence 2017 et très proche de l'exigence 2021 (Ew 45) définie pour cette partie fonctionnelle. Signe que, dans ce segment, on peut construire plus performant que la réglementation actuelle tout en restant cost optimum. La récente apparition/multiplication d'établissements scolaires construits selon le standard passif ou très basse-énergie confirme cette tendance.

Tant pour les bureaux (**K41**) que pour les écoles (**K32**), le K optimum moyen pondéré ne s'écarte pas de plus de 15% des exigences 2017 / 2021 (**K35**) en matière d'isolation de l'enveloppe.

Au niveau des coefficients de déperditions thermiques des parois (U), on observe que :

- Le U optimum moyen pondéré des Fenêtres est de l'ordre de 5% plus performant que l'exigence U_{max} 2017 (1,5 W/m²K), tous segments confondus (PER, PEN, existant et neuf). Cette

exigence est remarquablement alignée sur le niveau d'amélioration cost optimum et ne doit pas être renforcée ;

- Le U optimum moyen pondéré des murs extérieurs des bâtiments neufs est systématiquement plus performant que l'exigence U_{max} 2017 (0,24 W/m²K). L'exigence devrait être renforcée au niveau U_{max} 0.20 W/m²K pour ce type de paroi, au moins en construction neuve. A titre indicatif ce niveau de performance correspond par exemple à la mise en oeuvre d'un isolant polyurethane (λ 0,022 W/mK) de 10 cm d'épaisseur dans un mur creux (maçonnerie traditionnelle), ou d'un isolant polystyrène expansé (λ 0,035 W/mK) de 16 cm d'épaisseur dans une façade isolante (crépi sur isolant), ou encore, d'un isolant cellulosique (λ 0,039 W/mK) de 22 cm d'épaisseur dans une ossature bois.
- Le U optimum moyen pondéré des toitures neuves est systématiquement plus performant (de l'ordre de 20% pour les bureaux, écoles et immeubles à appartement, et jusqu'à 36% pour les logements individuels) que l'exigence U_{max} 2017 en vigueur (0,24 W/m²K). **L'exigence devrait être renforcée au niveau U_{max} 0.20 W/m²K pour ce type de paroi, au moins en construction neuve.** A titre indicatif ce niveau de performance correspond par exemple à la mise en oeuvre d'un isolant laine minérale (λ 0,035 W/mK) de 22 cm d'épaisseur dans une toiture en pente isolée dans la structure, ou d'un isolant polyuréthane (λ 0,022 W/mK) de 10 cm d'épaisseur dans une toiture en pente isolée par le haut (sarking), ou encore d'un isolant polyurethane (λ 0,026 W/mK) de 12 cm d'épaisseur dans une toiture plate isolée par le haut.
- Le U optimum moyen pondéré des sols est remarquablement proche (ou un peu moins exigeant, pour les bureaux existants et les immeubles à appartements) que l'exigence U_{max} 2017 en vigueur (0,24 W/m²K). Cette exigence est alignée sur le niveau d'amélioration cost optimum et ne doit pas être renforcée.

Au niveau des producteurs de chaleur, les chaudières à condensation associées à des ventilo-convecteurs sont présents dans une majorité de combinaisons cost optimum tous segments confondus. Dans les bâtiments résidentiels, bien que ces émetteurs soient relativement moins coûteux et fonctionnent aisément à basse température, le choix se porte généralement sur des radiateurs ou un chauffage par le sol, notamment pour des questions d'esthétique. Les chaudières conventionnelles au mazout sont systématiquement remplacées et les pompes à chaleur de type air/eau font leur apparition (essentiellement en construction neuve) sur le FP pour des niveaux d'exigences plus stricts que le Spec 85 kWh/m²an prévu pour 2021.

Les systèmes de ventilation centralisés (freduc 0,43) sont également très présents dans les combinaisons cost optimum. A noter que ce facteur de réduction ne peut être atteint qu'en installant des capteurs (d'humidité, de CO₂...) dans les différents espaces. Tous les produits de ventilation centralisée disponibles sur le marché ne permettent pas de valoriser ce facteur de réduction. Les systèmes de ventilation double-flux avec récupération de chaleur qui permettent d'atteindre des niveaux de performances supérieurs méritent d'être considérés en particulier dans les immeubles à appartements (les unités étant de petites tailles, les débits nécessaires et les longueurs de gaines sont généralement moindres que dans les habitations).

Au niveau des systèmes de production d'énergie renouvelable, l'occurrence de la chaudière à pellets dans l'école maternelle et primaire existante (EE2 est à souligner, ainsi que le recours au chauffe-eau solaire pour la production d'ECS dans l'immeuble à appartement neuf et la maison 4 façades neuves en maçonnerie traditionnelle (HN2-T1). Enfin le poêle à bois (producteur local) combiné au chauffe-eau instantané au gaz est présent dans deux logements résidentiels existants (HE8 , HE9).

Comme indiqué en préambule à l'analyse des résultats (voir chapitre 4), les systèmes solaires PV ont été sciemment écartés des variantes systèmes suite à leur impact très important sur les indicateurs de performance Espec, Ew (en cause la manière dont la production locale d'électricité est valorisée dans la PEB) sans lien direct avec la performance ou les besoins énergétiques des bâtiments analysés.

Les tableaux présentés dans la suite indiquent la différence entre les exigences minimales de performance énergétique en vigueur en Wallonie et la moyenne de tous les niveaux optimaux en fonction des coûts calculés à partir des combinaisons de mesures d'amélioration des performances appliquées à tous les bâtiments de référence et types de bâtiment comparables utilisés dans l'étude.

L'écart moyen (en %) est calculé selon la formule ci-dessous, imposée par le Règlement délégué de la CE, compte tenu d'un facteur de pondération estimant l'importance relative de chaque bâtiment de référence au sein de sa catégorie.

Détermination de l'écart:

Écart en % (niveau du bâtiment de référence) = (niveau d'optimalité en fonction des coûts [kWh/m²a] – exigences minimales de performance actuelles [kWh/m²a] / niveau d'optimalité en fonction des coûts [kWh/m²a]) × 100 %

Pour les éléments de bâtiment, l'écart est calculé selon l'équation suivante:

Écart en % (pour les éléments de bâtiment) = (niveau d'optimalité en fonction des coûts [unité d'indicateur de performance ⁽¹⁾] – exigences minimales de performance actuelles [unité d'indicateur de performance]) / niveau d'optimalité en fonction des coûts] × 100%

6.1. Maisons unifamiliales existantes (HE)

Les 13 types d'habitations unifamiliales analysées affichent un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) des différentes parois (Fenêtre, Mur, Toit, Sol) globalement assez proche des exigences U_{max} applicables en rénovation depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 133: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PER 2017 existant		1,50	0,24	0,24	0,24
HE1	Maison vernaculaire	6,5%	1,43	0,20	0,20	0,24
HE2	Maison type ouvrière 3 façades	4,3%	1,43	0,20	0,24	0,24
HE3	Maison type ouvrière mitoyenne	16,3%	1,43	0,24	0,24	0,24
HE4	Maison villageoise	4,3%	1,43	0,20	0,24	0,24
HE5	Maison urbaine mitoyenne	17,4%	1,43	0,24	0,24	0,24
HE6	Villa des premières extensions urbaines	12,0%	1,43	0,15	0,20	0,15
HE8	Maison bel étage mitoyenne	4,3%	1,43	0,24	0,24	0,24
HE9	Villa 4 façades de type lotissement	13,0%	1,43	0,24	0,24	0,24
HE10	Maison type barre de logement social	3,3%	1,43	0,20	0,24	0,24
HE11	Villa 4 façades K70	6,5%	1,43	0,24	0,15	0,24
HE12	Maison 3 façades K70	2,2%	1,44	0,24	0,15	0,24
HE13	Maison mitoyenne bel-étage K70	2,2%	1,44	0,20	0,24	0,24
HE14	Villa 4 façades K55	7,6%	1,43	0,20	0,24	0,24
	Ecart moyen pondéré		-5%	-13%	-9%	-7%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,22	0,22	0,23

L'écart moyen pondéré entre les logements de référence analysés dans l'étude et les exigences U_{max} en vigueur en 2017 varie de -5% à -13% en fonction des parois. Les exigences U_{max} imposés par la réglementation PEB 2017 sont inférieures de moins de 15% aux $U_{optimum}$ moyens pondérés des fenêtres, des murs extérieurs, des toitures et des sols.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux $U_{optimum}$ pour les maisons existantes** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,22 W/m²K** pour les murs extérieurs et les toitures ;
- **0,23 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que les U_{max} applicables depuis 2017 à la rénovation des différentes parois de l'enveloppe thermique des maisons unifamiliales existantes sont tout juste moins exigeants que les $U_{optimum}$ calculés paroi par paroi.

Actuellement, la rénovation des bâtiments existants n'est soumise à aucune exigence de performance globale (de type E_{spec} , K ou E_w) en vigueur pour les nouvelles constructions, en raison notamment de la disparité et de

l'hétérogénéité des typologies du bâti résidentiel wallon. Cette variabilité se marque par des performances énergétiques de bases très différentes et, partant des niveaux de performance cost optimum également fort différents.

L'écart moyen pondéré entre les exigences (Espec / Ew) et les niveaux de performance cost optimum des 13 typologies analysées est présenté ci-dessous, pour information.

Les investissements nécessaires pour passer des niveaux Espec de base aux Espec cost-optimums ainsi que l'impact des mesures d'amélioration sur le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 134: Espec, Ew et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Espec cost optimum	K cost optimum	Ew cost optimum	Espec Base	K Base	Ew Base	Valeur immobilière	CGA Base	Inv	CGA cost optimum	CGA CO / CGA base
		kWh/m ² an			kWh/m ² an			EUR	EUR	EUR	EUR	%
HE1	Maison vernaculaire	109		60	642	171	354	77.468 €	262.177 €	70.166 €	169.928 €	65%
HE2	Maison type ouvrière 3 façades	133		69	580	174	301	93.203 €	175.589 €	58.714 €	168.922 €	96%
HE3	Maison type ouvrière mitoyenne	179		108	382	137	229	92.591 €	148.211 €	25.832 €	141.673 €	96%
HE4	Maison villageoise	96		57	670	147	400	97.233 €	301.689 €	93.611 €	219.846 €	73%
HE5	Maison urbaine mitoyenne	170		123	556	151	403	79.907 €	240.124 €	67.559 €	196.443 €	82%
HE6	Villa des premières extensions urbaines	142		70	924	175	455	137.349 €	310.465 €	68.324 €	232.093 €	75%
HE8	Maison bel étage mitoyenne	123		72	555	158	325	106.839 €	204.562 €	27.891 €	152.089 €	74%
HE9	Villa 4 façades de type lotissement	203		65	423	110	245	216.095 €	365.322 €	41.452 €	302.217 €	83%
HE10	Maison type barre de logement social	166		91	499	139	274	90.710 €	158.636 €	28.911 €	139.871 €	88%
HE11	Villa 4 façades K70	137		77	309	72	172	202.804 €	286.679 €	24.190 €	257.103 €	90%
HE12	Maison 3 façades K70	136		74	287	68	155	11.472 €	155.641 €	16.353 €	146.694 €	94%
HE13	Maison mitoyenne bel-étage K70	85		59	157	63	110	231.340 €	284.870 €	22.054 €	279.993 €	98%
HE14	Villa 4 façades K55	180		96	180	54	96	227.831 €	273.560 €	- €	273.560 €	100%
	Niveau optimum moyen pondéré	157		87								

La moyenne pondérée de la consommation spécifique en énergie primaire des maisons rénovées à un niveau de performance cost optimum est de l'ordre de **157 kWh/m²an**.

On observe une grande disparité entre les niveaux E_{spec} cost optimum selon l'habitation considérée : de 96 kWh/m²an pour la maison villageoise à 203 kWh/m²an pour la villa 4 façades de type lotissement.

Les investissements nécessaires pour améliorer les performances de l'enveloppe et/ou des systèmes vont de 16.000 à 94.000 €, entraînant des diminutions de l'ordre de 0 à 35% du coût global actualisé.

A noter également dans ce segment, le seul bâtiment dont la base est cost-optimum est la villa 4 façades K55 des années 1996 à 2008. Ce qui illustre bien l'effet de lock-in provoqué par les niveaux d'isolation intermédiaires de ce type de logements construit dans le respect des réglementations thermiques de l'époque.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum :

- Le système de ventilation C centralisé (freduc 0,43) est présent dans plus de 50% des cas ;
- La chaudière mixte à condensation au gaz est présente dans plus de 65% des cas ;
- Le poêle à bois (bûches) se retrouve dans 20 à 25 % des cas, combiné à un chauffe-eau instantané au gaz pour la production d'ECS

A noter : dans certains logements individuels, l'analyse du CGA selon le mode de calcul macroéconomique (qui comptabilise le coût des émissions de CO₂), tend à privilégier le placement de producteurs de chaleur alimentés par de la biomasse (typiquement les poêles à bois). Pour ces mêmes bâtiments, l'analyse du CGA selon le mode de calcul financier donne généralement l'avantage aux producteurs de chaleur alimentés au gaz (typiquement les chaudières à condensation).

