

ANALYSES TECHNICO-ECONOMIQUES D'ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN RESIDENTIEL (MAISON ET LOGEMENT COLLECTIF) ET EN TERTIAIRE ENSEIGNEMENT

ANALYSES TECHNICO-ECONOMIQUES D'ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN RESIDENTIEL (MAISON ET LOGEMENT COLLECTIF) ET EN TERTIAIRE ENSEIGNEMENT	1
ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DE DIFFERENTS ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN RESIDENTIEL.	2
ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DE DIFFERENTS ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN ENSEIGNEMENT.	9
DESCRIPTION BATIMENTS – PRESTATIONS BATI ET SYSTEMS MODELISES	14
HYPOTHESES ECONOMIQUES	20

Ce rapport d'étude complète la contribution EDF à la concertation RE2020. Il fournit l'ensemble des résultats technico-économiques avec la description des bâtiments, les performances d'enveloppe et des systèmes énergétiques et les hypothèses économiques (investissement, exploitation, coût global).

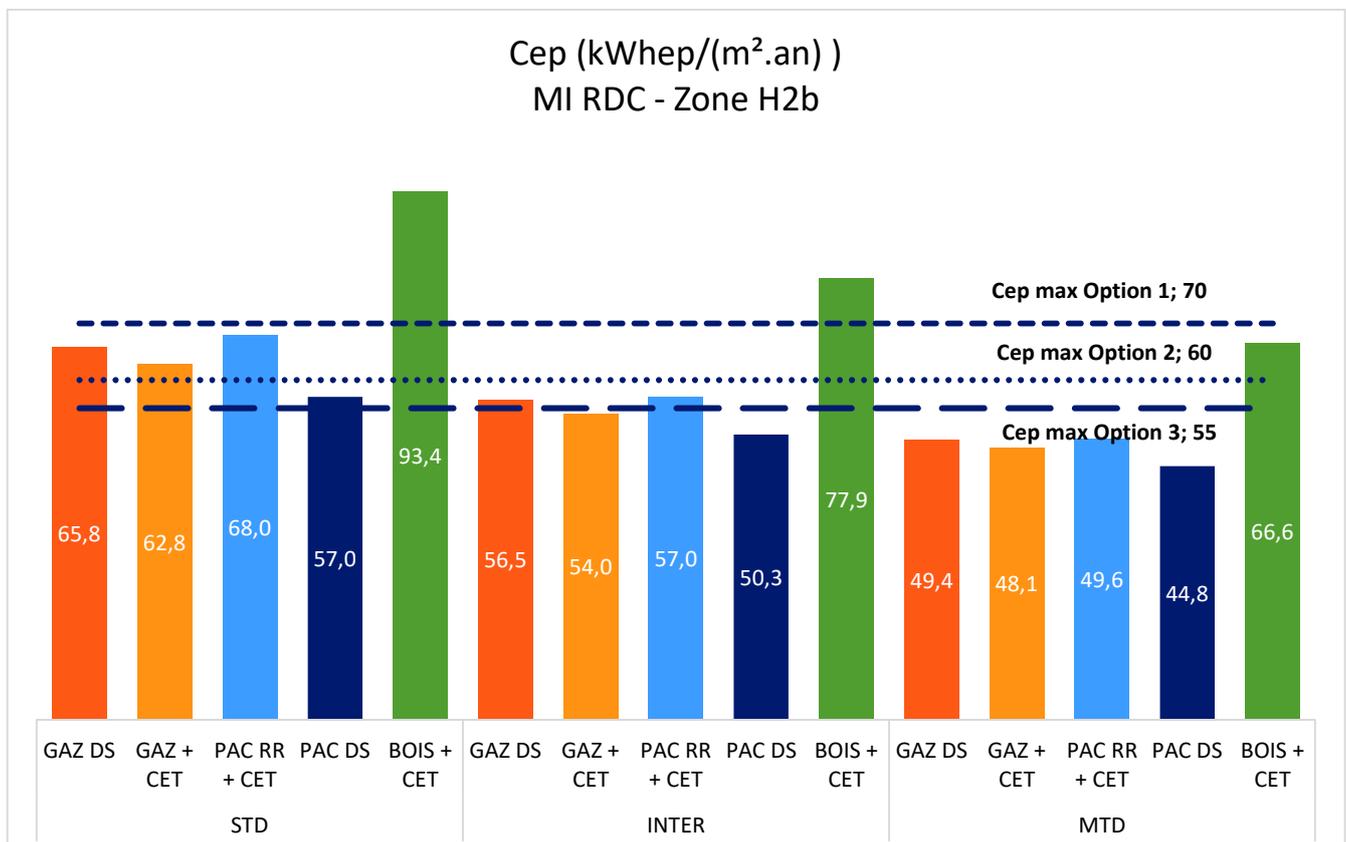
Différents bâtiments et configurations énergétiques ont été simulés par EDF R&D : une maison individuelle, un logement collectif et un bâtiment tertiaire d'enseignement. Ces simulations ont été réalisées avec le moteur RE2020 version R379 (03/09/2020) pour le logement collectif et version R346 (juin 2020) pour la maison individuelle et le secteur de l'enseignement.

ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DE DIFFERENTS ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN RESIDENTIEL.

