



RÉALISATION DE L'ÉTUDE COST OPTIMUM 2017 POUR LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS

Référence - 2017F0559

-

Lot n°2

-

Rapport version 6 – 09/07/2018

Contenu

I. Introduction	5
A. Objet du lot N°2	5
B. Méthodologie.....	5
C. Usage d'abréviation	7
D. Approche de cost-optimum	7
II. Sélection des bâtiments de référence	9
A. Analyse de données statistiques.....	9
B. Résumé des conclusions des études statistiques	9
1. Typologie de bâtiment.....	10
2. Année de construction logement	11
C. Typologies envisagées pour les bâtiments de référence.....	11
D. Détermination des caractéristiques de base des cas de référence	14
1. Caractéristiques architecturales.....	14
2. Caractéristiques techniques	21
E. Remarques diverses.....	25
1. Considérations sur les développements arrières des bâtiments	25
2. Considérations sur le cas de référence soumis à un classement au niveau de son patrimoine ou à des contraintes architecturales (cas de référence 1 BIS et 2).....	25
3. Considération sur le terme « surinvestissement »	26
F. Extrapolation des résultats	27
III. Détermination des objectifs énergétiques	29
A. Explication sur les différents niveaux d'énergie envisagés.....	29
B. Valeurs maximales	31
IV. Résultats	32
A. Structure de présentation des résultats	32
B. Légende.....	35
C. Objectifs énergétiques.....	36
1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre	36

2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre	38
3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée.....	40
4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres	42
5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945	43
6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée.....	44
7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	45
8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2).....	46
9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4).....	47
10.REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (REZ).....	48
11.REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	49
12.REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11).....	50
D. Impacts sur le surinvestissement.....	51
1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre	51
2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre	53
3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée.....	55
4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres	57
5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945	59
6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée.....	61
7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	63
8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2).....	65
9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4).....	67
10.REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (REZ).....	69
11.REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	71

12.REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11).....	73
E. Mesures éco-énergétiques à privilégier	75
1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre	75
2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre	78
3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée.....	81
4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres	83
5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945	85
6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée.....	87
7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	89
8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2).....	91
9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4).....	93
10.REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 95	
11.REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1).....	97
12.REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11).....	99
V. Conclusion.....	101
1. Objectifs énergétiques.....	101
2. Surinvestissement.....	105
3. Mesures éco-énergétiques à privilégier	107
VI. Annexes.....	110
A. Plans / coupes / façades des bâtiments de référence	110
1. REF01, REF01 Bis et REF02 Maison bourgeoise d'avant-guerre	110
2. REF 03 Maison bourgeoise d'entre-deux guerres	111
3. REF04 Maison modeste d'entre-deux guerre.....	113
4. REF05 Maison avec un commerce au rez-de-chaussée.....	114
5. REF 06 à REF 08 Petit immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961.....	115

6. REF 09 à REF 11 Grand immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961.....	115
B. Modification module 2.....	117

I. Introduction

A. Objet du lot N°2

La présente étude cherche à évaluer les impacts économiques d'une fixation de différents objectifs énergétiques qui seront à établir pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du parc résidentiel existant en Région Bruxelles Capitale. Il est à noter que le parc de bâtiments tertiaires n'est pas abordé dans la présente étude.

Plus précisément, à la fin du lot 2, seront présentés :

- le Coût Total Actualisé (CTA) minimal pour différents objectifs de Consommation d'Énergie Primaire (CEP) donnés ;
- la différence de CTA entre le cost-optimum et les CTA minimaux précités ;
- le surinvestissement pour les CTA minimaux précités ;
- les techniques qui offrent un CTA minimal pour les différents objectifs d'énergie visés.

Le présent rapport rend compte à Bruxelles Environnement des études menées pour atteindre ces objectifs.

B. Méthodologie

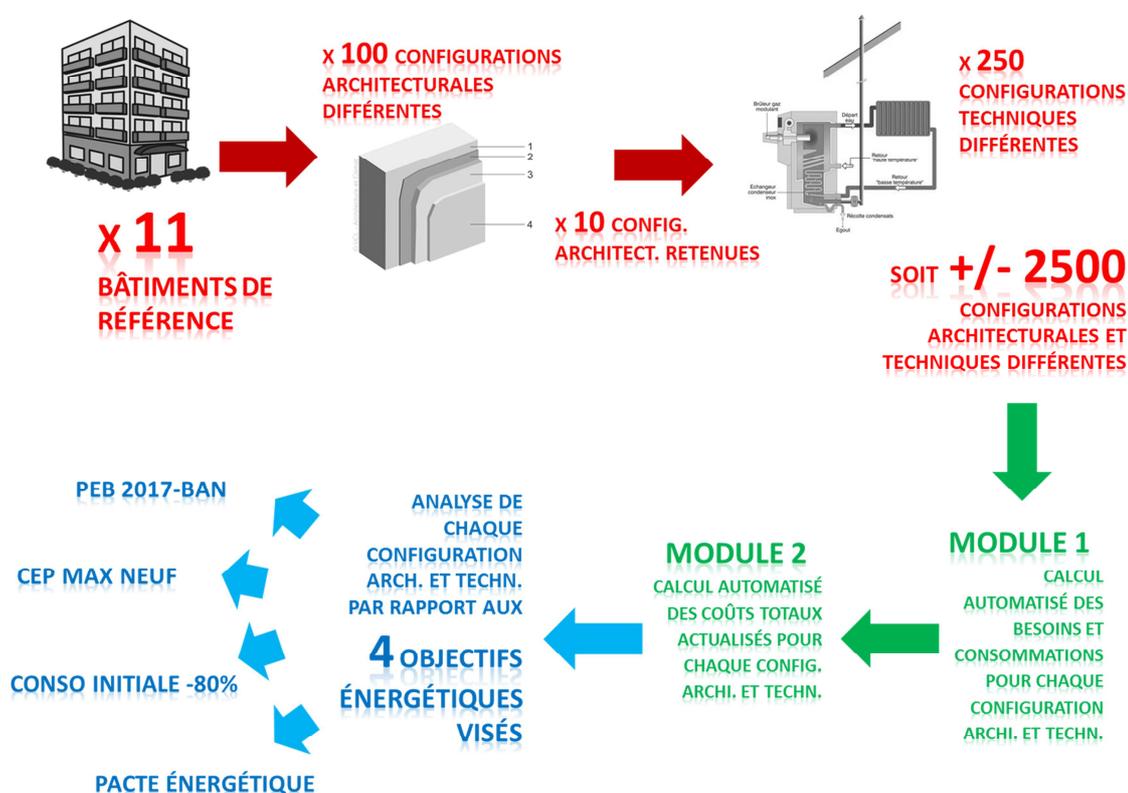
Afin d'atteindre les objectifs précités, il a été utilisé la méthodologie suivante :

1. Sélection des bâtiments de référence
 - a. Analyse statistique afin de définir un échantillonnage de bâtiments le plus représentatif du parc immobilier ;
 - b. Sélection, tracé des plans et métré des bâtiments de référence ;
 2. Détermination des contraintes liées à la conservation du patrimoine.
 3. Encodage des nouveaux bâtiments dans le classeur Excel appelé « MODULE 1 ». Ce classeur Excel permet de calculer automatiquement les besoins et les consommations
- RÉALISATION DE L'ÉTUDE COST OPTIMUM 2017 POUR LES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS /
Référence -2017F0559 - Lot n°2

énergétiques de toutes les configurations architecturales et techniques qui lui sont encodées.

4. Encodage des nouveaux bâtiments dans le classeur Excel appelé « MODULE 2 ». Ce deuxième classeur permet les calculs automatisés des coûts totaux actualisés pour chacune de configurations telles que encodées dans le MODULE 1.
5. Détermination des objectifs énergétiques à étudier.
6. Évaluation des CTA et des mesures éco-énergétiques dont l'intérêt est récurrent.

La démarche utilisée peut se résumer par la figure suivante (où il est également présenté les chiffres clefs sur le nombre de configurations prises en compte) :



Remarque : il est à noter que le nombre de configurations architecturales et/ou techniques peut varier sensiblement d'un bâtiment de référence à un autre. En effet, certaines typologies de construction permettent plus ou moins de variantes architecturales et/ou techniques. Par exemple, dans un appartement sans toit ni dalle sur sol, le nombre de configurations architecturales est plus faible que dans une maison individuelle où ces deux parois supplémentaires permettent de nombreuses configurations possibles. Par contre, pour les appartements, il peut y avoir plus de technologies de génération de chaleur différentes (cogénération, combilus, etc).

C. Usage d'abréviation

Certaines abréviations sont utilisées dans le présent rapport. Voici la signification de celles-ci :

- PEB : performance énergétique des bâtiments
- PER : méthode d'évaluation de la performance énergétique pour le secteur résidentiel
- PEN : méthode d'évaluation de la performance énergétique pour le secteur non résidentiel
- CEP : consommation d'énergie primaire
- CTA : coût total actualisé
- BNC : besoin net de chaud
- CO : cost-optimum
- FP : front de Pareto
- ECS : eau chaude sanitaire
- SER : source d'énergie renouvelable
 - o PV : photovoltaïque
 - o CES : chauffe-eau solaire
- PAC : pompe à chaleur
- TVA : taxe sur la valeur ajoutée
- AGRBC : arrêté du gouvernement de la région Bruxelles Capitale
- RBC : Région Bruxelles Capitale
- VAR : variante
- TRSI : temps de retour simple sur investissement

D. Approche de cost-optimum

Le lecteur est vivement invité à prendre connaissance des rapports suivants afin de bien appréhender les concepts de coût total actualisé (CTA), de consommation d'énergie primaire (CEP) et de cost-optimum (CO) :

- 005020-IBGE-reporting commission_rev2-130808-pob
 - o Ce document permet de comprendre le niveau de précision et les informations demandées par la commission européenne.
- 005020-IBGE-rapport_rev9(post Avenant4)-20130808
 - o Ce document est intéressant pour bien comprendre la notion de cost-optimum (quels sont les coûts pris en compte, quels sont les paramètres qui sont pris en compte dans l'évacuation de la CEP, etc).
- WaLK - Arcadis - IBGE - Rapport - LOT 1 - volet 1 (dernière version)
 - o Il s'agit d'un document ayant exactement la même finalité que celui qui précède et qui présente l'étude cost-optimum de 2013 mise à jour.
- WaLK - Arcadis - IBGE - Rapport - LOT 1 - volet 2 à 4 (dernière version)

- Il s'agit d'un document qui répond à différentes questions posées par Bruxelles Environnement dans le cadre des volets 2 à 4 du lot n°1 du présent marché.

II. Sélection des bâtiments de référence

Afin de déterminer les bâtiments de référence qui serviront dans la suite de l'étude, les démarches suivantes ont été entreprises.

A. Analyse de données statistiques

Une analyse de données statistiques a été menée afin de définir un échantillonnage de bâtiments le plus représentatif du secteur immobilier bruxellois existant de type résidentiel.

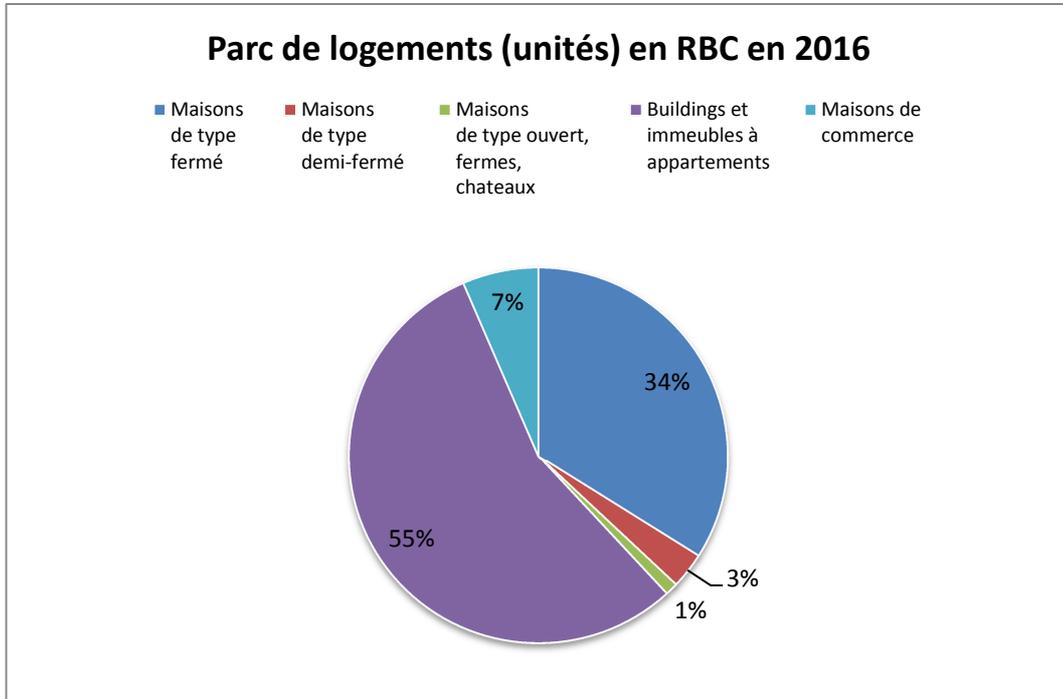
Lesdites données proviennent :

- De la note intitulée « Synthèse des typologies de bâtiments résidentiels afin d'alimenter l'étude 2017F0559-Cost Optimum « Lot 2 : Rénovation » » qui a été transmise par Bruxelles Environnement;
- Des études cost-optimum menées en 2005, 2007 et 2013 pour le compte de Bruxelles Environnement.

B. Résumé des conclusions des études statistiques

A la lecture des données reprises dans la note susmentionnée, il apparaît les conclusions principales suivantes :

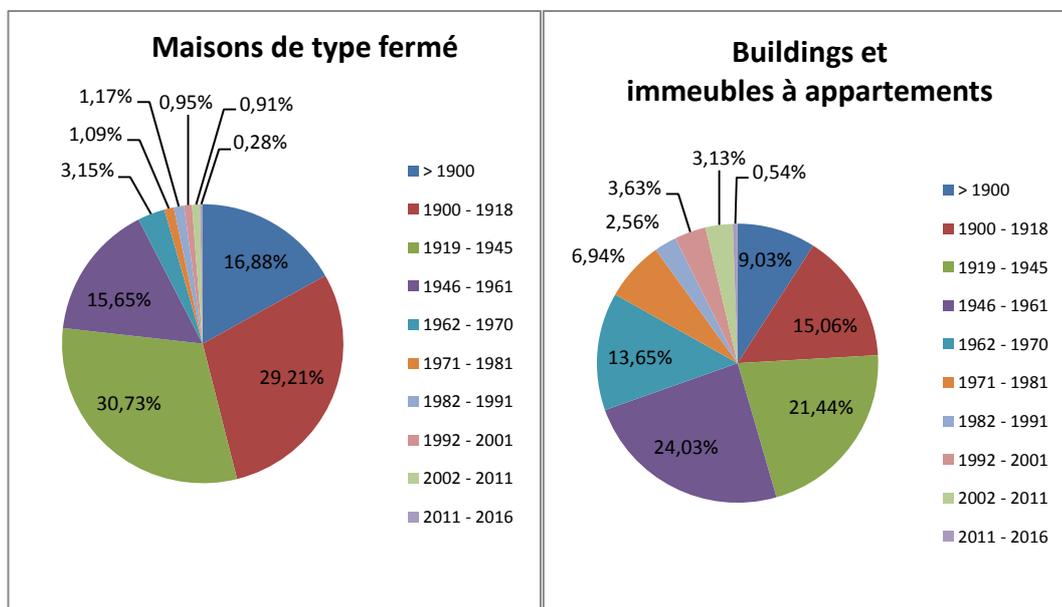
1. Typologie de bâtiment



- La majorité des logements sont compris dans des immeubles à appartements (55%).
- Ensuite, les maisons deux façades et celles avec commerce représentent les typologies majoritaires (respectivement 34 et 7%).

Conclusion : l'étude n'envisage que ces typologies car elles couvrent à elles seules 96% des unités de construction bruxelloises. Les maisons 3 et 4 façades ne seront donc pas envisagées.

2. Année de construction logement



- Tant pour les maisons deux façades que pour les immeubles collectifs, les immeubles d'avant 1961 représentent une écrasante majorité des bâtiments résidentiels en Région Bruxelles capitale.
 - o Pour les maisons fermées, ce sont les bâtiments construits entre 1900 et 1945 qui sont majoritaires.
 - o Pour les logements collectifs, ce sont les bâtiments construits entre 1919 et 1961 qui sont majoritaires.

Conclusion : envisager prioritairement les bâtiments d'avant 1961 avec :

- Pour les maisons mitoyennes, privilégier celles construites entre 1900 et 1945 ;
- Pour les immeubles collectifs, privilégier ceux construits entre 1919 et 1961.

C. Typologies envisagées pour les bâtiments de référence

Sur base des conclusions précitées, les bâtiments de référence sont présentés succinctement dans le tableau ci-dessous. Ces bâtiments de référence sont décrits plus en détail dans les annexes.

Notons que le terme de « bâtiment » correspond ici à l'usage repris dans la mission cost-optimum lot 1. Dans une approche PEB classique, nous parlerions plutôt d'unité PEB : chaque « bâtiment » de référence correspondrait à une unité de logement d'une famille. Il peut s'agir soit de « logement individuel » (CAD une maison complète) soit de « logement collectif » (CAD un appartement).

	REF	TPOLOGIES PRINCIPALES	CAS de REFERENCE
Logement individuel	01	Maison bourgeoise d'avant-guerre	Maison de type « bel-étage » présentant un rez+2. La maison témoin prise en compte est celle du projet BATEX « HACHEZ ».
	01 bis	Maison bourgeoise d'avant-guerre	Idem REF01 mais à laquelle il est appliqué la contrainte suivante : il n'est pas possible d'isoler par l'extérieur ou par l'intérieur la façade avant. Cette référence est considérée afin de tenir compte de deux contraintes qui sont très courantes en Région Bruxelles capitale : <ol style="list-style-type: none"> 1. Contraintes liées à la conservation de l'esthétique de la façade avant. Même sans être classée, plusieurs façades sont et seront à conserver. 2. Contraintes techniques : l'isolation par l'intérieur est parfois impossible et/ou peu souhaitable car elle implique un risque de gel et d'éclatement des parements extérieurs.
	02	Maison bourgeoise d'avant-guerre classée	Idem REF01 mais à laquelle il est appliqué des contraintes liées aux impositions du respect du patrimoine (voir plus bas pour plus de détails).
	03	Maison bourgeoise d'entre-deux guerres	Une maison avec un rez+2. La maison témoin prise en compte est celle de l'étude cost-optimum 2013 référencée sous le code HI-C (ou appelée Herenhuis).
	04	Maison modeste d'avant 1945	Une maison de rangée. La maison témoin prise en compte est celle de l'étude cost-optimum 2013 référencée sous le code HI-B (ou appelée Rijkwoning)

Logements collectifs	05	Maison avec un commerce au rez-de-chaussée	<p>Un bâtiment alliant commerce au rez-de-chaussée et 3 appartements à l'étage. Le bâtiment témoin pris en compte est un immeuble avec une boulangerie au rez-de-chaussée sis à Koekelberg.</p> <p>L'appartement considéré ici est celui du rez+1.</p>
	06	Petit immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961	<p>Un immeuble de 4 appartements présentant un rez+4. Le bâtiment témoin pris en compte est celui de l'étude cost-optimum 2013 référencé sous le code AP-B (ou appelée klein flatgebouw).</p> <p>L'appartement considéré ici est celui du rez+1 qui présente un plancher contre un Espace Adjacent Non Chauffé (les garages).</p>
	07	idem REF 06	<p>Même bâtiment que REF06 mais l'appartement considéré ici est celui du rez+2 (plafond et plancher contre des espaces mitoyens chauffés).</p>
	08	idem REF 06	<p>Même bâtiment que REF06 mais l'appartement considéré ici est celui du rez+4 c'est-à-dire celui sous toiture.</p>
	09	Grand immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961	<p>Un grand immeuble à 88 appartements de type tour et s'élevant sur 12 niveaux (Rez+11). Le bâtiment témoin pris en compte est celui du projet BATEX Florair I.</p> <p>L'appartement considéré ici et dans les cas REF10 et REF11 est un appartement « de coin » (deux façades adjacentes).</p> <p>De plus, il s'agit de l'appartement du rez-de-chaussée qui donne sur des caves. Il est à noter que dans le cas précis des bâtiments Florair, certains rez-de-chaussée sont en réalité constitués de locaux communs à la copropriété ou de porte-à-faux donnant sur l'espace extérieur. Il a été souhaité de considérer ici un cas plus classique où le rez-de-chaussée serait occupé par des appartements.</p>
	10	idem REF09	<p>Même bâtiment que REF09 mais l'appartement considéré ici est un de ceux compris entre les étages rez+1 et rez+10 (plafond et plancher contre des espaces mitoyens chauffés).</p>
	11	idem REF09	<p>Même bâtiment que REF09 mais l'appartement considéré ici est l'appartement est celui du rez+11 c'est-à-dire celui sous toiture.</p>

D. Détermination des caractéristiques de base des cas de référence

Ce chapitre décrit les caractéristiques et variantes architecturales et techniques qui seront évaluées pour les 11 bâtiments de référence présentés ci-avant (cf. tableau ci-dessus).

Plus précisément, il est présenté :

1. les caractéristiques architecturales propres à chaque de cas de référence ;
2. les caractéristiques techniques propres à chaque de cas de référence.

Tant pour les caractéristiques architecturales que techniques, il est d'abord présenté les composantes du cas de référence :

1. sous sa forme de base (ou dit de « cas initial ») en bleu foncé ;
2. les variantes (CAD les « mesures éco-énergétiques ») en bleu ciel.

caractéristique s de base du cas de référence

caractéristiques variantes (mesures éco-énergétiques)

1. Caractéristiques architecturales

Les différentes caractéristiques architecturales principales des cas de référence (bases et variantes) sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Il peut y avoir jusque 4 variantes par caractéristique architecturale (par exemple, il est souvent envisagé 4 valeurs U différentes pour une même paroi en plus de sa valeur U considérée en base).

Ces variantes sont combinées entre elles pour former diverses configurations architecturales. Néanmoins, certaines combinaisons ne sont pas envisagées si elles ont trop peu de sens (par exemple, il n'est pas envisagé une étanchéité à l'air avec un n50 de 0.6/h et un système de ventilation de type simple flux).

REF01	Hachez	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	3.3	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture à versants et plate non isolée	Laine de verre par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage
	Umur	1.8	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur de briques plein de 39 cm	LAINÉ MINÉRALE par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage
	Rsol	0.75	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher briques + chape sable et carrelage	PUR projeté par la cave
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	6.07	2.02	1.21			
	n50	5.29	3.00	1.00	0.60			
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF02	REF1 + patrim	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	3.3	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture à versants et plate non isolée	Laine de verre par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage
	Umur	1.8	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur de briques plein de 39 cm	Laine minérale par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage (en considérant une seule façade) > Voir PVR 20180405
	Rsol	0.75	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher briques + chape sable et carrelage	PUR projeté par la cave
	Uw	5.76	3.10				Châssis bois	Survitrage : ép 4 mm, espacé de 15 mm du vitrage exist.
	Ug	5.7	3.00				Simple vitrage	Survitrage : ép 4 mm, espacé de 15 mm du vitrage exist.
	v50	12	6.30	2.10	1.26			
	n50	5.29	3.00	1.00	0.60			Pas de valeur n50=0.6 car irréaliste sans changement de châssis
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF03	HI-C	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	3.3	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture à versants non isolée	Laine de verre par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage
	Umur	1.54	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur de briques plein de 39 cm	Isolation façade crépi
	Rsol	0.75	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher briques + chape sable et carrelage	PUR projeté par la cave
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	6.30	2.10	1.26			
	n50	5.65	3.00	1.00	0.60			
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF04	HI-B		var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	0.6	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture légèrement isolée avec 6 cm de laine minérale entre chevron	Laine de verre par intérieur + pare-vapeur + réfection plafonnage
	Umur	2.2	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur de briques plein de 29 cm	Isolation façade crépi
	Rsol	0.31	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher sur sol en béton non isolé	PUR projeté par la cave
	Uw	3	1.80	0.85			Fenêtre châssis bois	Remplacement châssis bois + réfection plafonnage
	Ug	2.8	1.10	0.60			Double vitrage sans traitement	Vitrage double et triple
	v50	12	6.07	2.02	1.21			
	n50	5.93	3.00	1.00	0.60			
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF05	Commerce	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	-	-	-	-	-	-	-
	Umur	1.8	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur de briques plein de 39 cm	Isolation façade crépi
	Rsol	-	-	-	-	-	-	-
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis bois + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	5.10	3.06				
	n50	3.10	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF06	AP-B	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	-	-	-	-	-	-	-
	Umur	1.3	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur creux non isolé	Isolation façade crépi
	Rsol	0.50	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher sur cave en béton non isolé.	En base, plancher sur cave en béton non isolé. PUR projeté par le garage
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis bois + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	5.10	3.06				
	n50	6.09	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF07	AP-B	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	-	-	-	-	-	-	-
	Umur	1.3	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur creux non isolé	Isolation façade crépi
	Rsol	-	-	-	-	-	-	-
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis bois + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	5.10	3.06				
	n50	2.35	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF08	AP-B	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	2.8	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture béton non isolée	XPS par extérieur + enlèvement étanchéité existante + réfection
	Umur	1.3	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur creux non isolé	Isolation façade crépi
	Rsol	-	-	-	-	-	-	-
	Uw	5.76	1.80	0.85			Châssis bois	Remplacement châssis bois + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	5.10	3.06				
	n50	6.09	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF09	Florair	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	-	-	-	-	-	-	-
	Umur	2.7	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur plein en brique de 29cm dans ossature béton.	Isolation façade crépi
	Rsol	0.50	1.67	4.17	8.33	12.50	Plancher sur cave en béton non isolé.	PUR projeté par la cave
	Uw	5.86	1.80	0.85			Châssis aluminium sans coupure thermique	Remplacement châssis PVC + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	2.98	1.79				
	n50	10.74	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF10	Florair	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	-	-	-	-	-	-	-
	Umur	2.7	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur plein en brique de 29cm dans ossature béton.	Isolation façade crépi
	Rsol	-	-	-	-	-	-	-
	Uw	5.86	1.80	0.85			Châssis aluminium sans coupure thermique	Remplacement châssis PVC + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	2.98	1.79				
	n50	5.51	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

REF11	Florair	Base	var 1	var 2	var 3	var 4	Composition de base	Composition(s) variante(s)
	Utoit	2.8	0.40	0.24	0.12	0.08	Toiture béton non isolée	XPS par extérieur + enlèvement étanchéité existante + réfection
	Umur	2.7	0.60	0.24	0.12	0.08	Mur plein en brique de 29cm dans ossature béton.	Isolation façade crépi
	Rsol	-	-	-	-	-		-
	Uw	5.86	1.80	0.85			Châssis aluminium sans coupure thermique	Remplacement châssis PVC + réfection plafonnage
	Ug	5.7	1.10	0.60			Simple vitrage	Vitrage double et triple
	v50	12	2.98	1.79				
	n50	10.74	1.00	0.60				
	inertie	mi-lourd	-					
	g	0.76	0.60					
	prot sol amov	non	oui				Aucune	Protection solaire de type screen extérieur, commande manuel

2. Caractéristiques techniques

Les différentes caractéristiques techniques principales des cas de référence sont reprises dans le tableau ci-dessous en utilisant le code de couleur tel que décrit en début de chapitre.

variable	code	description	Logement individuel				Logement collectif						
			REF01	REF02	REF03	REF04	REF05	REF06	REF07	REF08	REF09	REF10	REF11
Ventilation													
C	VH1	Type A non considéré car débit trop variable (solutions non comparable avec C et D). Type B non étudié car très rare et peu adapter dans le logement (surpression). mseci par défaut											
C + ventilation volontaire	VH2	Fonctionnement par sonde hygrométrique mseci par défaut Fdemande 0,79											
D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	VH5	Echangeur double plaque ou à roue. mseci par défaut											
D + régulation + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80%	VH6	Il s'agit d'ajouter à VH5 un module de régulation horaire permettant la réduction au débit minimal en dehors des heures d'occupation. mseci par défaut Fcommande 0,93											
Chauffage													
Production	Pour toutes les chaudières et cogen : ventilateur intégré et régulation électronique.												

chaudière mazout ou gaz sur sol	HP1	- Uniquement existant / rendement = 80%/ 64% (chauff./ECS) / maintenue en température / veilleuse pour vecteur gaz : pas veilleuse pour mazout / hors VP/ température 30% : 60°C - ECS: oui stockage										K	K	K
chaudière gaz HR sur sol	HP2	- Uniquement existant / rendement = 90%/64% (chauff./ECS) / maintenue en température / pas de veilleuse / dans VP / température 30% : 45°C - ECS: oui stockage						K	K	K				
chaudière gaz condensation murale	HP3	- Rendement = 107%/80% (chauff./ECS profil XL) / pas de veilleuse /température 30% : 45°C - ECS: pas stockage												
chaudière gaz condensation sur sol	HP4	- Rendement = 104%/85%(chauff./ECS profil XXL) pas de veilleuse /température 30% : 45°C - ECS: oui stockage					A	A	A	A	A	A	A	A
Cogénération gaz + chaudière gaz condensation	HP5	- Cogen : combustion interne / gaz / dimensionnement selon cogencalc - Chaudière gaz condensation : voir ci-avant - Ecart de température entre départ et retour: 20°C - Chauffage : oui stockage - ECS: oui stockage - Rendement ECS = celui du chauffage (rdt moyen dernière version de cogensim = 51.8%)										A / B	A / B	A / B
Pompe à chaleur air/eau.	HP8	- Valeur par défaut pour les températures /COPtest = 3.1 (min selon directive 2007/742/CE) si radiateur ou chauffage par air et 3.4 si plancher rayonnant - Régulation électronique - Chauffage : oui stockage - ECS: oui stockage - Rendement : 1,44 perte stockage intégré												
Chaudière à eau avec combustible bois	HP10	- Bois = pellets - Rendement 90%/80% (chauff./ECS profil XL) (rendement minimum pour label Der Blaue Engel) - ECS: oui stockage						A	A	A	A	A	A	A

Chauffage électrique	HP12	- Uniquement logement de type « passif » - ECS: oui stockage							I	I	I	I	I	I
Chauffage électrique + boiler thermodynamique + photovoltaïque	HP13	- Uniquement logement de type « passif » - ECS: oui stockage - Rendement : 2,8 perte stockage intégré (source Atlantic)							I	I	I	I	I	I
Combilus avec échangeur plaque en sous-station + chaudière gaz condensation sol	HP15	- Chaudière gaz condensation sol : voir ci-avant - ECS: NON stockage					A / B	A / B	A / B	A / B	A / B	A / B	A / B	A / B
Emission		Calcul émetteurs simplifié												
radiateur	HE1	De base pour tous les cas de référence												
plancher rayonnant	HE2	Uniquement neuf												
chauffage par air	HE3	Uniquement avec Umoyen <=0.12W/m²K ET Uw<0.85W/m²K ET n50 <=1/h	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Régulation		Température retour par défaut												
pas de régulation locale	HR1	Uniquement dans existant												
régulation local	HR2	= vanne thermostatique												
Distribution														
pompe à débit constant / pas de régulation	HD1	Jamais dans neuf												
pompe à débit variable / avec régulation	HD2													
ECS		Toujours deux points de puisage (1 douche et 1 évier)												
Production		Idem chauffage												
Distribution		Si boucle segment = 6m / R= 2.099mK/W (soit 32mm isolant de lambda 0.045W/mK sur DN50)												
boucle pas présente	WD1						J	J	J	J	J	J	J	J
boucle présente	WD2													
SER														
Aucune	SER1													

Panneaux photovoltaïques	SER2							A	A	A	A	A	A
Panneaux solaires thermiques	SER3							A / B	A / B	A / B	A / B	A / B	A / B
photovoltaïque + chauffe-eau solaire	SER5		C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A

Remarque :

- A : uniquement en version centralisée : donc WD2 dès que production chauffage centralisée (sauf si combilus)
- B : pas de cogénération et solaire thermique en même temps
- C : uniquement évaluer avec chaudière gaz condensation sinon surinvestissement jamais rentabilisé ET VH de qualité
- E : que pour les projets déjà performants (nouvelle chaudière)
- F : uniquement pour cas de type « passif » (sinon débit air insuffisant pour répondre à la puissance de chaud nécessaire)
- I : uniquement en décentralisé donc pas avec SER
- J : uniquement en décentralisé
- K : de base en version centralisée

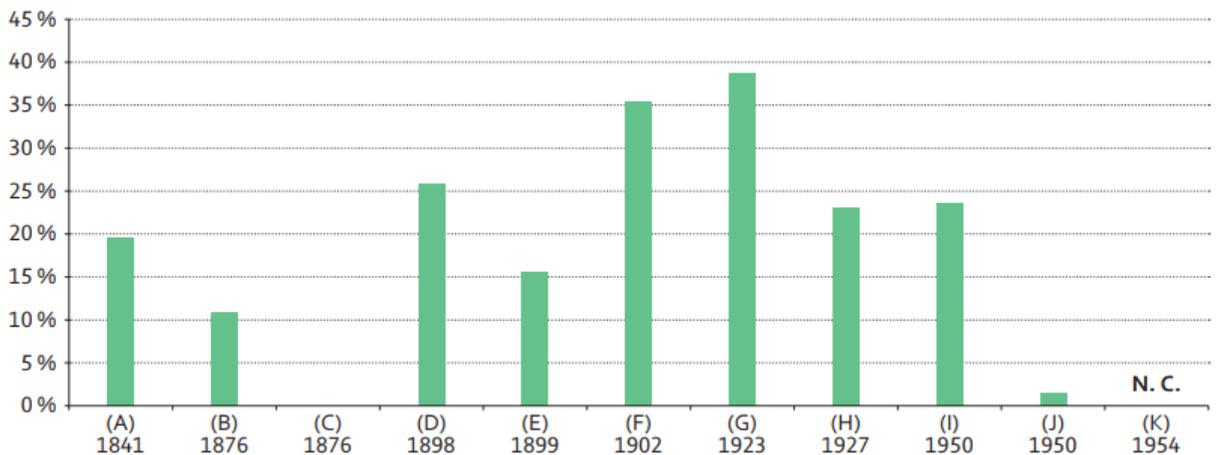
E. Remarques diverses

1. Considérations sur les développements arrières des bâtiments

Dans plusieurs cas, les extensions des habitations par des pièces de vie vers l'arrière du bâtiment ont été métrées et considérées dans les calculs.

Il est clair que la morphologie de ces extensions sont très singulières (CAD propre à chaque bâtiment) mais leur présence sont très récurrentes comme le montre l'étude « Amélioration des performances énergétiques du bâti ancien de la Région Bruxelles-Capitale », réalisée par le Centre Urbain et le bureau d'études APUR.

SUPPLÉMENT DE DÉVELOPPÉ DE FAÇADE SUR COUR



2. Considérations sur le cas de référence soumis à un classement au niveau de son patrimoine ou à des contraintes architecturales (cas de référence 1 BIS et 2)

La conservation de la qualité du patrimoine bâti impose des restrictions sur la façon dont on peut envisager des mesures d'amélioration des composantes architecturales.