6.2. Maisons unifamiliales neuves (HN)

Trois types d'habitations unifamiliales neuves - déclinées en 3 modes constructifs courant - ont été analysés. Globalement ce segment affiche un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) des différentes parois (F, M, T, S) relativement plus performant que les exigences U_{max} applicables depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 135: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et U optimum des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PER 2017 neuf		1,50	0,24	0,24	0,24
	Exigence PER 2021 neuf		1,50	0,24	0,24	0,24
HN2-T1	Maison 4 façades -maçonnerie traditionnelle	40,0%	1,43	0,20	0,20	0,24
HN2-T2	Maison 4 façades -crépi sur isolant	15,0%	1,43	0,20	0,20	0,24
HN2-T3	Maison 4 façades - ossature bois	4,0%	1,38	0,20	0,20	0,24
HN3-T1	Maison 3 façades - maçonnerie traditionnelle	20,0%	1,43	0,20	0,15	0,24
HN3-T2	Maison 3 façades - crépi sur isolant	6,5%	1,43	0,20	0,15	0,24
HN4-T1	Maison neuve mitoyenne - maçonnerie traditionnelle	10,0%	1,36	0,20	0,15	0,24
HN4-T2	Maison neuve mitoyenne - crépi sur isolant	2,5%	1,36	0,20	0,15	0,24
HN4-T3	Maison neuve mitoyenne - ossature bois	2,0%	1,36	0,20	0,15	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-6%	-20%	-36%	0%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,42	0,20	0,18	0,24

L'écart moyen pondéré entre les niveaux U optimums des logements de référence analysés dans l'étude et les exigences U max en vigueur en 2017 varie de 0 à -36% en fonction des parois. Les exigences U_{max} imposées par la réglementation PEB 2017 pour les murs extérieurs et les toitures sont inférieures de plus de 15% des U optimums moyens pondérés pour ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimums pour les maisons neuves** sont de :

- **1,42 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,20 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,18 W/m²K** pour les toitures ;
- **0,24 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que des valeurs U_{max} plus strictes que les exigences en vigueur en 2017 pourraient s'appliquer aux murs extérieurs et aux toitures des nouvelles constructions, de manière à se rapprocher des niveaux d'isolation cost optimum de ces éléments de bâtiments.

La construction de bâtiments résidentiels est soumise à des exigences de performance globale (de type E_{spec} , K ou E_w).

L'écart moyen pondéré entre les exigences (E_{spec} K et E_w) et les niveaux de performance cost optimum des 8 typologies constructives analysées est présenté ci-dessous.

La valeur immobilière du bien ainsi que le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 136: E_{spec} , E_w , K et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Espec cost optimum kWh/m²an	K cost optimum	Ew cost optimum	Valeur immobilière EUR	Inv EUR	CGA cost optimum EUR
	Exigence PER 2017 neuf	115	35	65			
	Exigence PER 2021 neuf	85	35	45			
HN2-T1	Maison 4 façades -maçonnerie traditionnelle	64	26	35	282.549 €	10.251 €	306.824 €
HN2-T2	Maison 4 façades -crépi sur isolant	64	26	35	272.660 €	10.247 €	297.027 €
HN2-T3	Maison 4 façades - ossature bois	66	24	36	272.660 €	11.424 €	298.995 €
HN3-T1	Maison 3 façades - maçonnerie traditionnelle	104	27	59	232.578 €	- €	251.875 €
HN3-T2	Maison 3 façades - crépi sur isolant	105	27	59	224.438 €	- €	243.813 €
HN4-T1	Maison neuve mitoyenne - maçonnerie traditionnelle	112	30	67	233.769 €	- €	255.088 €
HN4-T2	Maison neuve mitoyenne - crépi sur isolant	112	30	67	225.587 €	- €	246.947 €
HN4-T3	Maison neuve mitoyenne - ossature bois	119	29	72	225.587 €	- €	249.271 €
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)	-50%	-31%	-52%			
	Niveau optimum moyen pondéré	82	27	46			
	Ecart moyen pondéré (exigence 2021)	-11%	-31%	-6%			

La consommation spécifique moyenne pondérée en énergie primaire des maisons unifamiliales construites à un niveau cost optimum est de l'ordre de **82 kWh/m²an**, soit 50% plus performant que l'exigence E_{spec} imposée aux constructions neuves en 2017.

Le niveau K optimum moyen pondéré est **K27**, environ 31% plus performant que l'exigence PEB 2017

Le E_w optimum moyen pondéré est **Ew46**, de l'ordre de 52% plus performant que l'exigence E_w en 2017.

L'écart important observé entre les exigences actuelles et les niveaux optimums E_{spec} et E_w sera cependant résorbé à moins de 15% en 2021 avec l'entrée en vigueur des exigences NZEB pour les constructions neuves, soit 11% pour le E_{spec} et 6% pour le E_w . Seule l'exigence sur le niveau K , inchangée en 2021 conserve son écart de 31% par rapport au niveau K optimum.

A noter :

- La relative homogénéité entre les niveaux de performance au sein de chaque typologie de bâtiment, indépendamment du mode constructif considéré ;
- La faible inertie des maisons à ossature bois, qui nécessite souvent un renforcement de l'isolation des murs afin d'atteindre les exigences E_w et E_{spec} en vigueur.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum :

- Le système de ventilation C centralisé (freduc 0,43) est présent dans 100 % des cas ;
- La chaudière mixte à condensation au gaz est présente dans 100% des cas ;
- Un système solaire thermique couplé à la chaudière est présent dans la maison 4 façades (HN2-T1) pour assurer la production d'ECS.

A noter : Les systèmes solaires PV n'ayant pas été considérés dans le choix des variantes systèmes (pour les raisons évoquées plus haut), les pompes à chaleur se retrouvent plus haut sur le FP ; bien qu'elles permettent d'atteindre des niveaux de performance supérieurs, elles ne sont (dans les conditions de l'étude) généralement pas cost optimum pour ce type de bâtiment.

6.3. Immeubles à appartements existants (IAE)

Les 6 typologies de logements collectifs analysées affichent un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) des différentes parois (F, M, T, S) globalement assez proche des exigences U_{max} applicables en rénovation depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 137: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et U optimum des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PER 2017 existant		1,50	0,24	0,24	0,24
IAE1	Immeuble à appartements avant 1919	15,5%	1,43	0,24	0,24	0,15
IAE3	Maison divisée en appartements & services < 1919	11,7%	1,43	0,24	0,20	1,06
IAE4	Maison divisée en appartements, de 1919-1945	18,6%	1,43	0,24	0,24	0,27
IAE5	Immeuble à appartements de 1946-1970	22,0%	1,43	0,24	0,24	0,66
IAE7	Maison divisée en appartements de 1946-1970	18,2%	1,43	0,15	0,24	0,24
IAE9	Immeuble à appartements, après 1990	14,2%	1,43	0,24	0,24	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-5%	-11%	-2%	16%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,22	0,235	0,42

L'écart moyen pondéré entre les immeubles de logement de référence analysés dans l'étude et les exigences U_{max} en vigueur en 2017 varie de -11% à 16% en fonction des parois. Les exigences U_{max} 2017 des fenêtres, des murs extérieurs, des toitures sont inférieures de moins de 15% par rapport aux U optimum moyens pondérés de ces parois.

L'exigence U_{max} 2017 pour les sols est par contre supérieure au cost optimum moyen pondéré pour ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimums pour les immeubles à appartements existants** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,22 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,24 W/m²K** pour les toitures ;
- **0,42 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que les U_{max} applicables à la rénovation des parois (F, M, T) de l'enveloppe thermique des immeubles à appartements existants sont tout juste moins exigeants que les U optimums, tandis que l'exigence U_{max} au niveau des sols est plus stricte que le U optimum moyen calculé pour ce type de paroi (S).

Actuellement, la rénovation des bâtiments existants n'est soumise à aucune exigence de performance globale (de type E_{spec} , K ou E_w) en vigueur pour les nouvelles constructions.

L'écart moyen pondéré entre les exigences Espec / Ew et la consommation spécifique en énergie primaire / le niveau Ew des 6 typologies de logements rénovés selon une combinaison de mesures (enveloppe-systèmes) cost optimum est présenté pour information ci-dessous.

Les investissements nécessaires pour passer des niveaux Espec de base aux Espec cost-optimums ainsi que l'impact des mesures d'amélioration sur le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 138: Espec, Ew et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Espec cost	Ew cost	Espec	Ew	Valeur immobilière	CGA Base	Inv	CGA cost optimum	CGA CO
		optimum	optimum	Base	Base					/ CGA
		kWh/m²an		kWh/m²an		EUR	EUR	EUR	EUR	%
IAE1	Immeuble à appartements avant 1919	142	94	526	346	568.188 €	1.295.672 €	316.621 €	1.079.234 €	83%
IAE3	Maison divisée en appartements & services < 1919	220	144	529	320	224.157 €	378.260 €	71.370 €	362.746 €	96%
IAE4	Maison divisée en appartements, de 1919-1945	356	253	356	253	282.847 €	475.864 €	- €	475.864 €	100%
IAE5	Immeuble à appartements de 1946-1970	195	142	310	224	1.299.802 €	2.017.054 €	139.318 €	1.857.841 €	92%
IAE7	Maison divisée en appartements de 1946-1970	327	191	404	232	164.986 €	249.138 €	9.952 €	244.527 €	98%
IAE9	Immeuble à appartements, après 1990	233	134	233	134	448.015 €	573.837 €	- €	573.837 €	100%
	Niveau optimum moyen pondéré	249	163							

La moyenne pondérée des consommations spécifiques en énergie primaire des immeubles à appartements rénovés à un niveau de performance cost optimum est de l'ordre de **250 kWh/m²an**.

Les investissements nécessaires pour améliorer les performances de l'enveloppe et/ou des systèmes vont de 10.000 à 316.000 €, entraînant des diminutions de l'ordre de 0 à 17% en termes de coût global actualisé. L'impact des améliorations enveloppe-systèmes sur le CGA de ce type de bâtiments est relativement limité. Par contre la diminution de la consommation spécifique en énergie primaire est assez spectaculaire (de l'ordre de 350 kWh/m²an) pour les deux immeubles (IAE1, IAE3) construits avant 1919.

Cela étant, pour ces typologies, la diversité est encore plus importante, en termes relatifs les investissements nécessaires restent maîtrisés, de l'ordre de 50 à 350 €/m² chauffés.

A noter également dans ce segment, la base de deux des six bâtiments analysés (IAE4 et IAE9) est cost-optimum, 3 autres bâtiments (IAE3, IAE5 et IAE7) affichent un CGA proche de celui de la base pour un niveau d'investissement de l'ordre de 50 à 175 €/m² chauffés.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum, le système de ventilation D avec récupérateur de chaleur est sur le Front de Pareto dans un bâtiment sur trois ; Le système de chauffage le plus répandu est la chaudière mixte au gaz. Aucun système de production d'énergie renouvelable n'est présent dans les immeubles à appartements existants.

6.4. Immeubles de 6 appartements neuf (IAN)

Un immeuble de 6 appartements neufs a été analysé. Celui-ci affiche un niveau cost optimum de déperditions thermiques (U) des parois (F, S) équivalent aux exigences U_{max} applicables depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie. Le niveau cost optimum de déperditions thermiques (U) des parois (M, T) est lui nettement plus performant que les U_{max} .

Tableau 139: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PER 2017 neuf		1,50	0,24	0,24	0,24
	Exigence PER 2021 neuf					
IAN1	Immeuble de 6 appartements neuf	100,0%	1,43	0,15	0,20	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-5%	-60%	-20%	0%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,15	0,20	0,24

Pour ce bâtiment l'écart entre les exigences U max en vigueur en 2017 et les niveaux cost optimum varie de 0 à -60% en fonction des parois. Les exigences U_{max} des murs extérieurs et des toitures imposés par la réglementation PEB 2017 sont inférieures de plus de 15% aux niveaux U optimum pour ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimaux pour l'immeuble à appartement neuf** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,15 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,20 W/m²K** pour les toitures
- **0,24 W/m²K** pour les sols

On peut en conclure que des valeurs U_{max} plus strictes que les exigences en vigueur en 2017 devraient s'appliquer aux murs extérieurs et aux toitures de ce type de constructions, de manière à se rapprocher des niveaux d'isolation cost optimum de ces éléments de bâtiments.

La construction de bâtiments résidentiels est soumise à des exigences de performance globale (de type E_{spec} , K et E_w).

L'écart entre les exigences E_{spec} / K / E_w et les consommations caractéristiques d'énergie primaire cost optimum / niveau K / E_w de cet immeuble à appartement est présenté ci-dessous.

La valeur immobilière du bien ainsi que le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 140: E_{spec} , E_w et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Espec cost optimum	K cost optimum	Ew cost optimum	Valeur immobilière	CGA cost optimum
		kWh/m ² an			EUR	EUR
	Exigence PER 2017 neuf	115	35	65		
	Exigence PER 2021 neuf	85	35	45		
IAN1	Immeuble de 6 appartements neuf	63	31	39	1.098.945 €	1.134.949 €
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)	-83%	-13%	-67%		
	Niveau optimum moyen pondéré	63	31	39		
	Ecart moyen pondéré (exigence 2021)	-35%	-13%	-15%		
	Niveau d'exigence optimum moyen pondéré	63	31	39		

La consommation spécifique en énergie primaire de cet immeuble à appartements construit à un niveau cost optimum est de l'ordre de **63 kWh/m²an**, de 83% plus performant que l'exigence E_{spec} imposée aux constructions neuves en 2017.

Le niveau K optimum est **K 31**, environ 13% plus performant que l'exigence PEB 2017

Le Ew optimum est **Ew39**, de 67% plus performant que l'exigence E_w en 2017.

Cet écart est en partie résorbé avec les exigences NZEB applicable en 2021 aux constructions neuves mais il reste au delà des 15% pour l'exigence Espec.

Au niveau des systèmes présents dans la combinaison cost optimum :

- Le système de ventilation C centralisé (freduc 0,43) est utilisé ;
- La chaudière partagée mixte à condensation au gaz est utilisée, avec des ventilo-convecteurs basse température ;
- Un système solaire thermique (4 m² de capteurs par appartement) couplé à la chaudière est présent pour assurer la production d'ECS.

A noter : Les pompes à chaleur se retrouvent plus haut sur le graphique du FP ; bien qu'elles permettent d'atteindre des niveaux de performance supérieurs, elles ne sont (dans les conditions de l'étude) généralement pas cost optimum.