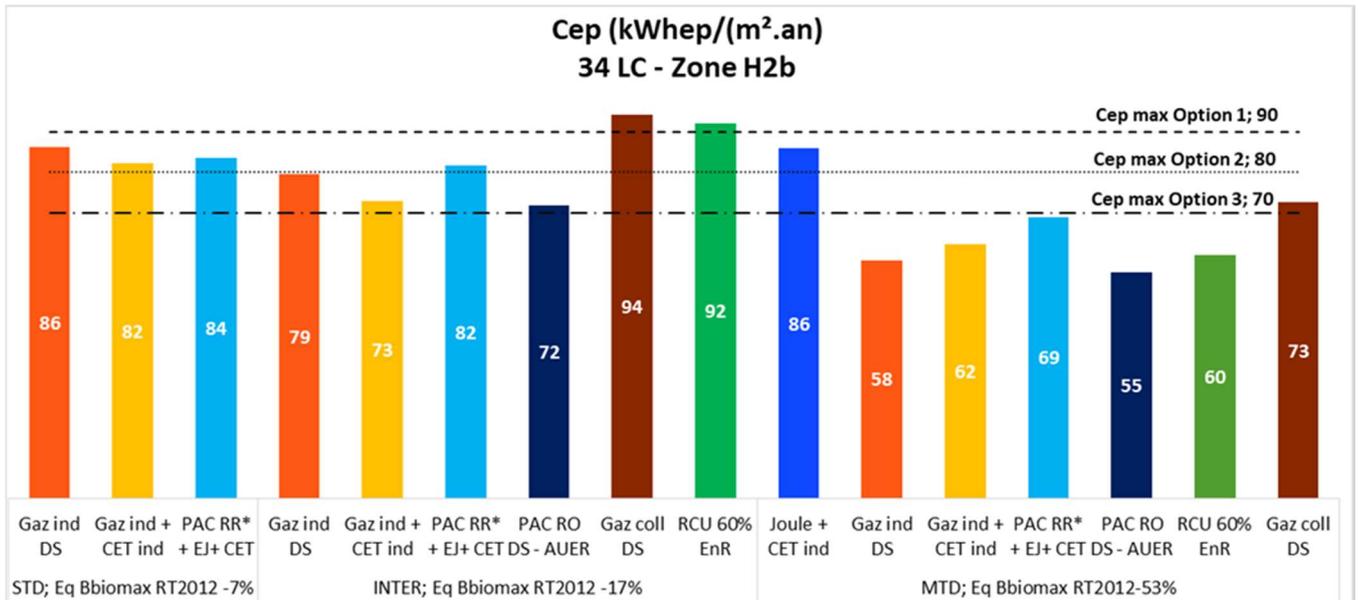
SYNTHESE DES PERFORMANCES EN CEP

Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour les différentes configurations. Les conclusions obtenues sont cohérentes avec les conclusions présentées par la DHUP en groupe de concertation :

- En maison individuelle, le poêle à bois, et dans une moindre mesure les PAC air/air, se positionnent moins bien que les autres systèmes en termes de CEP. Il y a un risque d'éviction du poêle à bois en cas de seuil trop contraignant ($< 67 \text{ kWhep/m}^2$ pour ce bâtiment).
- En logement collectif, l'effet joule, et dans une moindre mesure les chaudières collectives (bois ou gaz) et les RCU se positionnent moins bien que les autres systèmes en termes de CEP. Il y a un risque d'éviction des assemblages « radiateurs électriques + enveloppe MTD + CET » en cas de seuil trop contraignant ($< 85 \text{ kWhep/m}^2$ pour ce bâtiment).
- Les PAC et les chaudières gaz ont les meilleures performances en termes de CEP.



Maison – Ordres de grandeur de Cep (kWhep/m²) pour différents systèmes et BBIO en zone H2b