Il a donc été envisagé ici :

- La mise en place d'un survitrage au lieu de la mise en place de nouveaux châssis avec un vitrage performant. Cette approche de survitrage est clairement moins intéressante au niveau énergétique mais elle permet de conserver le châssis actuel et ses caractéristiques esthétiques ;

- La mise en place d'une isolation par l'intérieur sur la façade avant. Il est en effet supposé que seule la façade avant est classée. Le coût d'investissement prend en compte la pose d'une pare-vapeur ;
- La mise en place d'un isolant de type EPS graphité + crépi sur la façade arrière (supposée non classée) ;
- La combinaison des deux approches précédentes.

Notons que l'isolation par l'intérieur n'est pas toujours possible et/ou non souhaitable pour éviter le développement de pathologies graves sur les façades. En effet, en isolant l'intérieur, le parement extérieur anciennement maintenu à une certaine température devient alors soumis à des conditions climatiques inconnues amenant à des risque d'éclatement du au gel.



Source CSTC

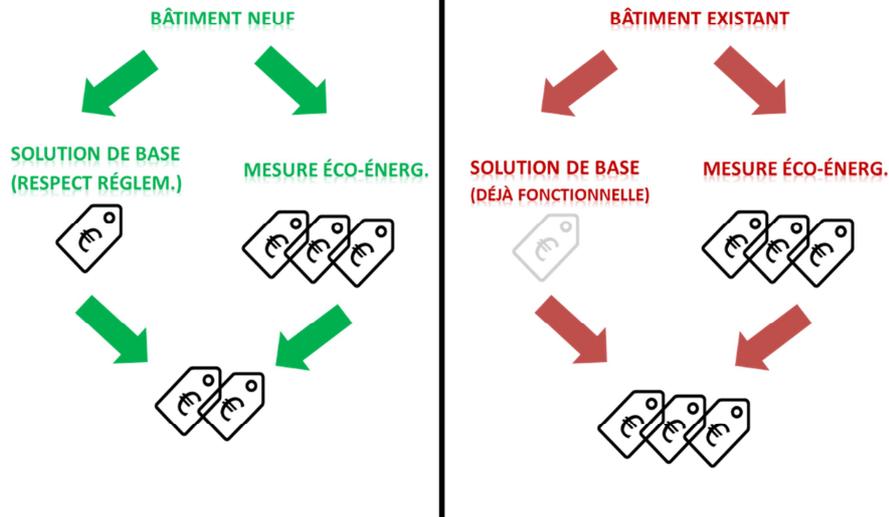
Cette considération nous a amené à envisager également le cas de référence n°1 BIS c'est-à-dire le cas de référence 1 à laquelle il est appliqué la contrainte suivante : il n'est pas possible d'isoler par l'extérieur ou par l'intérieur la façade avant.

3. Considération sur le terme « surinvestissement ».

Le terme de surinvestissement est utilisé dans la continuité du lot1 du présent marché (lui-même étant dans la continuité des études cost-optimum de 2007 et 2013).

A proprement parlé, dans le présent lot, il aurait aussi pu être utilisé le terme plus simple « d'investissement ». En effet, dans la rénovation, il a été considéré que tous les équipements présents (architecturaux et techniques) sont en base fonctionnels. Dès lors, toute nouvelle mesure éco-énergétiques mise en œuvre se présente comme un investissement net auquel on ne peut pas déduire le coût d'une solution de base comme c'est le cas pour les bâtiments neufs.

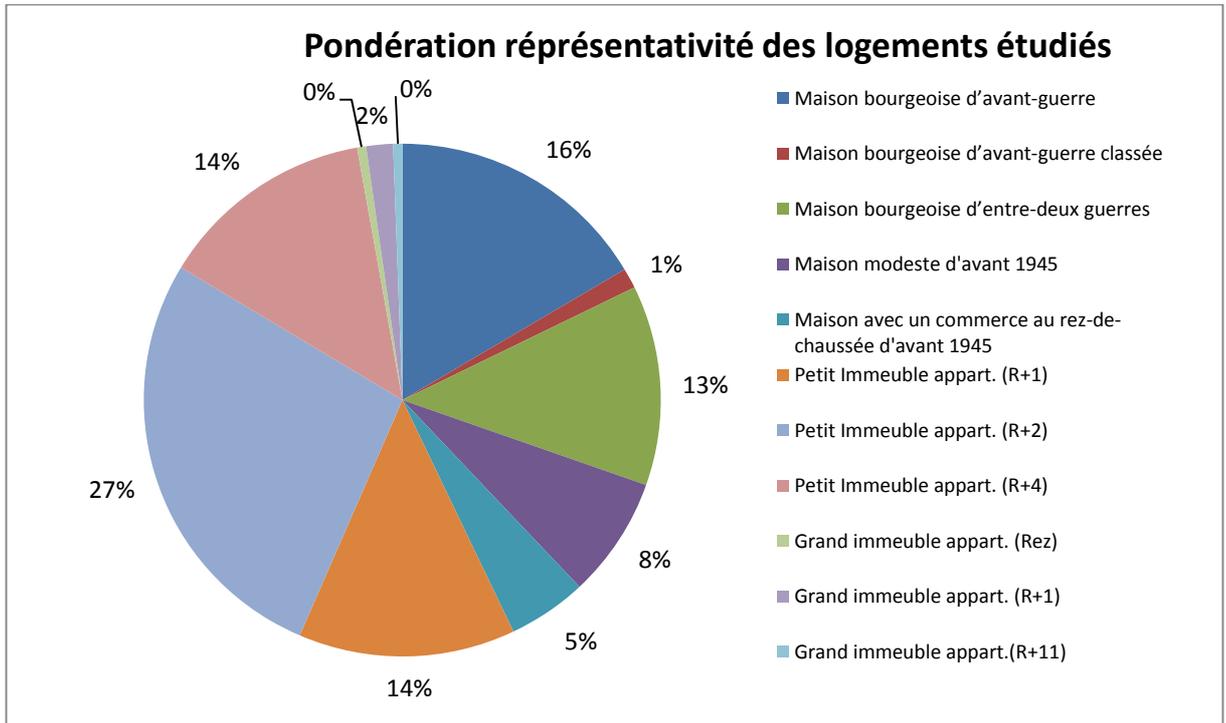
Ceci est résumé par le schéma suivant :



F. Extrapolation des résultats

Les résultats obtenus par les différentes simulations sont extrapolés à l'échelle de la Région Bruxelles Capitale sur base d'un certain pourcentage. Ce pourcentage a été établi sur base des données statistiques présentées ci-avant et complétées par les données des sites suivants :

- IBSA : <http://ibsa.brussels/themes/amenagement-du-territoire-et-immobilier#.WtW5Ri5ua70>
- Monitoring des quartiers : <https://monitoringdesquartiers.brussels>



III. Détermination des objectifs énergétiques

A. Explication sur les différents niveaux d'énergie envisagés

Différents niveaux de consommations d'énergie primaire sont envisagés pour réduire la consommation d'énergie du parc immobilier résidentiel existant bruxellois.

Ils sont présentés ci-après :

- **Niveau de consommation d'EP correspondant à une réduction de 80% de la consommation initiale de chaque cas envisagé.** Ce niveau d'énergie est fixé par les obligations de la stratégie rénovation qui étaient issues de la directive EE (2012/27) et puis transférées dans la nouvelle directive PEB.

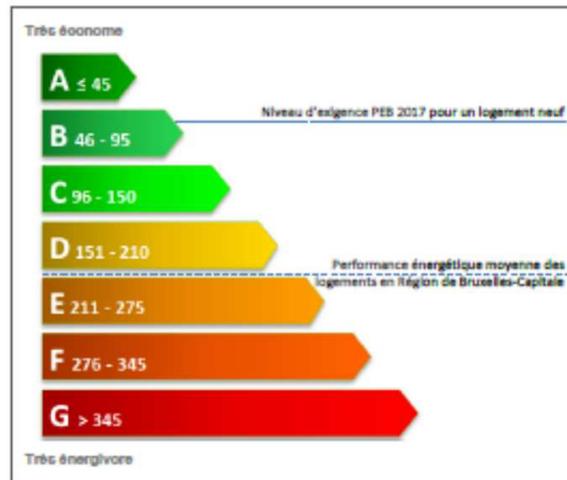
Voici un extrait de la directive : « 2. In their long-term renovation strategy, Member States shall set out a roadmap with measurable progress indicators, with a view to the long-term 2050 goal of reducing greenhouse gas emissions in the Union by 80-95 % compared to 1990. The roadmap shall include indicative milestones for 2030 and 2040, and specify how they contribute to achieving the Union's energy efficiency targets in accordance with Directive 2012/27/EU. »

Il a été décidé ici de viser 80%. Un lien direct entre la consommation d'énergie primaire et la réduction des gaz à effet de serre a été considéré.

Dans les graphiques qui suivent, cet objectif est mis en évidence par les points de couleur rouge et portent le nom de « Conso initiale -80% »

- **Niveau de consommation d'EP basé sur le pacte énergétique soit une consommation d'énergie de 100kWh/m².an.** Ce niveau de consommation correspond à un certificat PEB de type C+. il devrait être atteint pour l'ensemble des logements existant d'ici 2050. Il est à noter qu'actuellement, une habitation moyenne présente une performance moyenne avec un certificat compris entre D et E.

Dans les graphiques qui suivent, cet objectif est mis en évidence par les points de couleur verte et portent le nom de « Pacte énergétique ».



- **Niveau de consommation d’EP qui s’alignera avec ce qui est demandé actuellement pour un bâtiment neuf.** Ce niveau varie en fonction de la géométrie et de la compacité de chaque bâtiment mais il est fixé ici à 45kWh/m².an (à savoir la valeur la plus exigeante qui ne tient pas compte de facteur correctif comme un volume faible ou une mauvaise compacité).
Pour rappel, le niveau de CEP maximal aujourd’hui admis pour un logement neuf est calculé ainsi :

$$CEP \leq 45 + \max(0 ; 30 - 7.5 * C) + 15 * \max(0 ; 192 / V_{EPR} - 1) \text{ kWh/m}^2.\text{an}$$

Dans les graphiques qui suivent, cet objectif est mis en évidence par les points de couleur violette et portent le nom de « CEP max neuf »

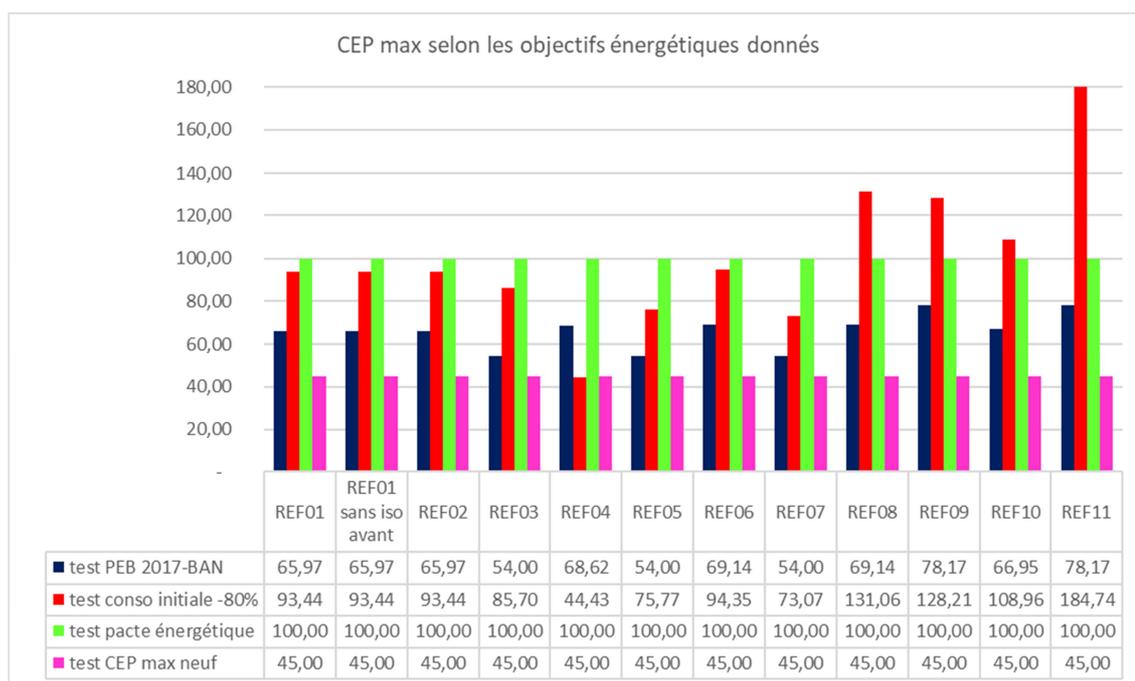
- **Niveau de consommation d’EP qui s’alignera avec ce qui est demandé actuellement pour un bâtiment assimilé à du neuf ET qui respecte aussi l’exigence actuelle d’un besoin net de chaud maximal.** Ce dernier objectif doit donc être analysé différemment des trois premiers objectifs précités puisqu’il évalue une double condition (CEP + BNC).

Il est à noter que la valeur maximale de la CEP est variable en fonction de chaque cas : généralement comprise à 54kWh/m².an, cette valeur peut être corrigée par la compacité et le volume (voir plus haut). La valeur calculée au point précédent est multipliée par 1.2 pour tenir compte du fait qu’il s’agisse d’une rénovation.

Dans les graphiques qui suivent, cet objectif est mis en évidence par les points de couleur bleue et portent le nom de « PEB 2017-BAN »

B. Valeurs maximales

Comme expliqué ci-avant, certains niveaux d'énergie primaire vont changer d'un cas de référence à l'autre. Le graphique ci-dessous présente ces niveaux d'énergie pour chaque cas de référence.

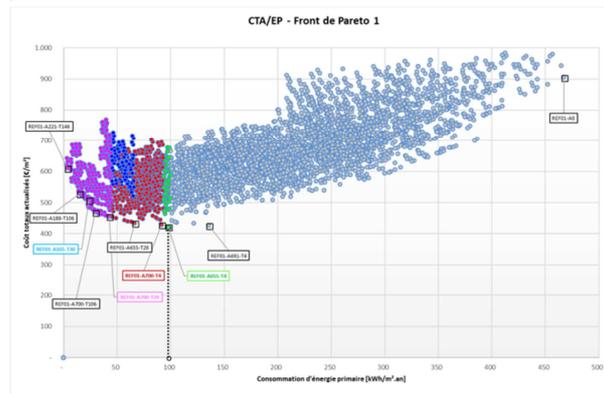


IV. Résultats

A. Structure de présentation des résultats

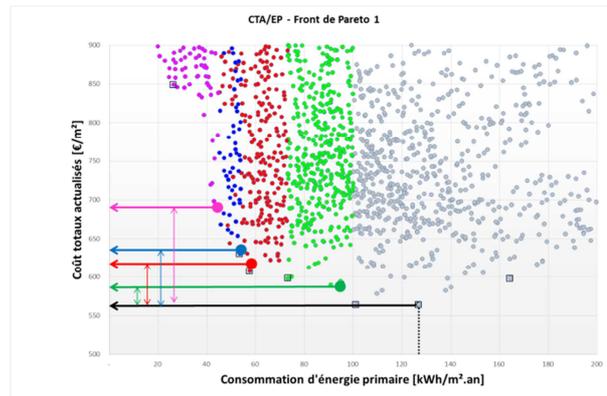
Étant donné les objectifs multiples de l'étude, les résultats sont analysés et présentés en 3 sous-chapitres :

- Sous-chapitre « objectifs énergétiques » : on cherche à répondre ici aux deux questions suivantes :
 - Existe-t-il des configurations architecturales et techniques qui répondent à tous les objectifs énergétiques visés. Pour ce faire, les résultats sont illustrés avec un diagramme présentant en abscisse la consommation d'énergie primaire de chaque configuration et en ordonné le coût total actualisé. Les configurations qui respectent un objectif donné sont mises en évidence par la couleur définie dans le chapitre « Détermination des objectifs énergétiques ».

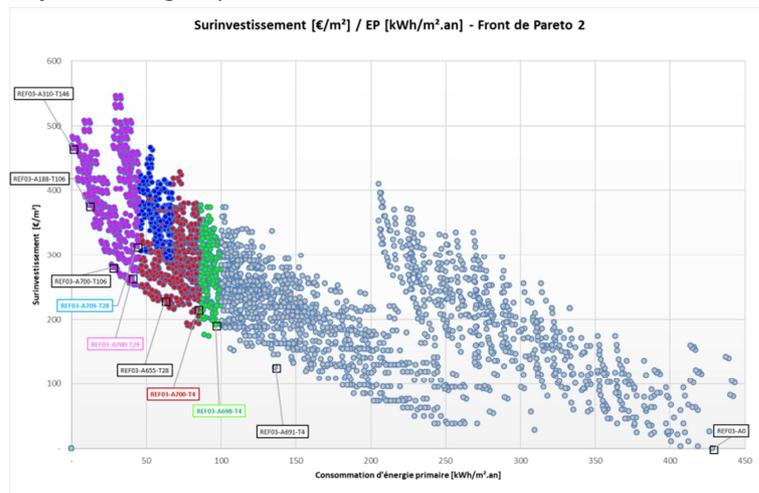


- Quel est l'écart entre le CTA du cas cost-optimum et le CTA minimal correspondant à toutes les configurations répondant à un même objectif visé ?

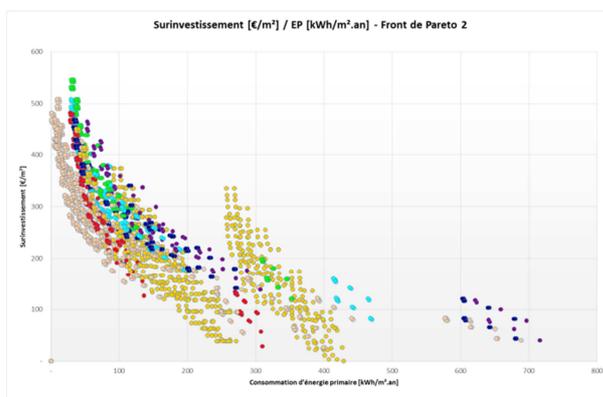
Au plus l'écart est grand, au plus cela implique qu'atteindre un objectif énergétique donné dans les meilleures conditions (CAD avec la meilleure configuration architecturale et technique) est peu rentable.



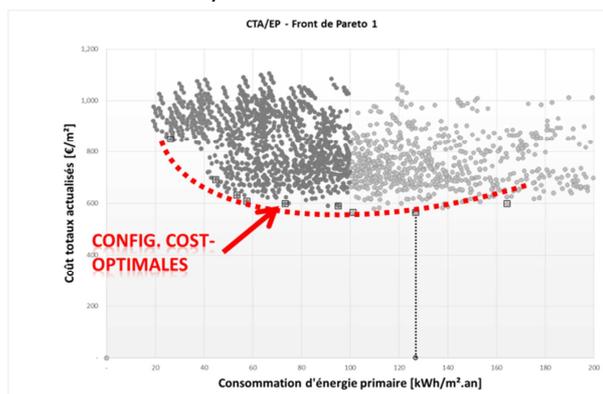
- Sous-chapitre « Impacts sur le surinvestissement » : dans cette partie, il est présenté deux diagrammes avec en abscisse la consommation d'énergie primaire de chaque configuration et en ordonné le surinvestissement correspondant. La forme caractéristique de ce graphique est présentée dans la figure ci-dessous. En toute logique, on y observe que plus la CEP diminue (CAD plus on investit dans des mesures éco-énergétiques), plus le surinvestissement augmente.
 - Le premier diagramme met en évidence les configurations répondant à un même objectif énergétique visé.



- Le second met en évidence les configurations recourant au même type de production de chaleur ou utilisant une même source d'énergie renouvelable (voir les légendes des couleurs dans le point suivant).

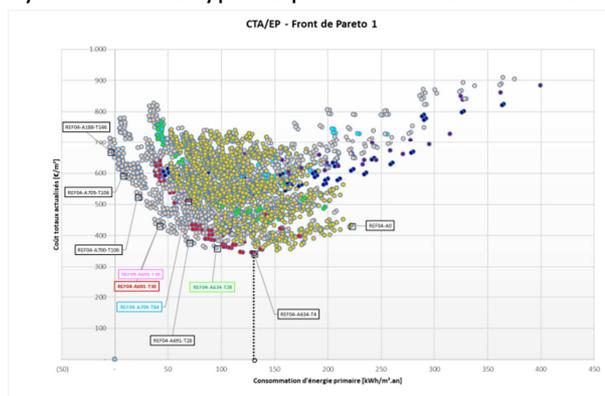


- Le sous-chapitre « Mesures éco-énergétiques à privilégier » met en évidence les mesures éco-énergétiques qui sont utilisées de façon récurrente parmi les configurations cost-optimales (CAD les configurations qui offrent le CTA minimal pour chaque niveau de CEP étudié).



Pour ce faire :

- Il est présenté un tableau avec le détail d'un échantillon de 10 configurations architecturales et techniques cost-optimales. Ce tableau décrit le niveau d'isolation, le taux d'étanchéité à l'air, le type de production de chaleur, le type de ventilation, etc.
- Il est présenté le diagramme CEP/CTA dans lequel chaque configuration ayant le même type de production de chaleur est mise en évidence.



B. Légende

Pour plus de facilité dans l'analyse des nombreux graphiques qui suivent, le lecteur est invité à imprimer cette page afin d'avoir les codes couleurs aisément sous la main.

- La légende des couleurs pour les configurations présentant un même objectif énergétique est reprise dans le tableau ci-dessous :

test PEB 2017-BAN
test conso initiale -80%
test pacte énergétique
test CEP max neuf

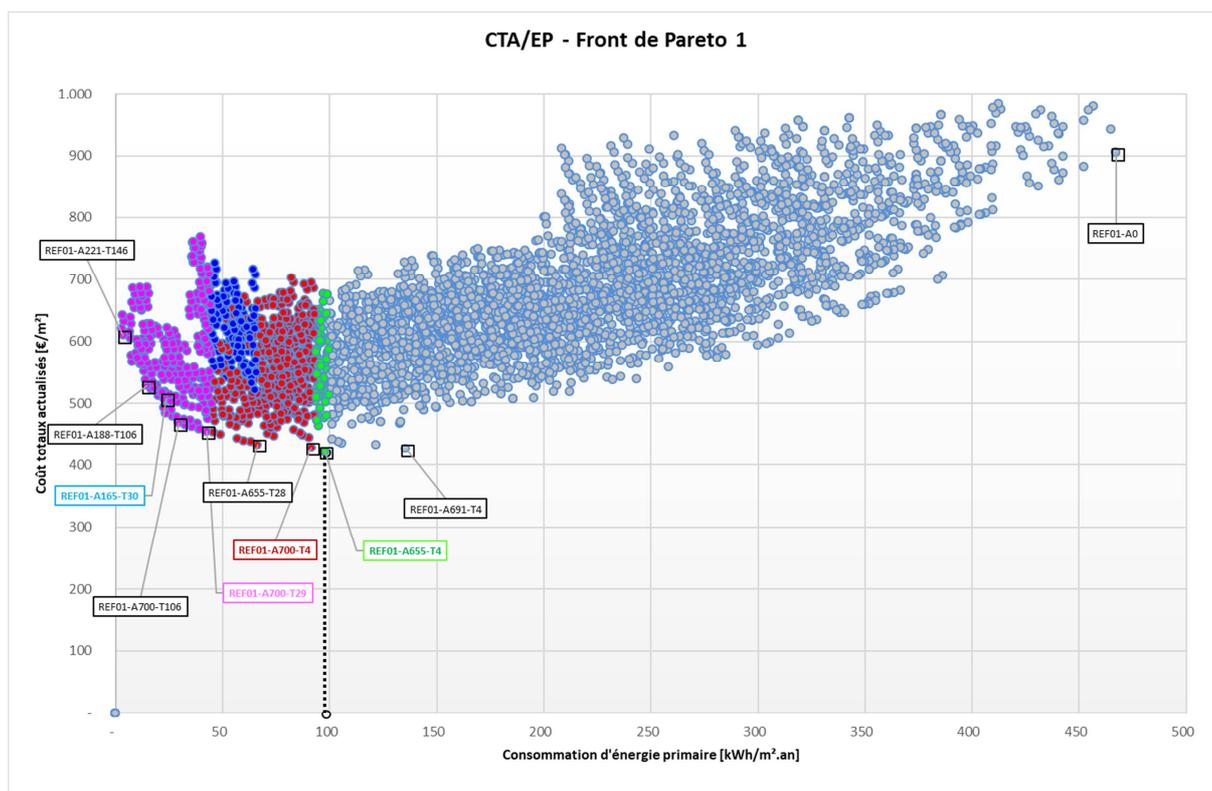
Remarque :

- Les points en bleu ciel et fond gris sont ceux qui représentent des configurations architecturales et techniques qui ne répondent à aucun objectif précité.
- La légende des couleurs pour les configurations utilisant un même générateur de chaleur est reprise dans le tableau ci-dessous :

HP1	Ancienne chaudière
HP2	Chaudière HR
HP3	Chaudière gaz condens murale
HP4	chaudière gaz condens sol
HP5	cogen + gaz
HP8	PAC air/eau
HP10	Bois
HP12	chauffage élect
HP13	Boiler thermodynamique
HP15	Combilus avec échangeur plaque
SER	SER (source d'énergie renouvelable)

C. Objectifs énergétiques

1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre



Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	905	-	467,2	-
Cost optimum	422	-	97,8	-
PEB 2017-BAN	509	87	23,5	74,3
Conso initiale -80%	429	7	91,3	6,5
Pacte énergétique	423	1	97,8	0,0
CEP max neuf PEB 2017	456	34	42,4	55,4

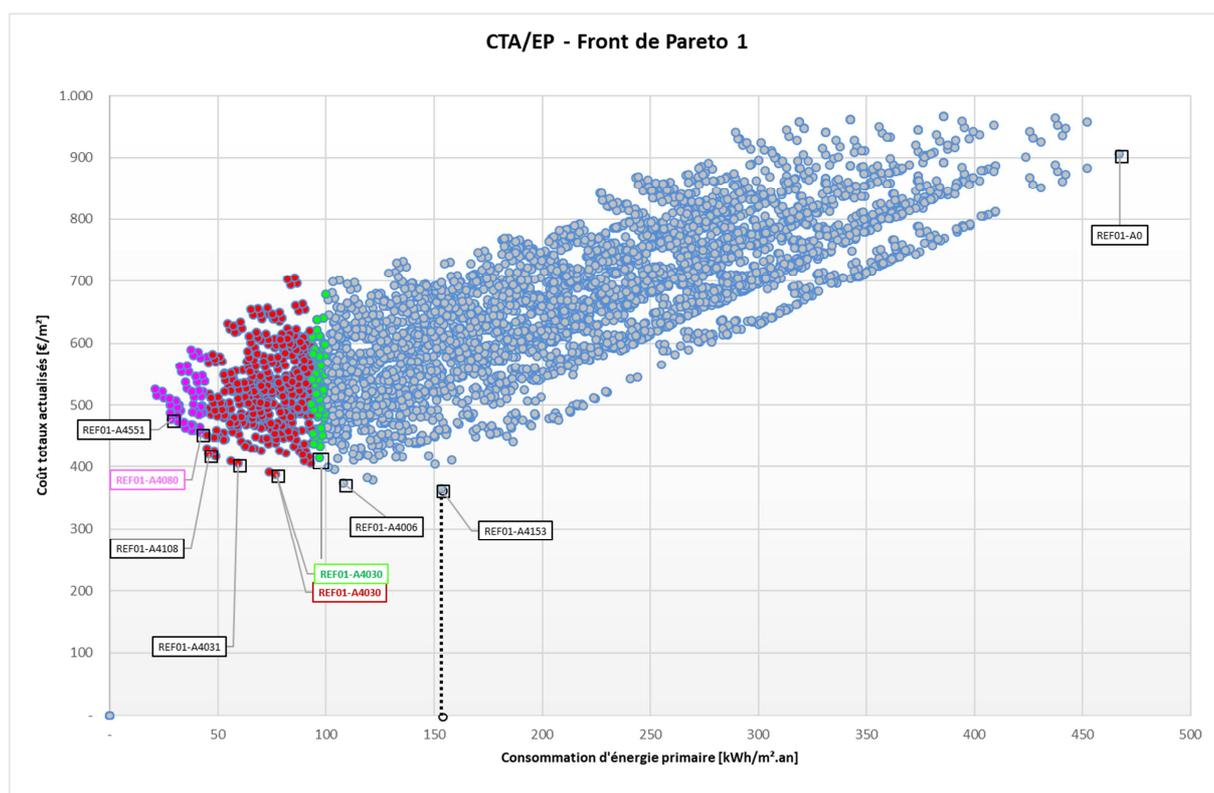
Observations :

- Plusieurs configurations permettent d'atteindre les 4 objectifs énergétiques.
- Comme expliqué dans le sous-chapitre « III.A. Explication sur les différents niveaux d'énergie envisagés), le respect de l'objectif PEB 2017 BAN est plus contraignant que les autres objectifs puisqu'il impose des niveaux de CEP et BNC maximaux.
- Le « Pacte énergétique » présente un niveau de consommation d'énergie primaire pour lequel il existe la configuration cost-optimale.

- Pour le niveau « Conso initiale -80% » et « CEP max neuf PEB 2017 », la valeur du CTA est également très proche du cas de cost-optimum (graphique quasiment plat pour des CEP comprises entre une de 60 et 100kWh/m²/an) avec un écart de CTA par rapport au CO de moins de 10%. Un graphique CEP/CTA assez plat indique donc que pour une même valeur de CTA, on peut avoir des niveaux de CEP très différents.

2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre

Pour rappel, il s'agit du cas de référence REF01 auquel on ne pourrait pas appliquer une isolation sur la façade avant (respect de contraintes urbanistiques comme la conservation de l'esthétique actuelle de la façade ou le respect d'alignement de façade, l'impossibilité technique liée à la fragilité de la brique, etc).



Objectif énergétique	CTA (€/M²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m²)	CEP correspondante (kWh/m².an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m².an)
Cas de référence	905	-	467,2	-
Cost optimum	365	-	153,4	-
PEB 2017-BAN	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Conso initiale -80%	388	23	76.8	76.6
Pacte énergétique	415	50	97.1	56.3
CEP max neuf PEB 2017	455	90	42.3	111.1

Observations :

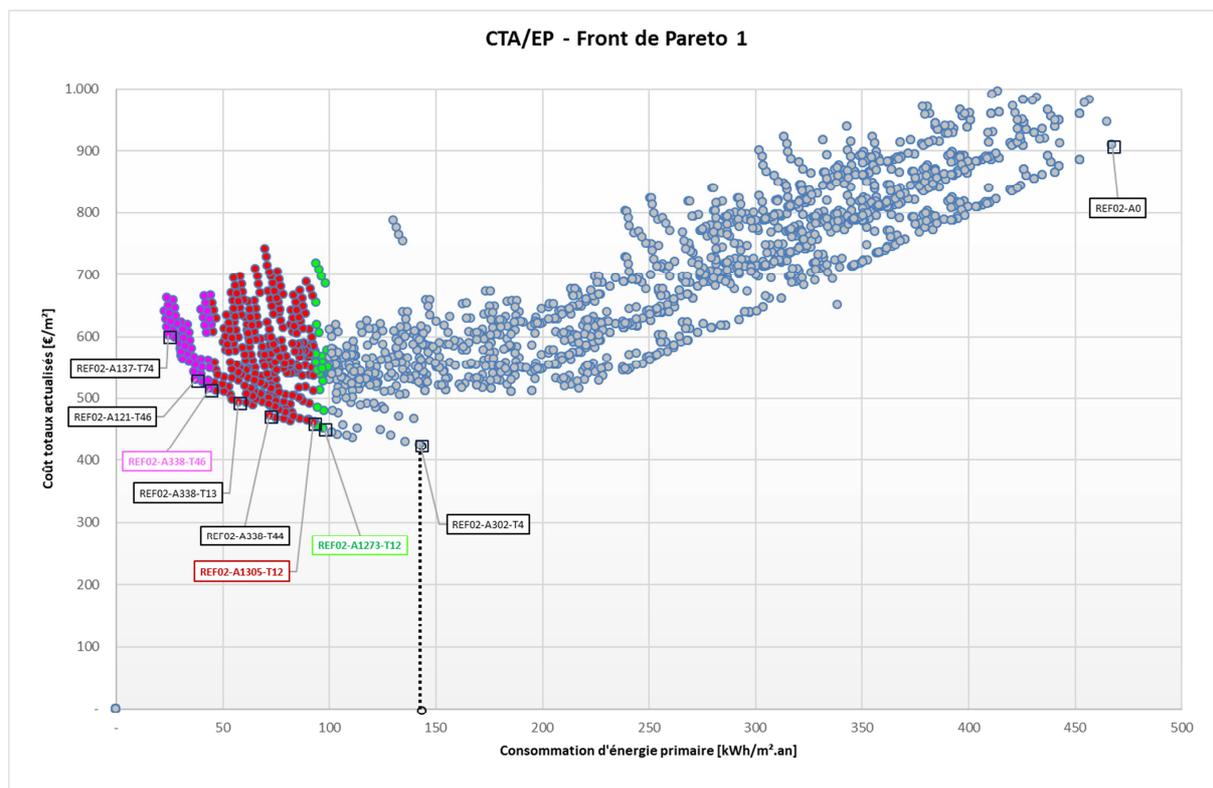
- Ici aucune configuration ne permet d'atteindre les exigences PEB actuelle dans le cas d'un objectif « PEB 2017-BAN ». Cela est dû au fait qu'aucune des configurations envisagées n'offre un BNC inférieur à 18kWh/m²/an. Par rapport à REF01, les

configurations architecturales sont en effet réduites par l'impossibilité d'isoler la façade avant. De facto, cette contrainte impose aussi d'isoler les autres surfaces déperditives pour atteindre les 75% de parois isolées).

- Il est à observer également que par rapport au cas REF01, le cost-optimum ne correspond plus à l'objectif énergétique « Pacte énergétique ».
- **La comparaison des résultats entre le cas de REF01 et REF01 bis montre à quel point les résultats sont sensibles à certaines contraintes liées à l'urbanisme ou la faisabilité technique de certaines rénovations. On remarque entre autre que la CEP associée à la configuration cost-optimale liée à l'objectif énergétique « Conso initiale -80%» est plus faible dans REF01Bis que celle de REF01.**

3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée

Pour rappel, la REF02 correspond à la maison telle que décrite dans la REF01 à laquelle il est ajouté des contraintes architecturales liées au respect du patrimoine bâti.