6.5. Bureaux existants (BUE)

Les 5 typologies d'immeubles de bureaux existants analysés affichent un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) des différentes parois (F, T, S) assez proche des exigences U_{max} applicables en rénovation depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 141: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PEN 2017 existant		1,50	0,24	0,24	0,24
BUE1	Grand bureau (élevé), avant 1945	31,3%	1,43	0,15	0,24	0,24
BUE5	Bureau existant <1945	31,3%	1,57	0,20	0,20	0,30
BUE2	Bureau étendu (peu élevé), années 70	21,0%	1,43	0,20	0,20	0,24
BUE3	Petit bureau pour indépendant, 1984	13,5%	1,43	0,20	0,24	0,24
BUE4	Bureau compact, années 2000	3,0%	1,43	0,20	0,24	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-2%	-33%	-10%	6%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,47	0,18	0,22	0,26

L'écart moyen pondéré entre les niveaux optimum des bureaux de référence analysés dans l'étude et les exigences U_{max} en vigueur en 2017 varie de -33% à +6% en fonction des parois. Les exigences U_{max} imposés par la réglementation PEB 2017 pour les fenêtres, toitures et sols s'écartent de moins de 15% par rapport aux niveaux $U_{optimum}$ moyens pondérés pour ces parois. L'exigence en vigueur pour les murs extérieurs s'écarte par contre de 33% du niveau optimum pour ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux $U_{optimum}$ pour les immeubles de bureaux existants** sont de :

- **1,47 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,18 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,22 W/m²K** pour les toitures ;
- **0,26 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que le U_{max} applicable à la rénovation des sols est légèrement plus exigeant que le cost optimum, que les U_{max} des fenêtres et des toitures des immeubles de bureaux existants sont tout juste moins exigeants que les $U_{optimum}$, tandis que l'exigence U_{max} au niveau des murs extérieurs - nettement moins stricte que le $U_{optimum}$ moyen pondéré calculé pour ce type de paroi - devrait être renforcée.

Actuellement, la rénovation des bâtiments PEN existants n'est soumise à aucune exigence de performance globale (de type K ou E_w).

L'écart entre l'exigence E_w et le niveau E_w optimum moyen pondéré des 5 typologies de bureaux rénovés selon une combinaison de mesures (enveloppe-systèmes) cost optimum est présenté pour information ci-dessous.

Les investissements nécessaires pour passer des niveaux Ew de base aux Ew cost-optimums ainsi que l'impact des mesures d'amélioration sur le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 142: Ew et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Ew cost optimum	Ew Base	Valeur immobilière EUR	CGA Base EUR	Inv EUR	CGA cost optimum EUR	CGA CO / CGA base %
BUE1	Grand bureau (élevé), avant 1945	122	466	3.142.939 €	5.451.636 €	727.914 €	4.413.000 €	81%
BUE5	Bureau existant <1945	121	195	105.565 €	197.583 €	10.771 €	165.744 €	84%
BUE2	Bureau étendu (peu élevé), années 70	119	191	3.534.034 €	6.056.078 €	392.147 €	5.389.284 €	89%
BUE3	Petit bureau pour indépendant, 1984	93	154	107.919 €	138.836 €	4.100 €	126.875 €	91%
BUE4	Bureau compact, années 2000	120	173	3.186.321 €	3.868.438 €	54.383 €	3.645.124 €	94%
	Niveau optimum moyen pondéré	117						

Le Ew cost optimum moyen pondéré des immeubles de bureaux rénovés est de 117.

Les investissements nécessaires pour améliorer les performances de l'enveloppe et/ou des systèmes vont de 25 à 125 €/m² chauffés, entraînant des diminutions de 5 à 20% en termes de coût global actualisé. L'impact des améliorations enveloppe-systèmes sur le CGA de ce type de bâtiments peut sembler limité en valeur relative (%), il en va tout autrement en valeur absolue (plus d'un million d'euros de différence entre le CGA de la base du grand bureau construit avant 1945 (BUE1) et le CGA de ce même bâtiment rénové de manière cost optimum.

A l'exception du petit bureau accueillant une profession libérale au sein d'un immeuble plus grand et ne bénéficiant pas de refroidissement, les Ew cost optimum pour ce segment sont remarquablement proches les uns des autres.

A noter également, dans ce segment, aucun des bâtiments de référence (base) n'est cost-optimum, tous sont améliorables, du plus petit au plus grand, du plus ancien au plus récent.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum, le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED est présent dans tous les cas. Le système de refroidissement par pompe à chaleur air-air (EER4) est présent dans les deux grands bureaux (BUE1, BUE2).

6.6. Bureaux neufs (BUN)

Un immeuble de bureau neuf a été analysé (BUN1 : 4 façades, 3 niveaux). Celui-ci affiche un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) de ses différentes parois équivalent (S) ou assez proche (F, M) des exigences U_{max} applicables depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 143: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PEN 2017 neuf		1,50	0,24	0,24	0,24
	Exigence PEN 2021 neuf					
BUN1	Nouveau bâtiment de bureaux	100,0%	1,43	0,22	0,20	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-5%	-9%	-20%	0%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,22	0,20	0,24

L'écart entre le niveau optimum du bureau neuf analysé dans l'étude et les exigences U_{max} en vigueur en 2017 varie de 0 à -20% en fonction des parois. L'exigence U_{max} en vigueur pour la toiture est inférieure de plus de 15% par rapport à l'optimum pour ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimaux pour l'immeuble de bureau neuf** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,22 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,20 W/m²K** pour les toitures
- **0,24 W/m²K** pour les sols

On peut en conclure que des valeurs U_{max} plus strictes que les exigences en vigueur en 2017 devraient s'appliquer aux toitures et, dans une moindre mesure, aux murs extérieurs de ce type de construction, afin de se rapprocher des niveaux d'isolation cost optimum de ces éléments de bâtiments.

La construction de bâtiments non résidentiels est soumise à des exigences de performance globale (de type K et E_w).

L'écart entre les exigences K / E_w et les niveaux K / E_w optimum de cet immeuble de bureaux est présenté ci-dessous.

La valeur immobilière du bien ainsi que le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 144: K, E_w et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	K cost optimum	Ew cost optimum	Valeur immobilière	CGA cost optimum
				EUR	EUR
	Exigence PEN 2017 neuf	35	65		
	Exigence PEN 2021 neuf	35	45		
BUN1	Nouveau bâtiment de bureaux	41	64	3.302.197 €	3.533.559 €
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)	15%	-2%		
	Niveau optimum moyen pondéré	41	64		
	Ecart moyen pondéré (exigence 2021)	15%	30%		

Le niveau K optimum de cet immeuble de bureau neuf est **K 41**, environ 15% au-delà de l'exigence PEB 2017. Le Ew optimum **Ew64**, est à peine de 2% plus performant que l'exigence E_w65 imposée aux parties fonctionnelles « bureaux » en 2017.

Les niveaux d'exigences de performance globale PEN 2017 sont relativement bien alignés sur les niveaux cost optimums.

Le renforcement de l'exigence Ew pour les parties fonctionnelles « bureaux » en construction neuve en 2021 va de l'ordre de 30% au delà du cost optimum.

Au niveau des systèmes présents dans la combinaison cost optimum :

- Le système de ventilation double flux avec récupération de chaleur est utilisé ;
- La chaudière mixte à condensation au gaz avec ventilo-convecteurs haute température est utilisée pour le chauffage ;
- Une pompe à chaleur air-eau (COP 3,1- EER 3,0) est utilisée pour refroidir le bâtiment ;
- Un éclairage LED (4W /m²) est utilisé.

6.7. Etablissements scolaires existants (EE)

Les 4 typologies d'écoles existantes analysées affichent un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) des différentes parois (F, M, S) très proche ou équivalent aux exigences U_{max} applicables en rénovation depuis le 1er janvier 2017 en Wallonie.

Tableau 145: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et U optimum des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PEN 2017 existant		1,50	0,24	0,24	0,24
EE1	Ecole maternelle/primaire d'avant 1945	89,8%	1,43	0,24	0,20	0,24
EE2	Ecole maternelle/primaire de 1950	3,4%	1,43	0,24	0,24	0,24
EE3	Ecole secondaire d'après 1970	3,4%	1,43	0,24	0,20	0,24
EE4	Bâtiment universitaire de 1968	3,4%	1,43	0,24	0,24	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-5%	0%	-19%	0%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,24	0,20	0,24

L'écart moyen pondéré entre les écoles de référence analysées dans l'étude et les exigences U max en vigueur en 2017 varie de 0 à -19% en fonction des parois. Les exigences en vigueur des fenêtres, murs extérieurs et sols s'écartent de moins de 15% des U optimums moyens pondérés pour ces parois. Par contre l'exigence Umax pour les toits devrait être renforcée pour tendre vers l'optimum, qui est actuellement de 19% plus performant.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimums pour les établissements scolaires existants** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,24 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,20 W/m²K** pour les toitures ;
- **0,24 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que les Umax (F, M, S) applicables à l'isolation des sols et des murs extérieurs et des fenêtres sont (quasi) équivalents aux U optimum ; tandis que l'exigence Umax au niveau de l'isolation des toitures est relativement moins stricte que le U optimum moyen pondéré calculé pour ce type de paroi (T).

Actuellement, la rénovation des bâtiments existants n'est soumise à aucune exigence de performance globale (de type K ou E_w) en vigueur pour les nouvelles constructions.

L'écart entre l'exigence E_w et le niveau E_w optimum moyen pondéré des 4 typologies d'écoles rénovées selon une combinaison de mesures (enveloppe-systèmes) cost optimum est présenté pour information ci-dessous. Les investissements nécessaires pour passer des niveaux E_w de base aux E_w cost-optimums ainsi que l'impact des mesures d'amélioration sur le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 146: Ew et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	Ew cost optimum	Ew Base	Valeur immobilière	CGA Base	Inv	CGA cost optimum	CGA CO / CGA base
				EUR	EUR	EUR	EUR	%
EE1	Ecole maternelle/primaire d'avant 1945	126	196	680.872 €	1.420.485 €	104.024 €	1.177.409 €	83%
EE2	Ecole maternelle/primaire de 1950	97	263	1.247.331 €	2.148.235 €	274.736 €	1.807.069 €	84%
EE3	Ecole secondaire d'après 1970	71	209	2.110.104 €	4.401.845 €	925.250 €	3.810.369 €	87%
EE4	Bâtiment universitaire de 1968	106	177	7.700.473 €	12.220.065 €	749.326 €	11.112.694 €	91%
	Niveau optimum moyen pondéré	122						

Le niveau Ew cost optimum moyen pondéré des écoles rénovées est de 122.

Les investissements nécessaires pour améliorer les performances de l'enveloppe et/ou des systèmes vont de 80 à 185 €/m² chauffés, entraînant des diminutions de l'ordre de 10 à 15% du coût global actualisé. L'impact des améliorations enveloppe-systèmes sur le CGA de ce type de bâtiments peut sembler limité en valeur relative (%), il en va tout autrement en valeur absolue (plus de 1.100.000 euros de différence entre le CGA de base du bâtiment universitaire construit en 1968 (EE4) et le CGA de ce même bâtiment rénové à un niveau cost optimum).

Les Ew cost optimum des différents établissements au sein de ce segment sont assez disparates (de Ew71 à Ew126), ceci résulte notamment de la diversité des typologies constructives des bâtiments scolaires en Wallonie et de leur géométrie variée (EE1 par exemple est constitué de plusieurs petits bâtiments).

A noter également, dans ce segment, aucun des bâtiments de référence (base) n'est cost-optimum, tous sont améliorables, du plus petit au plus grand, du plus ancien au plus récent.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum, le remplacement de l'éclairage par un éclairage LED est présent dans tous les cas. Un producteur de chauffage de type chaudière mixte alimenté par de la biomasse est cost-optimum pour l'école maternelle et primaire construite avant 1945 (EE2), Dans les autres cas, soit la chaudière (gaz) de référence reste en fonction (EE3, EE4), soit la chaudière au mazout et le boiler électrique sont remplacés par une chaudière mixte à condensation au gaz (EE1).

Aucun système de ventilation totalement mécanique n'est cost optimum par rapport aux systèmes d'alimentation naturelle – évacuation mécanique.

Le système de froid considéré en base (machine frigorifique à compression air air de type multi-splits) n'est jamais remplacé. Certaines combinaisons situées sur le FP bénéficient d'une climatisation air-air plus performante (EER4), mais affichent un CGA plus élevé que le cost optimum.

6.8. Etablissements scolaires neufs (EN)

Deux types d'établissements scolaires neufs ont été analysés (une petite école de village, EN1 et une école fondamentale de volumétrie simple, EN2).

Tableau 147: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment

Code BatRef	Batiment de Référence	Représentativité du bâtiment	U optimum Fenêtres	U optimum Murs extérieurs	U optimum Toit	U optimum Sol
		%	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K
	Exigence PEN 2017 neuf		1,50	0,24	0,24	0,24
	Exigence PEN 2021 neuf					
EN1	Petite école de village	40,0%	1,43	0,20	0,20	0,24
EN2	Ecole fondamentale volumétrie simple	60,0%	1,43	0,20	0,20	0,24
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)		-5%	-20%	-20%	0%
	Niveau optimum moyen pondéré		1,43	0,20	0,20	0,24

L'écart entre le niveau cost optimum des écoles neuves analysées dans l'étude et les exigences U_{max} en vigueur depuis 2017 varie de 0 à -20% en fonction des parois.

Pour les parois de type (F, S), ces établissements affichent un niveau cost-optimum de déperditions thermiques (U) quasi équivalent à celui des exigences U_{max} applicables depuis le 1er janvier 2017. Les exigences U_{max} en vigueur des murs extérieurs et toitures sont quant à elles inférieures de plus de 15% aux niveaux U optimums moyens pondérés de ces parois.