*PAC air-air monosplit

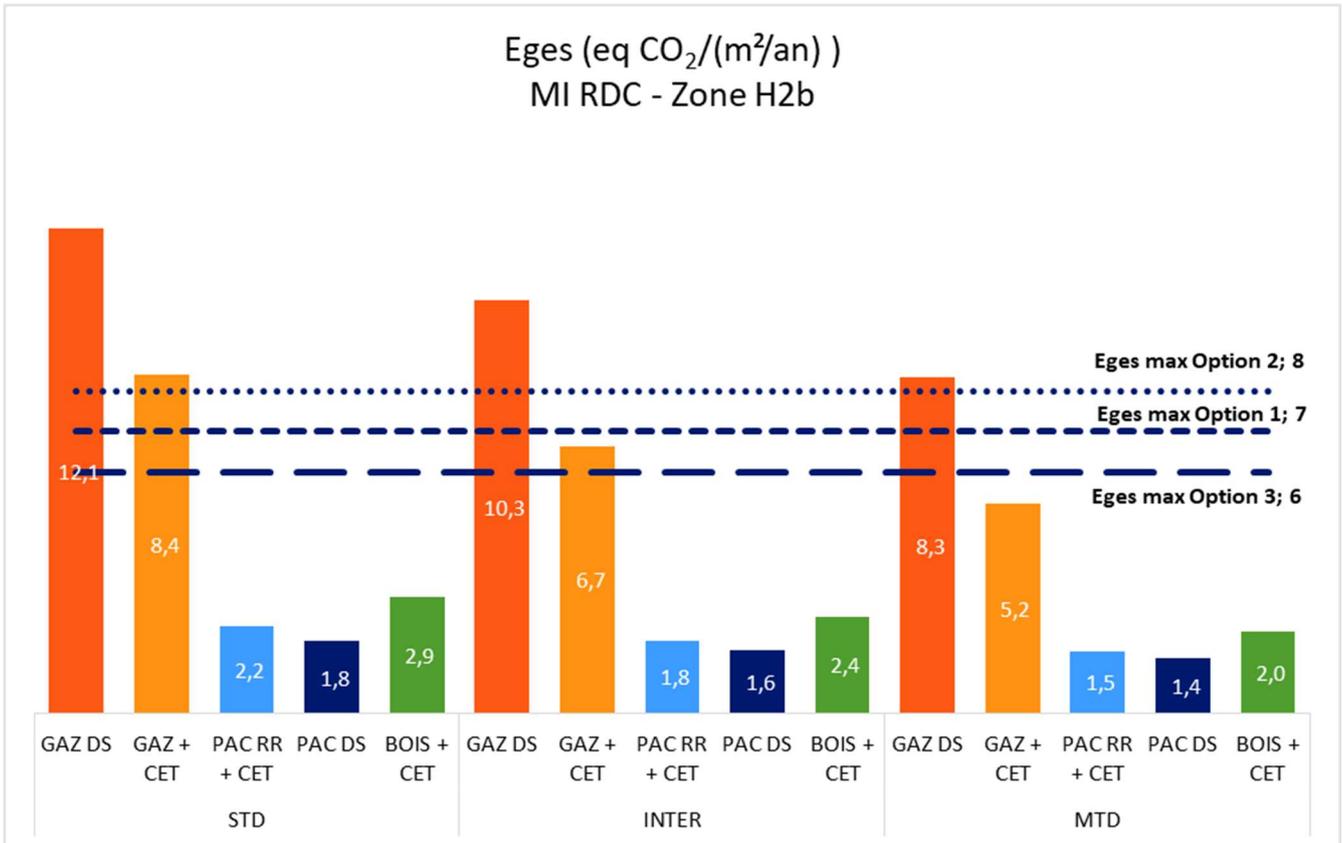
Logement collectif – Ordres de grandeur de Cep (kWhep/m²) en zone climatique H2b pour différents systèmes et prestations d'enveloppe.

A noter : les assemblages Bâti MTD + Pompe à chaleur air/eau ; Bâti MTD + Gaz collectif double service ; Bâti MTD + RCU (60% EnR), Bâti MTD + Gaz individuel double service respectant le seuil 'bas' du confort d'été (350 DH), il n'y a pas de consommation de climatisation fictive dans le calcul du Cep.

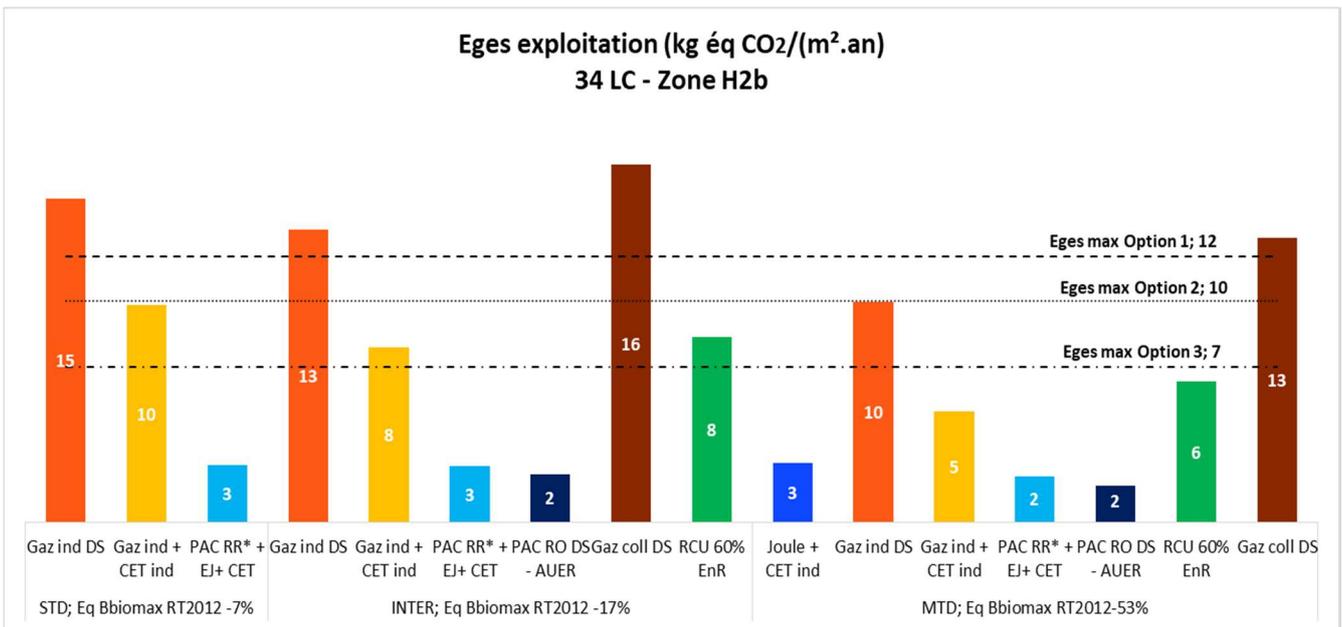
SYNTHESE DES PERFORMANCES EN CARBONE EXPLOITATION