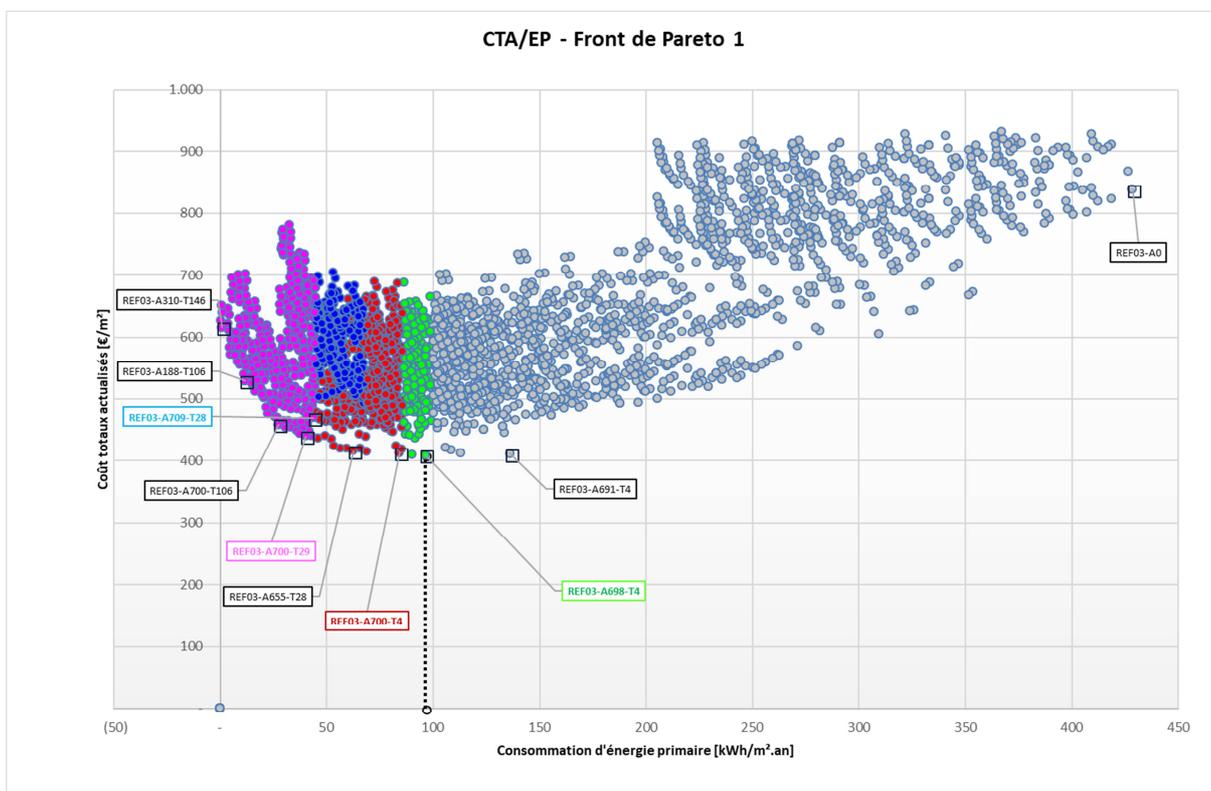
Objectif énergétique	CTA (€/M²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m²)	CEP correspondante (kWh/m².an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m².an)
Cas de référence	910	-	467,2	-
Cost optimum	425	-	142,5	-
PEB 2017-BAN	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Conso initiale -80%	462	37	92,5	50,0
Pacte énergétique	453	28	97,3	45,2
CEP max neuf PEB 2017	516	91	43,9	98,6

Observations :

- Mêmes observations que pour le cas REFBis.
- La différence de CTA est assez faible pour les objectifs de « Conso initiale -80% » et « Pacte énergétique » (écart de moins de 10%).
- Avec un surcoût de 90€/m² par rapport au cas de CO, la hausse de CTA pour l'objectif de la PEB 2017-BAN devient non négligeable (hausse de 21%).



4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres

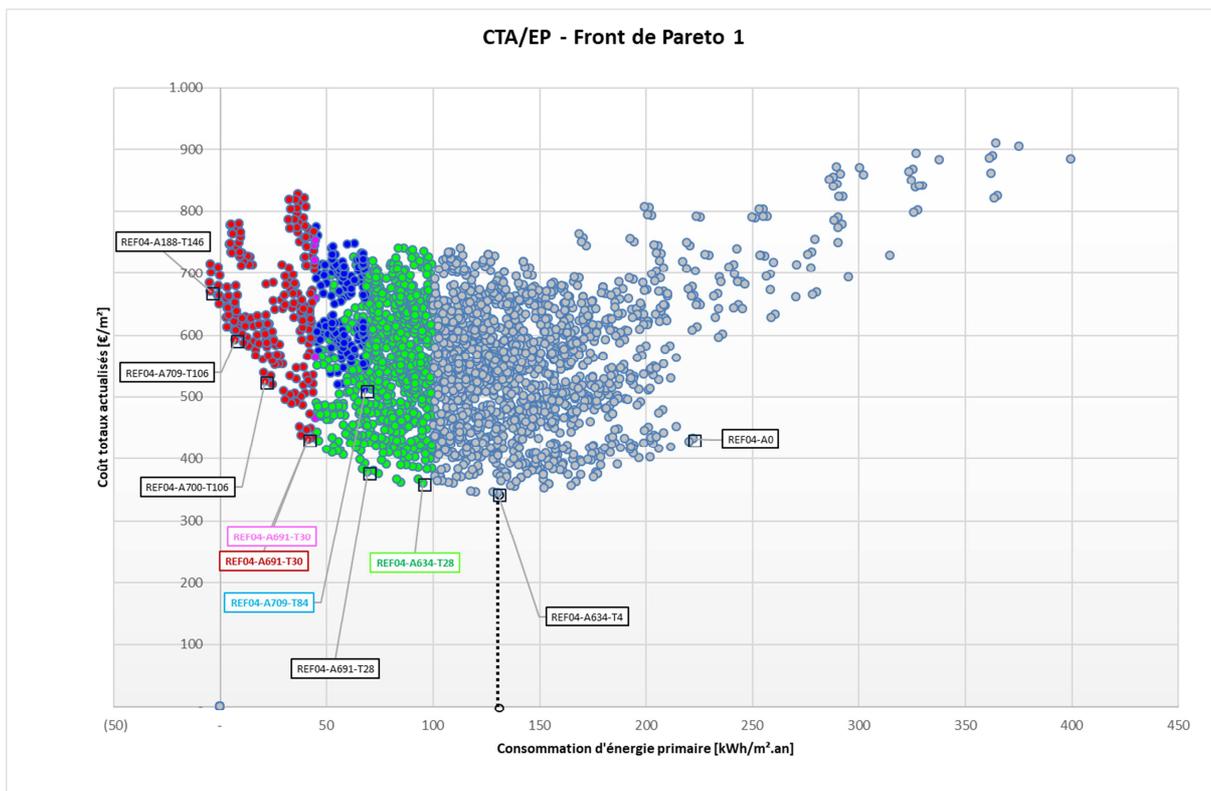


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	838	-	428,5	-
Cost optimum	409	-	96,4	-
PEB 2017-BAN	469	60	43,8	52,6
Conso initiale -80%	413	4	84,2	12,2
Pacte énergétique	409	0	96,4	0,0
CEP max neuf PEB 2017	440	31	40,3	56,1

Observations :

- Observations identiques à REF01 sauf que la différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour tous les objectifs énergétiques mis-à-part celui de « PEB 2017-BAN».

5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945

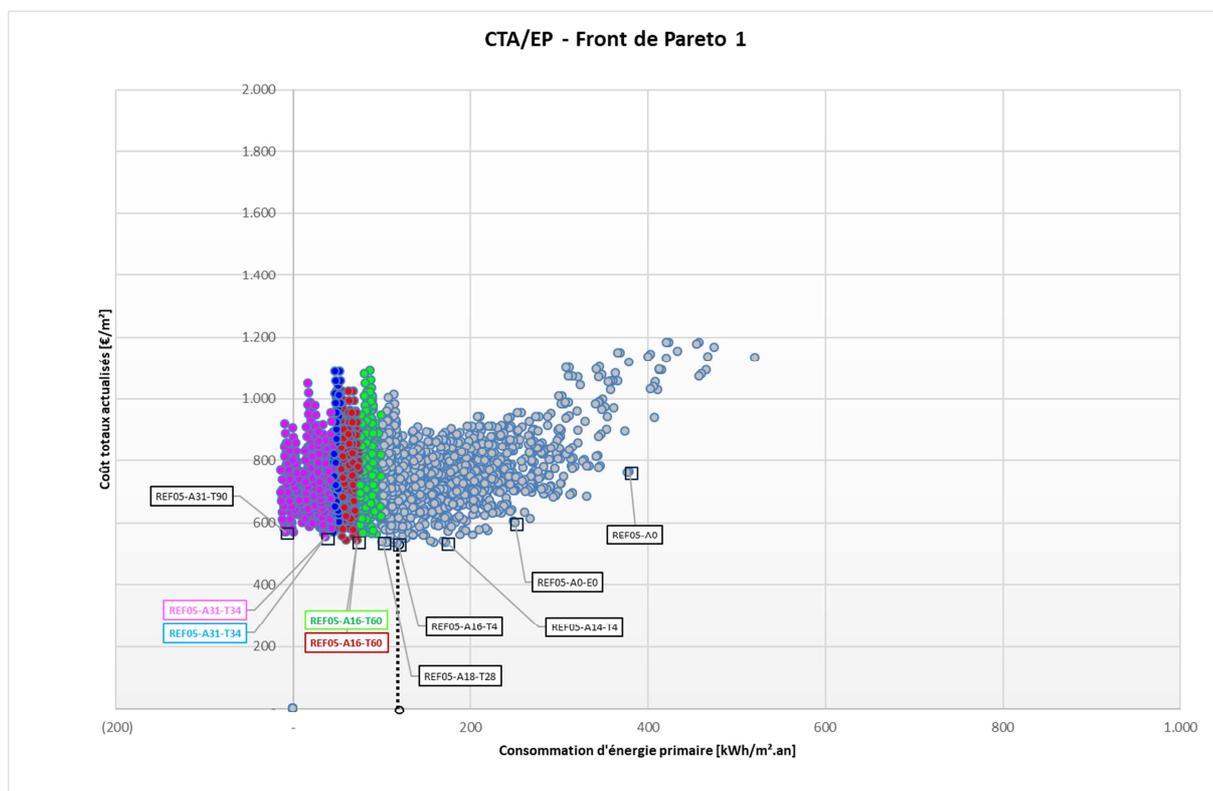


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	433	-	222,2	-
Cost optimum	345	-	130,4	-
PEB 2017-BAN	512	167	68,1	62,3
Conso initiale -80%	432	87	41,3	89,1
Pacte énergétique	360	15	95,3	35,1
CEP max neuf PEB 2017	432	87	41,3	89,1

Observations :

- La configuration cost-optimale ne répond à aucun des objectifs énergétiques visés.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour tous les objectifs énergétiques sauf celui de « PEB 2017-BAN ».

6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée

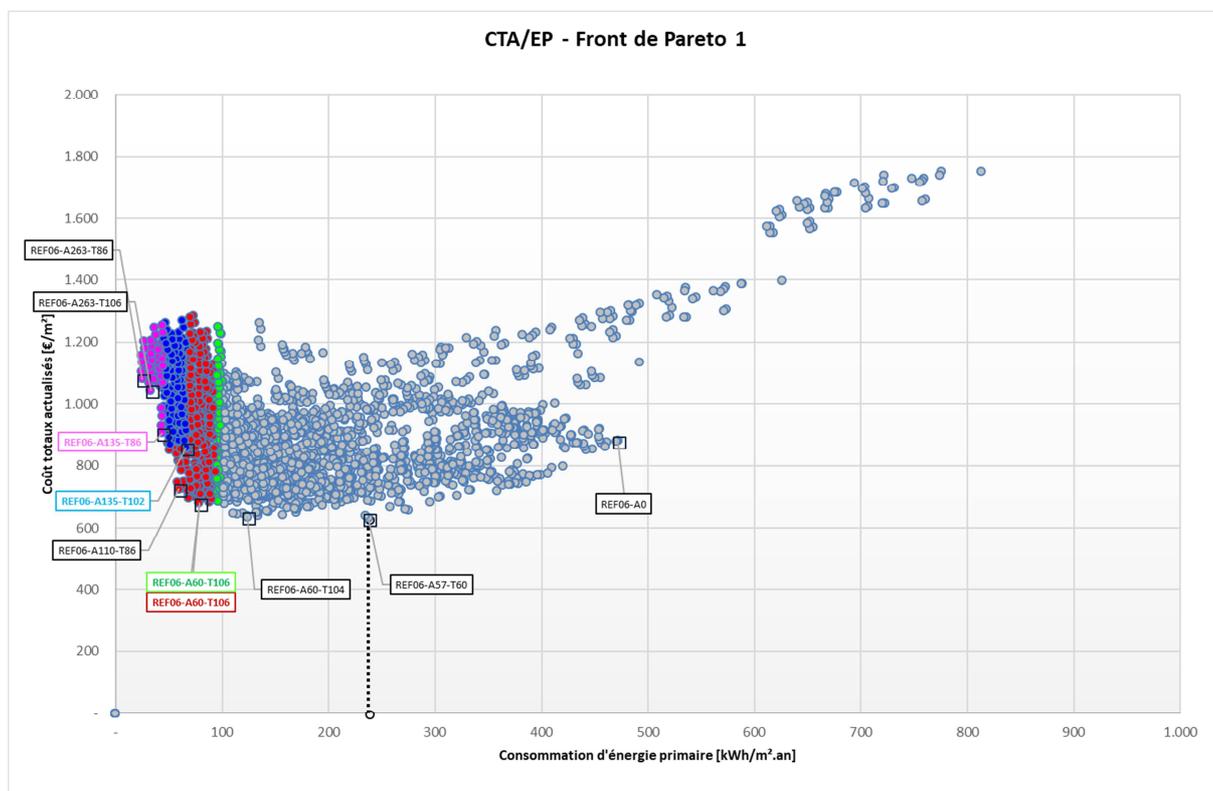


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	765	-	378,9	-
Cost optimum	532	-	117,7	-
PEB 2017-BAN	554	22	36,9	80,8
Conso initiale -80%	542	10	72,4	45,3
Pacte énergétique	542	10	72,4	45,3
CEP max neuf PEB 2017	554	22	36,9	80,8

Observations :

- Il y a un grand nombre de configuration pour chaque objectif énergétique.
- La configuration cost-optimale ne répond à aucun des objectifs énergétiques visés.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour tous les objectifs énergétiques (front de Pareto particulièrement « plat » autour du CO).

7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)

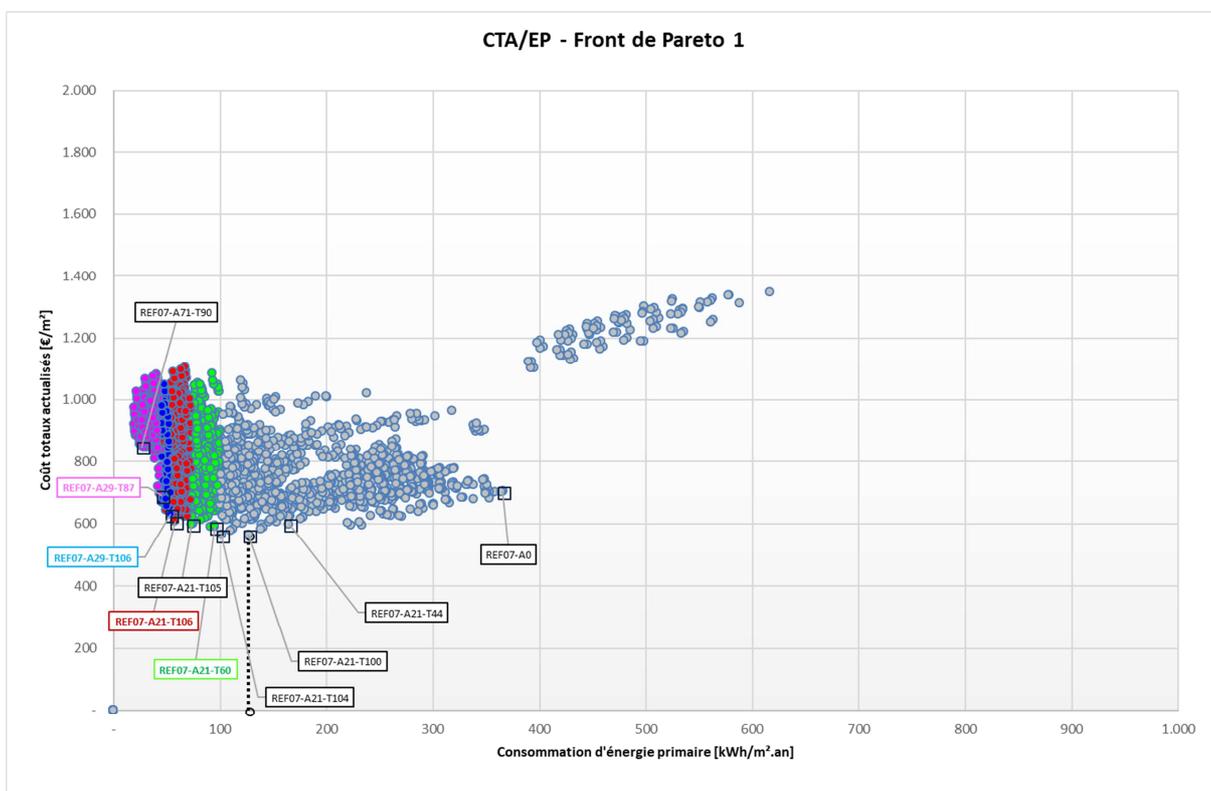


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	881	-	471,8	-
Cost optimum	631	-	237,0	-
PEB 2017-BAN	859	228	66,2	170,8
Conso initiale -80%	681	50	78,4	158,6
Pacte énergétique	681	50	78,4	158,6
CEP max neuf PEB 2017	908	277	43,7	193,3

Observations :

- Il y a un grand nombre de configuration pour chaque objectif énergétique.
- La configuration cost-optimale ne répond à aucun des objectifs énergétiques visés.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour les objectifs énergétiques « Conso initiale -80% » et « Pacte énergétique ». Le front de Pareto particulièrement « plat » jusque des CEP de 80 kWh/m².an et devient très vertical en dessous de cette valeur de CEP.

8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2)

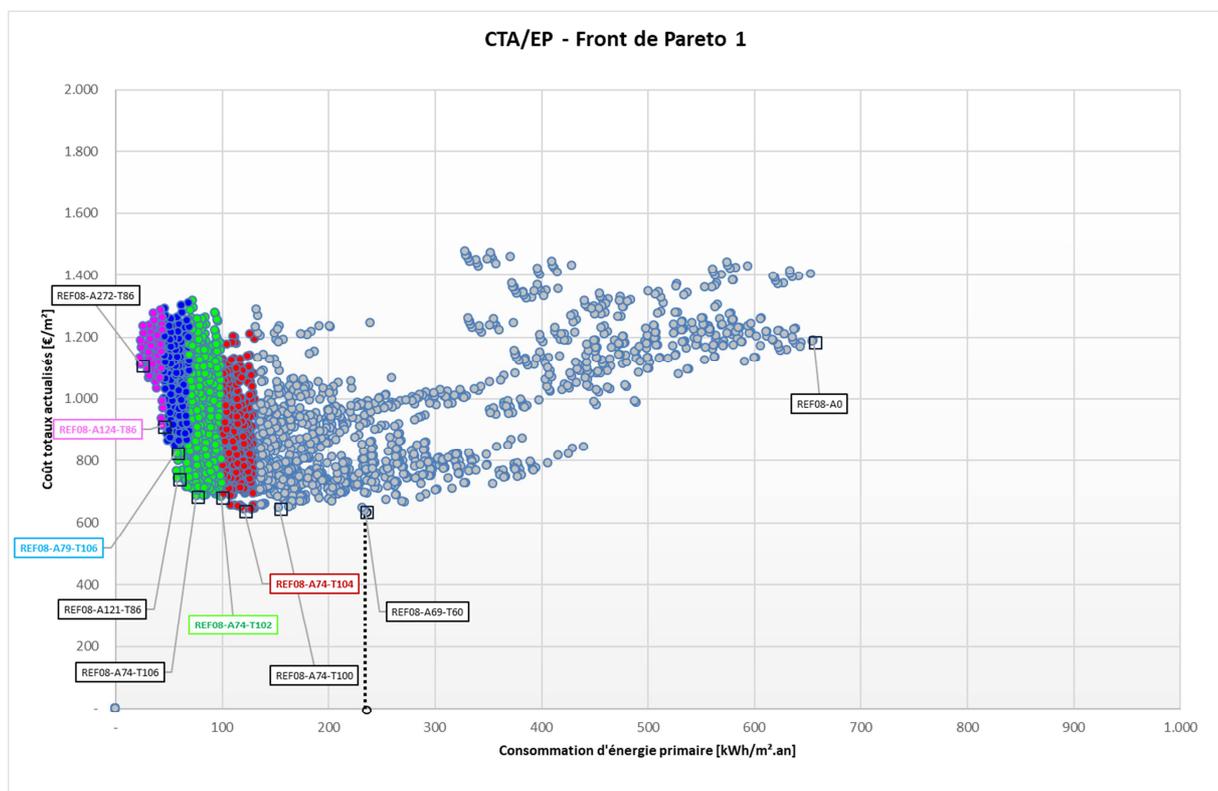


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	704	-	365,4	-
Cost optimum	564	-	126,9	-
PEB 2017-BAN	631	67	53,5	73,4
Conso initiale -80%	609	45	57,5	69,4
Pacte énergétique	590	26	95,1	31,8
CEP max neuf PEB 2017	692	128	44,8	82,1

Observations :

- Il y a un grand nombre de configuration pour chaque objectif énergétique.
- La configuration cost-optimale ne répond à aucun des objectifs énergétiques visés.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour les objectifs énergétiques « Conso initiale -80% » et « Pacte énergétique ». Le front de Pareto particulièrement « plat » jusque des CEP de 50 kWh/m².an et devinent très vertical en dessous de cette valeur de CEP.

9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4)

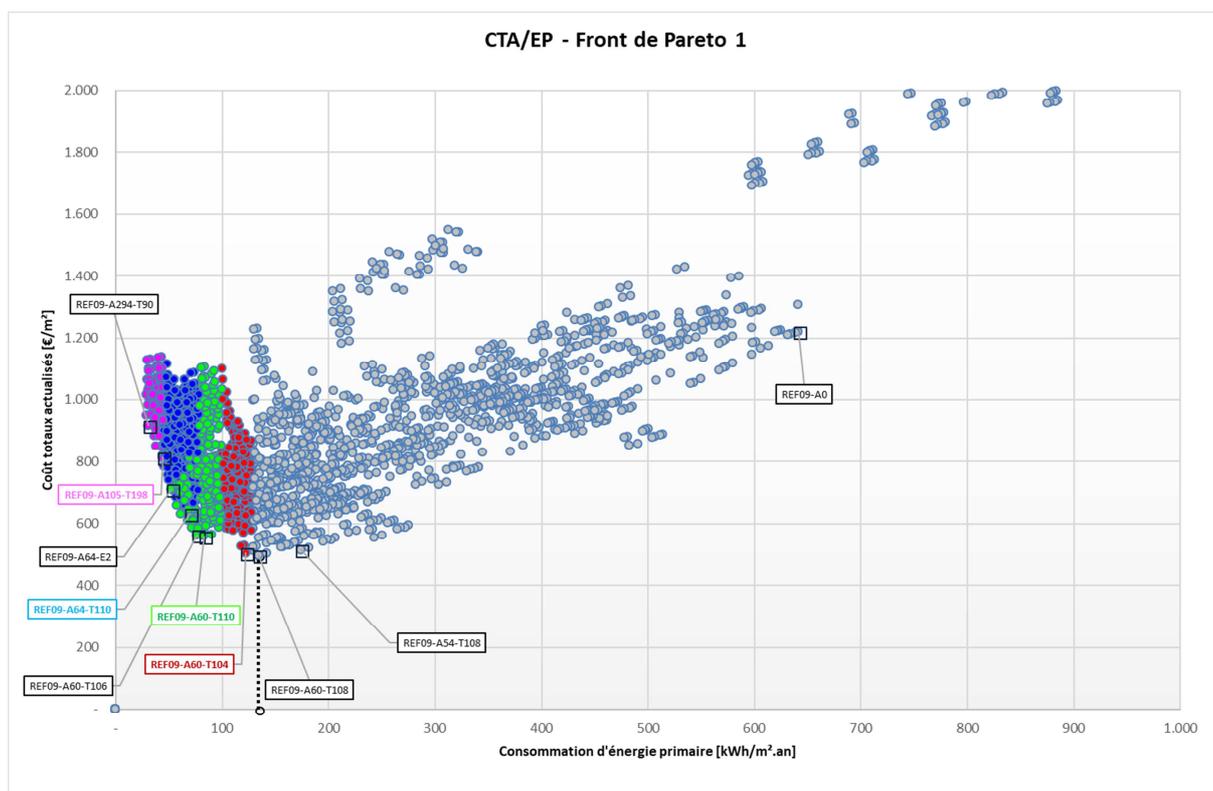


Objectif énergétique	CTA (€/M²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m²)	CEP correspondante (kWh/m².an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m².an)
Cas de référence	1189	-	655,3	-
Cost optimum	640	-	234,1	-
PEB 2017-BAN	829	189	57,1	177,0
Conso initiale -80%	644	4	120,9	113,2
Pacte énergétique	687	47	99,1	135,0
CEP max neuf PEB 2017	916	276	44,1	190,0

Observations :

- Il y a un grand nombre de configuration pour chaque objectif énergétique.
- La configuration cost-optimale ne répond à aucun des objectifs énergétiques visés.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez faible (écart de moins de 10%) pour les objectifs énergétiques « Conso initiale -80% » et « Pacte énergétique ». Le front de Pareto est particulièrement « plat » à gauche du CO ; dans le cas présent, un objectif de 100 kWh/m²/an est alors encore assez « rentable » financièrement.

10. REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (REZ)

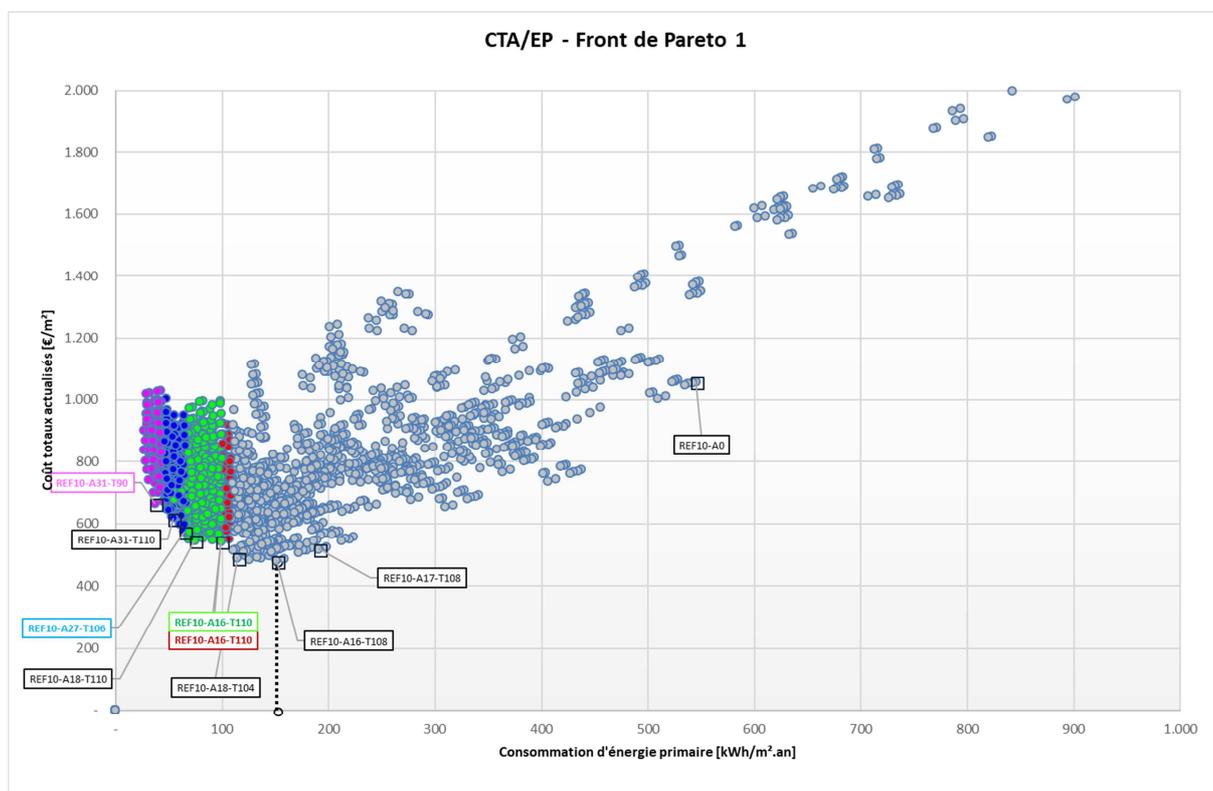


Objectif énergétique	CTA (€/M ²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m ²)	CEP correspondante (kWh/m ² .an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m ² .an)
Cas de référence	1221	-	641,0	-
Cost optimum	497	-	134,0	-
PEB 2017-BAN	633	136	69,9	64,1
Conso initiale -80%	504	7	122,2	11,8
Pacte énergétique	559	62	82,8	51,2
CEP max neuf PEB 2017	813	316	44,2	89,8

Observations :

- Il existe plusieurs configurations pour atteindre les 4 niveaux d'objectifs visés mais aucun de ceux-ci ne contiennent le cost-optimum.
- Le front est caractérisé par un cost-optimum assez éloigné des CTA min de chaque objectif énergétique.
- La différence de CTA par rapport au CO est très faible (écart de moins de 10%) pour l'objectif énergétique « conso initiale -80% ». Pour les autres objectifs, il est élevé à très élevé.

11. REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)

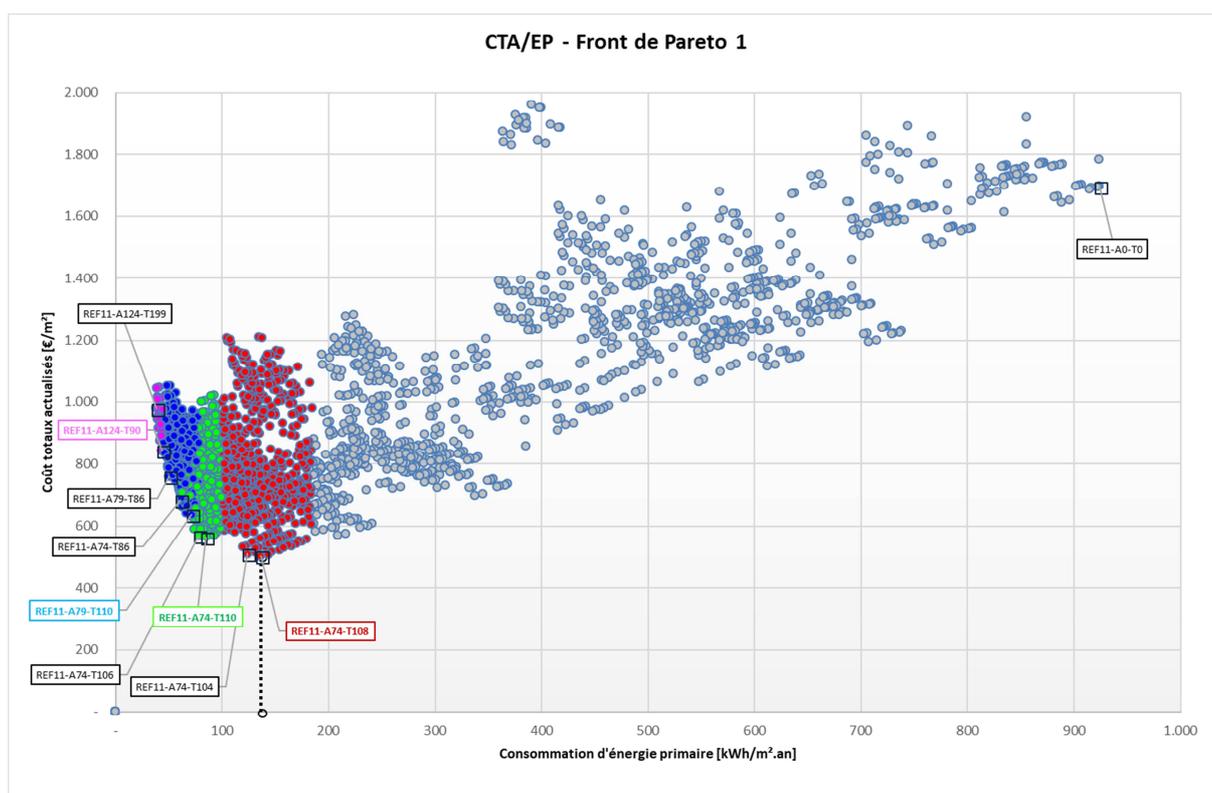


Objectif énergétique	CTA (€/M²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m²)	CEP correspondante (kWh/m².an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m².an)
Cas de référence	1058	-	545,0	-
Cost optimum	480	-	150,9	-
PEB 2017-BAN	575	95	64,4	86,5
Conso initiale -80%	543	63	99,2	51,7
Pacte énergétique	543	63	99,2	51,7
CEP max neuf PEB 2017	666	186	36,9	114,0

Observations :

- Il existe plusieurs configurations pour atteindre les 4 niveaux d'objectifs visés mais aucun de ceux-ci ne contiennent le cost-optimum.
- Le front est caractérisé par un cost-optimum assez éloigné des CTA min de chaque objectif énergétique.
- La différence de CTA par rapport au CO est assez élevée pour l'ensemble des objectifs énergétiques (écart de plus de 10%) et ce particulièrement pour l'objectif « CEP max neuf PEB 2017 ».

12. REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11)



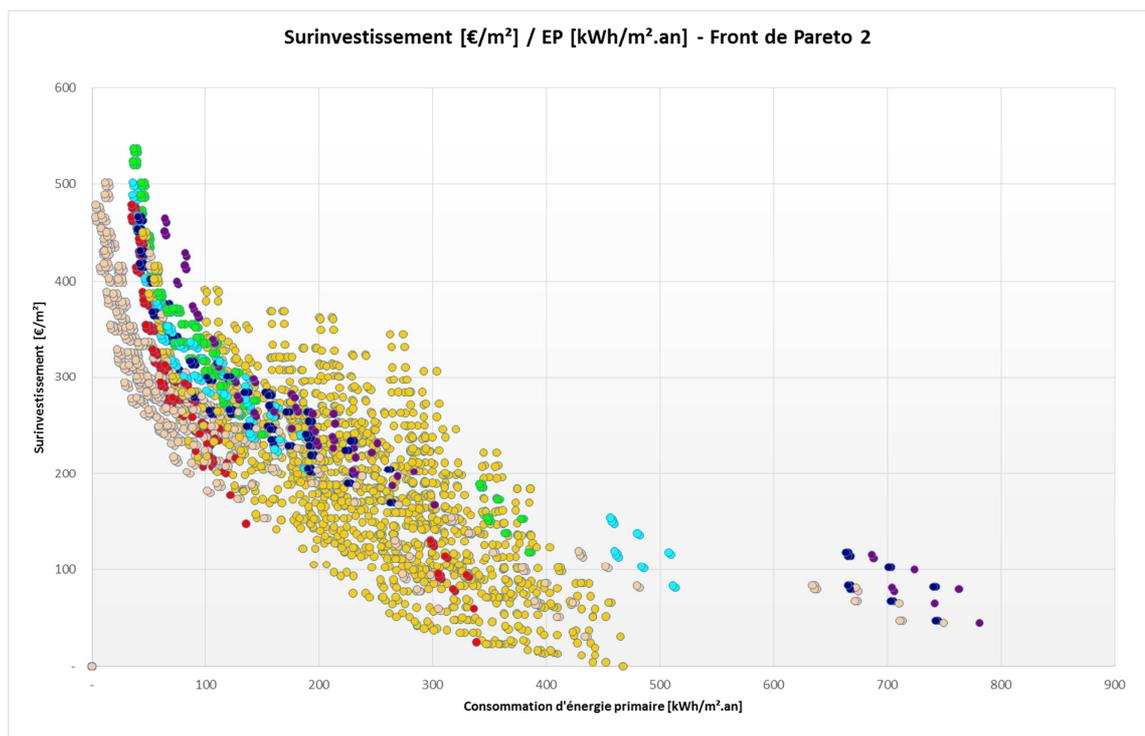
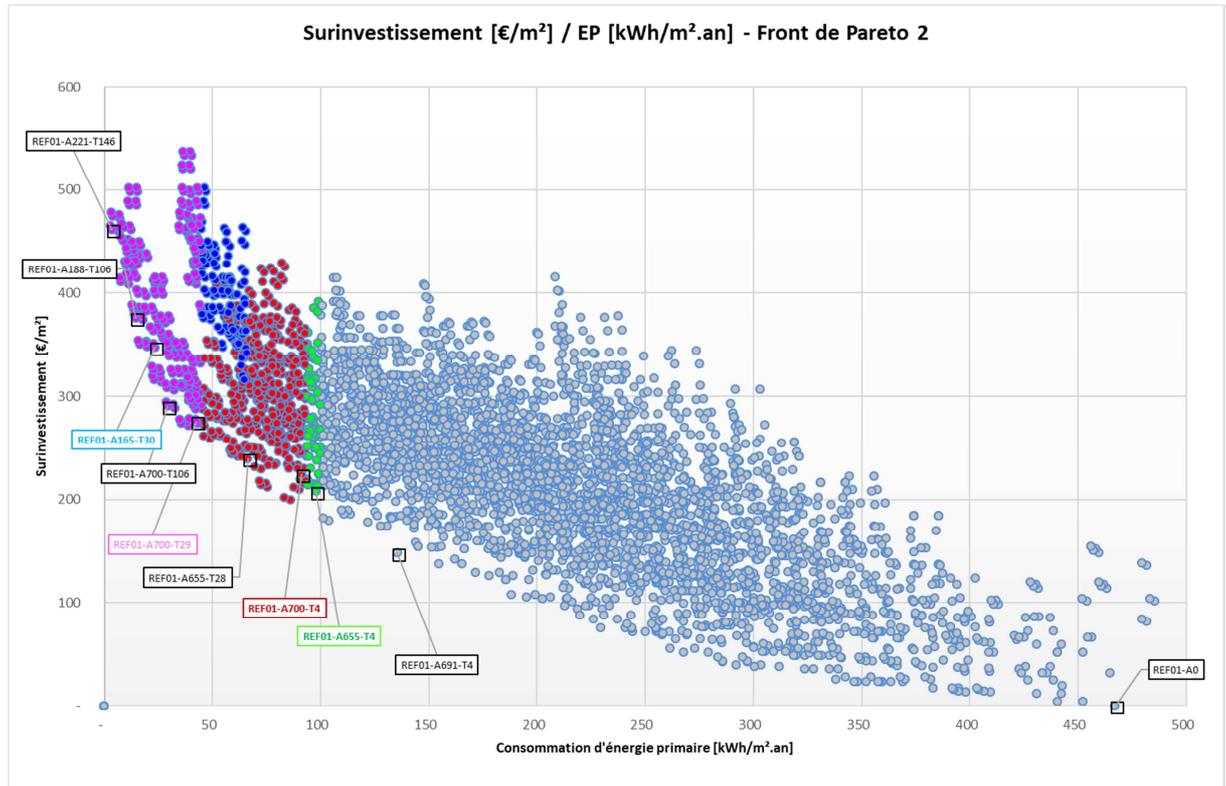
Objectif énergétique	CTA (€/M²)	Ecart CTA par rapport au CO (€/m²)	CEP correspondante (kWh/m².an)	Ecart CEP par rapport au CEP du CO (kWh/m².an)
Cas de référence	1697	-	923,7	-
Cost optimum	501	-	136,2	-
PEB 2017-BAN	638	137	71,6	64,6
Conso initiale -80%	502	1	136,2	0,0
Pacte énergétique	564	63	84,9	51,3
CEP max neuf PEB 2017	844	343	43,5	92,7

Observations :

- Il existe plusieurs configurations pour atteindre les 4 niveaux d'objectifs visés.
- Le cost-optimum répond à celui de « conso initiale -80% ».
- Comme pour REF10, la différence de CTA est assez élevée pour l'ensemble des objectifs énergétiques (écart de plus de 10%) et ce particulièrement pour les objectifs « CEP max neuf PEB 2017 » et « PEB 2017-BAN ».

D. Impacts sur le surinvestissement

1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre



Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements arrondis¹ suivants :

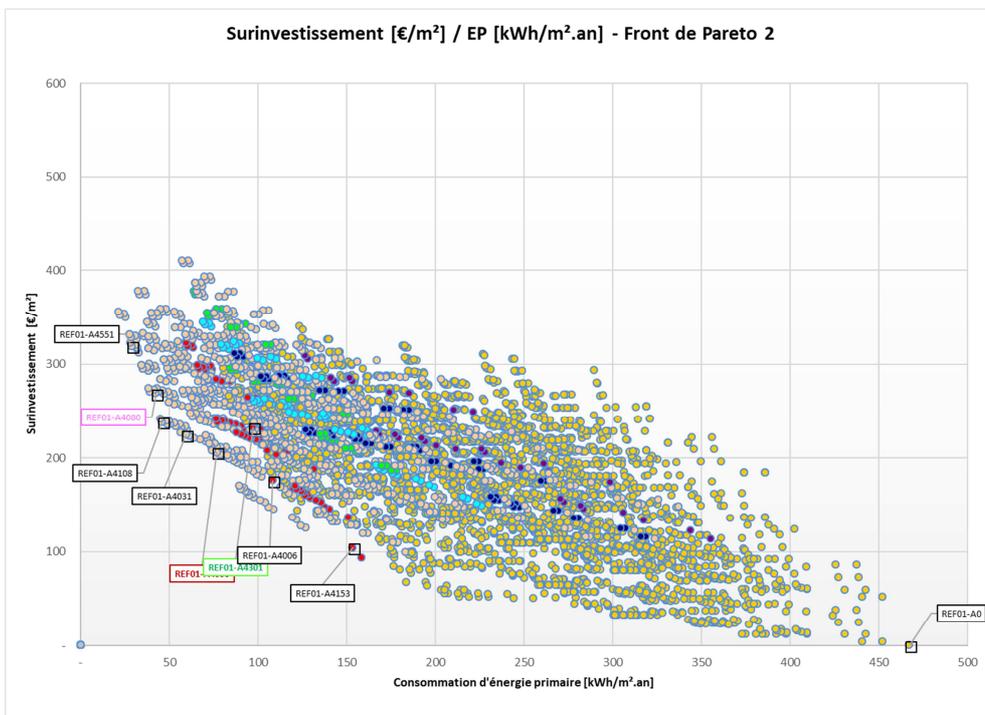
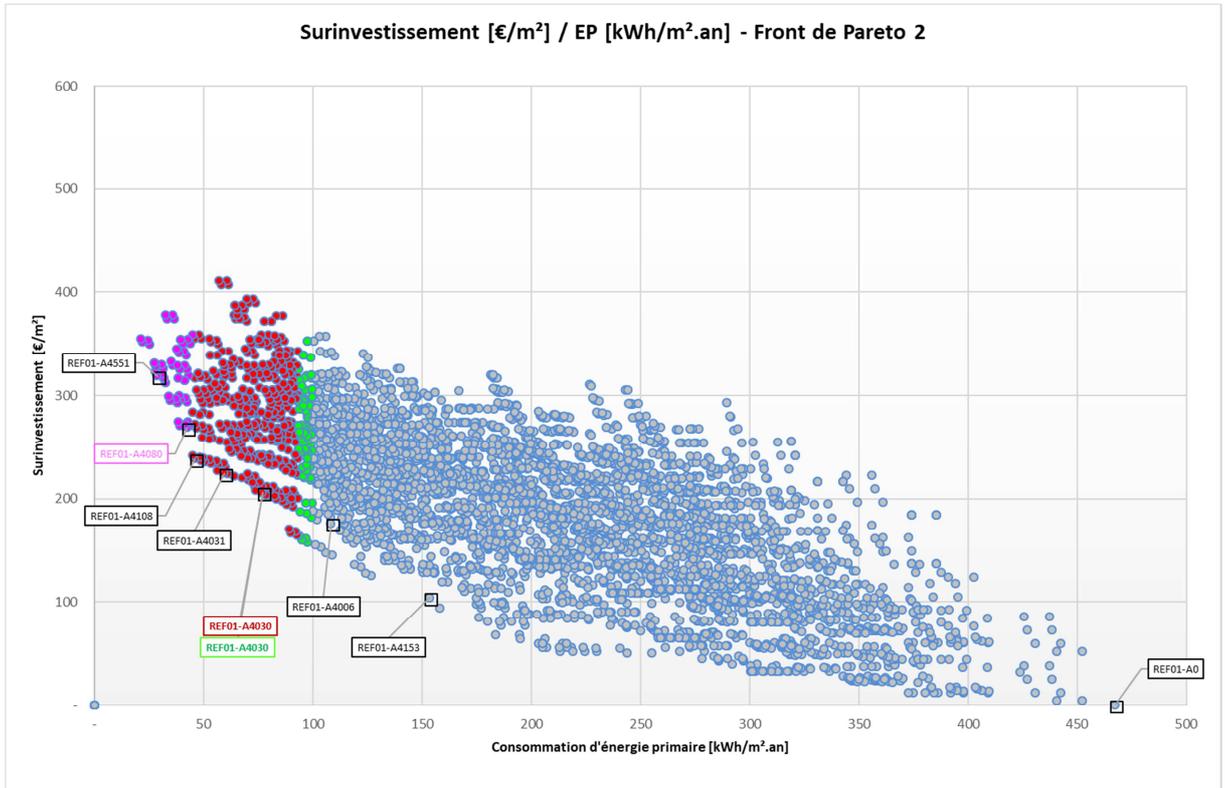
Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	320
Conso initiale -80%	200
Pacte énergétique	200
CEP max neuf PEB 2017	280

Observations :

- Seulement pour les objectifs « PEB 2017-BAN » et « Conso initiale -80% », il est possible de limiter le surinvestissement à 200€/m².
- De plus, à des niveaux de CEP identiques, on observe des CTA très différents entre l'objectif « PEB 2017-BAN » et l'objectif « Conso initiale -80% ». Par exemple : pour une même consommation de 66kWh/m²/an, le CTA pour le respect de la « PEB 2017 – BAN » est de 285€/m² alors qu'elle est de 220€/m² (soit 23% de moins !) pour l'objectif « Conso initiale -80% ». Cela est dû au fait que pour le respect de la « PEB 2017 – BAN », des mesures architectoniques plus coûteuses que celles des techniques doivent être mises en œuvre afin de répondre à l'exigence du BNC maximal.
- Aux niveaux des techniques et pour les objectifs visés, on observe que les chaudières à condensation murales, accompagnées de source d'énergie renouvelables sont à privilégier. A défaut de pouvoir mettre des SER, un chauffage par PAC air/eau devient intéressant.

¹ Il a été volontairement souhaité de ne pas donner des surinvestissements à l'unité près. En effet, rappelons que les coûts d'investissement sont évalués sur une série d'hypothèses simplificatrices.

2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre



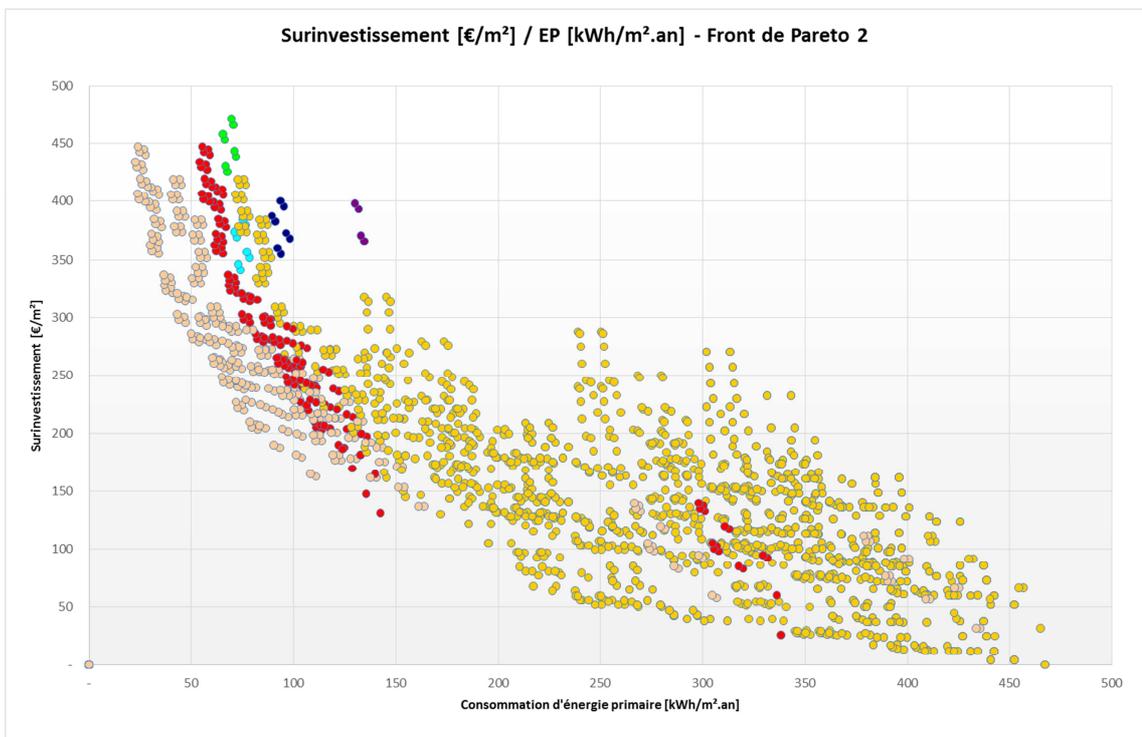
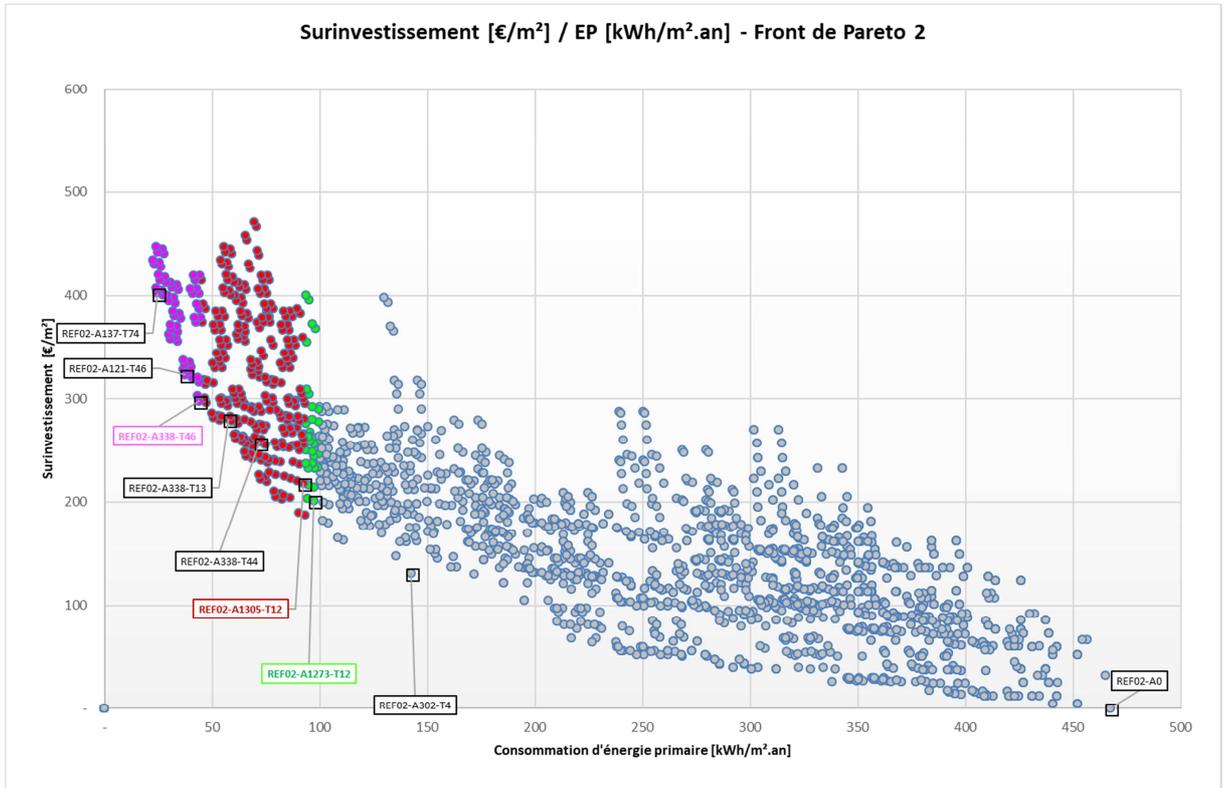
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	sans objet
Conso initiale -80%	170
Pacte énergétique	160
CEP max neuf PEB 2017	270

Observations :

- Seulement pour les objectifs « PEB 2017-BAN » et « Pacte énergétique», il est possible de limiter le surinvestissement à 200€/m².
- Comme pour REF01, on observe que les chaudières à condensation murales, accompagnées de source d'énergie renouvelables sont à privilégier.

3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée



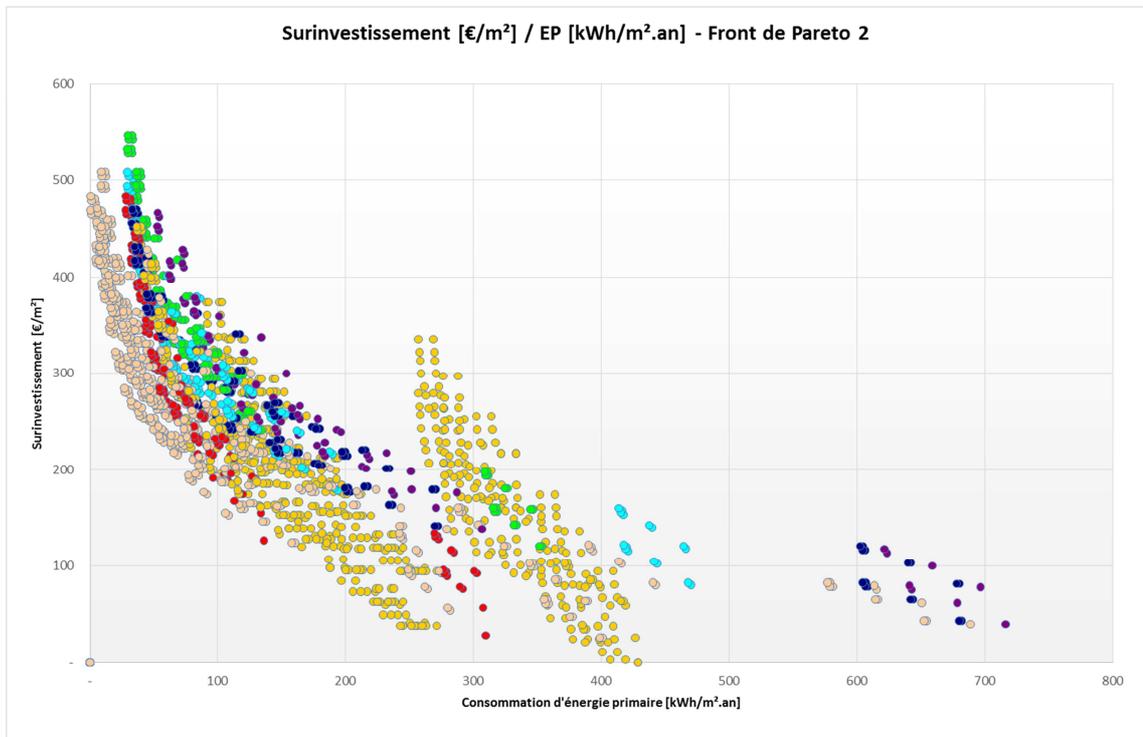
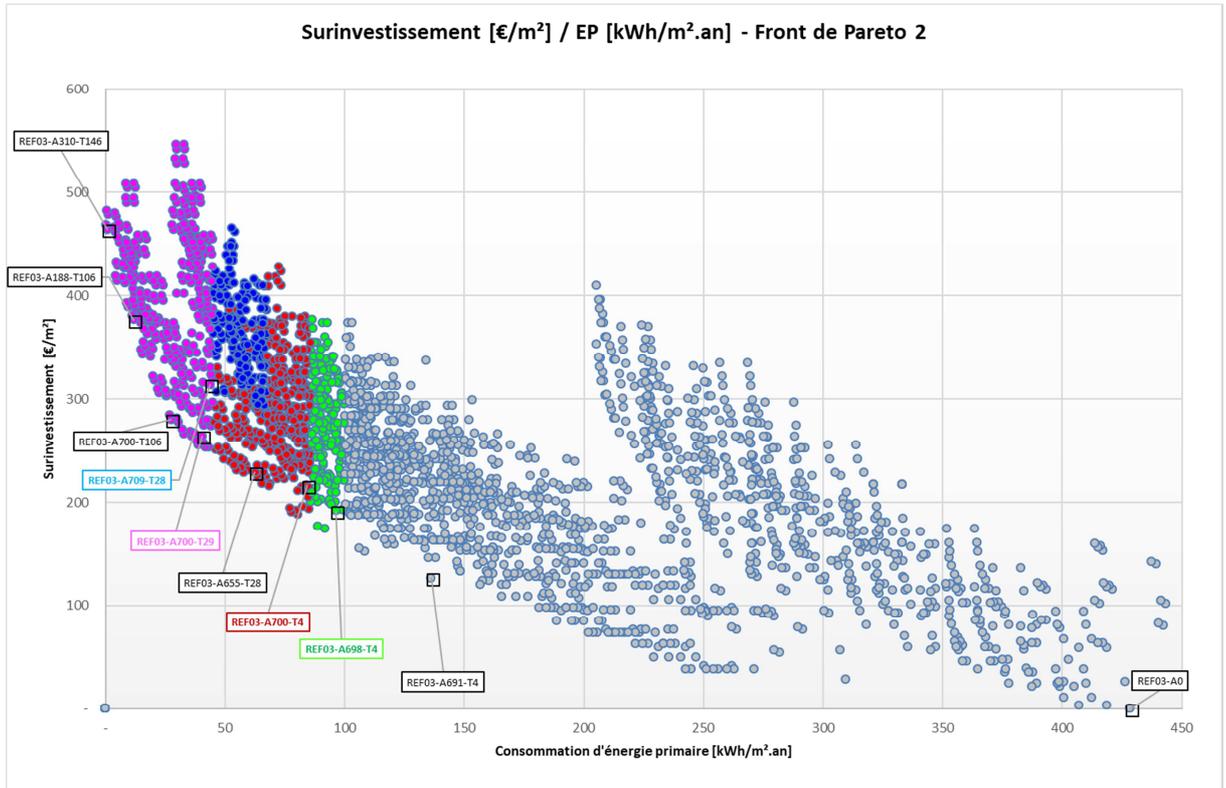
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	sans objet
Conso initiale -80%	190
Pacte énergétique	190
CEP max neuf PEB 2017	300

Observations :

- Les observations sur les niveaux d'objectifs visés exprimées pour REF01 restent valables (si ce n'est qu'ici, aucun point ne correspondent à l'objectif « PEB 2017-BAN »).
- En ce qui concerne les techniques de production de chaleur de type chaudières gaz à condensation murales et les SER présentent des surinvestissements optimaux.

4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres



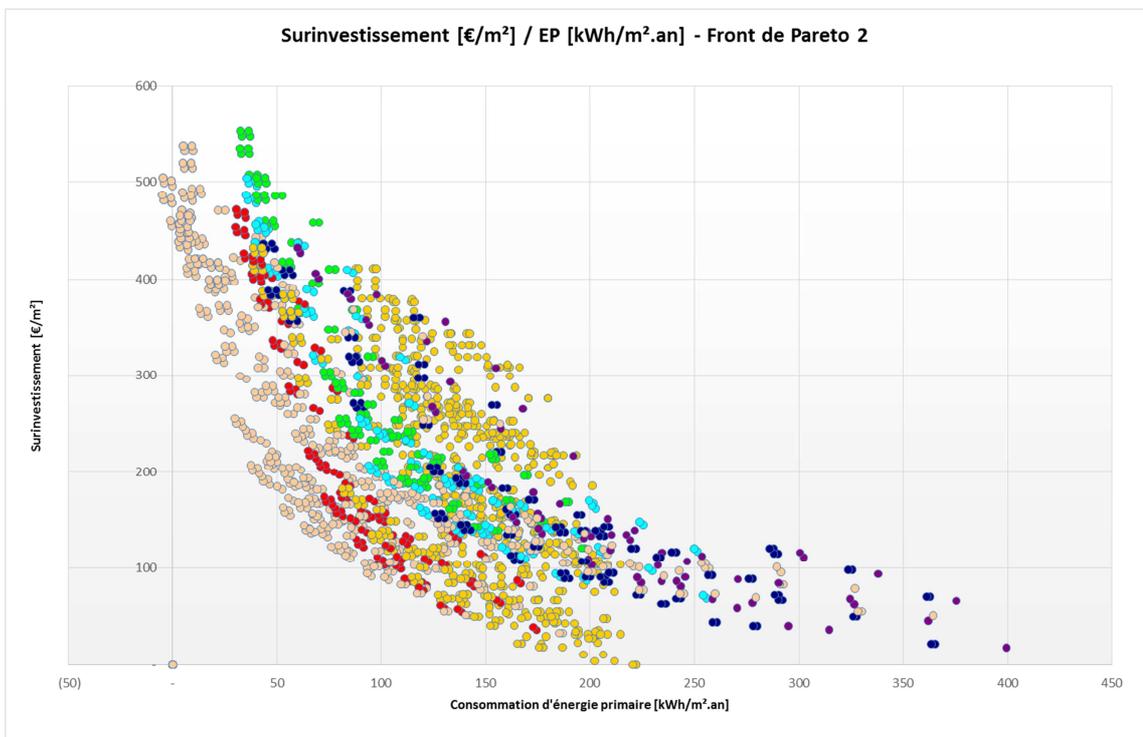
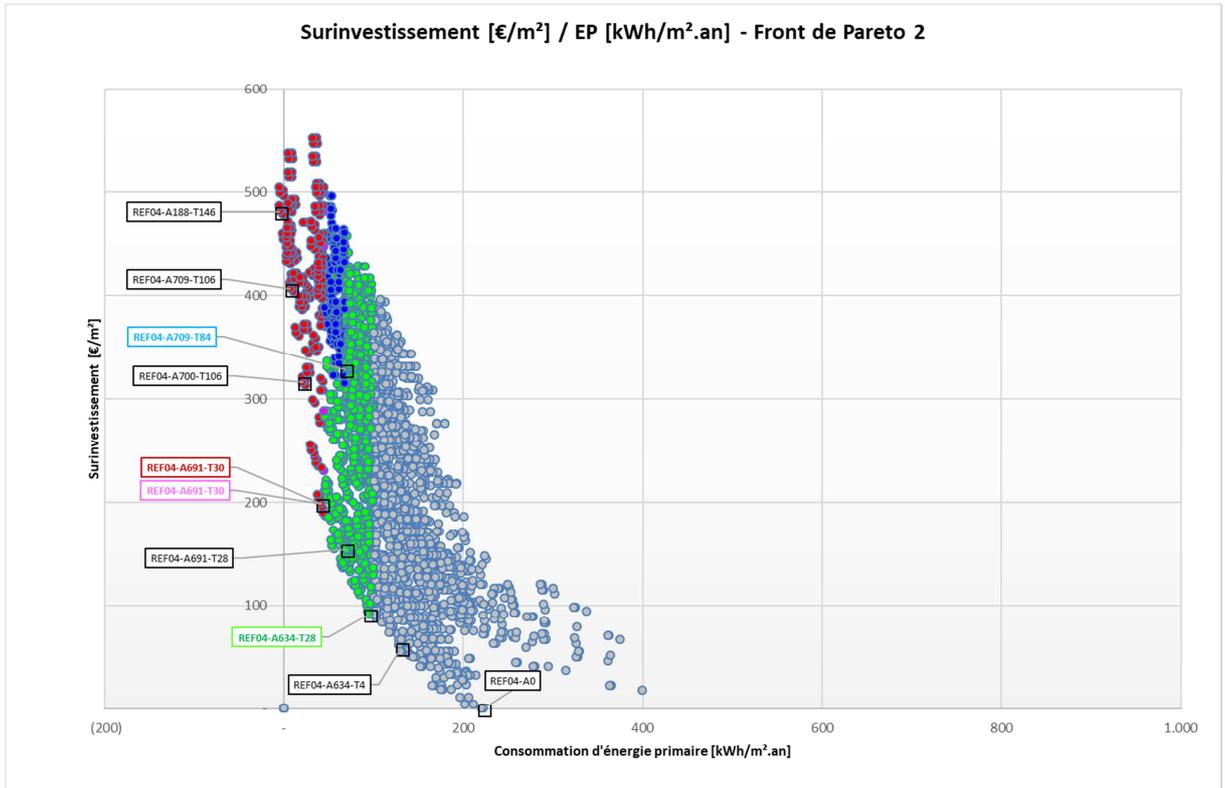
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	280
Conso initiale -80%	190
Pacte énergétique	180
CEP max neuf PEB 2017	260

Observations :

- Les observations exprimées pour REF01 restent valables.

5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945



Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

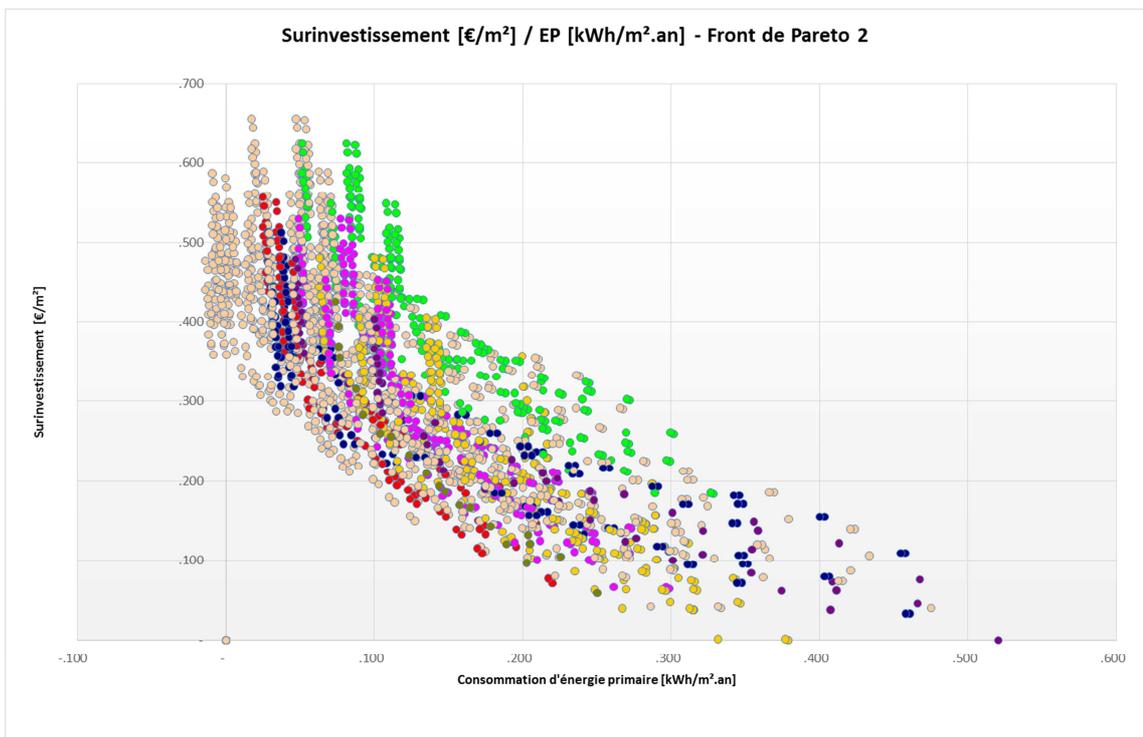
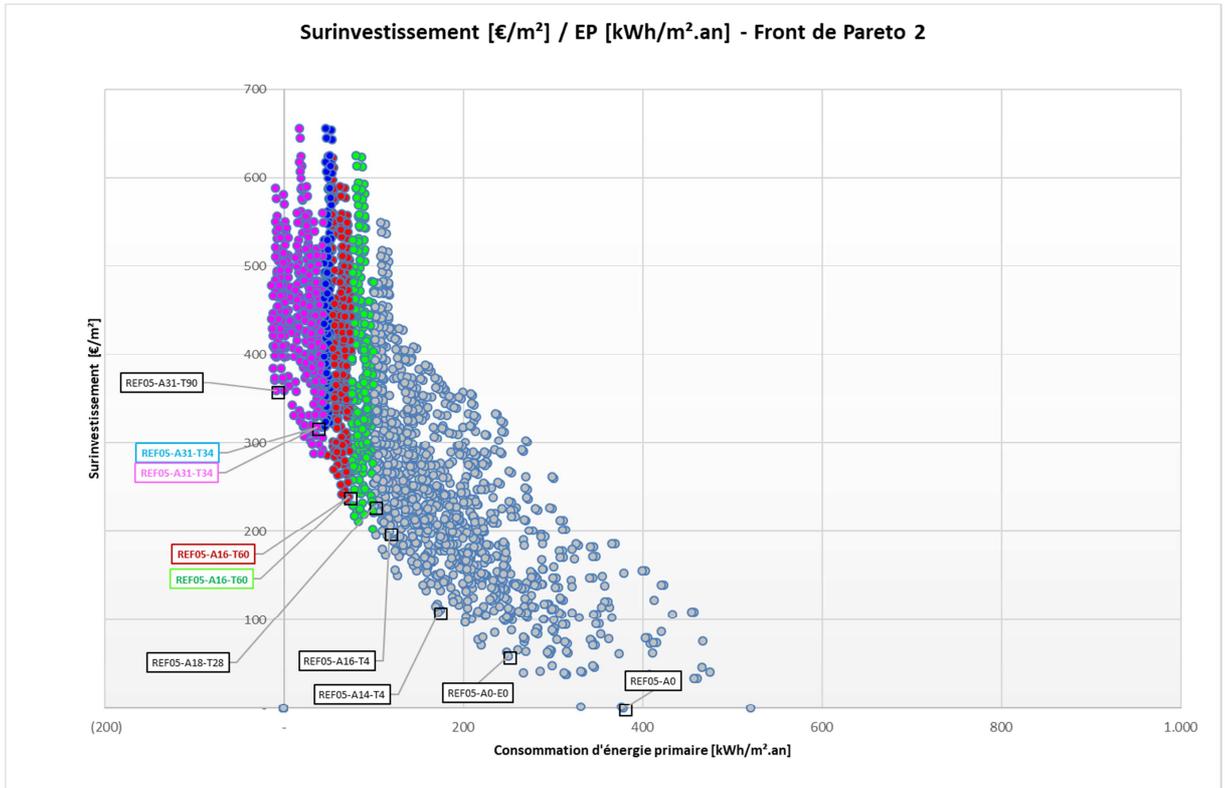
Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	330
Conso initiale -80%	190
Pacte énergétique	100
CEP max neuf PEB 2017	190

Observations :

- Sauf pour l'objectif énergétique « PEB 2017-BAN », le surinvestissement pour atteindre les niveaux d'objectifs visés est limité à maximum 200€/m² (même 100€/m² pour l'objectif « Pacte énergétique »).