Selon les hypothèses de l'étude, **les niveaux U optimums pour les établissements scolaires neufs** sont de :

- **1,43 W/m²K** pour les fenêtres ;
- **0,20 W/m²K** pour les murs extérieurs ;
- **0,20 W/m²K** pour les toitures ;
- **0,24 W/m²K** pour les sols.

On peut en conclure que des valeurs U_{max} plus strictes que les exigences en vigueur en 2017 pourraient s'appliquer aux toitures et aux murs extérieurs de ce type de constructions, afin de se rapprocher des niveaux d'isolation cost optimum de ces éléments de bâtiments.

La construction de bâtiments non résidentiels est soumise à des exigences de performance globale (de type K et E_w).

L'écart entre les exigences K / E_w et les niveaux K / E_w optimum de ces bâtiments scolaires neufs est présenté ci-dessous.

La valeur immobilière du bien ainsi que le coût global actualisé macroéconomique sont également repris dans le tableau.

Tableau 148: K, Ew et CGA cost optimum

Code BatRef	Batiment de Référence	K cost optimum	Ew cost optimum	Valeur immobilière EUR	CGA cost optimum EUR
	Exigence PEN 2017 neuf	35	65		
	Exigence PEN 2021 neuf	35	45		
EN1	Petite école de village	37	47	668.247 €	755.222 €
EN2	Ecole fondamentale volumétrie simple	28	48	5.025.676 €	5.476.268 €
	Ecart moyen pondéré (exigence 2017)	-13%	-37%		
	Niveau optimum moyen pondéré	32	48		
	Ecart moyen pondéré (exigence 2021)	-13%	5%		

Le niveau K en vigueur depuis 2017 pour les écoles neuves est 13% moins performant que le niveau K32 correspondant à l'optimum moyen pondéré.

L'exigence Ew65 imposée aux parties fonctionnelles « écoles » depuis 2017 est de 37% inférieure au Ew48 correspondant à l'optimum

Les niveaux de performance cost optimum sont par contre relativement bien alignés sur les niveaux d'exigences de performance globale qui entreront en vigueur en 2021 pour ce type d'établissement. L'écart ne sera plus que de 5% entre le Ew applicable en 2021 et le Ew cost optimum pour les parties fonctionnelles « écoles » en construction neuve.

Au niveau des systèmes présents dans les combinaisons cost optimum :

- Le système de ventilation double flux avec récupération de chaleur est utilisé ;
- La chaudière mixte à condensation au gaz avec ventilo-convecteurs haute température est utilisée pour le chauffage ;
- Une machine à compression air-air de type multi-splits (EER 4,0) est utilisée pour refroidir les bâtiments ;
- Un éclairage LED est utilisé.

6.9. Résumé des niveaux optimaux

U Fenêtres			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales existantes	1.5	1.43	-5%
Immeubles à appartements existants		1.43	-5%
Bureaux existants		1.47	-2%
Etablissements scolaires existants		1.43	-5%

U Fenêtres			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	1.5	1.42	-6%
Immeuble à appartements neuf		1.43	-5%
Bureaux neufs		1.43	-5%
Etablissements scolaires neufs		1.43	-5%

U Murs			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales existantes	0.24	0.22	-13%
Immeubles à appartements existants		0.22	-11%
Bureaux existants		0.18	-33%
Etablissements scolaires existants		0.24	0%

U Murs			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	0.24	0.2	-20%
Immeuble à appartements neuf		0.15	-60%
Bureaux neufs		0.22	-9%
Etablissements scolaires neufs		0.2	-20%

U Toits			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales existantes	0.24	0.22	-9%
Immeubles à appartements existants		0.235	-2%
Bureaux existants		0.22	-10%
Etablissements scolaires existants		0.2	-19%

U Toits			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	0.24	0.18	-36%
Immeuble à appartements neuf		0.2	-20%
Bureaux neufs		0.2	-20%
Etablissements scolaires neufs		0.2	-20%

U Sols			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales existantes	0.24	0.23	-7%
Immeubles à appartements existants		0.42	16%
Bureaux existants		0.26	6%
Etablissements scolaires existants		0.24	0%

U Sols			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	0.24	0.24	0%
Immeuble à appartements neuf		0.24	0%
Bureaux neufs		0.24	0%
Etablissements scolaires neufs		0.24	0%

Niveau K			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017/2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	35	27	-31%
Immeuble à appartements neuf		31	-13%
Bureaux neufs		41	15%
Etablissements scolaires neufs		32	-13%

Espec			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	115	82	-50%
Immeuble à appartements neuf		63	-83%
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	85	82	-11%
Immeuble à appartements neuf		63	-35%

Niveau Ew			
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2017	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	65	46	-52%
Immeuble à appartements neuf		39	-67%
Bureaux neufs		64	-2%
Etablissements scolaires neufs		48	-37%
Catégorie de bâtiments de référence	Exigence 2021	CO	Ecart moyen pondéré
Maison unifamiliales neuves	45	46	-6%
Immeuble à appartements neuf		39	-15%
Bureaux neufs		64	30%
Etablissements scolaires neufs		48	5%





Liste des tableaux

Tableau 1: Exigences PEB d'application depuis le 1 ^{er} janvier 2017 en fonction de la nature des travaux	12
Tableau 2 Exigences E _w 2017 pour les parties fonctionnelles des unités PEN neuves	13
Tableau 3: Exigences U _{max} applicables en rénovation à partir du 1 ^{er} janvier 2017	14
Tableau 4: Exigences en vigueur au niveau des systèmes HVAC depuis le 1 ^{er} mai 2016	15
Tableau 4: Exigences PEB d'application à partir du 1 ^{er} janvier 2021 en fonction de la nature des travaux	16
Tableau 5 Exigences E _w 2021 pour les parties fonctionnelles des unités PEN neuves	17
Tableau 7: coût des émissions de CO ₂ selon le SEQUE-UE	23
Tableau 8: Taux d'actualisation utilisé dans l'étude.....	25
Tableau 9 durée de vie normalisée des éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment	29
Tableau 10 Durée de vie normalisée des systèmes HVAC.....	30
Tableau 11 Coûts de maintenance des différents systèmes HVAC considérés dans l'études	35
Tableau 12: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	69
Tableau 13: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	73
Tableau 14: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	77
Tableau 15: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE3 situées sur le FP macroéconomique du Espec	79
Tableau 16: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	81
Tableau 17: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	85
Tableau 18: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	89
Tableau 19: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	94
Tableau 20: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	98
Tableau 21: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	102
Tableau 22: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	106
Tableau 23: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	110
Tableau 24: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	114
Tableau 25: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	117
Tableau 26: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	121
Tableau 27: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	127
Tableau 28: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	132
Tableau 29: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	137
Tableau 30: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	141
Tableau 31: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	145
Tableau 32: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	149

Tableau 33: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	153
Tableau 34: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	157
Tableau 35: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	161
Tableau 36: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	164
Tableau 37: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	167
Tableau 38: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	171
Tableau 39: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	174
Tableau 40: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	177
Tableau 41: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	182
Tableau 42: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE2.....	185
Tableau 43: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	188
Tableau 44: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE4.....	190
Tableau 45: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUE5.....	193
Tableau 46: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois du BUN1.....	195
Tableau 47: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	198
Tableau 48: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	200
Tableau 49: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	203
Tableau 50: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	206
Tableau 51: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	209
Tableau 52: Combinaisons cost optimum relatives aux U moyens des parois.....	211
Tableau 53: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE1 situées sur le front de Pareto macroéconomique du Espec.....	214
Tableau 54: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	216
Tableau 55: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	217
Tableau 56: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	219
Tableau 57: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	220
Tableau 58: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	222
Tableau 59: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE4 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	223
Tableau 60: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	225
Tableau 61: Combinaisons enveloppe-systèmes du HE5 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	226
Tableau 62: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	227
Tableau 63: Combinaisons enveloppe du HE6 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	228

Tableau 64: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	229
Tableau 63: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE8 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	230
Tableau 64: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	232
Tableau 65: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE9 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	233
Tableau 66: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	235
Tableau 67: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE10 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	236
Tableau 68: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (Espec – CGA macroéconomique) ...	238
Tableau 69: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE11 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	239
Tableau 70: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	241
Tableau 71: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE12 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	242
Tableau 72: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	244
Tableau 73: Combinaisons enveloppe-systèmes de HE13 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	245
Tableau 74: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)	246
Tableau 75: Combinaisons viables enveloppe-systèmes du HE14 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	247
Tableau 76: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	249
Tableau 77: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	249
Tableau 78: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	250
Tableau 79: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	251
Tableau 80: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	253
Tableau 81: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN2 T3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	254
Tableau 82: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	255
Tableau 83: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN3 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	257
Tableau 84: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	259
Tableau 85: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN3 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	260

Tableau 86: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	262
Tableau 87: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	263
Tableau 88: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	265
Tableau 89: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T2 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	266
Tableau 90: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	268
Tableau 91: Combinaisons enveloppe-systèmes du HN4 T3 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	269
Tableau 92: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique).....	271
Tableau 93: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	272
Tableau 94: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	273
Tableau 95: Combinaisons viables enveloppe-systèmes du IAE3 proches du Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	275
Tableau 96: Détail de la première combinaison viable proche du Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)	276
Tableau 97: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE4 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	278
Tableau 98: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	280
Tableau 99: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE5 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	281
Tableau 100: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)..	283
Tableau 101: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE7 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	284
Tableau 102: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	286
Tableau 103: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAE9 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	287
Tableau 104: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)....	288
Tableau 105: Combinaisons enveloppe-systèmes du IAN1 situées sur le Front de Pareto macroéconomique du Espec.....	289
Tableau 106: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)..	290
Tableau 107: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE1 situées sur le front de Pareto du Ew	291
Tableau 108: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} – CGA macroéconomique)	292

Tableau 109: combinaisons enveloppe-systèmes du BUE2 situées sur le front de Pareto du Ew macroéconomique.....	294
Tableau 110: Détail de combinaisons cost optimum sur le Front de Pareto (Ew - CGA macroéconomique)	296
Tableau 111: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE3 situées sur le front de Pareto du Ew	297
Tableau 112: Détail de la combinaison cost optimum sur le Front de Pareto (E_{spec} - CGA macroéconomique)	298
Tableau 113: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE4 situées sur le front de Pareto du Ew	299
Tableau 114: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	302
Tableau 115: Combinaisons enveloppe-systèmes du BUE5 situées sur le front de Pareto du Ew	302
Tableau 116: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	303
Tableau 117: combinaisons enveloppe-systèmes du BUN1 situées sur le front de Pareto du Ew	304
Tableau 118: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto.....	306
Tableau 119: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE1 situées sur le front de Pareto du Ew.	307
Tableau 120: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	308
Tableau 121: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE2 situées sur le front de Pareto du Ew.	309
Tableau 122: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	310
Tableau 123: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE3 situées sur le front de Pareto du Ew.	311
Tableau 124: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto	313
Tableau 125: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EE4 situées sur le front de Pareto du Ew.	313
Tableau 128: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	315
Tableau 129: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EN1 situées sur le front de Pareto du Ew	316
Tableau 130: Détail des combinaisons sur le Front de Pareto	318
Tableau 131: combinaisons enveloppe-systèmes de l'EN2 situées sur le front de Pareto du Ew	319
Tableau 132: Détail de combinaisons sur le Front de Pareto.....	320
Tableau 133: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment	324
Tableau 134: Espec, Ew et CGA cost optimum	325
Tableau 135: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment	326
Tableau 132: Espec, Ew, K et CGA cost optimum	327
Tableau 137: Ecart moyen pondéré entre U_{max} et $U_{optimum}$ des différentes parois du bâtiment	329

Tableau 138: Espec, Ew et CGA cost optimum	330
Tableau 139: Ecart moyen pondéré entre Umax et Uoptimum des différentes parois du bâtiment	331
Tableau 140: Espec, Ew et CGA cost optimum	331
Tableau 141: Ecart moyen pondéré entre Umax et Uoptimum des différentes parois du bâtiment	333
Tableau 138: Ew et CGA cost optimum	334
Tableau 143: Ecart moyen pondéré entre Umax et Uoptimum des différentes parois du bâtiment	335
Tableau 144: K, Ew et CGA cost optimum	335
Tableau 145: Ecart moyen pondéré entre Umax et U optimum des différentes parois du bâtiment	336
Tableau 146: Ew et CGA cost optimum	338
Tableau 147: Ecart moyen pondéré entre Umax et Uoptimum des différentes parois du bâtiment	339
Tableau 144: K, Ew et CGA cost optimum	340

Liste des figures

Figure 1 vue d'ensemble des données d'entrée et de sortie de l'outil COT en lien avec le logiciel PEB	41
Figure 2: éléments constitutifs du coût global selon la directive PEB. Source : règlement Délégué (UE) n°244/2012	381
Figure 3: Evolution du prix du gaz naturel selon les trois scenarios retenus	27
Figure 4: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE1	215
Figure 5: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE2	218
Figure 6: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE3	221
Figure 7: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE4	224
Figure 8: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE5	227
Figure 9: Front de Pareto des combinaisons enveloppe du HE6	228
Figure 10: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE8	231
Figure 11: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE9	234
Figure 12: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE10	237
Figure 13: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE11	240
Figure 14: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE12	243
Figure 15: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE13	246
Figure 16: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HE14	248
Figure 17: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T1	250
Figure 18: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T2	252
Figure 19: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN2 T3	256
Figure 20: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN3 T1	258
Figure 21: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN3 T2	261
Figure 22: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T1	264
Figure 23: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T2	267
Figure 24: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du HN4 T3	270
Figure 25: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE1	273
Figure 26: Combinaisons viables enveloppe/systèmes du IAE3 proches du Front de Pareto.....	276
Figure 27: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE4.....	279
Figure 28: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE5.....	282
Figure 29: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE7.....	285
Figure 31: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAE9.....	288
Figure 32: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du IAN1	290
Figure 34: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE1	292
Figure 35: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE2.....	295

Figure 36: Front de Pareto des combinaisons enveloppe du BUE3 et détail des combinaisons sur le Front de Pareto	298
Figure 37: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE3	298
Figure 38: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE4	301
Figure 39: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes du BUE5	303
Figure 40: Front de Pareto des combinaisons enveloppe-systèmes du BUN1	305
Figure 41: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE1	308
Figure 42: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE2	310
Figure 43: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE3	312
Figure 43: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EE4	315
Figure 44: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EN1	317
Figure 45: Front de Pareto des combinaisons enveloppe/systèmes de l'EN2	320

Références

- [1] —Directive 2010/31/UE
- [2] —Le règlement Délégué (UE) n°244/2012 et les orientations accompagnant le règlement délégué (UE).
- [3] —première étude coût optimum de la Wallonie (COZEB), juin 2013 et COZEB extension (xxx 2015).
- [4] —rapports d'études coût optimum des régions bruxelloise et flamande ainsi que les rapports nationaux des autres Etats membres.
- [5] —site de la Concerted Action - Enregy performance of Buildings.
- [6] —étude « Cost optimal building performance requirements – calculation methodology for reporting on national energy performance.
- [7] —requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD » - T. Boermans, K. Bettgenhäuser, A. Hermelink, S. Schimschar and other Ecofys international staff – 2 may 2011.
- [8] —« Implementing the cost-optimal methodology in EU countries – lessons learned from three case studies » - BPIE-2013.
- [9] —Discount rates in energy system analysis – Discussion paper » - Jan Steinbach (Fraunhofer ISI), Dan Staniaszek (BPIE) – May 2015.
- [10] —...