Les graphes ci-dessous présentent les résultats obtenus pour les différentes configurations. Les conclusions obtenues sont cohérentes avec les conclusions présentées par la DHUP en groupe de concertation :

- Les chaudières gaz ont des émissions de CO₂ très élevées par rapport aux autres énergies même cas de renforcement conséquent de la performance d'enveloppe.
- L'association d'une chaudière gaz avec une solution thermodynamique (hybridation) permet de réduire significativement les émissions de CO₂ mais ces dernières restent beaucoup plus élevées que pour les autres systèmes étudiés.
- Les RCU avec un fort taux d'ENR ont des émissions élevées par rapport aux systèmes électriques ou bois, du même ordre de grandeur que les systèmes hybrides « gaz + électricité ».



Maison – Ordre de grandeur de CO₂ exploitation (kg CO₂/m².an) pour différents systèmes et BBIO en zone H2b



*PAC air/air monosplit

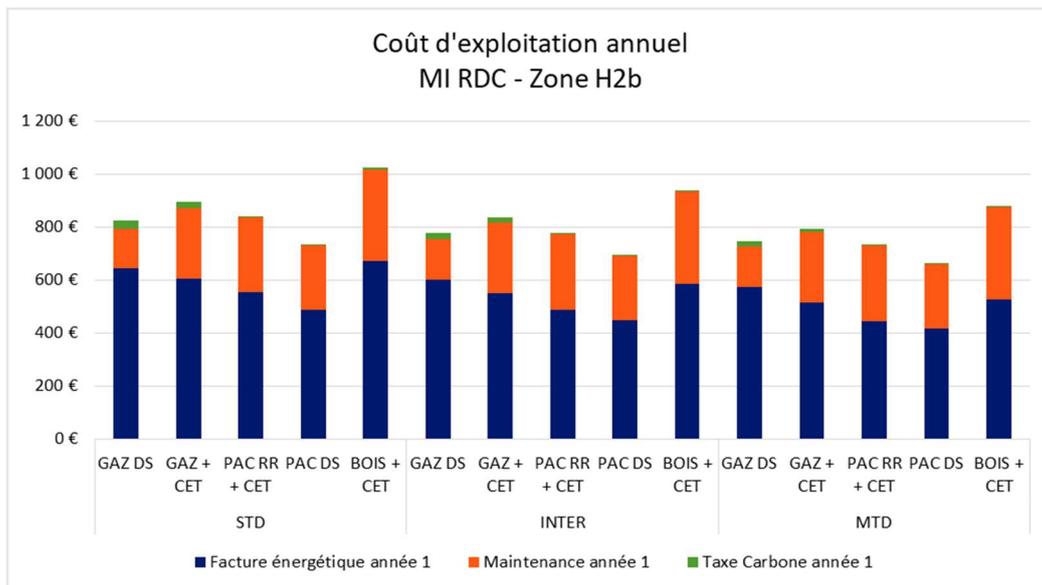
Logement collectif – Ordre de grandeur de CO₂ exploitation (kg CO₂/m².an) en zone H2b pour différents systèmes et BBIO

ANALYSE DES COÛTS D'EXPLOITATION.

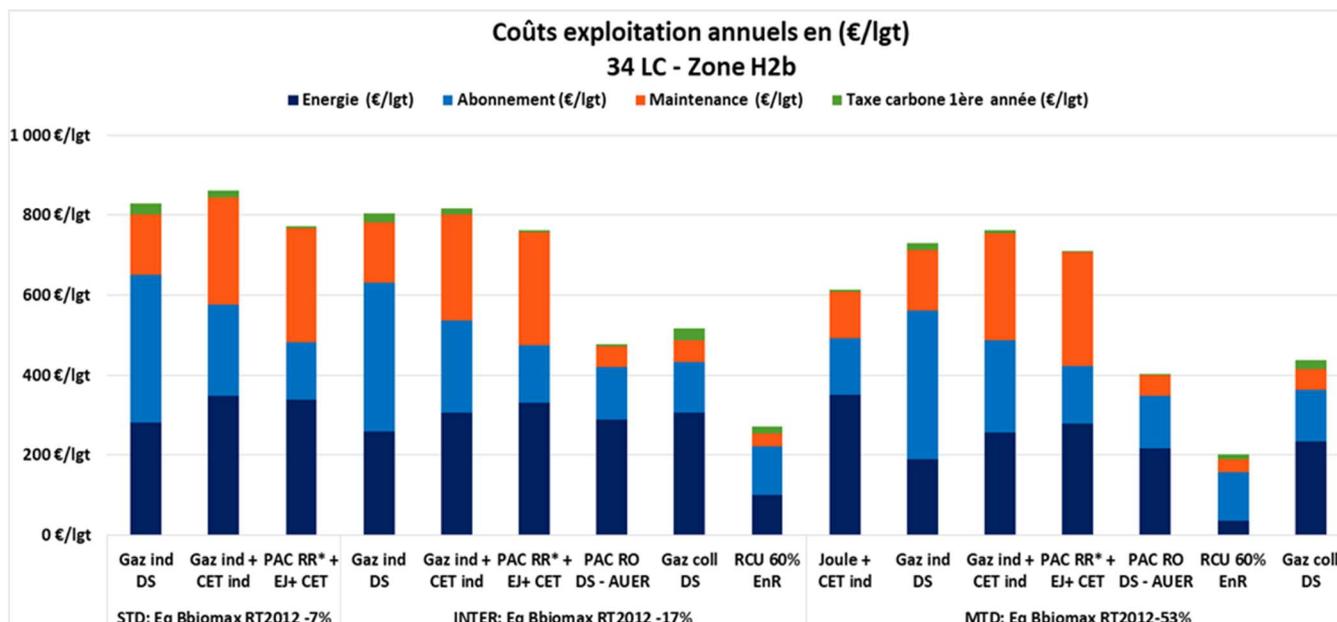
Les tableaux ci-dessous présentent les coûts d'exploitation obtenus pour les différentes configurations. Ces coûts intègrent la facture d'énergie (abonnement et variable), la maintenance et une taxe carbone. Les données et sources utilisées sont résumées en annexe.