Notons néanmoins que la pente du front de Pareto est particulièrement « verticale » ici : en réduisant par 2 la CEP, on double le surinvestissement soit une augmentation de 100% (dans les cas précédents, en diminuant par 2 la CEP, on augmentait de 25 à 50% le surinvestissement).
- En ce qui concerne les techniques de production de chaleur, les conclusions sont assez identiques à celles de REF01.

6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée



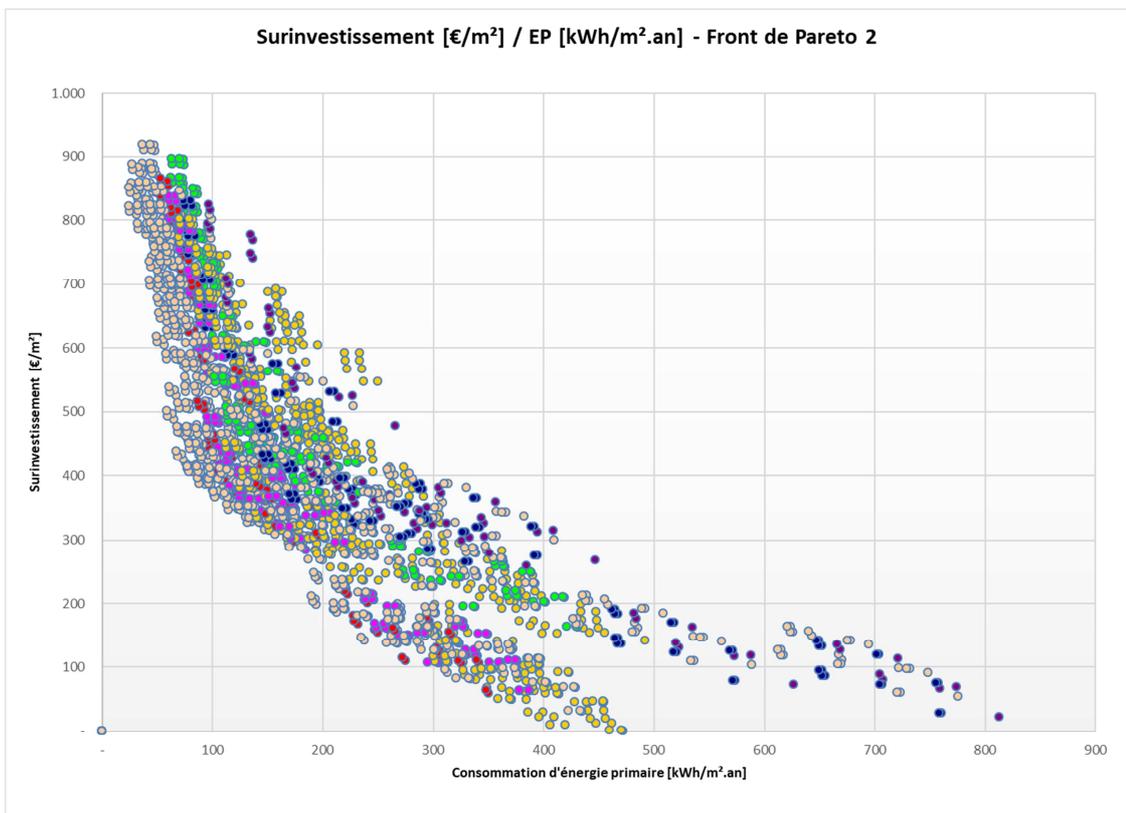
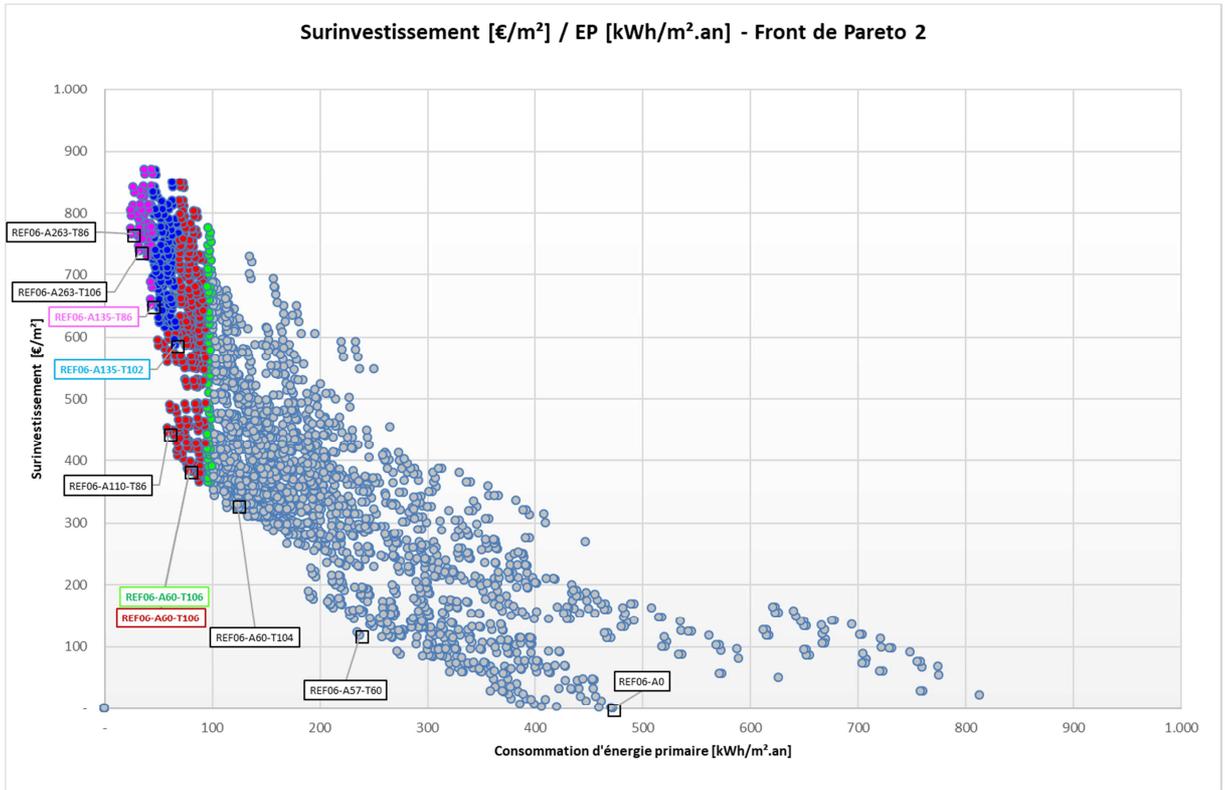
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	290
Conso initiale -80%	240
Pacte énergétique	210
CEP max neuf PEB 2017	290

Observations :

- Aucun objectif visé ne peut être atteint avec des mesures présentant un surinvestissement inférieur à 200€/m². La pente du front est proche des cas de REF 01 à 03.
- Au niveau des techniques, la chaudière gaz à condensation murale est encore une approche cost-optimale. Dans le présent cas, le chauffage électrique accompagné d'un boiler thermodynamique est également souvent intéressant.

7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)



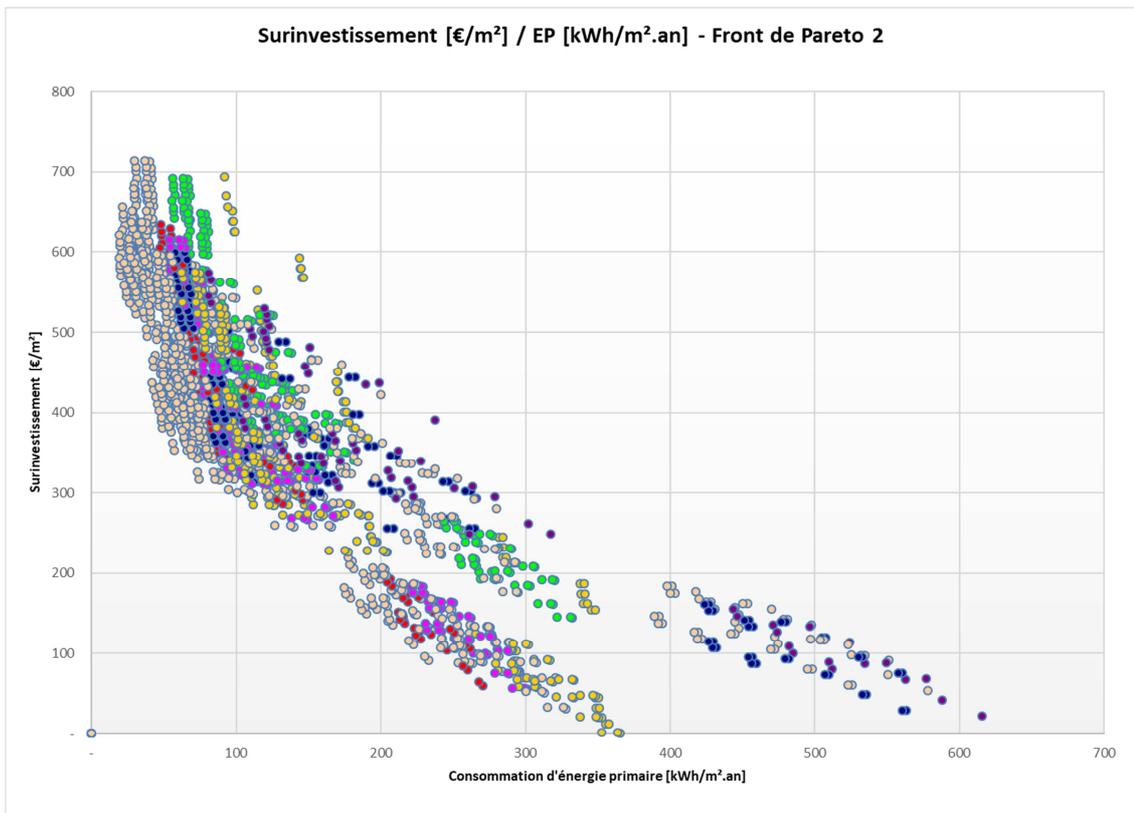
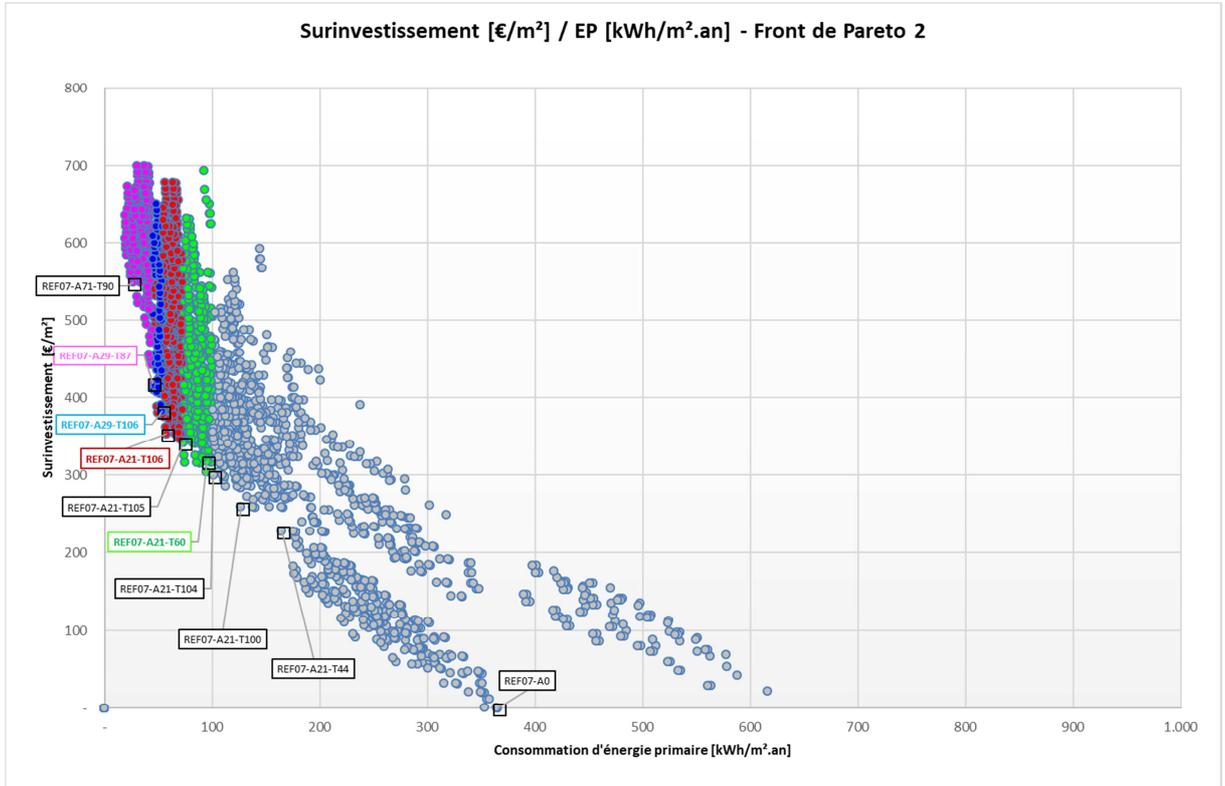
- Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	640
Conso initiale -80%	390
Pacte énergétique	390
CEP max neuf PEB 2017	700

Observations :

- Aucun objectif visé ne peut être atteint avec des mesures présentant un surinvestissement inférieur à 200€/m². La pente du front est proche des cas de REF 01 à 03.
- Au niveau des techniques, les chaudières au gaz à condensation murale et sol sont des techniques cost-optimales.

8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2)



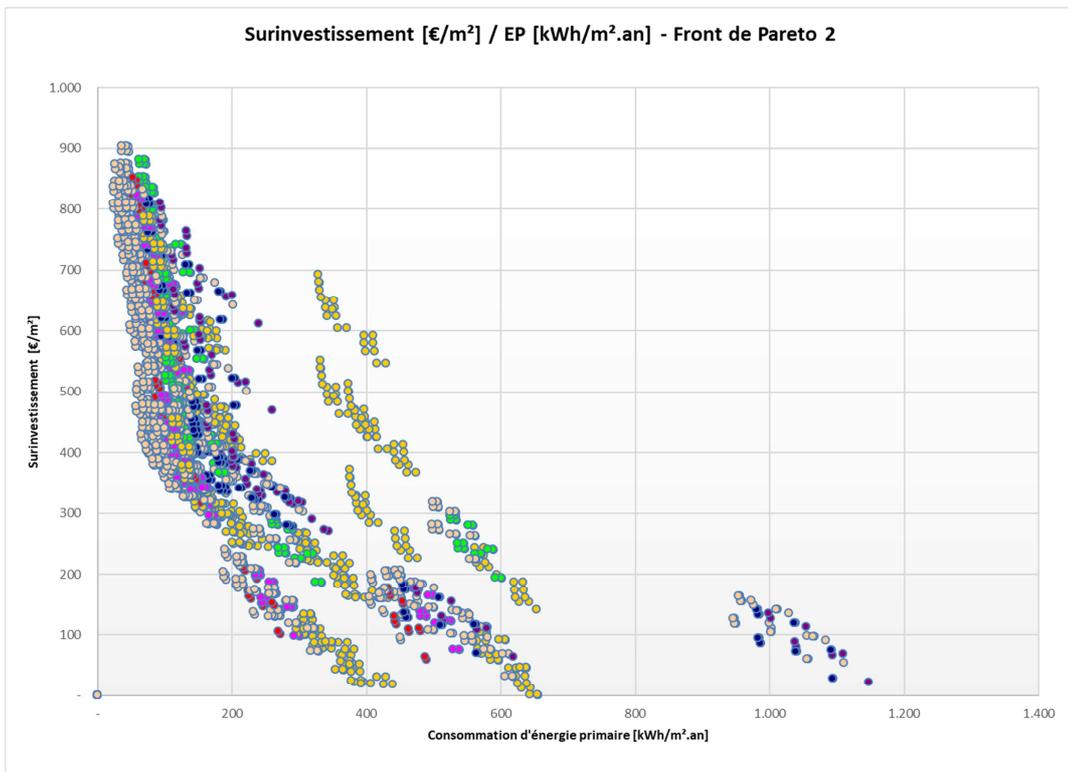
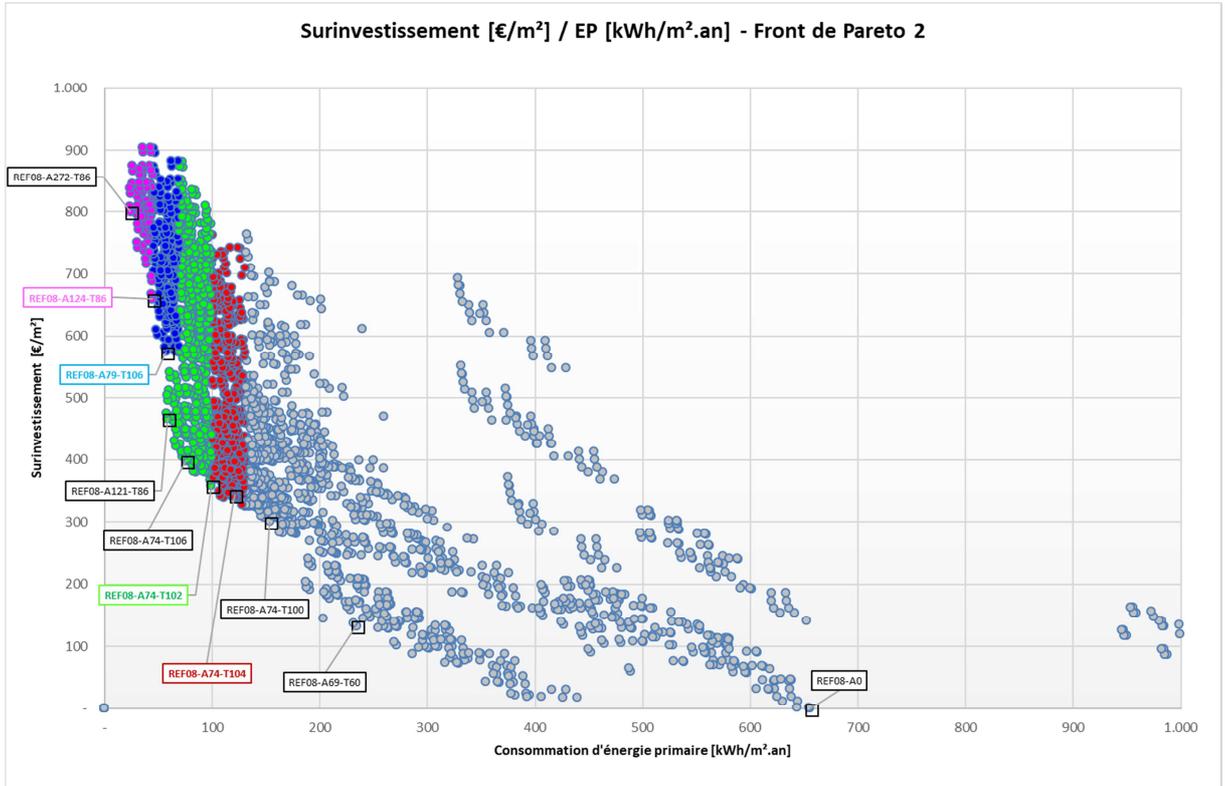
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	390
Conso initiale -80%	350
Pacte énergétique	310
CEP max neuf PEB 2017	420

Observations :

- Aucun objectif visé ne peut être atteint avec des mesures présentant un surinvestissement inférieur à 200€/m².
- Au niveau des techniques, plusieurs types de production de chaleur sont cost-optimales lorsqu'il n'est pas possible de recourir à des SER :
 - la chaudière gaz à condensation murale ou sol (voire celle existante pour des niveaux de Cep > 100 kWh/m².an)
 - le boiler thermodynamique pour des niveaux de CEP < 100kWh/m².an

9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4)



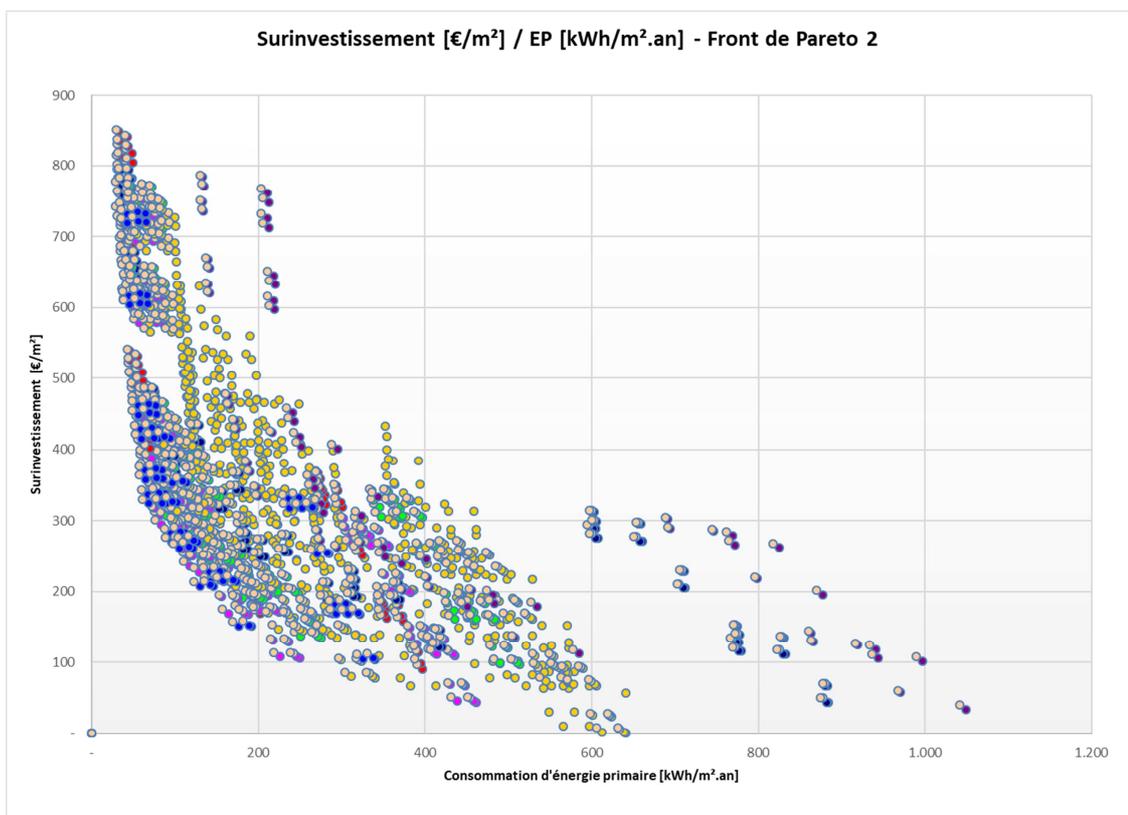
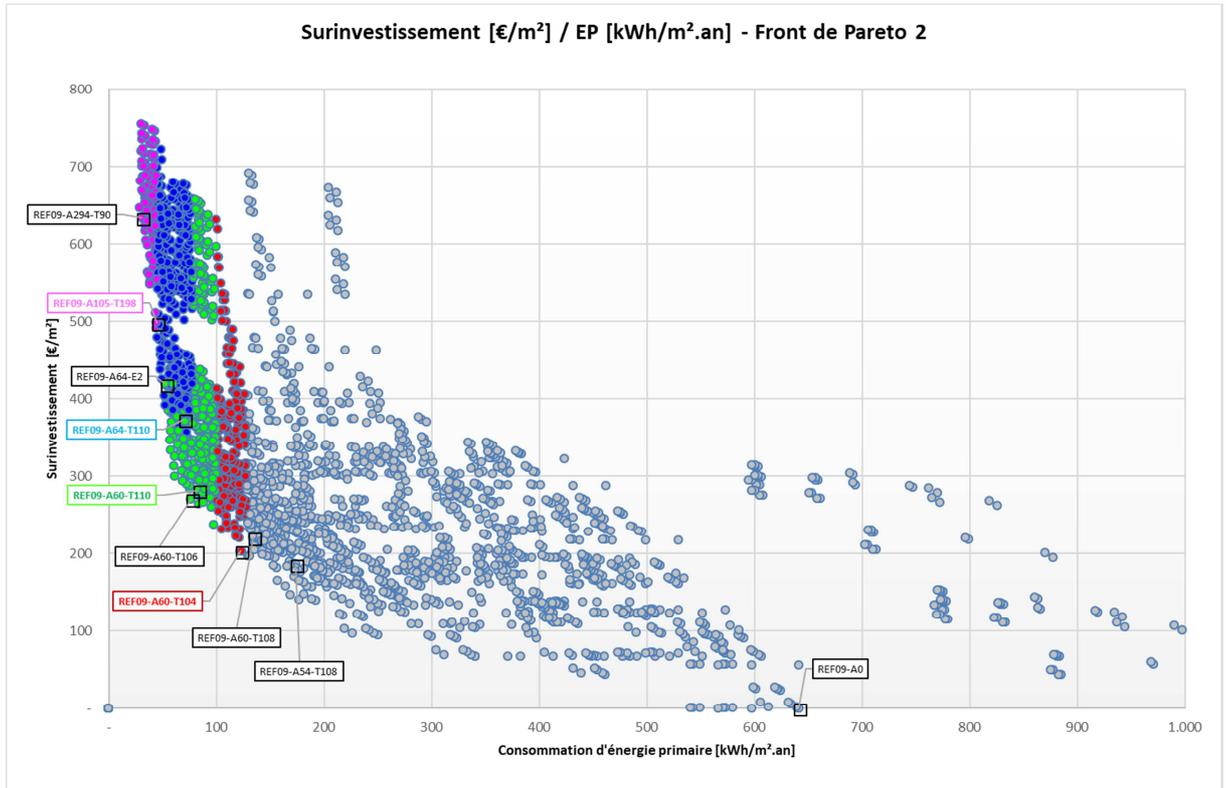
- Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	580
Conso initiale -80%	330
Pacte énergétique	360
CEP max neuf PEB 2017	660

Observations :

- Aucun objectif visé ne peut être atteint avec des mesures présentant un surinvestissement inférieur à 200€/m². La pente du front est particulièrement forte ici.
- Au niveau des techniques, la chaudière gaz à condensation murale et sur sol sont des approches cost-optimales.

10. REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (REZ)



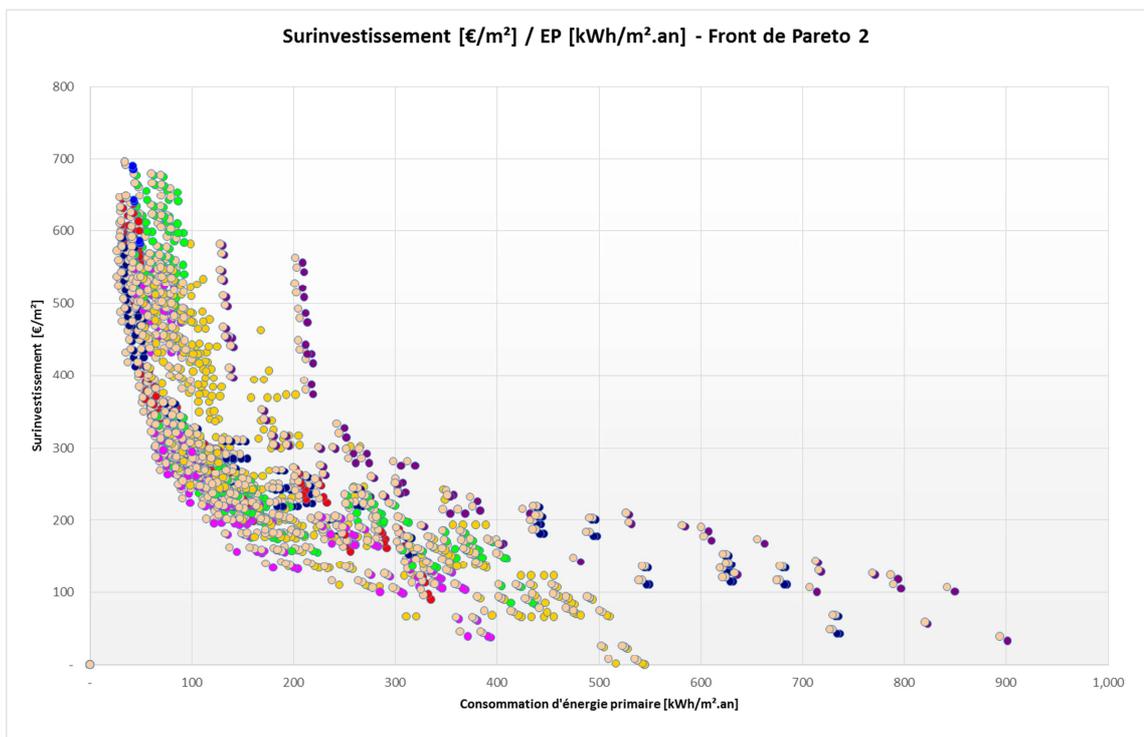
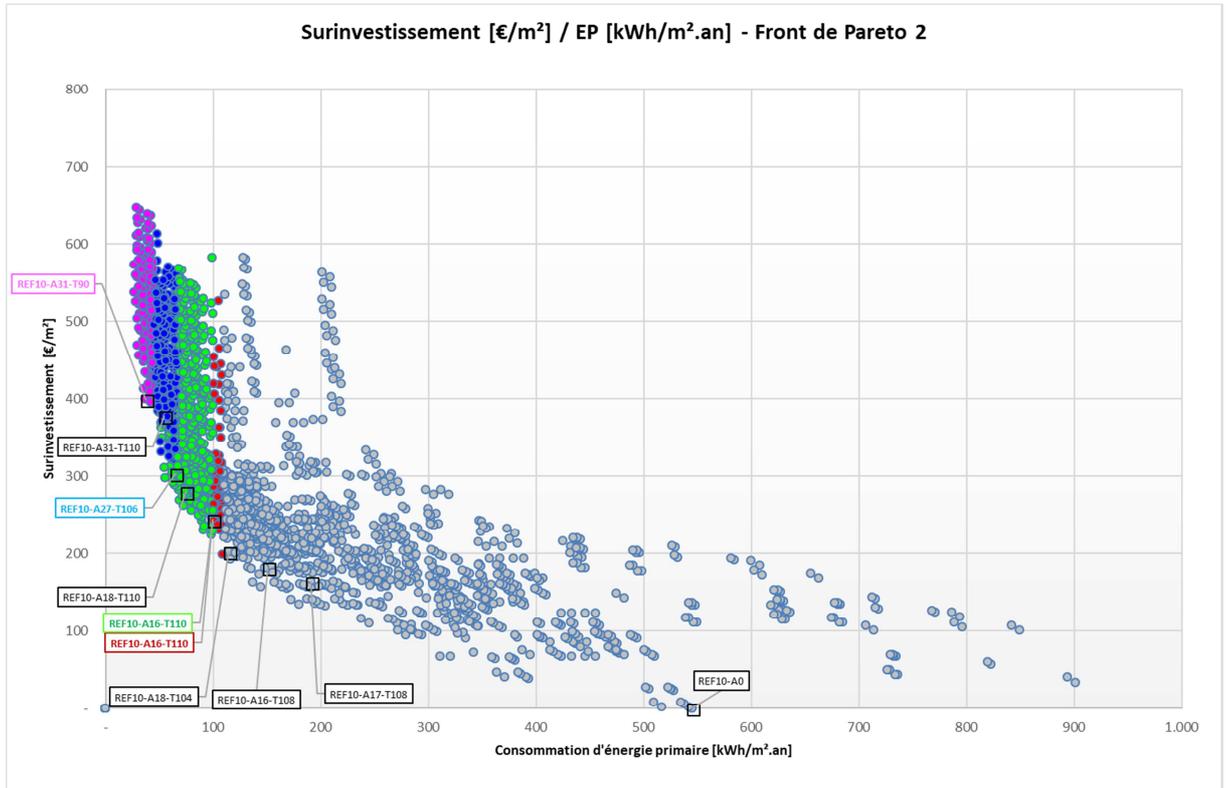
Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	390
Conso initiale -80%	220
Pacte énergétique	270
CEP max neuf PEB 2017	530

Observations :

- Aucun objectif visé ne peut être atteint avec des mesures présentant un surinvestissement inférieur à 200€/m².
- La pente du front est particulièrement forte ici.
- Au niveau des techniques, la chaudière gaz à condensation sur sol et la cogénération sont des approches cost-optimales.
- La chaudière bois n'est pas strictement cost-optimale mais présente des CTA relativement plus faibles que dans les autres cas de référence.
- Cogénération et chaudière bois deviennent ici intéressants grâce à la mutualisation de la production de chaleur sur un grand nombre d'appartements qui entraîne une division importante du coût d'investissement initiale.

11. REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)



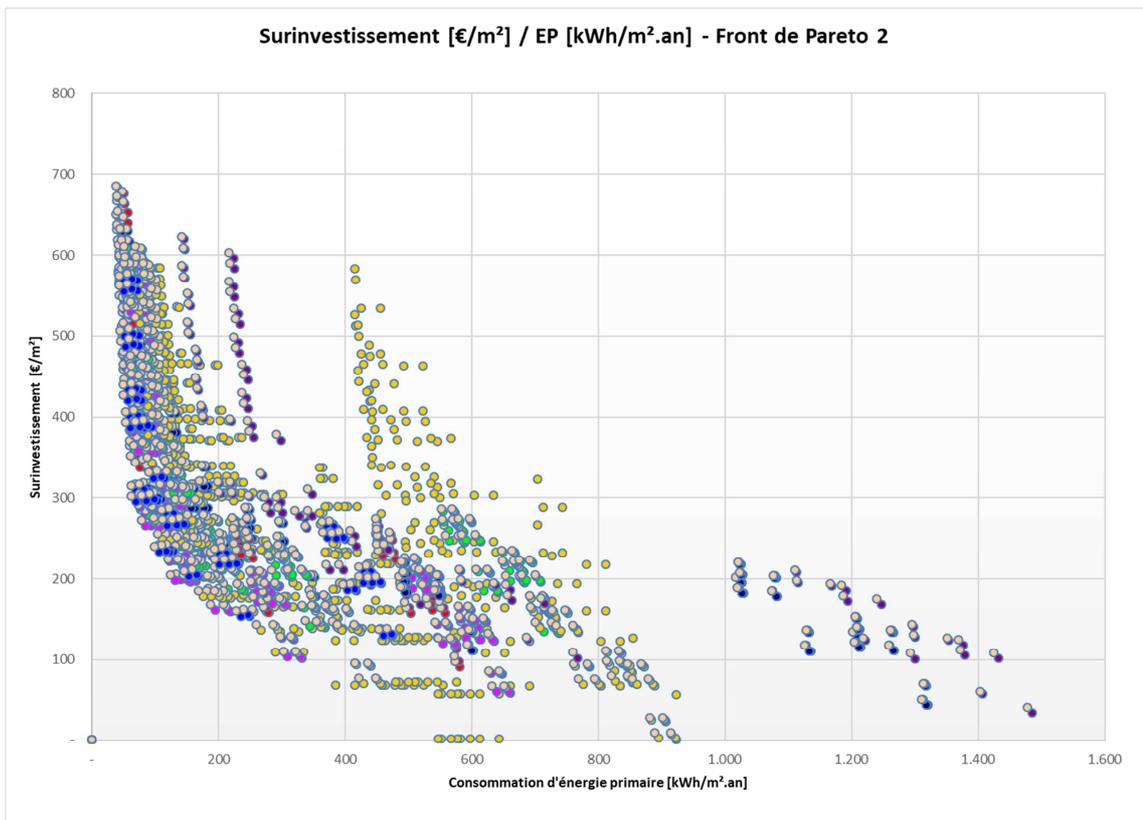
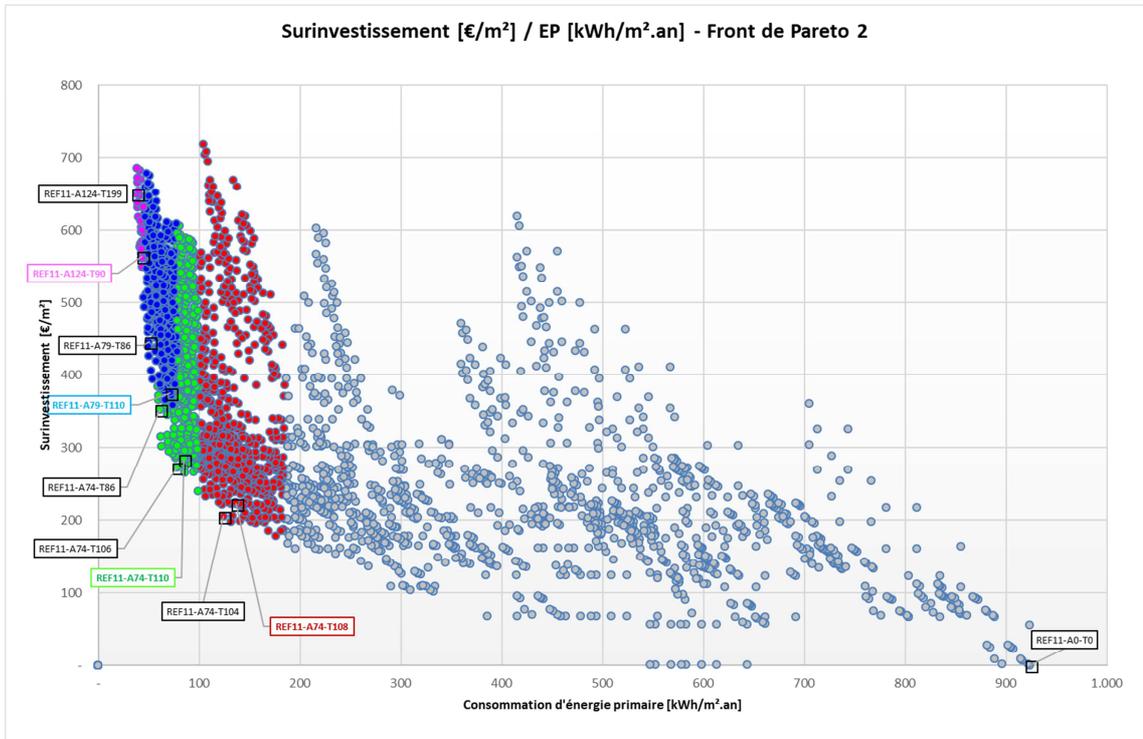
- Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	310
Conso initiale -80%	200
Pacte énergétique	230
CEP max neuf PEB 2017	400

Observations :

- Seulement pour l'objectif « Conso initiale -80% », il est possible de limiter le surinvestissement à 200€/m². Pour les autres objectifs, les surcoûts sont importants.
- Au niveau des techniques, les observations de REF09 restent valables.

12. REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11)



Les objectifs énergétiques sont atteints avec les surinvestissements approximatifs suivants :

Objectif énergétique	Surinvestissement (€)
PEB 2017-BAN	360
Conso initiale -80%	180
Pacte énergétique	240
CEP max neuf PEB 2017	550

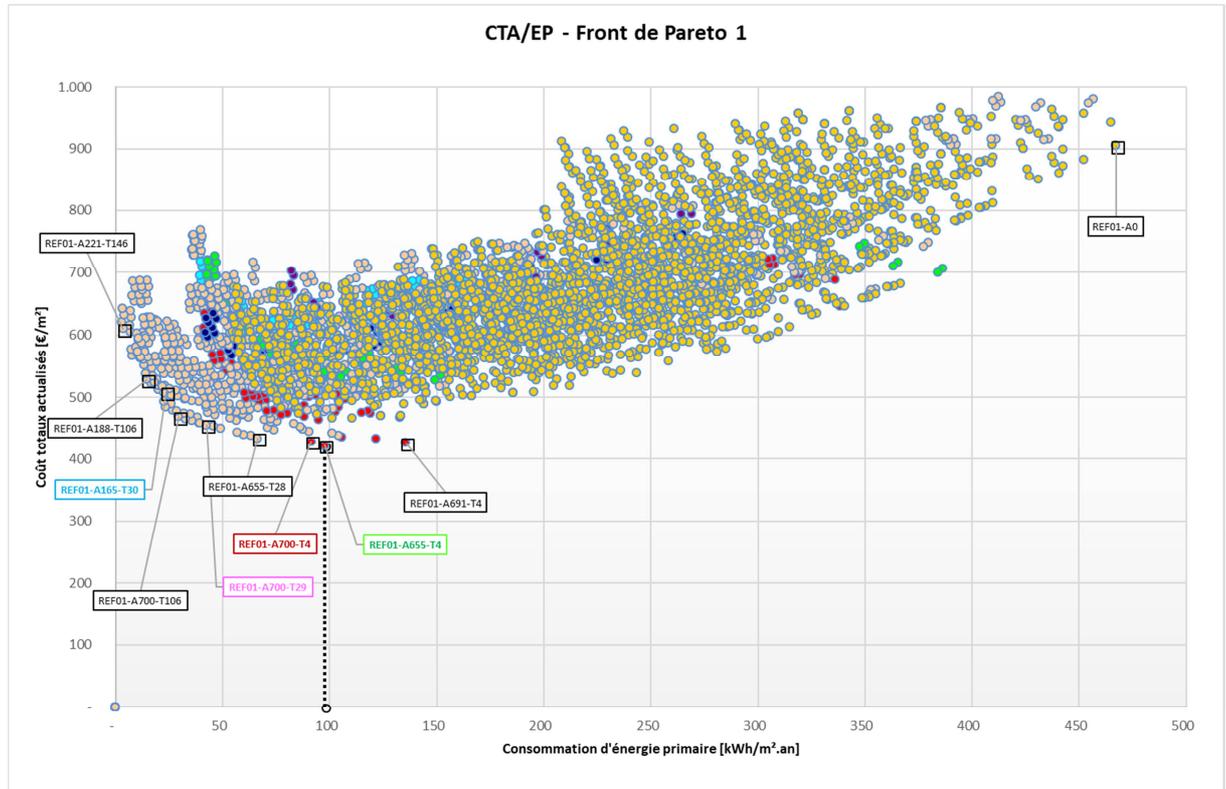
Observations :

- Seulement pour l'objectif « Conso initiale -80% », il est possible de limiter le surinvestissement à 200€/m². Pour les autres objectifs, les surcoûts sont (très) importants.
- Au niveau des techniques, les observations de REF09 restent valables.

E. Mesures éco-énergétiques à privilégier

1. REF01 : Maison bourgeoise d'avant-guerre

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF01-A0	467,19	905,06	223,38	0,00	5,29	3,30	1,80	0,75	5,76	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF01-A165-T30	23,54	508,24	15,62	347,48	1,00	0,12	0,12	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	3028,6
REF01-A700-T4	91,30	428,07	23,11	224,18	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF01-A655-T4	97,80	422,26	28,27	207,50	3,00	0,24	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF01-A700-T29	42,39	455,06	23,11	275,87	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C + ventilation à la demande	0,0	3028,6
REF01-A655-T28	66,32	433,59	28,27	239,23	3,00	0,24	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	3028,6
REF01-A700-T106	29,34	468,49	23,11	290,28	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	3028,6
REF01-A221-T146	3,59	609,98	7,01	461,37	1,00	0,08	0,12	12,50	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	1287,4	3028,6
REF01-A691-T4	135,50	426,38	58,39	148,09	3,00	0,12	0,24	8,33	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF01-A188-T106	14,57	528,34	10,78	375,77	1,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	3028,6



Observations :

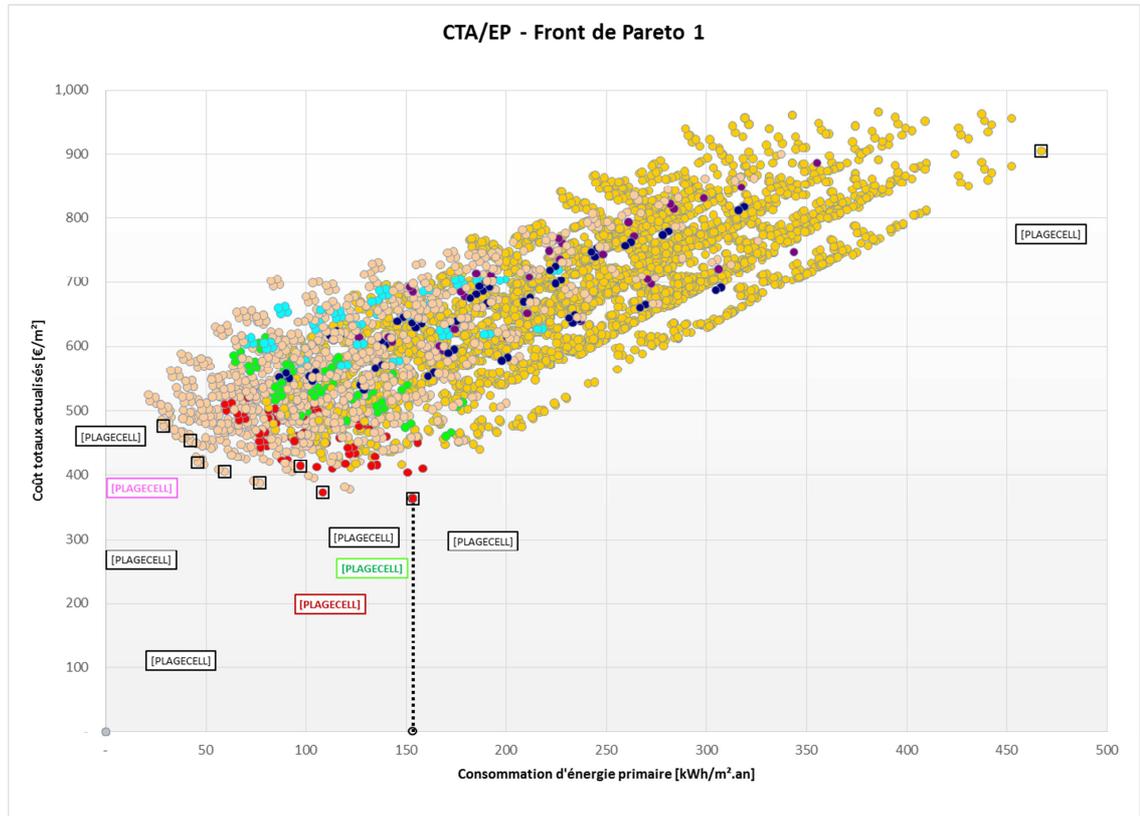
- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont souvent cost-optimales lorsqu'il est souhaité de respecter un des objectifs énergétiques visés:
 - Isolation des murs et de la dalle de sol avec des valeurs proches de celles imposées actuellement par la PEB (confirmation des conclusions de l'étude de 2013 et 2018 lot1).
 - Isolation de la toiture avec une valeur U plus ambitieuse que ce qui est imposé ($U = \pm 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - Remplacement des châssis existants avec des châssis type « standard » ($U_w = \pm 1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - Amélioration de l'étanchéité à l'air dès lors qu'on isole (avec des valeurs variant d'un n50 de 1 à 3).
- Au niveau des techniques :
 - Rapidement en dessous de $100 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$, les SER deviennent quasiment toujours cost-optimales.
 - Avec des objectifs compris entre 100 et $45 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$, on aperçoit que des systèmes de production de chaleur classiques (chaudière gaz à condensation

murale) présentent une approche cost-optimale si on ne peut pas mettre en œuvre des SER.

- En dessous de 45 kWh/m².an, en plus de la mise en place de SER, une ventilation double flux est incontournable pour atteindre un tel niveau de consommation.
- Autour de 45kWh/m².an, une approche de chauffage électrique et de ballon thermodynamique devient cost-optimale si on ne peut pas mettre en œuvre des SER (avec une augmentation de CTA importante par rapport au cas avec des SER !).
- Pour atteindre des niveaux de consommation quasi nulle (« zéro énergie »), la mise en place simultanée de photovoltaïque et de chauffe-eau solaire est strictement nécessaire.

2. REF01 bis : Maison bourgeoise d'avant-guerre

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Utoit PLAT W/m ² K	Umur W/m ² K	Umur arrière W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF01-A0	467.19	905.06	223.38	0.00	5.29	3.30	3.30	1.80	1.80	0.75	5.76	0.76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0.0	0.0
REF01-A4030	76.81	387.54	36.53	205.75	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	1.80	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0.0	3028.6
REF01-A4301	97.09	414.42	27.71	232.73	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	0.85	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0.0	0.0
REF01-A4080	42.32	454.22	36.53	268.79	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	1.80	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	1287.4	3028.6
REF01-A4153	153.37	364.12	72.68	104.02	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	5.76	0.76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0.0	0.0
REF01-A4031	59.33	405.06	36.53	224.58	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	1.80	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C + ventilation à la demande	0.0	3028.6
REF01-A4006	108.29	373.08	36.53	175.81	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	1.80	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0.0	0.0
REF01-A4551	28.64	476.92	22.62	318.82	1.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	0.85	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0.0	3028.6
REF01-A4108	45.82	419.94	36.53	238.17	3.00	0.08	0.08	1.80	0.08	8.33	1.80	0.60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0.0	3028.6



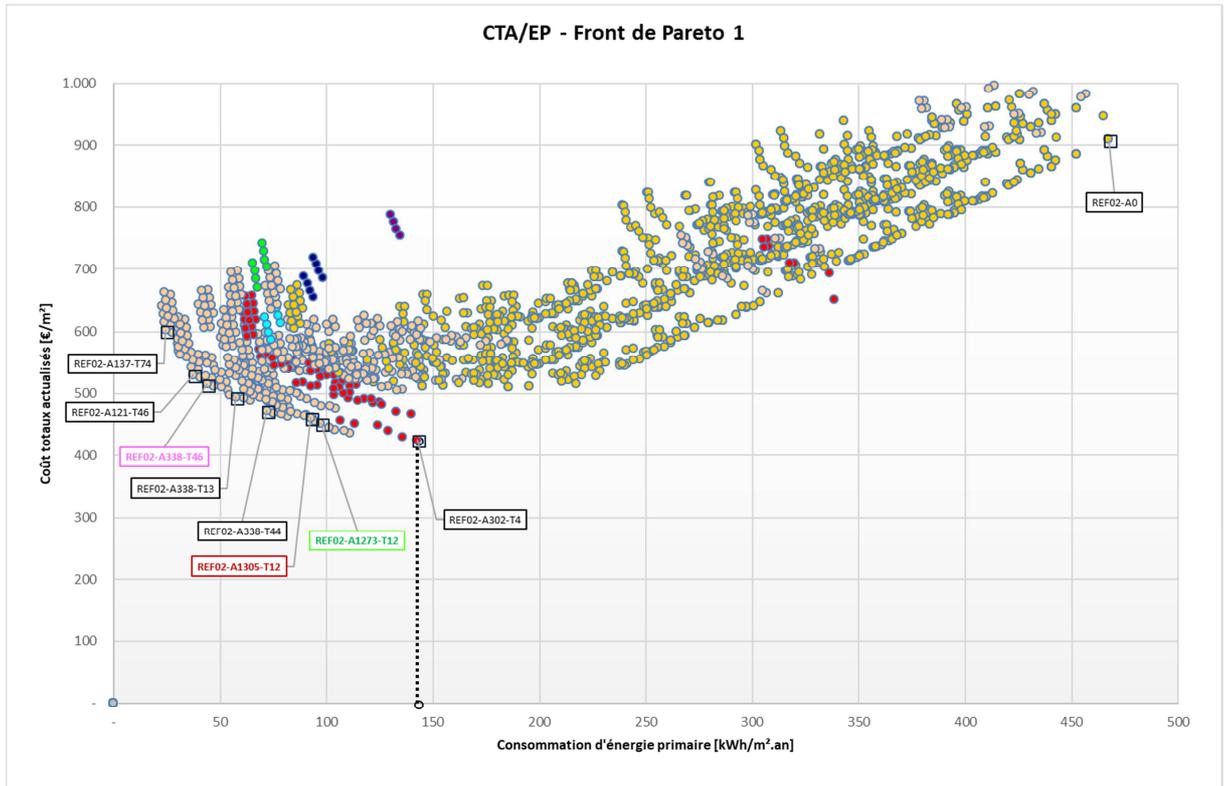
Observations :

- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont souvent cost-optimales lorsqu'il est souhaité de respecter un des objectifs énergétiques visés:
 - Forte isolation du mur extérieur et de la toiture (isolation de type parois passives)
 - Remplacement des châssis existants avec des châssis type « standard » ($U_w = +/- 1.8W/m^2K$)
 - Amélioration de l'étanchéité à l'air dès lors qu'on isole (avec des valeurs variant d'un n50 de 1 à 3).
- Au niveau des techniques :
 - Rapidement en dessous de $150 kWh/m^2.an$, les SER deviennent quasiment toujours cost-optimales.
 - A défaut de pouvoir installer des SER, on aperçoit que des systèmes de production de chaleur classiques (chaudière gaz à condensation murale) présentent une approche cost-optimale.

- En dessous de 45 kWh/m².an, en plus de la mise en place de SER, une ventilation double flux est incontournable pour atteindre un tel niveau de consommation.

3. REF02 : Maison bourgeoise d'avant-guerre classée

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Umur arrière W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF02-A0	467,19	909,61	223,38	0,00	5,29	3,30	1,80	1,80	0,75	5,76	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REF02-A1305-T12	92,48	461,09	48,93	218,09	3,00	0,08	1,80	0,08	8,33	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	3028,6
REF02-A1273-T12	97,29	452,46	52,75	201,39	3,00	0,12	1,80	0,12	4,17	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	3028,6
REF02-A338-T46	43,94	515,67	35,00	297,88	3,00	0,12	0,24	0,24	8,33	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	3028,6
REF02-A302-T4	142,49	425,60	63,97	130,97	3,00	0,24	0,24	0,24	4,17	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF02-A137-T74	24,50	602,27	24,97	401,99	1,00	0,08	0,12	0,12	12,50	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	1287,4	3028,6
REF02-A121-T46	37,41	529,96	29,70	323,05	1,00	0,12	0,24	0,24	8,33	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	3028,6
REF02-A338-T13	57,41	494,35	35,00	280,42	3,00	0,12	0,24	0,24	8,33	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C + ventilation à la demande	0,0	3028,6
REF02-A338-T44	71,94	472,92	35,00	257,68	3,00	0,12	0,24	0,24	8,33	3,10	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	3028,6

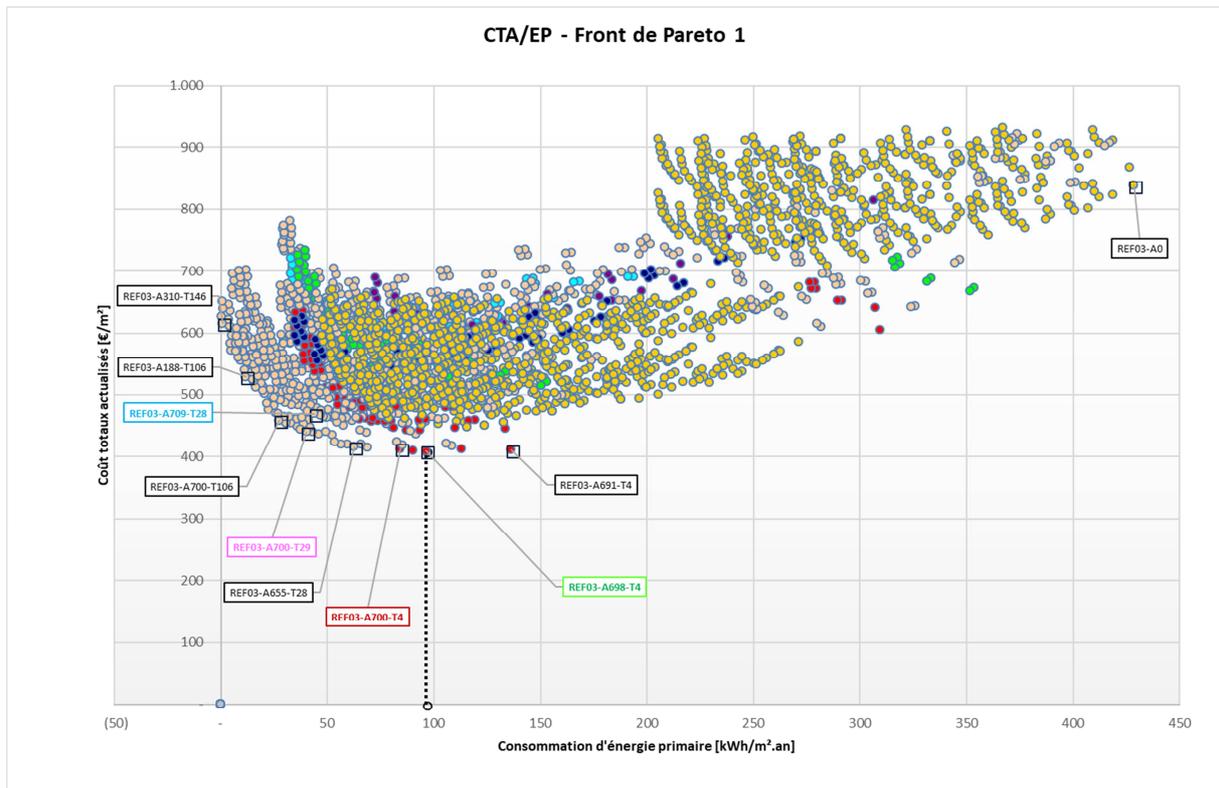


Observations :

- Au niveau architectural, les observations sont identiques au cas REF01.
- Au niveau des techniques, les observations sont identiques au cas REF01 à ceci près : il n'est pas possible d'atteindre des niveaux de CEP aussi faible que dans REF01 pour les raisons de conservation du patrimoine déjà citées.

4. REF03 : Maison bourgeoise d'entre-deux guerres

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF03-A0	428,50	838,40	203,01	0,00	5,71	3,30	1,54	0,75	5,76	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF03-A709-T28	43,78	469,42	12,52	313,44	3,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	2430,1
REF03-A700-T4	84,17	413,01	21,39	216,29	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF03-A698-T4	96,38	408,92	30,54	191,60	3,00	0,12	0,24	0,75	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF03-A700-T29	40,33	440,41	21,39	264,13	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C + ventilation à la demande	0,0	2430,1
REF03-A700-T106	27,45	458,84	21,39	279,88	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF03-A691-T4	136,16	410,96	62,27	126,56	3,00	0,12	0,24	8,33	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF03-A188-T106	11,75	529,12	8,94	376,55	1,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF03-A655-T28	62,46	416,14	25,74	228,76	3,00	0,24	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	2430,1
REF03-A310-T146	0,83	615,53	5,72	464,13	0,60	0,08	0,12	12,50	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	1212,9	2430,1

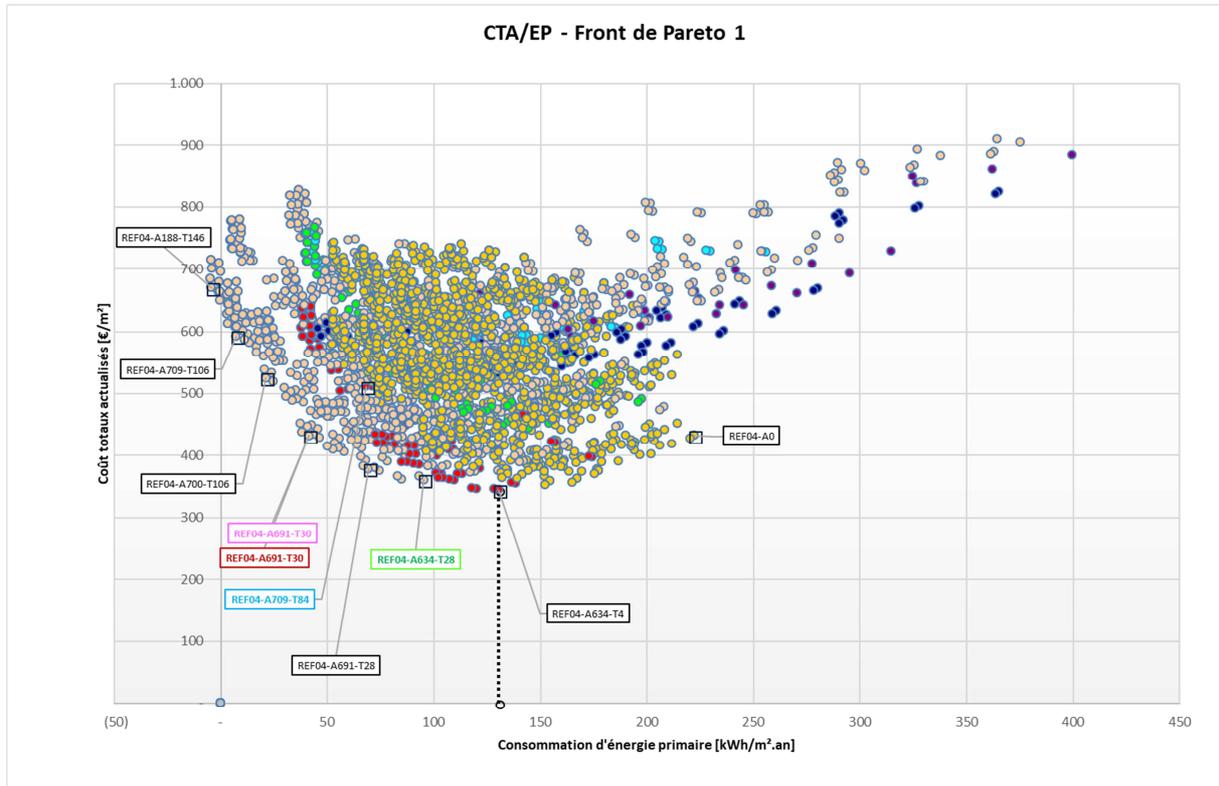


Observations :

- Au niveau architectural, les observations sont identiques au cas REF01.
- Au niveau des techniques, les observations sont identiques au cas REF01.

5. REF04 : Maison modeste d'avant 1945

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF04-A0	222,15	432,58	95,29	0,00	5,94	0,60	2,20	0,31	3,00	0,76	non	chaudière gaz HR sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF04-A709-T84	68,12	511,58	13,03	328,52	3,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF04-A691-T30	41,35	432,29	37,65	198,69	3,00	0,12	0,24	8,33	3,00	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF04-A634-T28	95,27	360,44	58,99	91,43	3,00	0,60	0,60	1,67	3,00	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	2430,1
REF04-A691-T30	41,35	432,29	37,65	198,69	3,00	0,12	0,24	8,33	3,00	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF04-A634-T4	130,38	344,91	58,99	58,34	3,00	0,60	0,60	1,67	3,00	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF04-A709-T106	7,26	592,77	13,03	406,32	3,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF04-A691-T28	69,20	378,11	37,65	153,98	3,00	0,12	0,24	8,33	3,00	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	2430,1
REF04-A700-T106	21,14	524,99	24,19	315,86	3,00	0,12	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	2430,1
REF04-A188-T146	-4,32	670,10	9,97	481,22	1,00	0,12	0,24	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	1069,2	2430,1

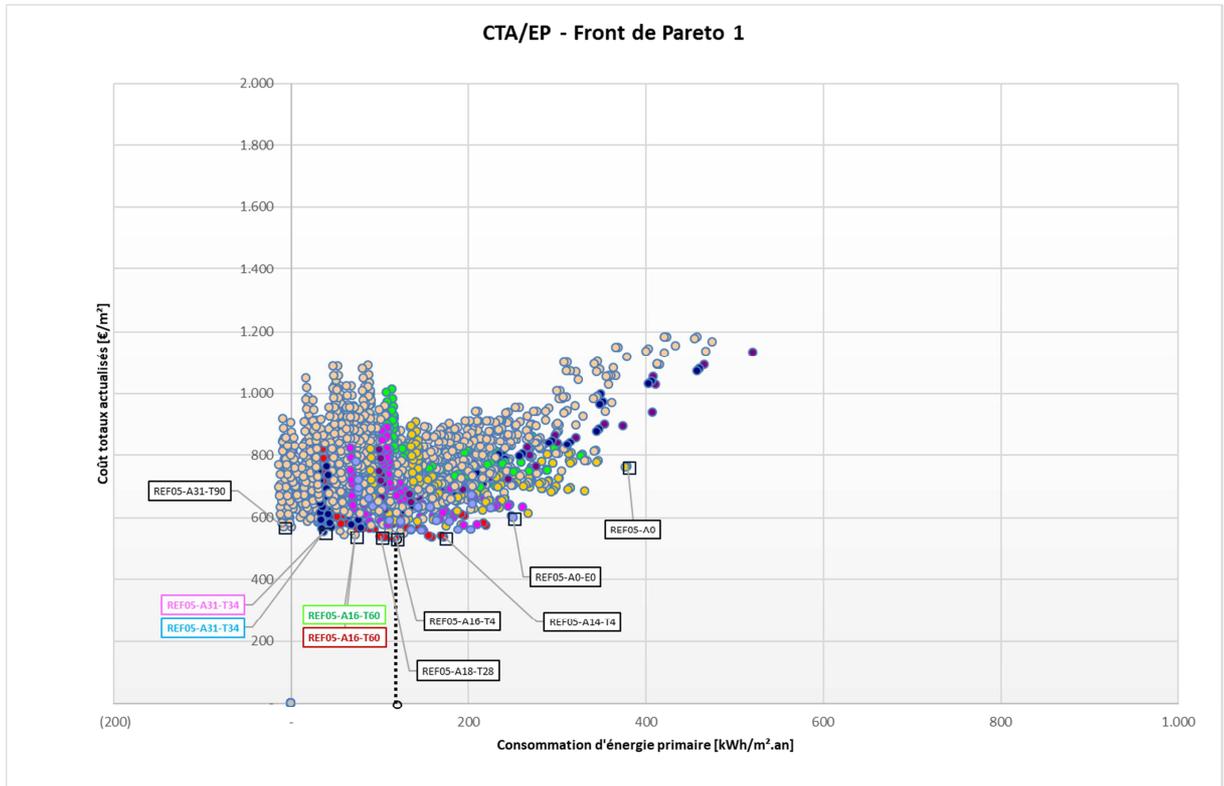


Observations :

- Au niveau architectural, les observations sont identiques au cas REF01.
- Au niveau des techniques, les observations sont identiques au cas REF01.

6. REF05 : Maison avec un commerce au rez-de-chaussée

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF05-A0	378,86	764,84	107,48	0,00	3,10	-	1,80	-	5,76	0,76	non	chaudière gaz HR sur sol	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF05-A31- T34	36,93	553,19	3,36	318,49	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	non	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	0,0
REF05-A16- T60	72,40	541,68	27,29	239,34	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	1514,3
REF05-A16- T60	72,40	541,68	27,29	239,34	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	1514,3
REF05-A31- T34	36,93	553,19	3,36	318,49	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	non	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	0,0
REF05-A16-T4	117,70	532,11	27,29	198,75	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo- convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF05-A0-E0	250,12	601,68	107,48	58,80	3,10	-	1,80	-	5,76	0,76	non	Combilus avec échangeur plaque en sous- station + chaudière gaz condensation sol	avec régl	radiateur / ventilo- convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF05-A14-T4	172,56	534,56	70,02	109,03	3,00	-	0,60	-	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo- convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF05-A18-T28	100,75	537,59	17,62	228,61	3,00	-	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régl	radiateur / ventilo- convecteur	Sans boucle	C	0,0	0,0
REF05-A31-T90	-8,37	571,22	3,36	359,08	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	non	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régl	radiateur / ventilo- convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1514,3

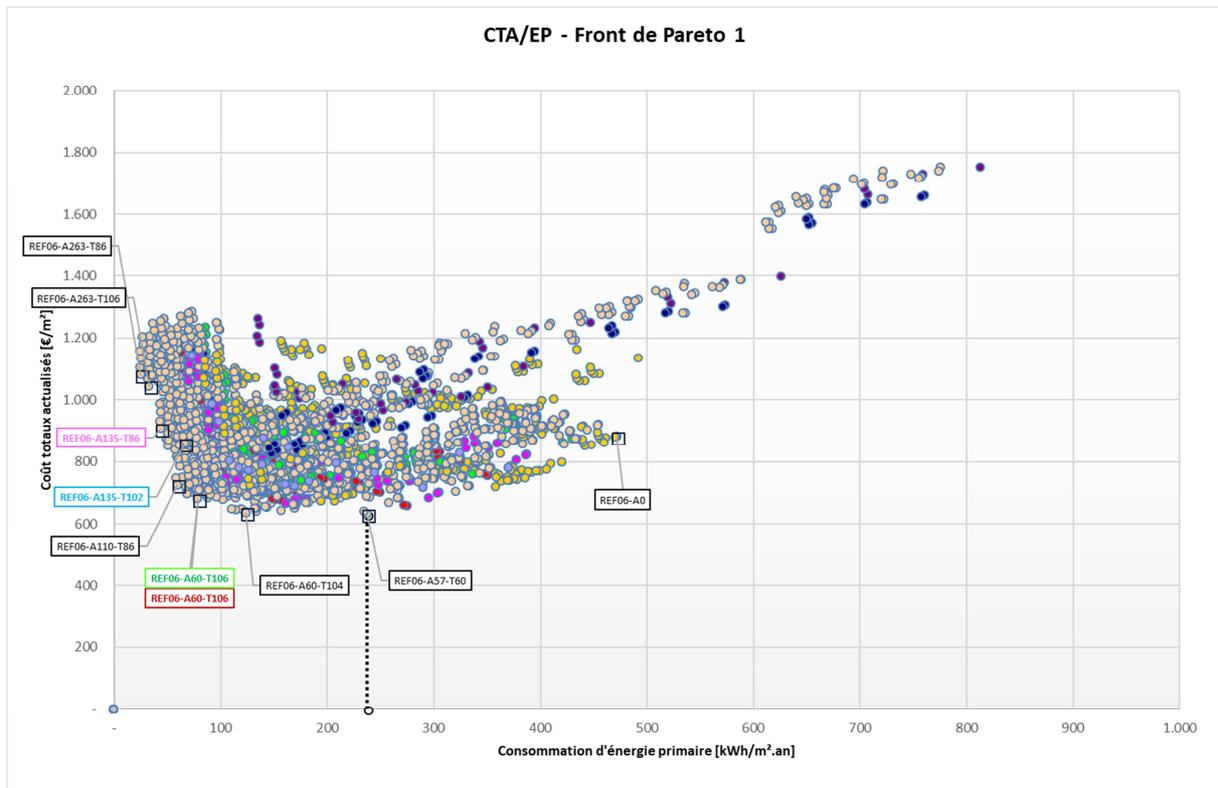


Observations :

- Ici, au niveau architectural, les solutions cost-optimales sont particulièrement variables en fonction de l'objectif énergétique ciblé.
- Au niveau des techniques :
 - Rapidement en dessous de 150 kWh/m².an, les SER deviennent quasiment toujours cost-optimales.
 - A défaut de pouvoir installer des SER, on aperçoit que des systèmes de production de chaleur classiques (chaudière gaz à condensation murale) présentent une approche cost-optimale.
 - En dessous de 50 kWh/m².an, en plus de la mise en place de SER, une ventilation double flux est incontournable pour atteindre ces niveaux de consommation et le chauffe-eau thermodynamique devient cost-optimal.