Annexe A : Descriptif des bâtiments de référence

Les fiches descriptives complètes des bâtiments de références analysés dans l'étude sont disponibles dans des fichiers Word séparés :

- COZEB3-fiches-bureau : https://3ebelgium-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/bhu_3e_eu/EdvIAY7JpyFBt6RwmUZsWpEBCpRkZc5ta8dDi_bqH0tY5w?e=K9VXw9
- COZEB3-fiches-ecoles ; https://3ebelgium-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/bhu_3e_eu/EQ9Xe7WTC9ZMnFEhJniRjI4BT8XhrlkCkljlvYwtbeCUjQ?e=c4YsiM
- COZEB3-fiches-habitation-2017 : https://3ebelgium-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/bhu_3e_eu/EQ_MFa2XOAZOhlclmQ-GEIBL_vhvCZxtZotIAW9DosMzQ?e=6sj19d
- COZEB3-fiches-immeubleapp : https://3ebelgium-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/bhu_3e_eu/EWbL5az2MwRPn0lrFtqNOAkBPvtaUwSE3f2IQx_eVhuvjA?e=KEgWjP

Annexe B : Mesures d'amélioration de l'enveloppe

MESURES ENVELOPPE BÂTIMENTS EXISTANTS		PER UNI	PER COLL	PEN Bu.	PEN Ec.
Parois contact extérieur					
MUR	ME0.24	x	x	x	x
	ME0.20	x	x	x	x
	ME0.15	x	x	x	x
CHASSIS	Ch1.7-DV1.1/0.63	x	x	x	x
	Ch1.7-DV1.0/0.5	x	x	x	x
	Ch0.95-TV0.6/0.5	x	x	x	x
	Ftoit 1	x	x	x	x
	Ftoit 2	x	x	x	x
VITRAGE	V1.1/0.63-bois existant	x	x		
	V1.1/0.63-pvc existant	x	x		
	V1.1/0.63-alu existant	x	x		
PLANCHER	PIE0.3	x	x	x	x
	PIE0.24	x	x	x	x
	PIE0.15	x	x	x	x
TOIT PENTE	T0.24	x	x	x	x
	T0.20	x	x	x	x
	T0.15	x	x	x	x
TOIT PLAT	TPO.24	x	x	x	x
	TPO.20	x	x	x	x
	TPO.15	x	x	x	x
PORTE	Pext2	x	x	x	x
	Pext0.8	x	x	x	x
Parois mitoyenne					
MUR	MI1.0	x	x	x	x
PLANCHER	PIMit1.0	x	x	x	x
PLAFOND	PfMit1.0	x	x	x	x
Parois contact sol					
MURS	Ms0.24	x	x	x	x
	Ms0.20	x	x	x	x
	Ms0.15	x	x	x	x
PLANCHER	PISol0.3	x	x	x	x
	PISol0.24	x	x	x	x
	PISol0.15	x	x	x	x
Parois contact cave					
MUR	Mcave0.24	x	x	x	x
	Mcave0.2	x	x	x	x
	Mcave0.15	x	x	x	x
PLANCHER	PIcave0.3	x	x	x	x
	PIcave0.24	*	x	x	x
	PIcave0.15	x	x	x	x
PORTE	Pcave2	x	x	x	x
Parois contact espace adjacent non chauffé					
MURS	Meanc0.24	x	x	x	x
	Meanc0.2	x	x	x	x
	Meanc0.15	x	x	x	x
PLAFOND	PfGr0.24	x	x	x	x
	PfGr0.2	x	x	x	x
	PfGr0.15	x	x	x	x
PLANCHER	Planc0.3	x	x	x	x

	Pleanc0.24	x	x	x	x
	Pleanc0.15	x	x	x	x
PORTE	Peanc2	x	x	x	x
Parois contact vide sanitaire					
MUR	Mvv0.24	x	x	x	x
	Mvv0.2	x	x	x	x
	Mvv0.15	x	x	x	x
PLANCHER	Plvv0.3	x	x	x	x
	Plvv0.24	x	x	x	x
	Plvv0.15	x	x	x	x
Protection solaire					
	Prot sol ext manuelle	x	x		x
	Prot sol ext automatique	-	-	x	-
Etanchéité à l'air					
	Etanchéité 4	x	x	x	x
	Etanchéité 2	x	x	x	x
Inertie					
	Peu lourd	x	x	x	x
	Léger	x	x	x	x
Ventilation					
	Ventilation D	x	x	x	x
	Ventilation C+ 0,43	x	x		
	Ventilation C+ 0,9	x	x		
	Ventilation C	x	x		

MESURES ENVELOPPE BÂTIMENTS NEUFS		PER UNI	PER COLL	PEN Bu.	PEN Ec.
Parois contact extérieur					
MUR	ME0.20	x	x	x	x
	ME0.15	x	x	x	x
CHASSIS	Ch1.7-DV1.0/0.5	x	x	x	x
	Ch0.95-TV0.6/0.5	x	x	x	x
	Ftoit 2	x	x	x	x
PLANCHER	PIE0.24	x	x	x	x
	PIE0.15	x	x	x	x
TOIT PENTE	T0.20	x	x	x	x
	T0.15	x	x	x	x
TOIT PLAT	TP0.20	x	x	x	x
	TP0.15	x	x	x	x
PORTE	Pext0.8	x	x	x	x
Parois contact sol					
MURS	Ms0.20	x	x	x	x
	Ms0.15	x	x	x	x
PLANCHER	PISol0.24	x	x	x	x
	PISol0.15	x	x	x	x
Parois contact cave					
MUR	Mcave0.2	x	x	x	x
	Mcave0.15	x	x	x	x
PLANCHER	PIcave0.24	x	x	x	x
	PIcave0.15	x	x	x	x
Parois contact espace adjacent non chauffé					
MURS	Meanc0.2	x	x	x	x
	Meanc0.15	x	x	x	x
PLAFOND	PfGr0.2	x	x	x	x
	PfGr0.15	x	x	x	x
PLANCHER	Pleanc0.24	x	x	x	x
	Pleanc0.15	x	x	x	x
Parois contact vide sanitaire					
MUR	Mvv0.2	x	x	x	x

PLANCHER	Mwv0.15	x	x	x	x
	Plvv0.24	x	x	x	x
	Plvv0.15	x	x	x	x
Protection solaire					
	Prot sol ext manuelle	x	x		x
	Prot sol ext automatique	-	-	x	-
Etanchéité à l'air					
	Etanchéité 4	x	x	x	x
	Etanchéité 2	x	x	x	x
Inertie					
	Peu lourd				
	Léger				
Ventilation					
	Ventilation D	x	x	x	x
	Ventilation C+ 0,43	x	x		
	Ventilation C+ 0,9	x	x		

Annexe C : Mesures d'amélioration des systèmes

MESURES SYSTEMES BÂTIMENTS EXISTANTS		PER UNI	PER COLL	PEN Bu.	PEN Ec.
Producteurs séparés - Chauffage seul / ECS seule					
CHAUF	PP (poele pellets)	x	x		
	CCgaz surf	x			
	CCmazout surf	x			
	CNCbio surf	x			
	CCgaz rad	x	x	x	x
	CCmazout rad	x		x	x
	CNCbio rad	x	X	x	x
	CCgaz VC	x	X	x	x
	CCmazout VC	x		x	x
	CNCbio VC	x	x	x	x
	PB (poele bois)	x	x		
	PAC air-eau R.elec surf 3.1	x		x	x
	PAC air-eau R.elec VC 3.1	x	x		
	PAC sol-eau R.elec surf 4.75	x			
	PAC sol-eau R.elec VC 4.75	x		x	x
	PAC air-eau R.elec surf 4	x			
	PAC air-eau R. elec VC 4	x	x	x	x
PAC air-air noR 3.2			x	x	
PAC air-eau +CNCgaz exist rad 4	x	x	x	x	
PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4	x	x	x	x	
ECS	Ch-eau gaz ballon	x	x	x	x
	PAC air-eau 4 + Relec ballon	x	x		x
	R elec ballon	x	x	x	x
	Ch-eau gaz SANS ballon	x	x	x	x
Producteurs mixtes					
CHAUD	CCgaz surf (+ECS) stock	x			
	CCmazout surf (+ECS) stock	x			
	CCgaz rad (+ECS) stock	x	x	x	x
	CCmazout rad (+ECS) stock	x		x	x
	CNC bio surf (+ECS) stock	x			
	CNC bio rad/VC (+ECS) stock	x	X	x	x
	CCgaz VC (+ECS) stock	x		x	
	CCmazout VC (+ECS) stock	x		x	
	CCgaz surf (+ECS) SANS stock	x			
	CCgaz rad (+ECS) SANS stock	x	X	x	x
CCgaz VC (+ECS) SANS stock	x	X	x	x	
PAC	PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock	x			
	PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock	x			
	PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock	x		x	x
	PAC air-eau 4 VC+ R (+ECS) stock	x		x	x
	PAC air-eau 4 rad +CNCgaz exist (+ECS) stock	x			
	PAC air-eau 4 rad +CNCmazout exist (+ECS) stock	x			
Producteurs partagés					
CHAUD	CCgaz rad (+ECS) stock		x		
	CCmazout rad (+ECS) stock		x		
	CNC bio rad (+ECS) stock		x		
	CNC bio VC BT (+ECS) stock		x		
	CCgaz VC BT (+ECS) stock		x		
	CCmazout VC BT (+ECS) stock		x		
	CCgaz rad (+ECS) SANS stock		x		

PAC	CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock		x		
	PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock		x		
	PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock		x		
Refroidissement					
PAC REV	PAC air-eau VC 3.1 (EER 3.0) AIR-EAU			x	x
	PAC air-eau VC 3.75 (EER 3.6) AIR-EAU			x	x
	PAC air-eau VC 4 (EER 3.8) AIR-EAU			x	x
	PAC air-air 3.2 (EER 3.0) AIR-AIR			x	x
PAC	PAC air-eau EER 3 central AIR			x	x
MACH COMP	Clim air-air EER 4 central AIR			x	x
Solaire thermique					
	ST2	x	x		
	ST4	x	x		
	ST6	x	x		x
Solaire photovoltaïque					
	PV2 plat	x	x		
	PV5 plat	x		x	x
	PV10 plat			x	x
	PV30 plat			x	x
	PV2 pente	x	x		
	PV5 pente	x		x	x
	PV10 pente			x	x
	PV30 pente			x	x

MESURES SYSTEMES BÂTIMENTS NEUFS		PER UNI	PER COLL	PEN Bu.	PEN Ec.
Producteurs séparés - Chauffage seul / ECS seule					
CHAUF	PP (poêle pellets)	x	x		
	CCgaz surf	x		x	
	CCmazout surf	x		x	
	CNCbio surf	x		x	
	CCgaz rad	x	x	x	x
	CCmazout rad	x		x	x
	CNCbio rad	x	x	x	x
	CCgaz VC	x	x	x	x
	CCmazout VC	x		x	x
	CNCbio VC	x	x	x	x
	PB (poêle bois)	x	x		
	PAC air-eau R.elec surf 3.1	x		x	
	PAC air-eau R.elec VC 3.1	x	x	x	x
	PAC sol-eau R.elec surf 4.75	x		x	
PAC sol-eau R.elec VC 4.75	x		x	x	
PAC air-eau R.elec surf 4	x		x		
PAC air-eau R. elec VC 4	x	x	x	x	
PAC air-air noR 3.2			x	x	
ECS	Ch-eau gaz ballon	x	x	x	x
	PAC air-eau 4 + Relec ballon	x	x		x
	R elec ballon	x	x	x	x
	Ch-eau gaz SANS ballon	x	x	x	x
Producteurs mixtes					
CHAUD	CCgaz surf (+ECS) stock	x			
	CCmazout surf (+ECS) stock	x			
	CCgaz rad (+ECS) stock	x	x	x	x
	CCmazout rad (+ECS) stock	x		x	x
	CNC bio surf (+ECS) stock	x			
	CNC bio rad/VC (+ECS) stock	x	x	x	x
	CCgaz VC (+ECS) stock	x		x	
	CCmazout VC (+ECS) stock	x		x	
	CCgaz surf (+ECS) SANS stock	x			
	CCgaz rad (+ECS) SANS stock	x	x	x	x