Malgré les faibles niveaux de consommation, il existe des différences importantes en termes de coûts d'exploitation notamment liés aux coûts fixes (abonnement, maintenance) et aux différences en termes de consommation d'énergie finale et de prix des énergies. Le coût d'exploitation d'une maison équipé de PAC est environ 25 % moins cher que celui d'une maison équipé d'une chaudière individuelle gaz et dotée d'une même enveloppe. Cette différence est de 35 % en logement collectif où du fait de plus petites surfaces, les coûts fixes liés à la chaudière individuelle gaz (double abonnement notamment) sont encore plus impactant.

De manière générale en logement collectif, les solutions bas-carbone (bois, électricité et RCU) ont des factures plus faibles que la chaudière individuelle gaz, solution de référence aujourd'hui avec 55 % des logements collectifs neufs.



Maison – ordre de grandeur de factures en zone H2b (périmètre 5 usages RT)



Logement collectif – ordre de grandeur de factures en zone H2b (périmètre 5 usages RT)

ANALYSE DES SURCOÛTS DE CONSTRUCTION.

Les tableaux ci-dessous présentent les surcoûts de construction obtenus pour les différentes configurations. Ces coûts intègrent les postes « éléments de construction liés à l'isolation » + systèmes énergétiques. Les hypothèses sont résumées en annexe.

En maison, les solutions bas-carbone (PAC + bois) représentent déjà 75 % du marché. Pour ces solutions, le renforcement du BBIO au niveau « INTER » implique un surcoût de l'ordre de 3000 € par rapport au niveau STD de la RT2012. Les solutions fossiles ne sont autorisées qu'associées à une ENR, la chaudière gaz + CET représente aujourd'hui une part prépondérante du marché gaz (~60% de chaudière gaz + CET). Un surcoût de l'ordre de 2000 € est nécessaire pour passer à un assemblage 100 % thermodynamique ou au bois.

Maison – ordre de grandeur de surcoûts de construction

€/logement	BBIO – STD 95 points	BBIO INTER 78 points	BBIO – MTD 63 points
Chaudière gaz DS	- 2886	365	7446
Chaudière + CET	-2016	215	8296
PAC air/air + CET	1605	4836	11917
PAC double service	Solution de référence	3 231	10 312
Bois + CET	-2756	475	7556

En logement collectif, la solution « chaudière gaz individuelle » est grandement majoritaire. Le passage à un BBIO intermédiaire coûte de l'ordre de 1000 €/logt contre 2500 €/logt pour une enveloppe MTD. A BBIO donné, le passage à un assemblage bas carbone présente un surcoût très faible dans le cas d'un RCU et un surcoût de l'ordre de 1000 à 1500 € par logement dans le cas des PAC.