7. REF06 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF06-A0	471,76	881,14	218,74	0,00	6,09	-	1,30	0,50	5,76	0,76	non	chaudière gaz HR sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF06-A135-T102	66,19	858,66	12,49	587,65	0,60	-	0,12	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz HR sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A60-T106	78,42	680,08	45,03	383,48	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A60-T106	78,42	680,08	45,03	383,48	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A135-T86	43,65	907,03	12,49	651,15	0,60	-	0,12	8,33	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A57-T60	237,31	631,18	151,19	118,44	3,00	-	0,24	4,17	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	1620,1
REF06-A263-T106	32,72	1042,81	14,05	738,80	1,00	-	0,24	8,33	0,85	0,60	OUI	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A263-T86	25,08	1080,06	14,05	766,66	1,00	-	0,24	8,33	0,85	0,60	OUI	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A110-T86	59,30	724,52	35,80	445,48	1,00	-	0,24	8,33	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF06-A60-T104	123,60	635,62	45,03	329,75	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	1620,1

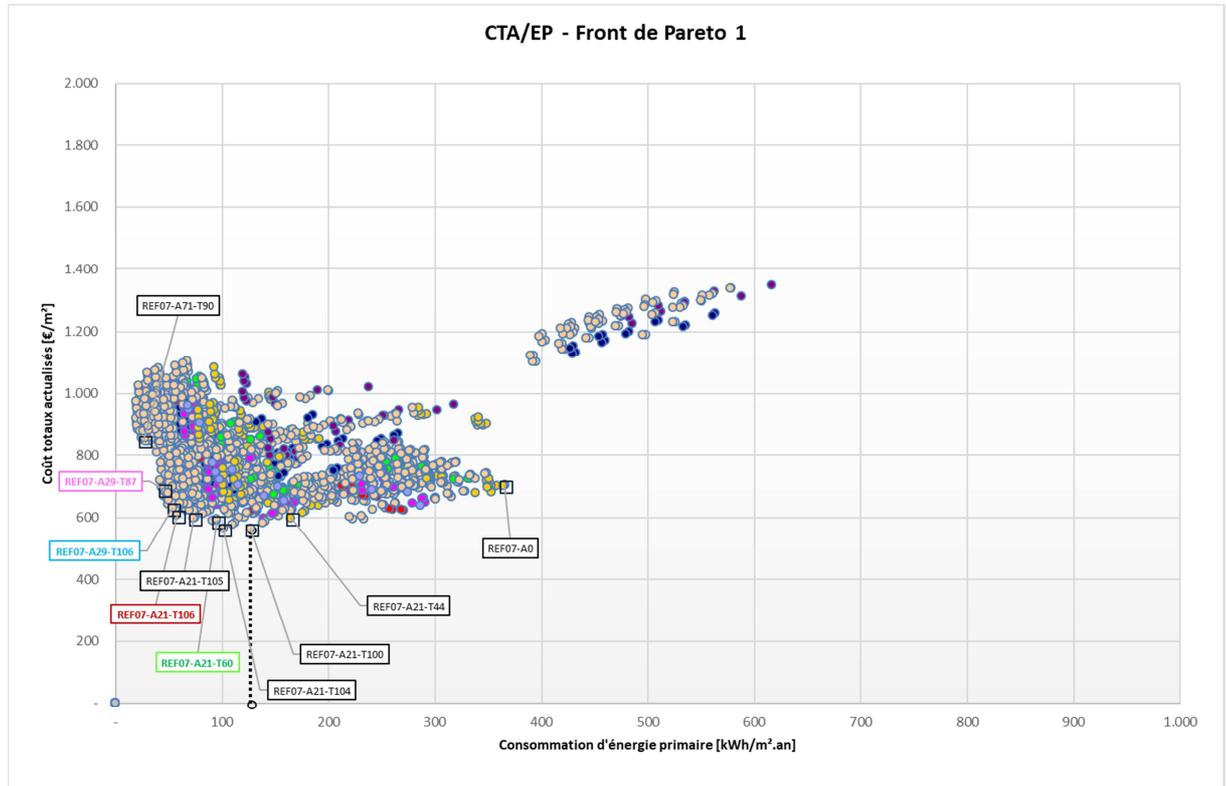


Observations :

- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont souvent cost-optimales lorsqu'il est souhaité de respecter un des objectifs énergétiques visés:
 - Un niveau d'isolation de la façade et de la dalle sur parking conforme à la réglementation actuelle ($0.24\text{W/m}^2\text{K}$)
 - Remplacement des châssis existants avec des châssis type « standard » ($U_w = \pm 1.8\text{W/m}^2\text{K}$)
- Au niveau des techniques :
 - les SER sont quasiment toujours cost-optimales.
 - Pour atteindre les objectifs énergétiques visés, le système de ventilation doubles flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait est une solution cost-optimale.
 - A défaut de pouvoir installer des SER, on aperçoit que des systèmes de production de chaleur classiques (chaudière gaz à condensation murale ou sur sol) présentent une approche cost-optimale.

8. REF07 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+2)

Référence point	Conso EP	CTA	BNC	Surinvest	n50	Utoit	Umur	Rsol	Uw fen	g	protec	Chauf.	Chauf.	ECS	ECS	Ventilation	CES	PV
	kWh/m².an	€/m²	kWh/m².an	€/m²	1/h	W/m²K	W/m²K	m²K/W	W/m²K	%	solaire	production	distribution	émission	distribution		kWh/an	kWh/an
REF07-A0	365,37	704,06	147,30	0,00	2,35	-	1,30	-	5,76	0,76	non	chaudière gaz HR sur sol	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF07-A29-T106	53,49	630,75	16,29	382,54	1,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF07-A21-T106	57,50	608,04	20,30	353,08	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF07-A21-T60	95,09	589,82	20,30	317,47	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	sans régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	1620,1
REF07-A29-T87	44,82	691,53	16,29	418,60	1,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + régulation + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF07-A21-T100	126,85	564,15	20,30	258,89	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz HR sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	1620,1
REF07-A21-T44	164,35	598,29	20,30	227,48	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz HR sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF07-A21-T105	73,20	598,39	20,30	341,98	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C + ventilation à la demande	0,0	1620,1
REF07-A71-T90	26,32	849,30	8,45	548,32	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	oui	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF07-A21-T104	101,14	564,27	20,30	299,35	3,00	-	1,30	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régl	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	1620,1

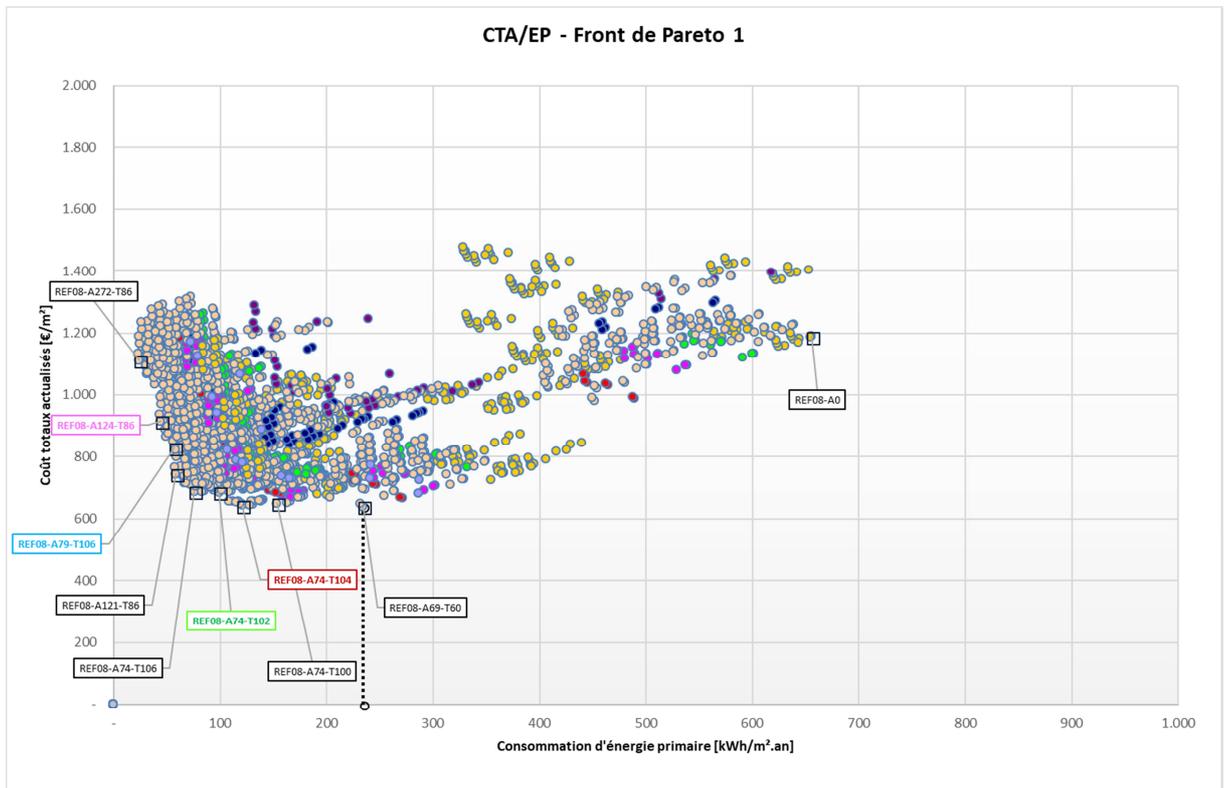


Observations :

- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont toujours cost-optimales lorsqu'il est souhaité de respecter un des objectifs énergétiques visés:
 - Le triple vitrage si on souhaite atteindre les objectifs énergétiques visés ; ceci s'explique par la proportion importante de vitrage par rapport aux façades qui constituent à elles-seules la totalité des surfaces déperditives.
 - Amélioration de l'étanchéité à l'air dès lors qu'on isole (avec des valeurs variant d'un n50 de 1 à 3).
- Au niveau des techniques, les conclusions sont identiques à celles du cas de référence 06.

9. REF08 : Petit immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+4)

Référence point	Conso EP kWh/m ² .an	CTA €/m ²	BNC kWh/m ² .an	Surinvest €/m ²	n50 1/h	Utoit W/m ² K	Umur W/m ² K	Rsol m ² K/W	Uw fen W/m ² K	g %	protec solaire	Chauf. production	Chauf. distribution	ECS émission	ECS distribution	Ventilation	CES kWh/an	PV kWh/an
REF08-A0	655,28	1188,83	338,62	0,00	6,09	2,80	1,30	-	5,76	0,76	non	chaudière gaz HR sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF08-A79-T106	57,08	828,56	19,63	574,23	3,00	0,12	0,24	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A74-T104	120,89	643,41	42,38	344,08	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	1620,1
REF08-A74-T102	99,11	686,03	42,38	358,41	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz HR sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A124-T86	44,12	915,41	12,81	658,70	1,00	0,08	0,08	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A69-T60	234,08	639,69	148,17	133,09	3,00	0,12	0,24	-	5,76	0,76	non	chaudière gaz condensation murale	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	C	0,0	1620,1
REF08-A74-T106	75,84	688,38	42,38	397,81	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A121-T86	58,32	743,48	34,62	466,82	1,00	0,08	0,12	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A272-T86	24,03	1111,37	12,81	800,51	1,00	0,08	0,08	-	0,85	0,60	OUI	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	1620,1
REF08-A74-T100	153,42	649,75	42,38	300,75	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz HR sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	1620,1

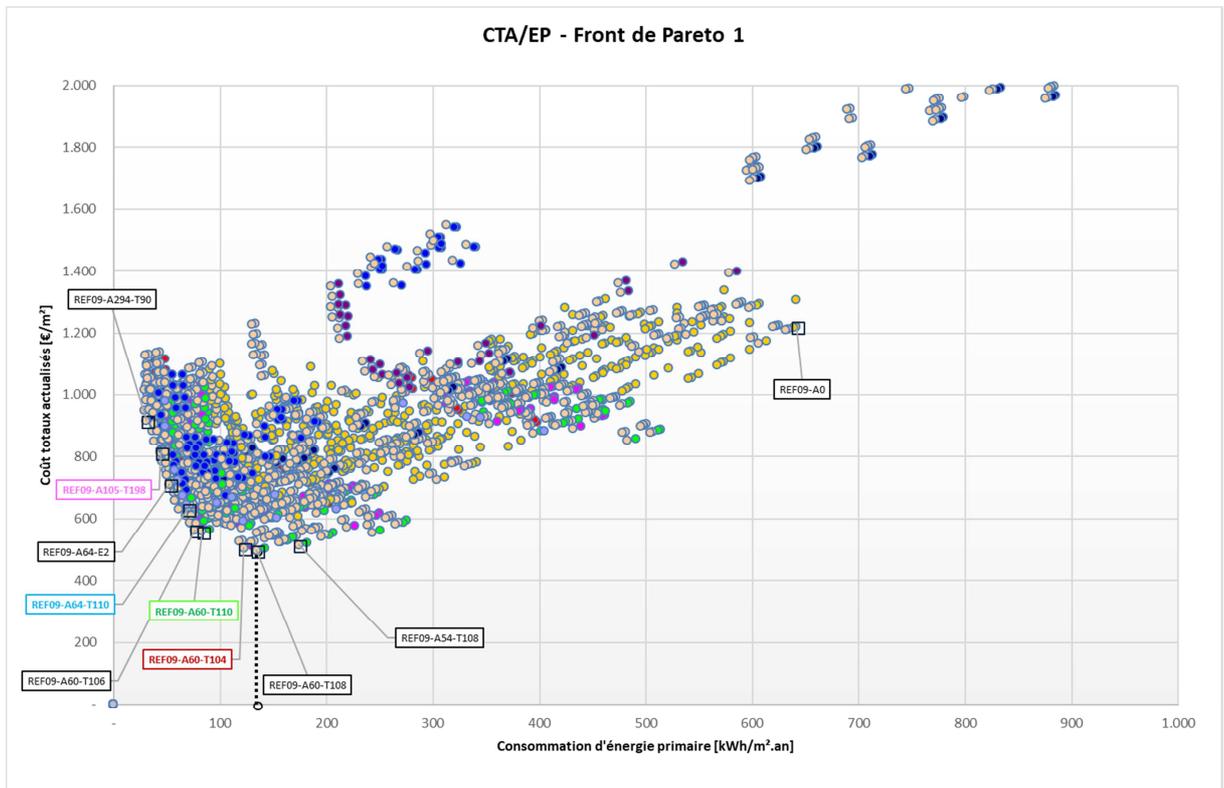


Observations :

- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont toujours cost-optimales dans ce cas-ci:
 - Un niveau d'isolation de façade conforme à la réglementation actuelle (0.24W/m²K)
 - Une forte isolation de la toiture est clairement souhaitée (valeur U = +/- 0.12 W/m²K et ce, même avec des niveaux de CEP plus élevé)
 - Remplacement des châssis existants avec des châssis type « standard » ($U_w = +/- 1.8\text{W/m}^2\text{K}$) voire triple ($U_w=0.08\text{W/m}^2\text{K}$) pour des niveaux d'énergies avec un CEP < 60kWh/m²/an.
 - Amélioration de l'étanchéité à l'air dès lors qu'on isole (avec des valeurs variant d'un n50 de 1 à 3).
- Au niveau des techniques, les conclusions sont identiques à celles du cas de référence 06.

10. REF09 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961

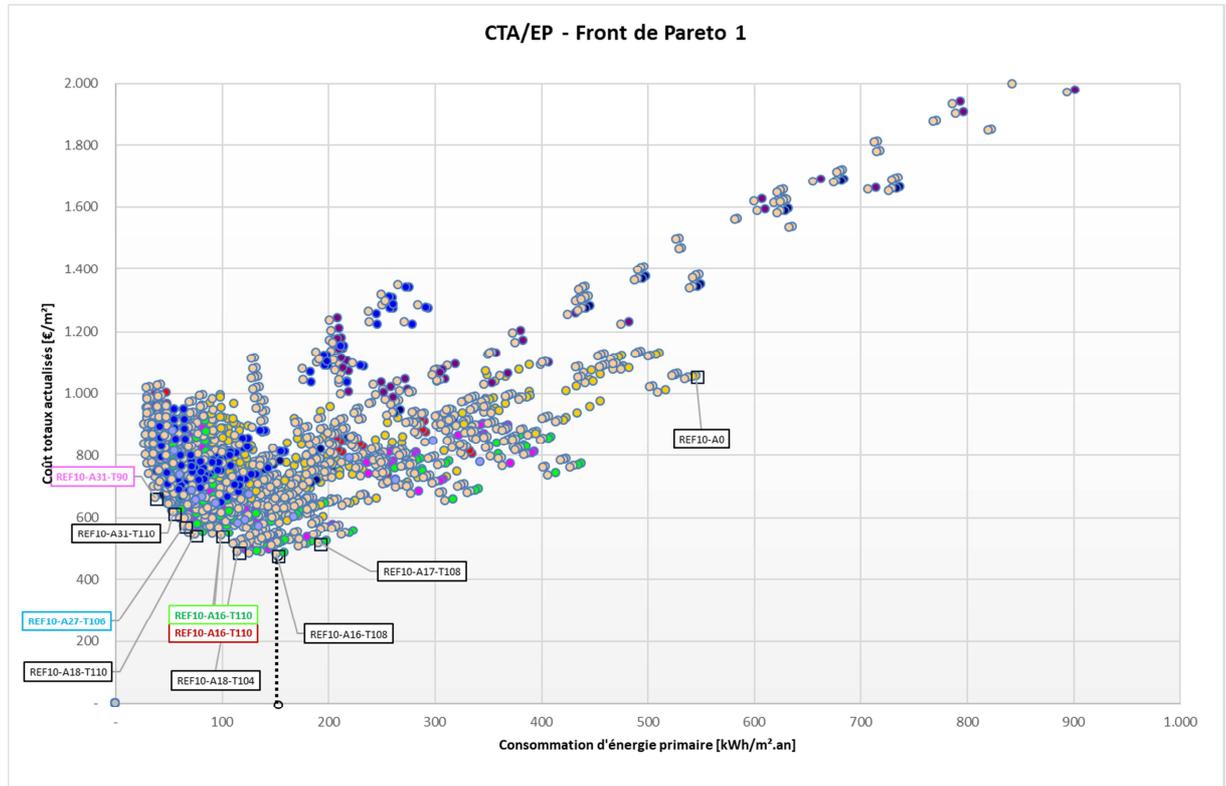
Référence point	Conso EP	CTA	BNC	Surinvest	n50	Utoit	Umur	Rsol	Uw fen	g	protec	Chauf.	Chauf. distribution	ECS	ECS	Ventilation	CES	PV
	kWh/m ² .an	€/m ²	kWh/m ² .an	€/m ²	1/h	W/m ² K	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	%	solaire	production		émission	distribution	rendement	kWh/an	kWh/an
REF09-A0	641,07	1220,76	252,30	0,00	10,74	-	2,70	0,50	5,86	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF09-A64-T110	69,89	632,95	16,53	373,36	3,00	-	0,24	4,17	0,85	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF09-A60-T104	122,18	503,94	25,82	203,25	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF09-A60-T110	82,83	558,88	25,82	282,39	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF09-A105-T198	44,21	812,44	13,47	498,28	1,00	-	0,24	4,17	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	318,2	81,0
REF09-A60-T108	134,14	496,58	25,82	220,38	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF09-A54-T108	173,68	514,28	51,81	186,21	3,00	-	0,60	1,67	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF09-A294-T90	30,59	917,53	3,86	633,57	0,60	-	0,08	12,53	0,85	0,60	OUI	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF09-A60-T106	76,27	562,54	25,82	270,65	3,00	-	0,24	4,17	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF09-A64-E2	52,45	711,51	16,53	418,70	3,00	-	0,24	4,17	0,85	0,60	non	Combilus avec échangeur plaque en sous-station + chaudière gaz condensation sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7



- Au niveau architectural, les observations sont identiques à celles du cas de référence 06.
- Au niveau des techniques, les observations sont identiques à celles du cas de référence 06 en ajoutant que la chaudière bois peut devenir cost-optimale dans certains cas.

11. REF10 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+1)

Référence point	Conso EP	CTA	BNC	Surinvest	n50	Utoit	Umur	Rsol	Uw fen	g	protec	Chauf.	Chauf.	ECS	ECS	Ventilation	CES	PV
	kWh/m ² .an	€/m ²	kWh/m ² .an	€/m ²	1/h	W/m ² K	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	%	solaire	production	distribution	émission	distribution		kWh/an	kWh/an
REF10-A0	544,80	1058,49	202,27	0,00	5,51	-	2,70	-	5,86	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF10-A27-T106	64,39	574,98	16,58	303,67	1,00	-	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A16-T110	99,17	542,36	36,93	243,94	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A16-T110	99,17	542,36	36,93	243,94	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A31-T90	36,92	665,45	4,03	399,66	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	non	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A16-T108	150,88	479,78	36,93	181,94	3,00	-	0,60	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF10-A18-T104	114,32	489,56	19,75	202,15	3,00	-	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF10-A18-T110	74,26	545,39	19,75	280,16	3,00	-	0,24	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A31-T110	54,20	618,18	4,03	377,96	1,00	-	0,12	-	0,85	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF10-A17-T108	190,73	517,17	61,41	163,81	3,00	-	0,24	-	5,86	0,76	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7

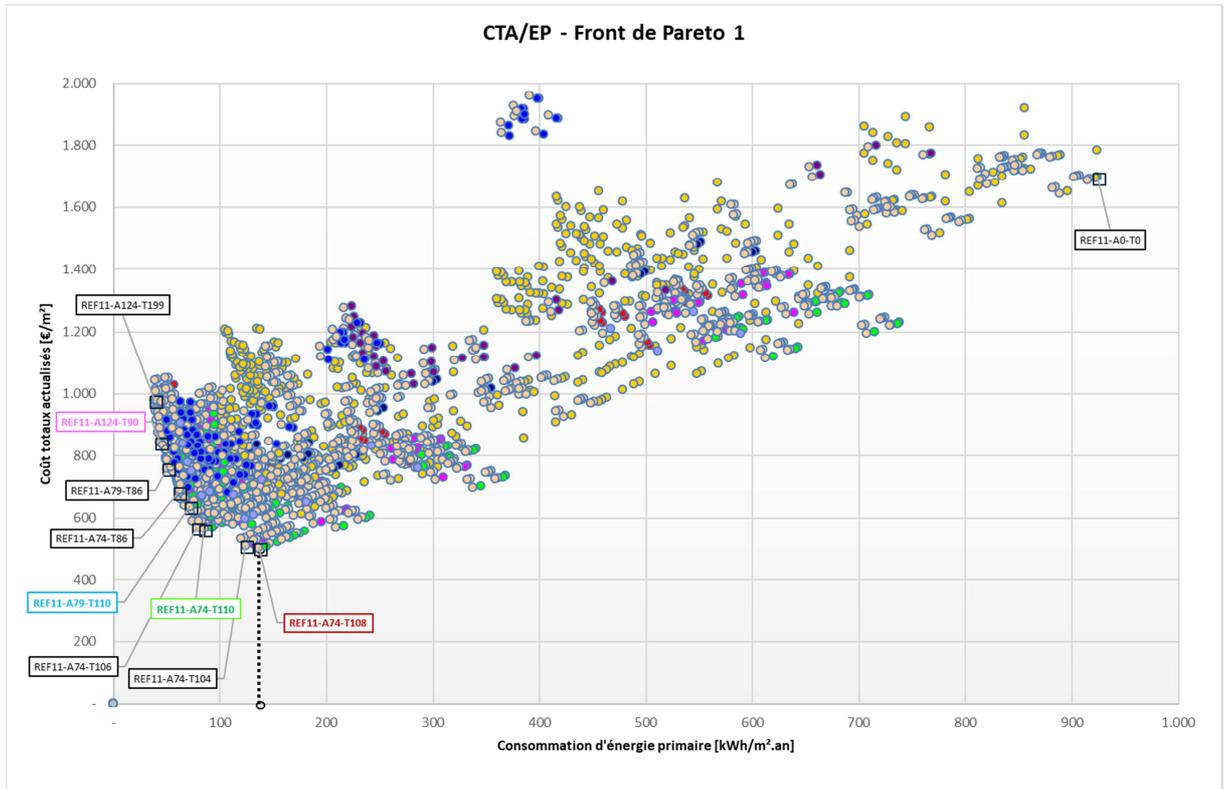


Observations :

- Au niveau architectural, les solutions suivantes sont souvent cost-optimales lorsqu'il est souhaité de respecter un des objectifs énergétiques visés:
 - Une isolation de la façade avec des niveaux de performance assez variable (de 0.12 à 0.6 W/m²K selon l'objectif énergétique visé)
 - Remplacement des châssis existants avec des châssis type « standard » ($U_w = +/- 1.8W/m^2K$) voir passif pour un niveau d'énergie « CEP max neuf ».
- Au niveau des techniques, les conclusions sont identiques à celles du cas de référence 09.

12. REF11 : Grand immeuble à appart. construit après-guerre mais avant 1961 (R+11)

Référence point	Conso EP	CTA	BNC	Surinvest	n50	Utoit	Umur	Rsol	Uw fen	g	protec	Chauf.	Chauf. distribution	ECS	ECS	Ventilation	CES	PV
	kWh/m ² .an	€/m ²	kWh/m ² .an	€/m ²	1/h	W/m ² K	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	%	solaire	production		émission	distribution	rendement	kWh/an	kWh/an
REF11-A0-T0	923,69	1697,25	399,35	0,00	10,74	2,80	2,70	-	5,86	0,76	non	chaudière mazout sur sol	sans régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	0,0
REF11-A79-T110	71,62	637,32	17,81	375,24	3,00	0,12	0,24	-	0,85	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A74-T108	136,24	501,41	27,22	222,26	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF11-A74-T110	84,86	563,73	27,22	284,26	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	Chaudière à eau avec combustible bois	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A124-T90	43,49	843,89	6,58	564,40	1,00	0,08	0,08	-	0,85	0,60	non	Chauffage électrique + boiler thermodynamique	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A74-T106	78,05	567,53	27,22	272,27	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A74-T104	124,01	508,96	27,22	204,87	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation sur sol	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Avec boucle	C	0,0	214,7
REF11-A74-T86	60,98	683,26	27,22	351,91	3,00	0,12	0,24	-	1,80	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A79-T86	50,29	759,60	17,81	445,81	3,00	0,12	0,24	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	0,0	214,7
REF11-A124-T199	38,30	979,43	6,58	650,10	1,00	0,08	0,08	-	0,85	0,60	non	chaudière gaz condensation murale	avec régul	radiateur / ventilo-convecteur	Sans boucle	D + régulation + récupérateur chaleur rendement EN 308: 80% + SFP 3	318,2	81,0



Observations :

- Au niveau architectural, les observations sont les mêmes que le cas REF08.
- Au niveau des techniques, les conclusions sont identiques à celles du cas de référence 09.

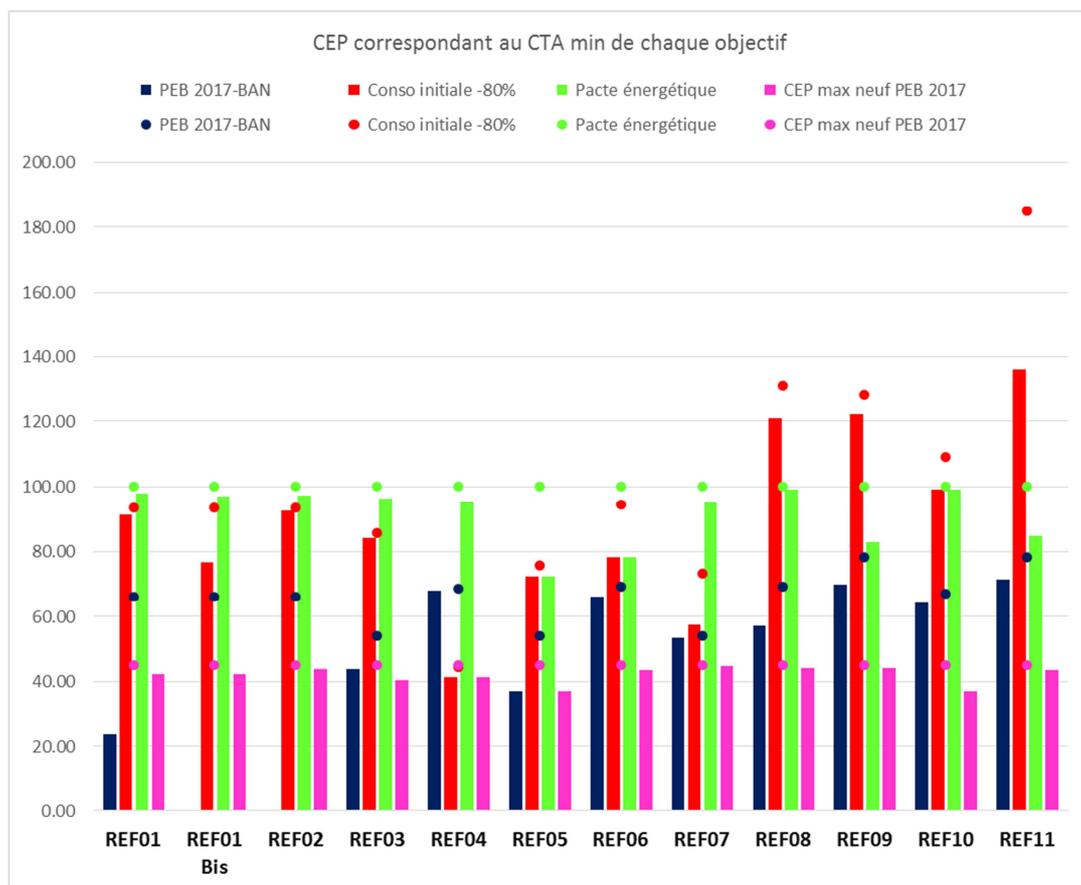
V. Conclusion

1. Objectifs énergétiques

a. CEP correspondant au CTA min de chaque objectif

Dans le graphique qui suit :

- Les barres représentent les CEP associées à chaque cas cost-optimum qui répondent à chaque objectif énergétique fixé.
- Les points illustrent la valeur maximale desdites CEP de chaque objectif énergétique. On observe qu'il y a parfois une grande différence entre la valeur fixée et la valeur correspondant au cas cost-optimal
 - o Par exemple pour le cas REF01 et l'objectif « PEB 2017 – BAN », l'écart de valeurs des CEP entre la CEP cost-optimale et la valeur maximale admise atteint 64%.



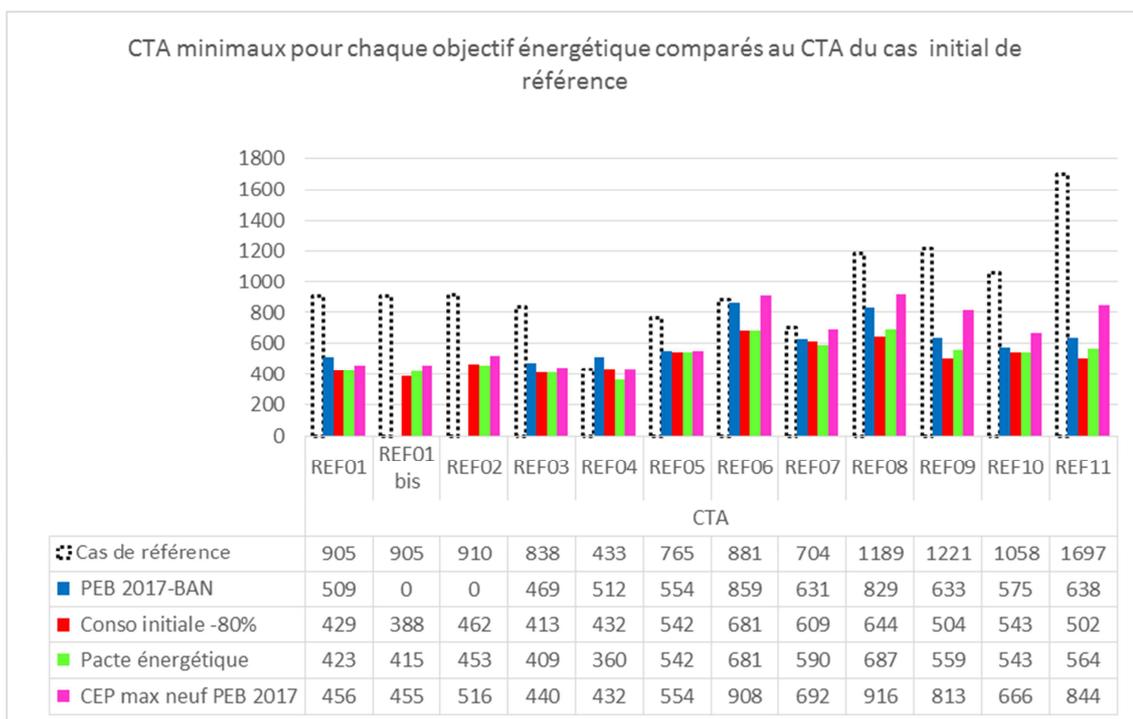
- **Cela implique donc que si on impose un certain niveau de CEP maximale, la CEP cost-optimale correspondante peut être assez différente.** En moyenne, l'écart entre les deux valeurs précitées atteint 11% (tout type de bâtiments et d'objectifs énergétiques confondus).

b. Configurations possibles

- Globalement, il y a de **nombreuses configurations possibles qui permettent d'atteindre les différents objectifs énergétiques fixés.**
- Néanmoins notons, qu'il n'existe pas de configurations architecturales ou techniques qui permettent de répondre aux exigences de la « PEB 2017 – BAN » pour les cas de références REF01Bis et REF02. **Cela met en exergue qu'en visant des objectifs en terme de CEP et pas de BNC, le nombre de configurations architecturales et techniques disponibles peut être nettement important.** De facto, l'imposition d'exigences de BNC sur ce genre de bâtiment, et plus largement sur l'ensemble du patrimoine existant, est dangereuse.