PAC	CCgaz VC (+ECS) SANS stock	x	x	x	x
	PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock	x			
	PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock	x			
	PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock	x		x	x
	PAC air-eau 4 VC+ R (+ECS) stock	x	x	x	x
Producteurs partagés					
CHAUD	CCgaz rad (+ECS) stock		x		
	CCmazout rad (+ECS) stock		x		
	CNC bio rad/VC (+ECS) stock		x		
	CCgaz VC BT (+ECS) stock		x		
	CCmazout VC BT (+ECS) stock		x		
PAC	CCgaz rad (+ECS) SANS stock		x		
	CCgaz VC BT (+ECS) SANS stock		x		
	PAC air-eau 4 VC (+ECS) stock		x		
	PAC air-eau 3.1 VC (+ECS) stock		x		
Refroidissement					
PAC REV	PAC air-eau VC 3.1 (EER 3.0) AIR-EAU			x	
	PAC air-eau VC 3.75 (EER 3.6) AIR-EAU			x	
	PAC air-eau VC 4 (EER 3.8) AIR-EAU			x	
	PAC air-air 3.2 (EER 3.0) AIR-AIR			x	
PAC	PAC air-eau EER 3 central AIR			x	
MACH COMP	Clim air-air EER 4 central AIR			x	
Solaire thermique					
	ST2	x	x		
	ST4	x	x		
	ST6	x	x		x
Solaire photovoltaïque					
	PV2 plat	x	x		
	PV5 plat	x		x	x
	PV10 plat			x	x
	PV30 plat			x	x
	PV2 pente	x	x		
	PV5 pente	x		x	x
	PV10 pente			x	x
	PV30 pente			x	x

Annexe D : Groupes constructifs

Toiture - existant		
T1	Existant - Isolation toiture sarking inclinée	Démontage couverture, lattage contre lattage, sous toiture Couverture Lattage/contre-lattage Isolation (panneau y compris pare-vapeur et sous-toiture) Zingueries à adapter (rives, gouttières, avaloir, solin, DEP) Structure (10%) et air non ventilé (90%) Finition intérieure
T1	Existant - Surisolation toiture sarking inclinée	Démontage couverture, lattage contre lattage, sous toiture Couverture Lattage/contre-lattage Isolation (panneau y compris pare-vapeur et sous-toiture) Zingueries à adapter (rives, gouttières, avaloir, solin, DEP) Structure (10%) et isolant existant (90%) Finition intérieure
T2	Existant - Isolation toiture inclinée dans la structure + doublage structure et isolation	Démontage finition intérieure éventuelle Panneau existant Structure bois (10%) existante + Isolation entre structure (90%) Structure bois (10%) doublage + Isolation entre structure (90%) Pare-vapeur Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre
T3	Existant - <u>Surisolation</u> toiture plate par le haut	Rehausse des acrotères Zingueries à adapter (rives, gouttières, avaloir, solin, DEP) Préparation du support (nettoyage étanchéité, ...) Couverture (lestage) Couverture (Etanchéité) Isolation Etanchéité Isolation Structure lourde Finition intérieure
T3	Existant - Isolation toiture plate par le haut	Rehausse des acrotères Zingueries à adapter (rives, gouttières, avaloir, solin, DEP) Préparation du support (nettoyage étanchéité, ...) Couverture (lestage) Couverture (Etanchéité) Isolation Etanchéité Structure lourde Finition intérieure
H1	Existant - Isolation plancher grenier par le haut	Isolation sur le plancher Pare-vapeur Panneau existant Structure (10%) et air non ventilé (90%) Finition intérieure
H2	Existant - Isolation plancher grenier dans la structure	Démontage et évacuation finition plafond Panneau existant Structure bois (10%) + Isolation entre structure (90%) Pare-vapeur Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre
H3	Existant - Isolation plancher grenier dans la structure et par le haut	Démontage et évacuation finition plafond Isolation sur le plancher <18 cm

		Panneau existant Structure bois (10%) + Isolation entre structure (90%) Pare-vapeur Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre
Murs - existant		
M1	Existant - Murs creux - isolation int	Briques parement TC maçonnées lame d'air peu ventilée Blocs maçonnés Structure contre maçonnerie (15%) + isolation entre structure (85%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M1	Existant - Murs pleins - isolation int	Mur maçonné plein / briques, pierres Structure contre maçonnerie (15%) + isolation entre structure (85%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M2	Existant - Murs creux - iso ext + crépi	Crépi Isolation EPS/XPS Briques parement TC maçonnées lame d'air non ventilée Blocs maçonnés Finition intérieure Travaux connexes : modifications de seuils Travaux connexes : débord de toiture, ...
M2	Existant - Murs pleins - iso ext + crépi	Crépi Isolation EPS/XPS Mur maçonné / briques, pierre, bloc Finition intérieure Travaux connexes : modifications de seuils Travaux connexes : débord de toiture, ...
M3	Existant - Murs pleins - iso ext + briquettes	Briquettes de façade collées Briquette d'angle Isolation EPS/XPS Maçonnerie Finition intérieure Travaux connexes : modifications de seuils Travaux connexes : débord de toiture, ...
M4	Existant - mur creux - isolation par l'extérieur et injection par la coulisse	Crépi Isolation EPS/XPS Briques parement TC maçonnées Injection d'isolation dans la coulisse de 5 cm à 6 cm Blocs maçonnés Finition intérieure Travaux connexes : modifications de seuils Travaux connexes : débord de toiture, ...
M5	Existant - Murs pleins - iso ext + bardage	Bardage (y compris lattage, accessoires, pare-pluie ou tape joints isolants, ...) Isolation PU Mur maçonné / briques, pierre, bloc Finition intérieure Travaux connexes : modifications de seuils Travaux connexes : débord de toiture, ...
M9	Existant - Mur mitoyen - iso int	Finition intérieure Mur plein maçonnés Structure contre maçonnerie (15%) + isolation entre structure (85%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit

M6	Existant - mur creux - isolation par l'extérieur avec dépose du parement existant + bardage	Dépose du parement existant Bardage (y compris lattage, accessoires, pare-pluie ou tape joints isolants ...) Isolation PU Mur maçonné / blocs Finition intérieure
M7	Existant - mur creux - isolation par l'extérieur avec dépose du parement existant + crépi	Dépose du parement existant Crépi Isolation EPS/XPS Mur maçonné / blocs Finition intérieure
M8	Existant - mur creux - isolation par l'extérieur avec dépose du parement existant + briquette	Dépose du parement existant Briques de façade collées Brique d'angle Isolation EPS/XPS Mur maçonné / blocs Finition intérieure
M10/M11/ M14	Existant - Murs pleins contre cave/vv/eanc - isolation par l'intérieur	Finition intérieure Mur plein maçonnés Structure contre maçonnerie (15%) + isolation entre structure (85%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M12/M13/ M15	Existant - Murs pleins contre cave/eanc/vv - isolation par l'extérieur	Mur maçonné plein / briques, pierres Isolation PU Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M16	Existant - Murs contre terre - isolation par l'extérieur (murs pleins et murs creux)	Mur maçonné plein / briques, pierres Isolation XPS <14 cm Isolation XPS de 14 cm à 20 cm Isolation XPS >20 cm Etanchéité (cimentage+goudronnage+Platon)
Sol - existant		
S1/S2/S3	Existant - Isolation par le bas, plancher sur cave/eanc/vv	Isolation sous dalle Béton lourd armé / briques terre cuite Béton lourd non-armé / béton Carrelage de terre cuite
S1/S2/S3	Existant - surisolation par le bas, plancher sur cave/eanc/vv	Isolation sous dalle Béton lourd armé / briques terre cuite Isolation existante Béton lourd non-armé / béton Carrelage de terre cuite
S4	Existant - isolation par le haut, plancher sur sol	Dépose de la finition intérieure et de la chape Béton lourd armé Isolation PU Chape Finition intérieure
Fenêtres - existant		
F1	Existant - châssis déporté à l'extérieur du mur avec patte de fixation - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Dépose et évacuation du châssis existant Chassis (vitrage + profilé) Pose d'une nouvelle tablette de fenêtre intérieure Ragréage des enduits intérieurs ou cadre

F2	Existant - châssis sans modification d'emplacement - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Dépose et évacuation du châssis existant Chassis (vitrage + profilé) Raccord au seuil existant Ragréage des enduits intérieurs ou cadre
F3	Existant - remplacement vitrage	Dépose et évacuation du vitrage Pose du nouveau vitrage
Ftoit1 ou F4	Neuf - fenêtre de toiture - <u>avec membrane</u> d'étanchéité - Ftoit1 Double vitrage	Chassis (vitrage + profilé) Finitions intérieures
Ftoit 2 ou F5	Neuf - fenêtre de toiture - <u>avec membrane</u> d'étanchéité - Ftoit2 Triple vitrage	Chassis (vitrage + profilé) Finitions intérieures
	Protection solaire	Parallèle, intérieure manuelle Parallèle, extérieure manuelle Parallèle, extérieure automatique
Portes - existant		
P1	Existant - châssis déporté à l'extérieur du mur avec patte de fixation - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Dépose et évacuation du châssis existant Porte Membrane d'étanchéité Ragréage sol Ragréage des enduits intérieurs ou cadre
P2/P3/P4/P5	Existant - châssis sans modification d'emplacement - <u>avec membrane</u> d'étanchéité contre ext/cave/vv/eanc	Dépose et évacuation du châssis existant Porte Membrane d'étanchéité Ragréage des enduits intérieurs ou cadre

Toiture - neuf		
T1	Neuf - Isolation toiture plate légère Isolation par le haut	Couverture (lestage) Couverture (étanchéité, y compris sous-toiture et pare vapeur) Isolation Structure légère (10%) et air non ventilé (90%) (y compris cales de pente et osb) Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
T2	Neuf - Isolation toiture plate lourde	Couverture (lestage) Couverture (étanchéité, y compris sous-toiture et pare vapeur) Isolation Structure lourde Plâtre
T3	Neuf - Isolation toiture inclinée dans la structure	Couverture Lattage/contre-lattage et air non ventilé Sous-toiture Structure (10%) + Isolation entre structure (90%) Pare-vapeur Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre
S11	Neuf - Isolation plancher grenier entre structure	Panneaux OSB Structure (10%) + isolation entre structure (90%) Pare-vapeur Lattage (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre
Murs - neuf		
M3	Neuf - Bloc - Isolation par l'extérieur + crépi	Crépi Isolation EPS/XPS Maçonnerie/mur de béton

		Plâtre
M4	Neuf - Isolation dans l'ossature + bardage	Bardage (y compris lattage, accessoires, pare-pluie ou tape joints isolants, ...) Panneau fibre de bois Ossature (10%) + isolation dans l'ossature (90%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M7	Neuf - Isolation dans l'ossature - mur mitoyen	Plaque de plâtre + enduit Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Panneau osb Pare-vapeur Ossature (10%) + Isolation dans l'ossature (90%) Panneau osb Pare-vapeur Structure bois (15%) et air non ventilé (85%) Plaque de plâtre + enduit
M8	Neuf - Isolation entre maçonnerie - mur mitoyen	Plafonnage Maçonnerie / mur béton Isolation pour mur creux Maçonnerie / mur béton Plafonnage
M9	Neuf - mur creux maçonnerie traditionnelle	Briques parement TC maçonnées ou pierres maçonnées Lame d'air peu ventilée Isolation pour mur creux Maçonnerie / mur béton Plafonnage
M12/M13/M15	Neuf - Murs contre cave/eanc/vv - isolation par l'extérieur	Plafonnage Maçonnerie / mur béton Isolation PU <12 cm Isolation PU de 12 cm à 14 cm Isolation PU >14 cm
M16	Neuf - Murs contre terre - isolation par l'extérieur (murs plein et murs creux)	Maçonnerie / mur béton Isolation XPS <14 cm Isolation XPS de 14 cm à 20 cm Isolation XPS >20 cm Etanchéité (cimentage+goudronnage+Platon)
Sol - neuf		
S1	Neuf - Isolation par le haut, dalle sur sol	Dalle BA (y compris géotextile, empierrement, sable, visqueen) Isolation PUR Chape Revêtement intérieur
S2	Neuf - Plancher bois contact extérieur	Finition extérieure (y compris lattage, accessoires, ...) Panneau fibre de bois Structure bois (10%) + isolation entre structure (90%) Panneau osb Revêtement intérieur
S3, S4, S5	Neuf - Isolation par le haut, dalle sur VV / cave / eanc	Plancher en béton (y compris chape de compression) Isolation PU Chape Revêtement intérieur

Fenêtres - neuf		
F1	Neuf - châssis déporté à l'extérieur du bloc avec patte de fixation ou dans l'ossature - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Chassis (vitrage + profilé) Seuil Tablette intérieure
Ftoit1	Neuf - fenêtre de toiture - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Chassis (vitrage + profilé)

	Double vitrage	Finitions intérieures
Ftoit2	Neuf - fenêtre de toiture - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Chassis (vitrage + profilé)
	Triple vitrage	Finitions intérieures
	Protection solaire	Parallèle, intérieure manuelle
		Parallèle, extérieure manuelle
		Parallèle, extérieure automatique
Portes - neuf		
P1	Neuf - châssis déporté à l'extérieur du bloc avec patte de fixation ou dans l'ossature - <u>avec membrane</u> d'étanchéité	Porte
		Membrane étanchéité
		Seuil pierre
P3/P4/P5	Neuf - châssis déporté à l'extérieur du bloc avec patte de fixation ou dans l'ossature - avec membrane d'étanchéité contre cave/vv/eanc	Porte
		Membrane d'étanchéité