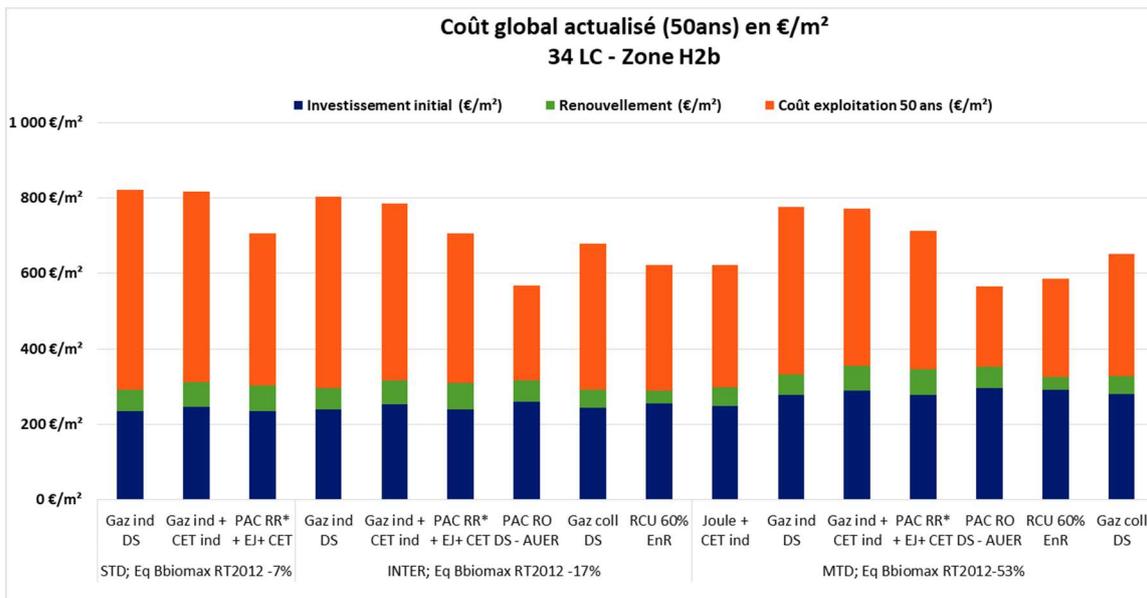
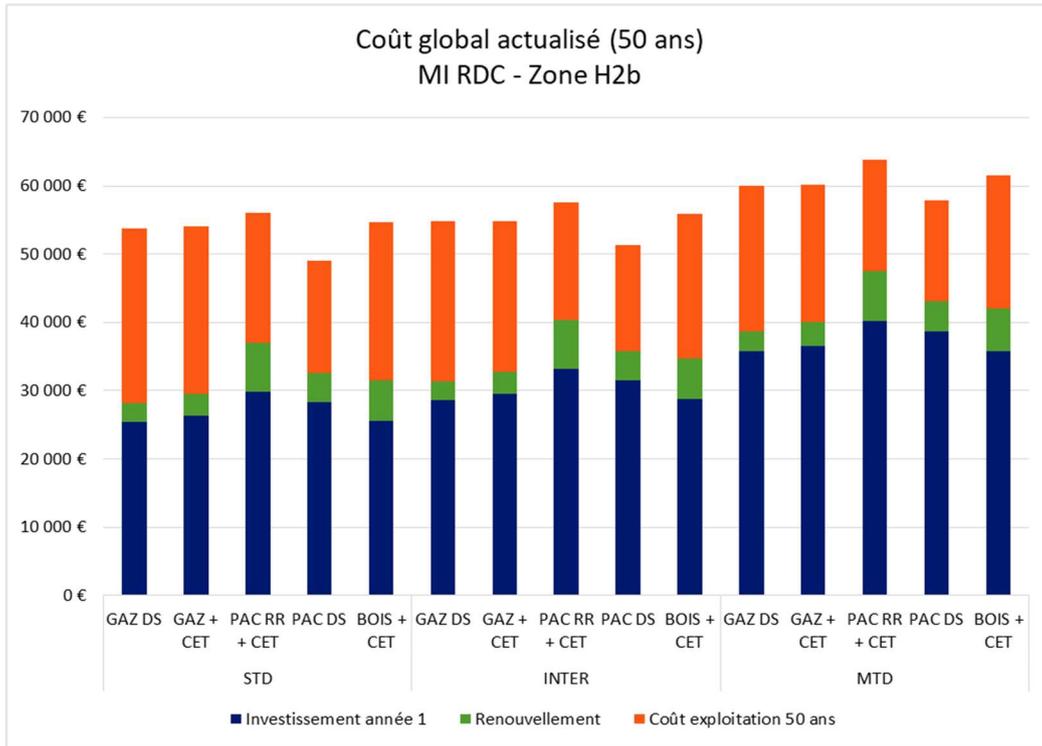
Ces solutions bas-carbone (RCU et PAC) ne représentent que 30 % du marché. Certains promoteurs construisent d'ores et déjà avec des énergies très bas carbone démontrant ainsi leur compétitivité dans certaines configurations. Toutefois, les PAC restent des solutions peu matures en LC. Des effets d'apprentissage sont attendus si un signal réglementaire de développement est donné.

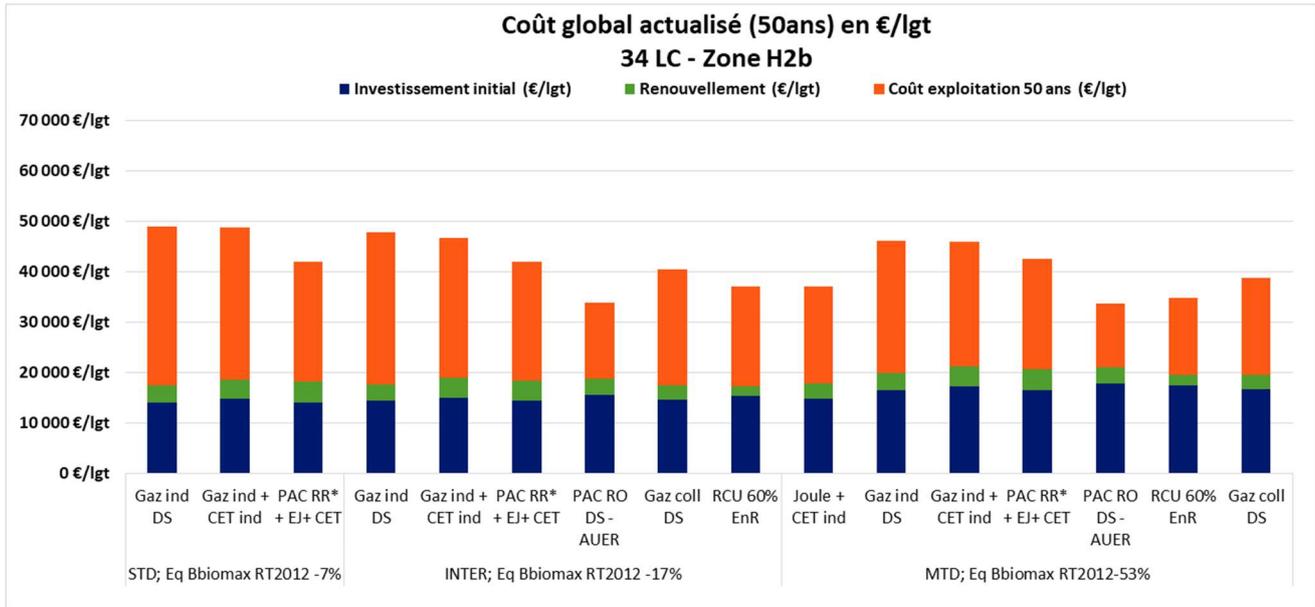
34 LC - ordre de grandeur de surcoûts de construction