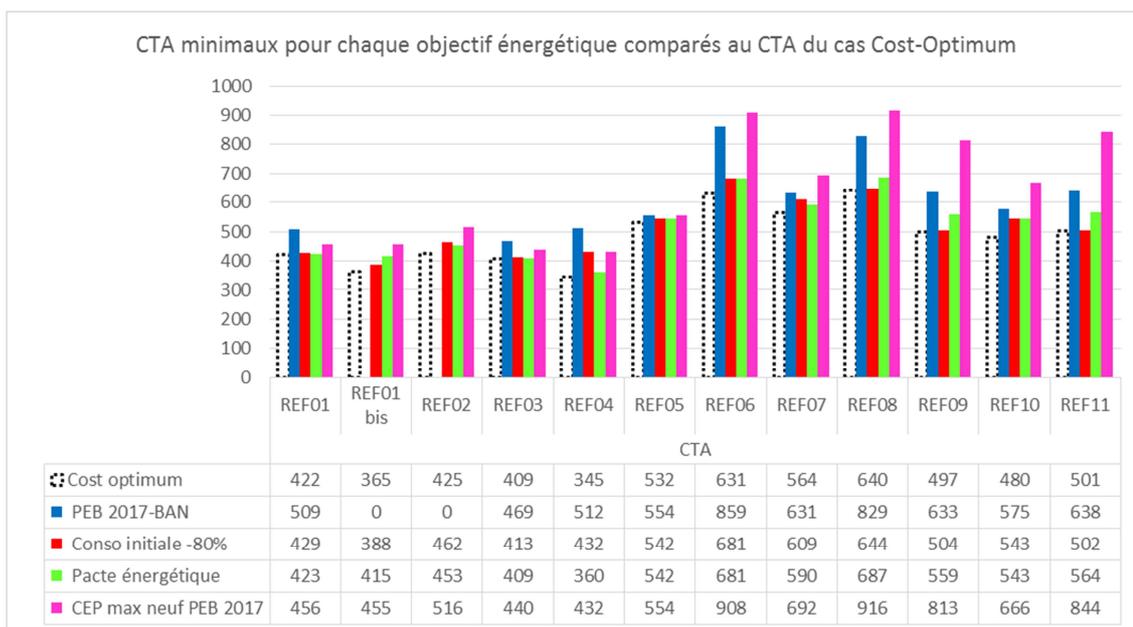
c. Positionnement du CTA minimal de chaque objectif par rapport au CTA de chaque cas initial de référence

- Comme l'illustre le tableau ci-dessous, les CTA minimaux de chaque objectif (barrettes en couleur) sont globalement et majoritairement plus faibles que le CTA de chaque cas initial de référence (barrette en pointillé). Cela implique donc qu'à long terme (30 ans), **il est clairement intéressant d'investir dans des mesures éco-énergétiques.**
- **Il est néanmoins important de se rappeler que cette affirmation ne tient pas compte de la capacité financière des investisseurs et/ou de la volonté de ceux-ci d'investir.** Prenons par exemple deux cas :
 - Un ménage veut réaliser des travaux mais il n'a pas de budget. Il devra dès lors emprunter de l'argent ce qui entraînera des surcoûts supplémentaires liés aux intérêts du prêt bancaire.
 - Un propriétaire qui met en location un bien a relativement peu d'intérêt financier d'investir dans des mesures éco-énergétiques puisque ce n'est pas lui qui récupère le gain économique lié à la réduction des charges énergétiques. Son seul gain serait dans l'ajout éventuel d'une plus-value de son bien immobilier suite à l'investissement des mesures éco-énergétiques, encore faut-il que cette plus-value puisse être réellement valorisable.



d. Positionnement du CTA minimal de chaque objectif par rapport au CTA du CO

- **Le CTA du cas CO est majoritairement inférieur au CTA min des objectifs énergétiques visés. Seul l'objectif « Pacte énergétique » permet de répondre à la notion de cost-optimum.**
- En comparant les CTA minimaux pour chaque objectif énergétique au CTA du cas Cost-Optimum (cf. tableau ci-dessous), on aperçoit qu'il y a un écart plus ou moins important selon les cas de référence.
- Globalement, on peut remarquer (voir également les tableaux qui suivent le graphique pour avoir la valeur de l'écart en %):
 - Pour l'objectif « PEB 2017-BAN » : l'écart est important voire très important pour les logements collectifs.
 - **Pour l'objectif « conso initiale -80% » : l'écart est relativement faible tant pour les logements individuels que collectifs.**
 - **Pour l'objectif « pacte énergétique » : l'écart est très faible surtout pour les logements individuels.**
 - Pour l'objectif « CEP max neuf PEB 2017 » : l'écart est important voire très important pour les logements collectifs.



Objectif énergétique	[(écart CTA par rapport à CTA CO) / CTA CO] (valeur positive = CTA CO < CTA évalué)											
	REF01	REF01 bis	REF02	REF03	REF04	REF05	REF06	REF07	REF08	REF09	REF10	REF11
Cas de référence	114%	148%	114%	105%	26%	44%	40%	25%	86%	146%	120%	239%
PEB 2017-BAN	21%	-	-	15%	48%	4%	36%	12%	30%	27%	20%	27%
Conso initiale -80%	2%	6%	9%	1%	25%	2%	8%	8%	1%	1%	13%	0%
Pacte énergétique	0%	14%	7%	0%	4%	2%	8%	5%	7%	12%	13%	13%
CEP max neuf PEB 2017	8%	25%	21%	8%	25%	4%	44%	23%	43%	64%	39%	68%

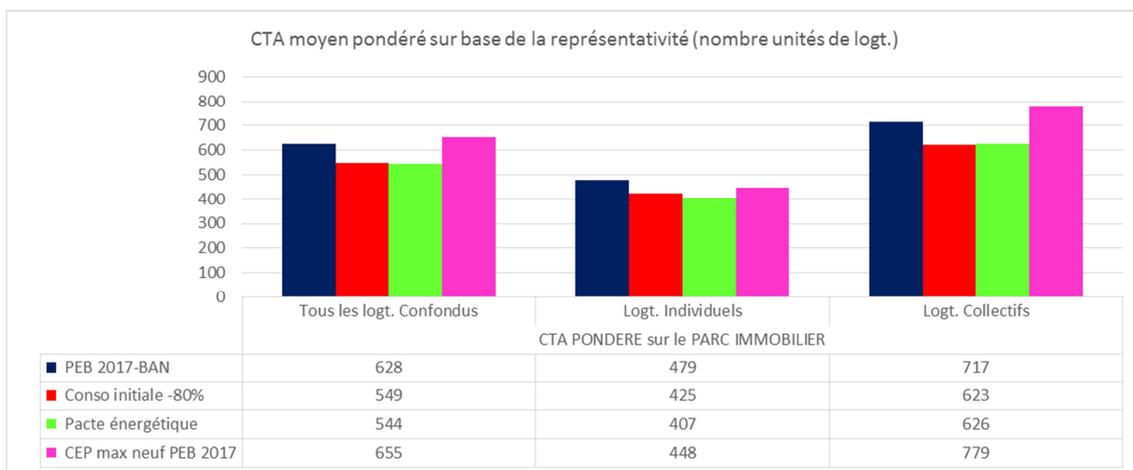
	Moyennes des écarts pondérées selon représentativité parc Bruxellois	
	Logt. Individuels	Logt. Collectifs
PEB 2017-BAN	24%	21%
Conso initiale -80%	6%	6%
Pacte énergétique	1%	6%
CEP max neuf PEB 2017	12%	32%

e. Approche pondérée

Comme expliqué au chapitre « extrapolation de résultats », il est intéressant de tirer des moyennes des résultats en considérant le poids de chaque typologie de bâtiment sur

l'ensemble du parc immobilier résidentiel existant en RBC (pondération sur le nombre d'unités de même typologie).

Les moyennes des CTA ainsi pondérées en fonction de la typologie des logements (tous types confondus, individuels ou collectifs) sont présentées ci-dessous :



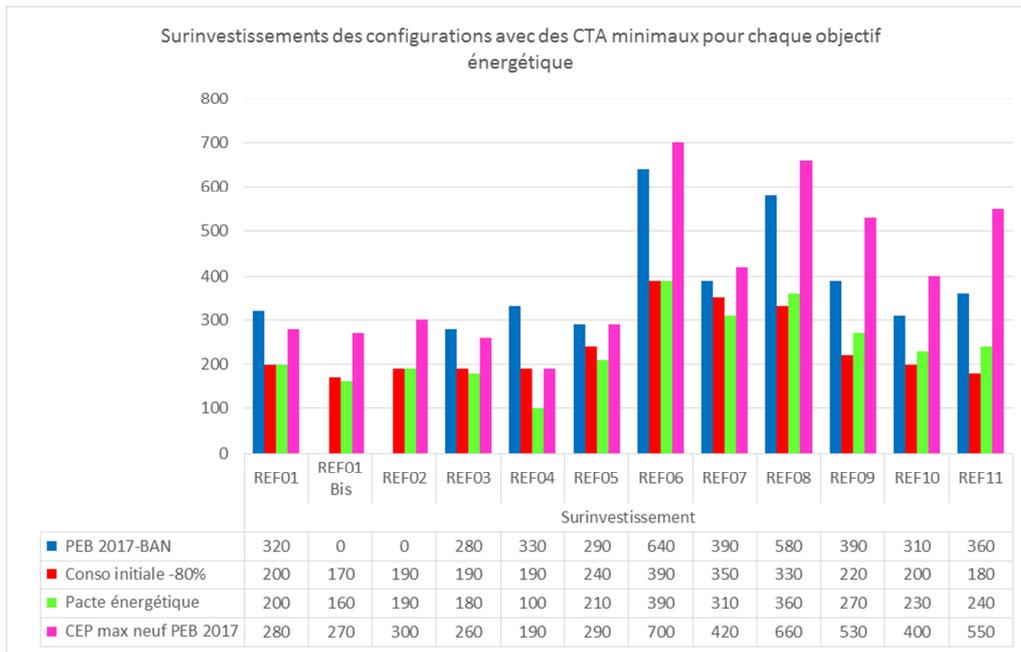
2. Surinvestissement

a. Analyse par type de cas de référence

Les surinvestissements correspondants aux CTA minimaux de chaque objectif énergétique visé sont présentés dans le graphique qui suit et ce, pour chaque cas de référence.

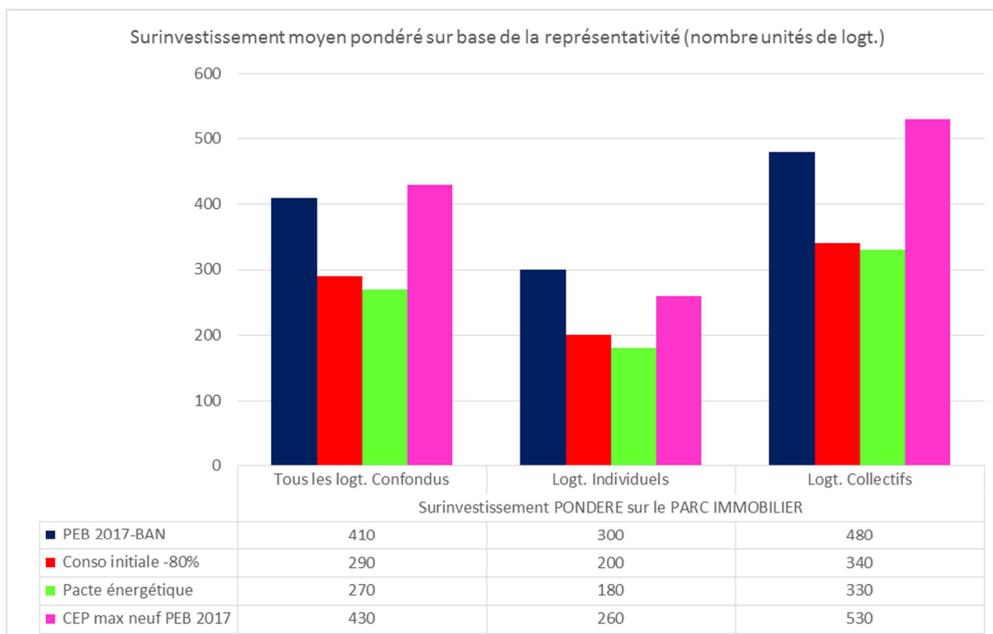
On observe une **grande variabilité des valeurs obtenues** :

- Selon l'objectif énergétique envisagé **sauf pour les objectifs « Conso initiale - 80% » et « Pacte énergétique »** qui présentent des résultats assez similaires ;
- Selon le type de logement considéré (individuel VS collectif). Dans le cas **des logements individuels, les résultats sont assez stables.**



b. Analyse pondérée

Comme pour les CTA, il est présenté ci-dessous les surinvestissements moyens pondérés sur base de la représentativité sur le parc immobilier (nombre unités de logt.) :



- **Pour l'objectif « Conso initiale -80% » et « Pacte énergétique », le surinvestissement correspondant au CTA minimal pondéré pour les logements individuels ne dépasse pas les 200€/m². Pour atteindre ces mêmes objectifs**

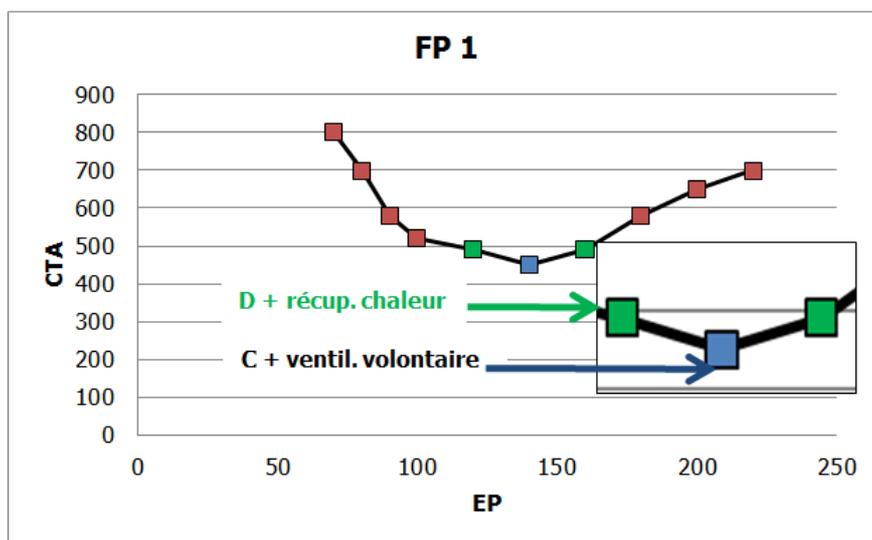
énergétiques, les surinvestissements sont plus importants pour les immeubles de logements collectifs (soit +/-335€/m²). Cela s'explique entre autre par le fait que pour atteindre de telles performances énergétiques, il est souvent nécessaire de remplacer les vitrages ce qui représente des investissements plus coûteux que si on isolait les façades opaques.

- Pour l'objectif « PEB 2017-BAN » et « CEP max neuf PEB 2017 », ce même surinvestissement devient important (+/-260 à 300€/m² pour les logements individuels) à très important (+/-480 à 530€/m² pour les logements collectifs).

3. Mesures éco-énergétiques à privilégier

Il est à rappeler qu'il est **dangereux de considérer que les mesures éco-énergétiques présentent dans les cas de cost-optimum ou les cas cost-optimaux liés à chaque objectif énergétique sont nécessairement et/ou exclusivement des mesures cost-optimales.**

Par exemple, prenons l'exemple présenté dans le graphique ci-dessous. Dans ce cas, un système C+ est cost-optimum alors que les configurations adjacentes au cas de cost-optimum requièrent des systèmes double flux. Dans cet exemple, on peut donc conclure que non seulement le système C+ est cost-optimum mais que les systèmes double flux le sont également.



a. Mesures éco-énergétiques de type architecturale

- Dans les maisons individuelles, si on cherche à respecter un des 4 objectifs énergétiques visés, on observe que les approches suivantes sont souvent cost-optimales :

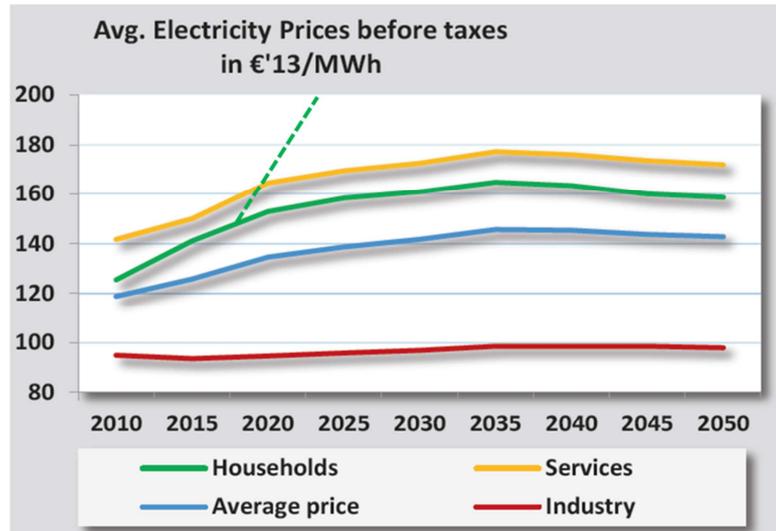
- Isolation des murs et de la dalle de sol avec des valeurs proches de celles imposées actuellement par la PEB (confirmation des conclusions de l'étude de 2013 et 2018 lot1).
- Isolation de la toiture avec une valeur U plus ambitieuse que ce qui est imposé ($U = +/- 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Remplacement des châssis existants avec des châssis de type « basse énergie » ($U_w = +/- 1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Amélioration de l'étanchéité à l'air avec des valeurs variant d'un n50 de 1à3.
- Pour les appartements :
 - Un niveau d'isolation de façade et de la dalle sur parking ou sur sol conforme à la réglementation actuelle ($0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - Remplacement des châssis existant par des fenêtres de type « standard » (U_w de 1.8) voire triple (surtout pour les appartements sans toit ni dalle sur sol ou parking).
 - Pour les appartements sous toiture, une forte isolation de la toiture est clairement souhaitée (valeur $U = +/- 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ et ce, même avec des niveaux de CEP plus élevé).

b. Mesures éco-énergétiques de type technique

- **Tant pour les logements individuels que collectifs, les SER sont clairement à privilégier** lorsqu'il s'agit de répondre aux différents objectifs énergétiques et ce, surtout quand l'objectif énergétique à atteindre est ambitieux.
Cela avait déjà été constaté dans le lot 1 et l'étude de 2013. Il est néanmoins très important de prendre en compte le réel potentiel en énergies renouvelables disponible en RBC.
- A défaut de pouvoir mettre des SER, **certaines techniques traditionnelles (système C, chaudière gaz) restent souvent cost-optimales pour les objectifs énergétiques suivants : « Pacte énergétique » et « Conso initiale -80% ».**
De plus :
 - Pour le grand immeuble appartement, une génération de chaleur par des moyens moins traditionnels peut devenir intéressant (chaudière bois, système Combilus, cogénération). Cela est dû au fait que le coût initial d'investissement de tels générateurs est élevé mais qu'il est divisé parmi un grand nombre d'investisseurs (88 dans les cas de REF09 à 11).
 - La solution de chauffage électrique avec préparateur d'ECS par boiler thermodynamique peut aussi apparaître dans les configurations cost-optimales. Cela est dû au fait que :
 - La proportion de CEP nécessaire pour l'ECS peut dépasser celle requise par le chauffage (surtout dans les appartements bien isolés) ;
 - L'investissement initial est faible ;

- L'augmentation future du prix de ce vecteur énergétique est faible (voir figure ci-dessous ou pour plus d'explications : voir le point IV.B. du rapport du lot 1 – volet 1).

FIGURE 50: PRICE OF ELECTRICITY BY SECTOR

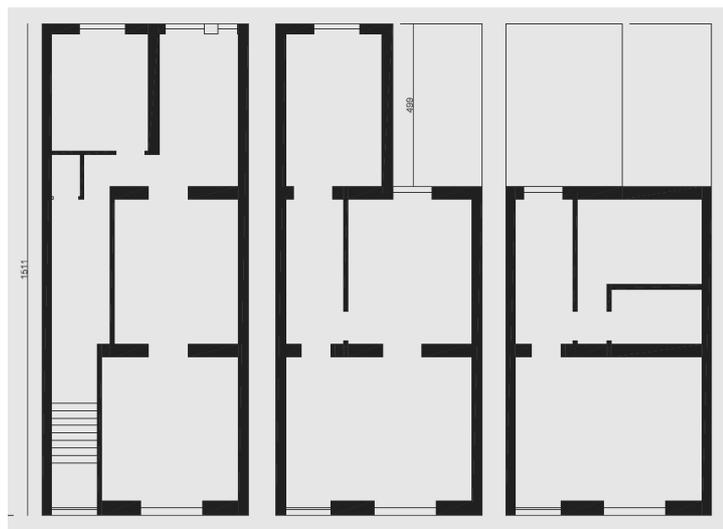


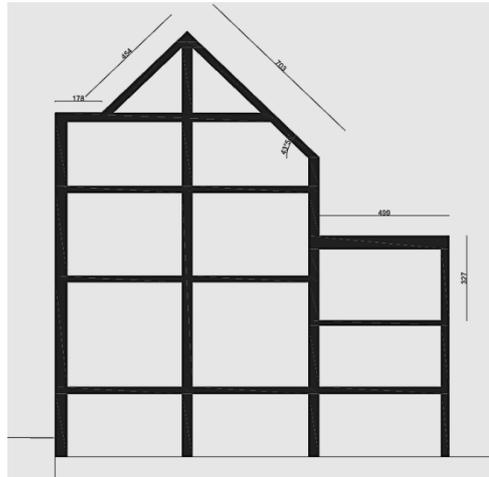
- En ce qui concerne le type de ventilation, lorsqu'il est visé des objectifs énergétiques ambitieux (généralement inférieurs à 60 kWh/m².an), le système D avec une récupération de chaleur sur l'air extrait est souvent cost optimal (et nécessaire afin d'atteindre un tel niveau de CEP).

VI. Annexes

A. Plans / coupes / façades des bâtiments de référence

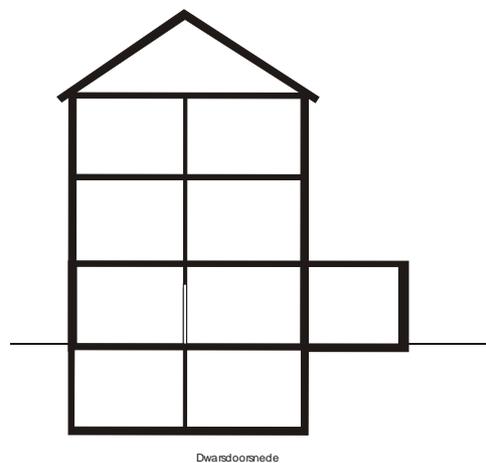
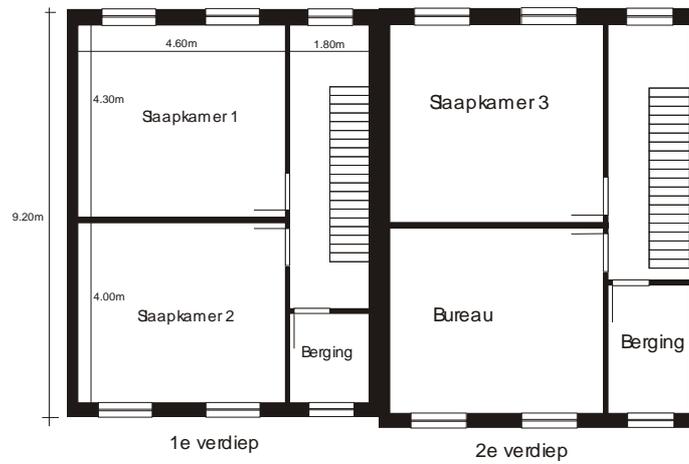
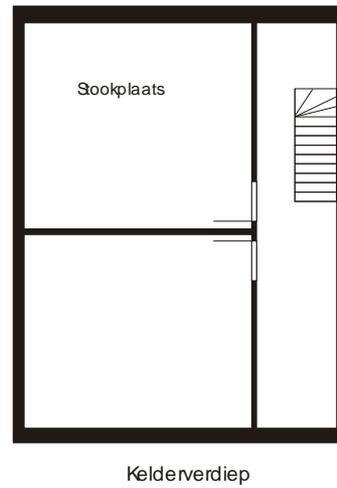
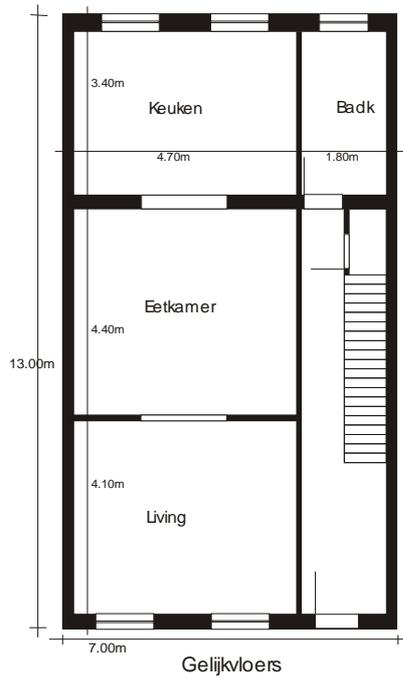
1. REF01, REF01 Bis et REF02 Maison bourgeoise d'avant-guerre



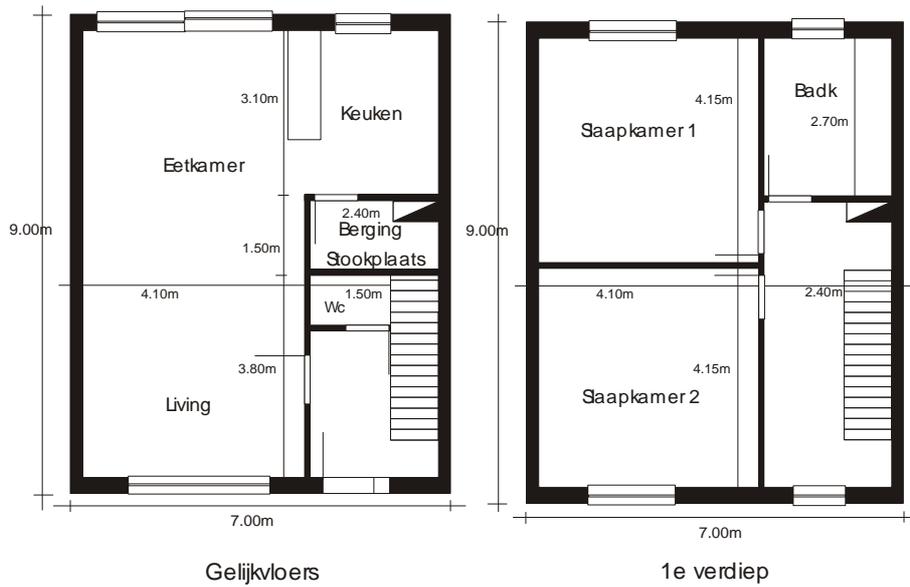


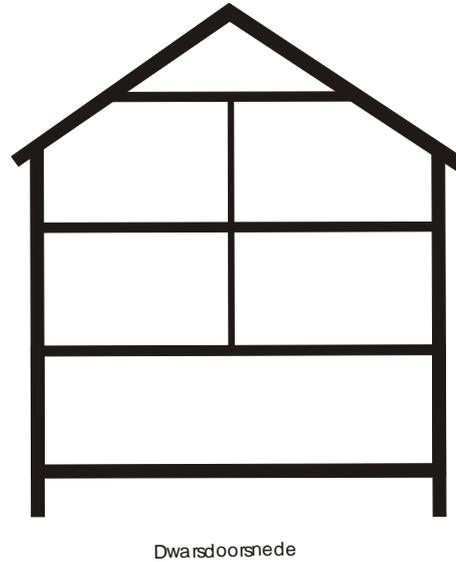
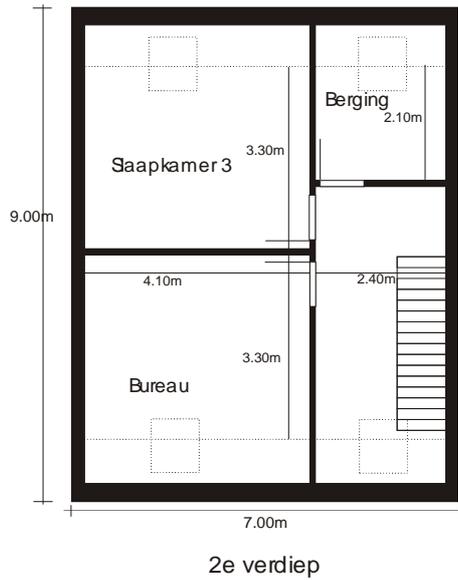
2. REF 03 Maison bourgeoise d'entre-deux guerres



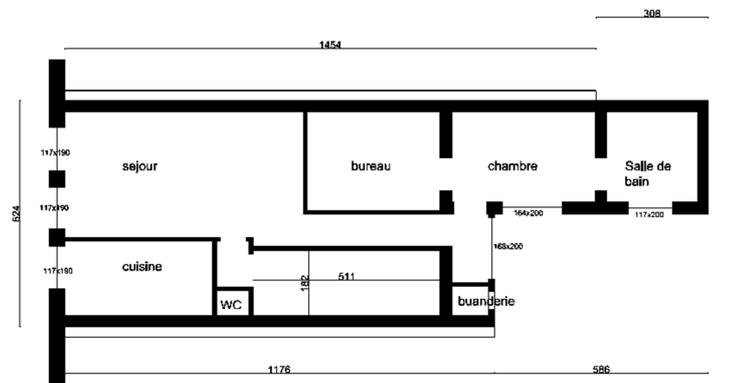
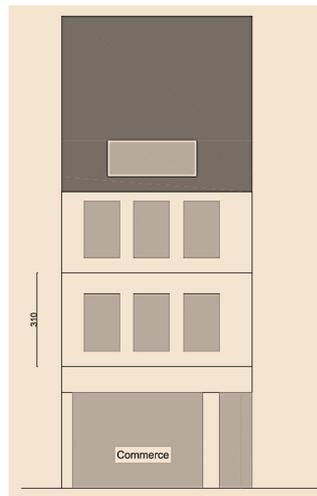


3. REF04 Maison modeste d'entre-deux guerre

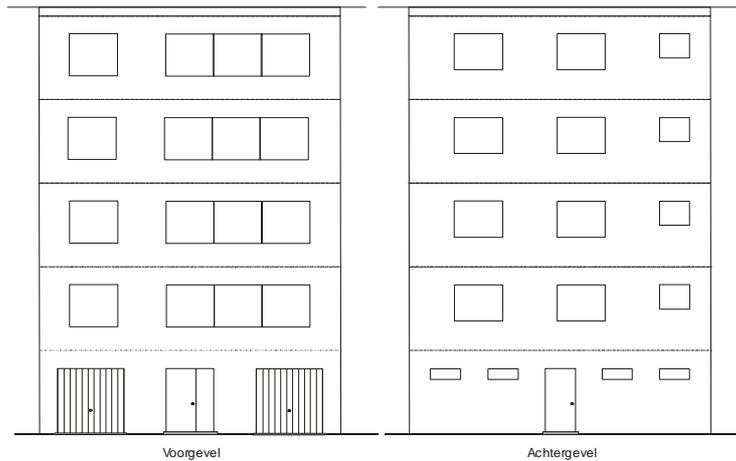
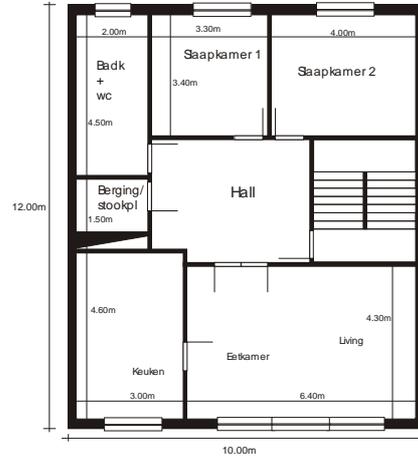




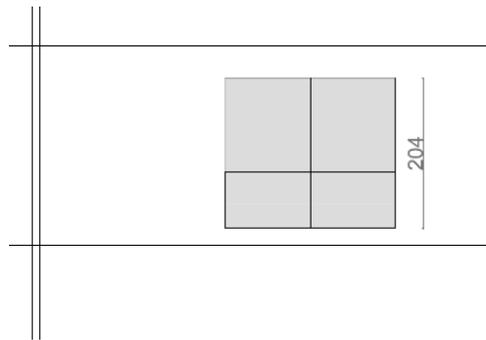
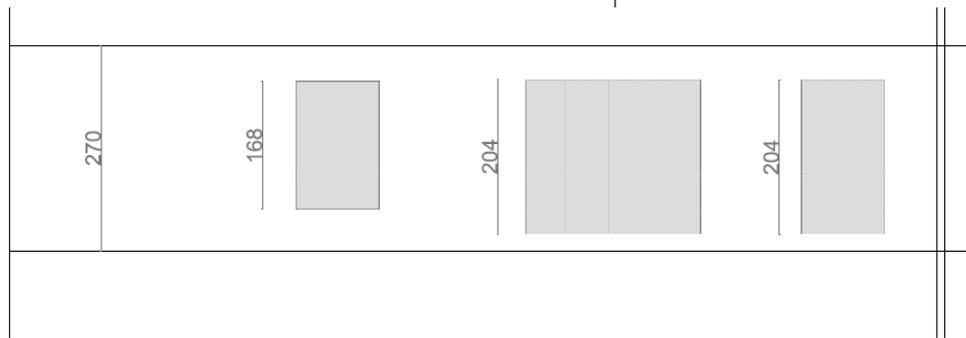
4. REF05 Maison avec un commerce au rez-de-chaussée



5. REF 06 à REF 08 Petit immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961



6. REF 09 à REF 11 Grand immeuble à appartements construit après-guerre mais avant 1961



B. Modification module 2

Il est listé ci-dessous les modifications effectuées sur le module 2 (module de calcul automatique des coûts) par rapport à celui utilisé dans le lot1 :

- Le code référentiel est indiqué par la terminologie REFxx et plus par HI-X ou AP-X.
- Pour les logements collectifs, le coût des variantes architecturales est divisé par le nombre d'appartement (dans le lot 1, cela n'était pas relevant car les rénovations étaient envisagées pour des unités de logement sans toiture et sans dalle de sol). Plus précisément, il ne s'agit que des isolations de toiture et dalle sur garage ou cave. En effet, pour les façades, châssis, protections solaires, le coût était déjà estimé par unité de logement puisque la surface considérée (et donc le coût en découlant) est propre à chaque unité de logement. Cela suppose aussi que si on rénove une façade, elle est appliquée à tout le bâtiment (et pas seulement à certaines UPEB). Cette hypothèse correspond toutefois bien à la réalité. En ce qui concerne les techniques, le coût était déjà réparti sur toutes les unités dans le lot 1.
- Encodage des parois : dans les nouvelles références REF 01 et REF02, il est nécessaire de distinguer clairement certaines parois selon la convention suivante :
 - o Toit 1 : versant
 - o Toit 2 : plat
 - o Mur 1 : avant
 - o Mur 2 : arrière
- Il n'est pas étudié la micro-cogénération étant donné que suite au lot 1, seule la cogénération dans le cas AP-C était intéressante et dans ce cas, la micro-cogénération n'a pas de sens (88 appartements).
- Le coût de certaines variantes techniques sont revues pour mieux tenir compte de la spécificité des nouveaux cas de référence.
- Les paramètres de référence de la feuille LIST-DATA ont été changés. De plus, les caractéristiques de composition de parois apparaissent dans cette même feuille.