Annexe E : Légende - dénomination des variantes

1^{er} tableau : PER - LEGENDE des variantes utilisées dans le COT pour les bâtiments résidentiels

2^{ème} tableau : PEN - LEGENDE des variantes utilisées dans le COT pour les bâtiments non résidentiels

PER

Variantes	Mesures appliquées										
Mur 0.15 + EA2	<u>ME0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Ms0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Mcave0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Meanc0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Mvv0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	
Mur 0.20 + EA2	<u>ME0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Ms0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Mcave0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Meanc0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Mvv0.2</u>	U= 0.20 W/m².K	
Mur 0.24 + EA2	<u>ME0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Ms0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Mcave0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Meanc0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Mvv0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	
Plancher 0.15	<u>PIE0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PIsol0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PIcave0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Pleanc0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Plvv0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	
Plancher 0.24	<u>PIE0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PIsol0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PIcave0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Pleanc0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Plvv0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	
Plancher 0.30	<u>PIE0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PIsol0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PIScave0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PISeanc0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>Plvv0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	
Toit 0.15	<u>TP0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>T0.15</u>	U= 0.15 W/m².K							
Toit 0.20	<u>TP0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>T0.20</u>	U= 0.20 W/m².K							
Toit 0.24	<u>TP0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>T0.24</u>	U= 0.24 W/m².K							
Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2	<u>Ch0.95-TV0.6/0.5</u>	Uf= 0.95 W/m².K Triple vitrage Ug=0.6 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 2</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=0.5 W/m².K g=0.51	<u>Pext 0.8</u>	U= 0.08 W/m².K	<u>Pcave0.8</u>	U= 0.8 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	
Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1	<u>Ch1.7-TV0.5/0.5</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	
Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1	<u>Ch1.7-DV1.1/0.63</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.1 W/m².K g=0.63	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	
Ch0.95-TV0.6/0.5 + po 0.8 + Ftoit2 + prot sol	<u>Ch0.95-TV0.6/0.5</u>	Uf= 0.95 W/m².K Triple vitrage Ug=0.6 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 2</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=0.5 W/m².K g=0.51	<u>Pext 0.8</u>	U= 0.08 W/m².K	<u>Pcave0.8</u>	U= 0.8 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Prot sol ext manuelle</u>
Ch1.7-DV1.0/0.5 + po 2.0 + Ftoit1 + prot sol	<u>Ch1.7-TV0.5/0.5</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Prot sol ext manuelle</u>
Ch1.7-DV1.1/0.63 + po 2.0 + Ftoit1 + prot sol	<u>Ch1.7-DV1.1/0.63</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.1 W/m².K g=0.63	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Prot sol ext manuelle</u>

EA 2	<u>Etanchéité 2</u>	V50=2 m3/h.m ²
Inertie Léger	Type de construction: Léger	
Ventilation C	<u>Ventilation C</u>	Alimentation naturelle, Evacuation mécanique
Ventilation C+ 0.9	<u>Ventilation C+0.9</u>	Alimentation naturelle, Evacuation mécanique. Ventilation à la demande F réduction= 0.9
Ventilation C+ 0.43	<u>Ventilation C+0.43</u>	Alimentation naturelle, Evacuation mécanique. Ventilation à la demande F réduction= 0.43
Vent D	<u>Ventilation D</u>	Ventilation double-flux avec récupérateur de chaleur n=80%

CHS-CNCbio rad	Chauffage par chaudière simple service à pellets avec radiateurs	<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellet sans Condensation $\eta=92\%$	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Rad</u>	Radiateurs				
CHS-CNCbioVC	Chauffage par chaudière simple service à pellets avec Ventilo-convecteurs	<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellet sans Condensation $\eta=92\%$	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température				
CHS-CNCbio surf	Chauffage par chaudière simple service aux pellets avec Ventilo-convecteurs	<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellet sans Condensation $\eta=92\%$	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Surf</u>	Chauffage de surface				
CHS-CCgaz rad	Chauffage par chaudière à condensation au gaz simple service avec radiateurs	<u>CCgaz</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Rad</u>	Radiateurs				
CHS-CCgaz surf	Chauffage par chaudière à condensation au gaz simple service avec radiateurs	<u>CCgaz</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Surf</u>	Chauffage de surface				
CHS-CCgaz VC	Chauffage par chaudière à condensation au gaz simple service avec Ventilo-convecteurs	<u>CCgaz</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température				
CHS-CCmazout Rad	Chauffage par chaudière à condensation au mazout simple service avec radiateurs	<u>CCmazout</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Rad</u>	Radiateurs				
CHS-CCmazout Surf	Chauffage par chaudière à condensation à mazout simple service avec radiateurs	<u>CCmazout</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Surf</u>	Chauffage de surface				
CHS-CCmazout VC	Chauffage par chaudière à condensation au mazout simple service avec Ventilo-convecteurs	<u>CCmazout</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température				
CHS-PAC air-eau +CNCmazout exist rad 4	Chauffage par Pompe à chaleur et chaudière mazout existante, avec Radiateurs	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCmazout exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=73\%$	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHS-PAC air-eau R.elec surf 3.1	Chauffage par Pompe à chaleur avec chauffage de surface	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(1)=3.1	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Surf</u>	Chauffage de surface		
CHS-PAC air-eau R.elec VC 3.1	Chauffage par Pompe à chaleur avec Ventilo-convecteurs	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(1)=3.1	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température		
CHS-PAC air-eau R.elec VC 4	Chauffage par Pompe à chaleur avec Ventilo-convecteurs	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température		
CHS-PAC air-eau R.elec surf 4	Chauffage par Pompe à chaleur avec chauffage de surface	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Surf</u>	Chauffage de surface		
CHS-PAC sol-eau R.elec VC 4.75	Chauffage par Pompe à chaleur avec Ventilo-convecteurs	<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCmazout exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=73\%$	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température
CHS-PAC sol-eau R.elec surf 4.75	Chauffage par Pompe à chaleur avec chauffage de surface	<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	<u>R</u>	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCmazout exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=73\%$	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHS-PB (Poele bios)	Chauffage par Pompe à chaleur avec Ventilo-convecteurs	<u>PB</u>	Poêle Bois								
CHS-PP (poele pelletss)	Chauffage par Pompe à chaleur avec chauffage de surface	<u>PP</u>	Poêle Pellets								

ECSS-Ch-eau gaz SANS ballon	ECS séparée par chauffe eau gaz	<u>Ch-eau gaz SANS ballon</u>	Chauffe-eau gaz sans stockage		
ECSS-Ch-eau gaz ballon	ECS séparée par chauffe eau gaz	<u>Ch-eau gaz ballon</u>	Chauffe-eau à gaz avec stockage		
ECSS-PAC air-eau 4 + Relec ballon	ECS séparée par Boileur Thermodynamique	<u>PAC air-eau 4 + Relec ballon</u>	Boileur Thermodynamique: Pompe à Chaleur air-eau avec stockage + Résistance électrique		
ECSS-R elec ballon	ECS séparée par boileur électrique	<u>R elec ballon</u>	Résistance électrique avec Stockage		
CHM-CCgaz rad (+ECS) SANS stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec radiateurs	<u>CCgaz (+ECS) SANS stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Sans Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs
CHM-CCgaz rad (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec radiateurs	<u>CCgaz (+ECS) stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Avec Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs
CHM-CCgaz surf (+ECS) SANS stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec chauffage sol	<u>CCgaz (+ECS) SANS stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Sans Stockage	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHM-CCgaz surf (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec chauffage sol	<u>CCgaz (+ECS) stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Avec Stockage	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHM-CCgaz VC (+ECS) SANS stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec ventilo-convecteurs	<u>CCgaz (+ECS) SANS stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Sans Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température
CHM-CCgaz VC (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière gaz mixte à condensation avec ventilo-convecteurs	<u>CCgaz (+ECS) stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Avec Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température
CHM-CCmazout rad (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière mixte au mazout à condensation avec radiateurs	<u>CCmazout (+ECS) stock</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$ Avec Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs
CHM-CCmazout surf (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière mixte au mazout à condensation avec chauffage sol	<u>CCmazout (+ECS) stock</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$ Avec Stockage	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHM-CCmazout VC (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière mixte au mazout à condensation avec ventilo-convecteurs	<u>CCmazout (+ECS) stock</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$ Avec Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température
CHM-CNC bio rad/VC (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière mixte au mazout à condensation avec radiateurs ou ventilo-convecteurs	<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellet sans Condensation $\eta=92\%$	<u>Rad/VC</u>	Radiateurs où Ventilo-convecteurs
CHM-CNC bio surf (+ECS) stock	Chauffage et ECS par chaudière mixte au mazout à condensation avec chauffage sol	<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellet sans Condensation $\eta=92\%$	<u>Surf</u>	Chauffage de surface

CHM-PAC air-eau 4 surf + R (+ECS) stock	Chauffage, ECS par pompe à chaleur mixte réversible avec chauffage sol	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	R	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHM-PAC air-eau 4 VC+ R (+ECS) stock	Chauffage, ECS par pompe à chaleur mixte réversible avec ventilo-convecteurs	<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	R	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température
CHM-PAC sol-eau 4.75 surf + R (+ECS) stock	Chauffage, ECS par Pompe à chaleur mixte réversible avec chauffage sol	<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	R	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Surf</u>	Chauffage de surface
CHM-PAC sol-eau 4.75 VC + R (+ECS) stock	Chauffage, ECS par Pompe à chaleur mixte réversible, avec ventilo-convecteurs	<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	R	Résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température
Eclairage LED		<u>Eclairage LED</u>	4W/m ² L _{m,r} =500						
ST6	Panneaux solaires thermiques	<u>ST6</u>	Surface de Capteurs= 4m ² Inclinaison 35° Orientation -45°(SE)						
PV2	Panneaux photovoltaïques sur toiture plate	<u>PV2</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 15° Orientation= 0° (S)						
PV2 pente	Panneaux photovoltaïques sur toiture inclinée	<u>PV2 pente</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 35° Orientation= -45° (SE)						
PV5	Panneaux photovoltaïques sur toiture plate	<u>PV5</u>	Puissance crête=5kWc Inclinaison= 15° Orientation= 0° (S)						
PV5 pente	Panneaux photovoltaïques sur toiture inclinée	<u>PV5 pente</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 35° Orientation= -45° (SE)						

PEN

Mesures appliquées											
<u>ME0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Ms0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Mcave0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Meanc0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Mvv0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>Etanchéité 2</u>	V50=2 m3/h.m²
<u>ME0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Ms0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Mcave0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Meanc0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Mvv0.2</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>Etanchéité 2</u>	V50=2 m3/h.m²
<u>ME0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Ms0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Mcave0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Meanc0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Mvv0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>Etanchéité 2</u>	V50=2 m3/h.m²
<u>PIE0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PISol0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PIcave0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PIeanc0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>PIvv0.15</u>	U= 0.15 W/m².K		
<u>PIE0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PISol0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PIcave0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PIeanc0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>PIvv0.24</u>	U= 0.24 W/m².K		
<u>PIE0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PISol0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PIScave0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PISeanc0.3</u>	U= 0.30 W/m².K	<u>PIvv0.3</u>	U= 0.30 W/m².K		
<u>TP0.15</u>	U= 0.15 W/m².K	<u>T0.15</u>	U= 0.15 W/m².K								
<u>TP0.20</u>	U= 0.20 W/m².K	<u>T0.20</u>	U= 0.20 W/m².K								
<u>TP0.24</u>	U= 0.24 W/m².K	<u>T0.24</u>	U= 0.24 W/m².K								
<u>Ch0.95-TV0.6/0.5</u>	Uf= 0.95 W/m².K Triple vitrage Ug=0.6 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 2</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=0.5 W/m².K g=0.51	<u>Pext 0.8</u>	U= 0.08 W/m².K	<u>Pcave0.8</u>	U= 0.8 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K		
<u>Ch1.7-TV0.5/0.5</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.5	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K		
<u>Ch1.7-DV1.1/0.63</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.1 W/m².K g=0.63	<u>Ftoit 1</u>	Uf= 1.7 W/m².K Double vitrage Ug=1.0 W/m².K g=0.46	<u>Pext 2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Pcave2</u>	U= 2.00 W/m².K	<u>Peanc2</u>	U= 2.00 W/m².K		
<u>Prot sol ext automatique</u>											
<u>Ventilation D</u>	Ventilation double-flux avec récupérateur de chaleur n=80%										

<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellets sans Condensation $\eta=92\%$	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>Rad</u>	Radiateurs						
<u>CNCbio</u>	Chaudière Pellets sans Condensation $\eta=92\%$	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température						
<u>CCgaz</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Rad</u>	Radiateurs						
<u>CCgaz</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température						
<u>CCmazout</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>Rad</u>	Radiateurs						
<u>CCmazout</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$	<u>s/tampon</u>	Pas de volume tampon	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température						
<u>PAC air-air</u>	Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Air intérieur COP=3.2	<u>PAC air-air 3.2</u> <u>(EER 3.0) AIR-AIR</u>	Pompe à chaleur réversible air-air COP=3.2 EER= 3.00								
<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(1)=3.1	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température	<u>PAC air-eau 3.1</u> <u>(EER 3.0) AIR-EAU</u>	Pompe à chaleur réversible air-eau COP= 3.1 EER= 3.0	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température
<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température	<u>PAC air-eau 4</u> <u>(EER 3.8) AIR-EAU</u>	Pompe à chaleur réversible air-eau COP= 4.00 EER= 3.8	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température
<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCgaz exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=82\%$	<u>Rad</u>	Radiateurs	<u>PAC air-eau 4</u> <u>(EER 3.8) AIR-EAU</u>	Pompe à chaleur réversible air-eau COP= 4.00 EER= 3.8
<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCmazout exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=73\%$	<u>Rad</u>	Radiateurs	<u>PAC air-eau 4</u> <u>(EER 3.8) AIR-EAU</u>	Pompe à chaleur réversible air-eau COP= 4.00 EER= 3.8
<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>CNCmazout exist</u>	Chaudière Gaz existante sans condensation $\eta=73\%$	<u>Rad</u>	Radiateurs	<u>PAC sol-eau 4.75</u> <u>+ R (EER 3.8) SOL-</u> <u>EAU</u>	Pompe à Chaleur réversible Sol-Eau COP= 4.75 EER=3.8