Surcoût logement	par	BBIO – STD 86.6 points	BBIO INTER 79 points	BBIO – MTD 58.6 points
Chaudière DS	gaz	Solution de référence	+290 €/log	+2498 €/log
Chaudière + CET		+ 725 €/log	+ 1015 €/log	+ 3223 €/log
Joule + CET		-	-	+803 €/log
PAC air/air +EJ + CET		+17 €/log	+307 €/log	+2515 €/log
PAC DS		-	+1488 €/log	+3696 €/log
RCU (60% EnR)		-	+1213 €/log	+3421 €/log
Gaz collective DS		-	+508 €/log	+2717 €/log

ANALYSE DES COÛTS GLOBAUX ACTUALISES

Le coût global est calculé sur 50 ans, en intégrant l'externalité carbone. Le détail des données utilisées est donné en annexe.





ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DE DIFFERENTS ASSEMBLAGES ENERGETIQUES EN ENSEIGNEMENT.

Ces résultats sont issus de l'étude Enseignement Tribu passée au moteur Maestro RE2020 par EDF R&D R&D (zone climatique H2b uniquement) complétés des résultats GTM et Consortium le cas échéant.

Pour les études EDF, l'analyse porte sur 2 niveaux de Bbio et sur les assemblages ci-dessous :

PAC air/air + PV (6,4m²) ;

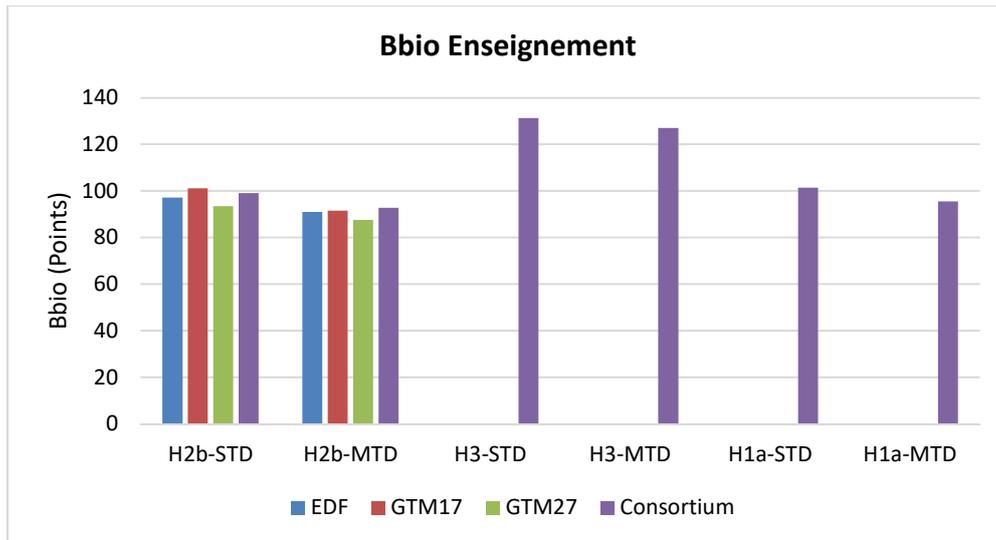
PAC air/eau ; Effet joule + PV (672 m²) ; RCU ;

Chaudière gaz condensation.

Ordres de grandeur de BBIO :