<u>Ch-eau gaz SANS ballon</u>	Chauffe-eau gaz sans stockage												
<u>Ch-eau gaz ballon</u>	Chauffe-eau à gaz avec stockage												
<u>R elec ballon</u>	Résistance électrique avec Stockage												
<u>CCgaz (+ECS) SANS stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Sans Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs										
<u>CCgaz (+ECS) stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Avec Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs										
<u>CCgaz (+ECS) SANS stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Sans Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température										
<u>CCgaz (+ECS) stock</u>	Chaudière Gaz à Condensation $\eta=107\%$ Avec Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température										
<u>CCmazout (+ECS) stock</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$ Avec Stockage	<u>Rad</u>	Radiateurs										
<u>CCmazout (+ECS) stock</u>	Chaudière Mazout à Condensation $\eta=102\%$ Avec Stockage	<u>VC HT</u>	Ventilo-convecteurs Haute Température										
<u>PAC air-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: air neuf extérieur Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.00	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température	<u>PAC air-eau 4 (EER 3.8) AIR-EAU</u>	Pompe à chaleur réversible air-eau COP= 4.00 EER= 3.8	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température		
<u>PAC sol-eau</u>	Pompe à chaleur électrique Source Chaude de l'évaporateur: sol Fluide caloporteur du condenseur: Eau COP(3)=4.75	<u>noR</u>	Pas de résistance électrique	<u>a/tampon</u>	Volume tampon présent	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température	<u>PAC sol-eau 4.75 + R (EER 3.8) SOL-EAU</u>	Pompe à Chaleur réversible Sol-Eau COP= 4.75 EER=3.8	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température		
<u>Clim air-air EER 4 central AIR</u>	Machine à Compression air-air (multi-split) EER= 4.0	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température										
<u>PAC air-eau EER 3 central AIR</u>	Pompe à chaleur air-eau EER= 3.0	<u>VC BT</u>	Ventilo-convecteurs Basse Température										

<u>Eclairage LED</u>	4W/m ² L _{rm} ,r=500
<u>PV5</u>	Puissance crête=5kWc Inclinaison= 15° Orientation= 0° (S)
<u>PV5 pente</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 35° Orientation= -45° (SE)
<u>PV10</u>	Puissance crête=10kWc Inclinaison= 15° Orientation= 0° (S)
<u>PV10 pente</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 35° Orientation= -45° (SE)
<u>PV25</u>	Puissance crête=25kWc Inclinaison= 15° Orientation= 0° (S)
<u>PV25 pente</u>	Puissance crête=2kWc Inclinaison= 35° Orientation= -45° (SE)

Annexe F : Prix de l'énergie

COZEB - Prix de l'énergie										
mise à jour : 25/10/2017										
Coûts énergie Eurostat Semestre 1 2017 - source: Eurostat										
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics										
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics										
énergie	Client	Prix achat énergie TVAC	Prix achat énergie HTVA	Unité	Prix achat énergie €/kWh TVAC	Prix achat énergie €/kWh HTVA	Autres frais	Données sources	Dates de mise à jour	catégorie de consommateur
Electricity	domestic consumers	27,99	23,13	c€/kWh	0,2799	0,2313		Eurostat	25/10/2017	Band DC : 2.5 MWh < Consumption < 5 MWh
Electricity	non-domestic consumers	18,99	15,69	c€/kWh	0,1899	0,1569		Eurostat	25/10/2017	Band IB: 20 MWh < Consumption < 500 MWh
Natural gas	domestic consumers	5,19	4,29	c€/kWh	0,0519	0,0429		Eurostat	25/10/2017	Band D2 : 20 GJ < Consumption < 200 GJ
Natural gas	non-domestic consumers	4,81	3,98	c€/kWh	0,0481	0,0398		Eurostat	25/10/2017	Band I1 : Consumption < 1 000 GJ
Coûts énergie Tarif officiel des produits pétroliers octobre 2017 - source: statbel										
http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/energie/prix/officiel_dernier/#.WfGtGjCy70										
		Prix achat énergie TVAC	Prix achat énergie HTVA	Unité	Prix achat énergie €/kWh TVAC	Prix achat énergie €/kWh HTVA	Autres frais	Données sources	Dates de mise à jour	
Gasoil chauffage	50S <2000 l	0,594	0,491	(€/L)	0,059	0,049	Livraison incluse	statbel	25/10/2017	
Gasoil chauffage	50S >2000 l	0,573	0,473	(€/L)	0,057	0,047	Livraison incluse	statbel	25/10/2017	
Gasoil chauffage	Extra <2000 l	0,621	0,513	(€/L)	0,062	0,051	Livraison incluse	statbel	25/10/2017	
Gasoil chauffage	Extra >2000 l	0,594	0,491	(€/L)	0,059	0,049	Livraison incluse	statbel	26/10/2017	
Coûts énergie - Biomasse - Juin 2015										
http://www.monprojet.labiomasseenwallonie.be/thematiques/bois-energie/documents#main-content										
		Prix achat énergie TVAC	Prix achat énergie HTVA	Unité	Prix achat énergie €/kWh TVAC	Prix achat énergie €/kWh HTVA	Autres frais	Données sources	Dates de mise à jour	
Pellets Bois	vrac, min. 4 t	256,95	212,36	€/t	0,051	0,042	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
Pellets Bois	sac, min. 1 palette	276,76	228,73	€/t	0,055	0,046	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
Plaquettes		22,99	19,00	€/map	0,029	0,024	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
bûchettes densifiées		309,22	255,55	€/t	0,069	0,057	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
bûches		72,1	59,59	€/stère	0,040	0,033	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
FUEL_PELLETS		266,86	220,54	€/t	0,053	0,044	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	
FUEL_WOOD					0,046	0,038	Livraison incluse	ValBiom	30/06/2015	



Annexe G : Cout global actualisé

Le coût global comprend le coût de l'enveloppe du bâtiment, le coût des systèmes installés (production, stockage, distribution et émission) ainsi que le coût de la consommation énergétique du bâtiment pendant 20 (PEN) ou 30 (PER) ans. Le coût total d'une paroi de déperdition comprend la structure, l'isolation, les finitions intérieures et extérieures. Le prix des cloisons et menuiseries intérieures, des sanitaires, de la plomberie, de l'électricité, ... ne sont pas compris dans le coût global.

Dans le calcul du coût global, l'investissement initial, la somme des coûts annuels rapportés à l'année de départ et la valeur finale sont pris en considération. À l'échelle macroéconomique, le coût des émissions de gaz à effet de serre - défini comme la valeur monétaire des dommages environnementaux causés par les émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie dans les bâtiments - est ajouté au coût global.

Le résultat du calcul du coût global correspond à la valeur actualisée nette des coûts supportés au cours d'une période de calcul définie, compte tenu de la valeur résiduelle des équipements dont la durée de vie est plus longue que la période de calcul. Les projections relatives aux coûts de l'énergie sont limitées à la période de calcul.

La période de calcul est déterminée par le cycle de rénovation d'un bâtiment, soit le délai au terme duquel un bâtiment fait l'objet d'une rénovation importante, y compris en vue de l'améliorer dans son ensemble et de l'adapter à l'évolution des exigences des occupants.

Les paramètres économiques utilisés et les hypothèses retenues pour vérifier l'optimalité des niveaux d'exigences minimales de performance énergétique en fonction des coûts, conformément à la directive PEB, (2010/31/UE), sont décrits ci-après.

Les grandes catégories de coûts considérées dans le règlement délégué de l'UE et modélisées dans le COT sont les suivantes :

- Les coûts d'investissement initiaux ;
- Les coûts de fonctionnement annuels et de remplacement périodiques éventuels de certains systèmes ;
- Les couts d'élimination (le cas échéant) ;
- Le coût des émissions de CO₂.

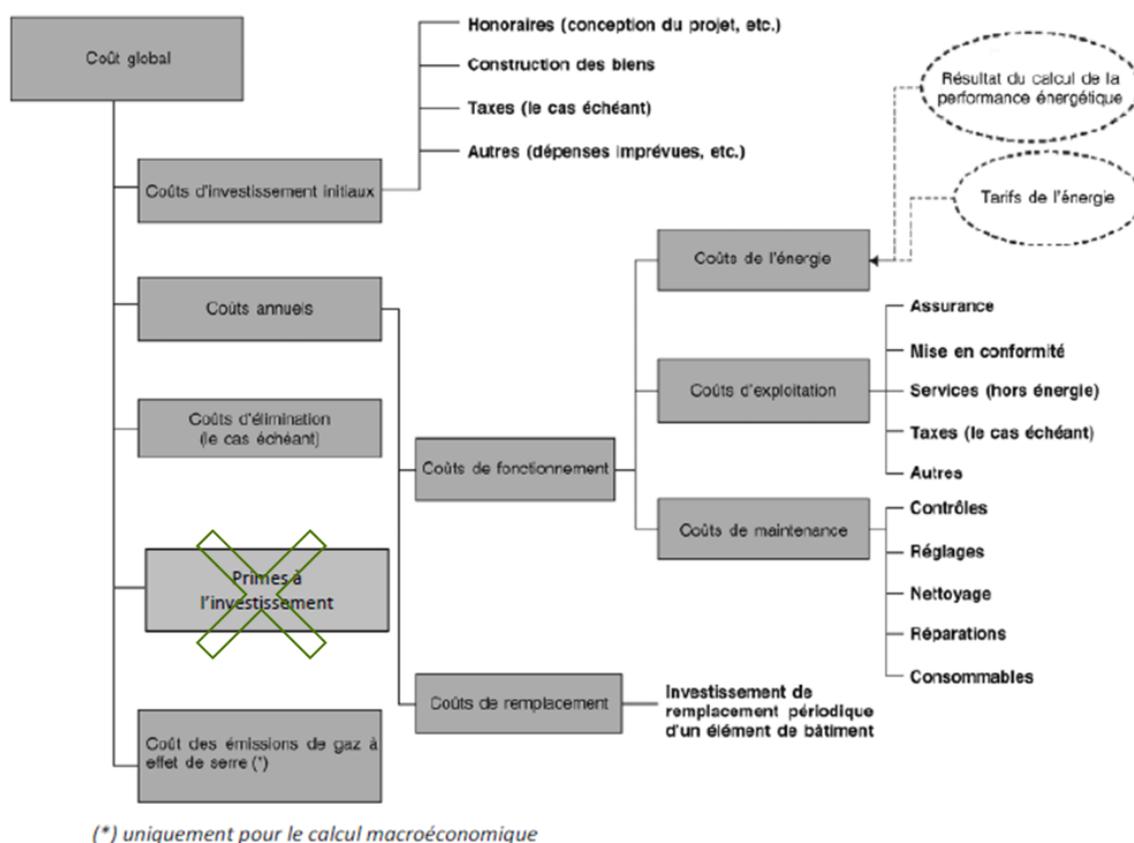


Figure 45: éléments constitutifs du coût global selon la directive PEB. Source : règlement Délégué (UE) n°244/2012

ex 2.2.1

Pour les bâtiments résidentiels, la période dévaluation utilisée dans les calculs est de 30 ans. Pour les bâtiments non résidentiels (bureaux et enseignement), cette période est de 20 ans. Ces durées sont fixées dans le Règlement Délégué (UE) n° 244/2012 de la CE du 16 janvier 2012.

La méthode ci-dessous détaille le calcul du coût global actualisé des combinaisons d'amélioration des performances énergétique d'un bâtiment (PER/PEN).

Le cost optimum est la combinaison de mesures d'amélioration enveloppe-systèmes pour laquelle le coût global actualisé est minimal. Il est exprimé en fonction des indicateurs de performance pour lesquels la Wallonie a fixé un niveau d'exigence (voir 1.1).

Le CGA de chaque combinaison est obtenu en sommant, sur la période d'évaluation considérée :

- Les Coûts d'investissements initiaux (coût initial à l'année 0)

- Les Coûts d'élimination
- Les coûts opérationnels comprenant :
 - Les coûts de fonctionnement annuels
 - Les coûts d'exploitation
 - Les coûts de maintenance
 - Les coûts de l'énergie
 - Les coûts de remplacement (réinvestissement) périodiques
 - Les coûts annuels des émissions de gaz à effet de serre¹⁴.

¹⁴ Pour le calcul macro-économique uniquement.

Informations qualité

Auteurs :

Cynthia Leveau, Mélanie Cherdon, Marco Vismara, Bernard Huberlant

Classification de confidentialité :

Confidentiel - Classification de confidentialité

Template V.2

Version BE.FR.201704

Classification de confidentialité

Personnes nommées au sein de l'organisation du Client uniquement :

Organisation du Client uniquement :

Client et Organisations nommés uniquement :

Client et Organisations pertinentes uniquement :

Public :

Détails par catégorie

Diffusion restreinte aux personnes nommées au sein de l'organisation du Client, comme indiqué dans la liste de distribution.

Diffusion restreinte au sein de l'organisation du Client.

Diffusion restreinte au sein de l'organisation du client et aux autres organisations concernées comme indiquées dans la liste de distribution.

Diffusion restreinte à l'organisation du Client seulement et, si applicable, au sein d'autres organisations pertinentes nécessaires pour le bon développement du projet du Client, (sous-réserve de l'avis et de la clause de non-responsabilité figurant sur le document 3E).

Diffusion publique admise (sous-réserve de l'avis et de la clause de non-responsabilité figurant sur le document 3E).