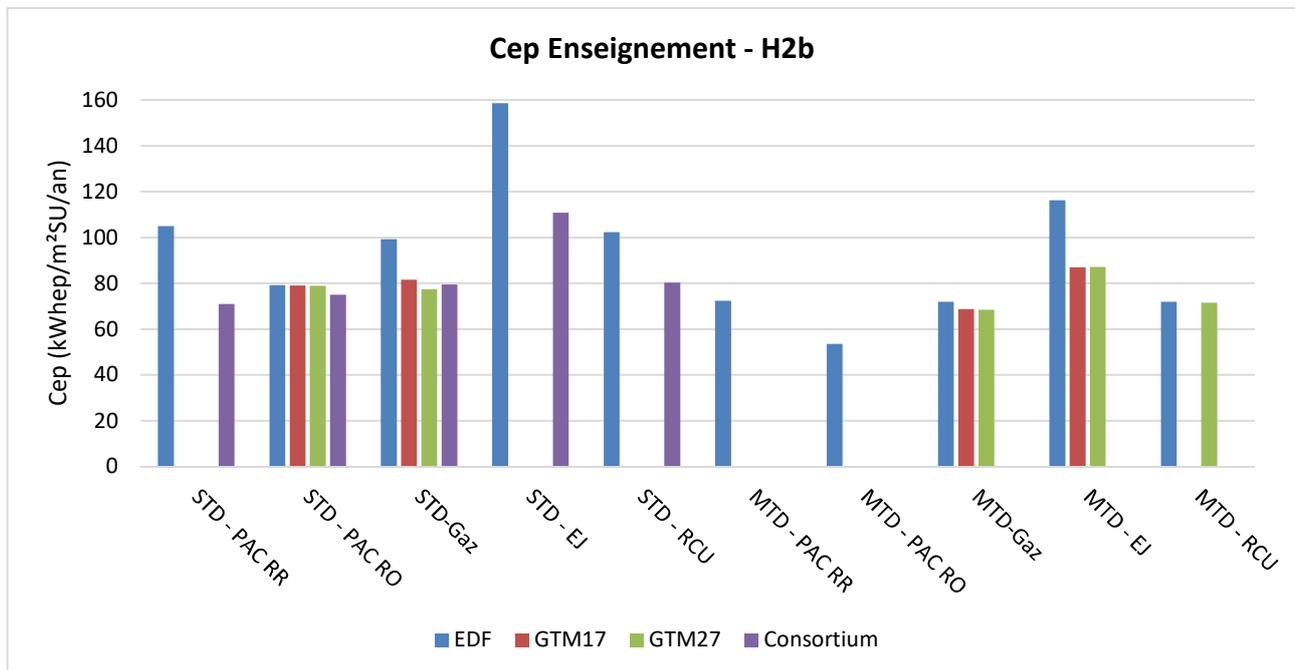
Le BBIO semble s'établir aux alentours de 100 points. Pour comparaison, le Bbiomax RT2012 en H2b est de 75 points.

Les efforts sur le bâti ont peu d'impact sur le BBIO puisque les simulations avec des hypothèses type « Excellent » n'amène le BBIO qu'à environ 90 points. Ces efforts se traduisent par une baisse des besoins de chauffage mais le poids important de l'éclairage et du froid dans le BBIO ainsi que la compensation entre usages limitent l'impact de l'amélioration bâti sur le BBIO.



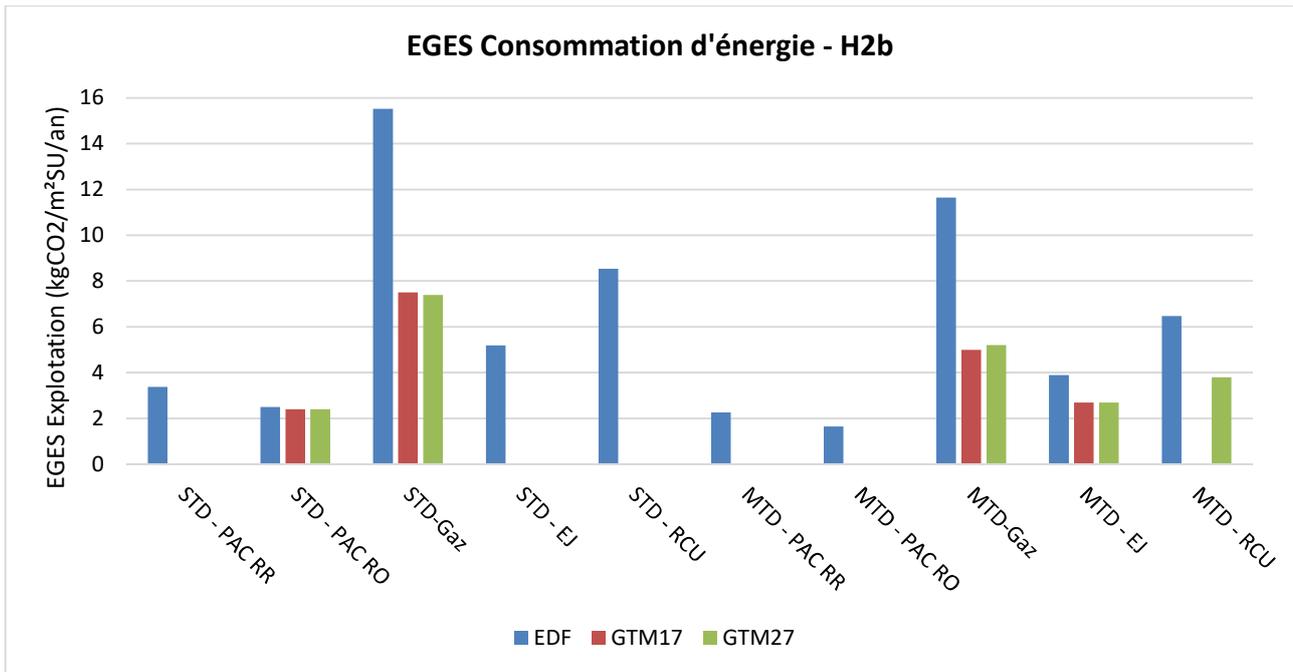
Ordres de grandeur de Cep en zone H2b :

En bâti Standard, le Cep en zone H2b semble s'établir aux alentours de 80 kWhep/m². Pour cette valeur, le système de chauffage effet Joule est disqualifié. Pour mémoire le Cepmax RT2012 en H2b Enseignement est de 100 kWhep/m²SRT. A noter qu'une variabilité importante peut exister selon les cas d'études réalisés.



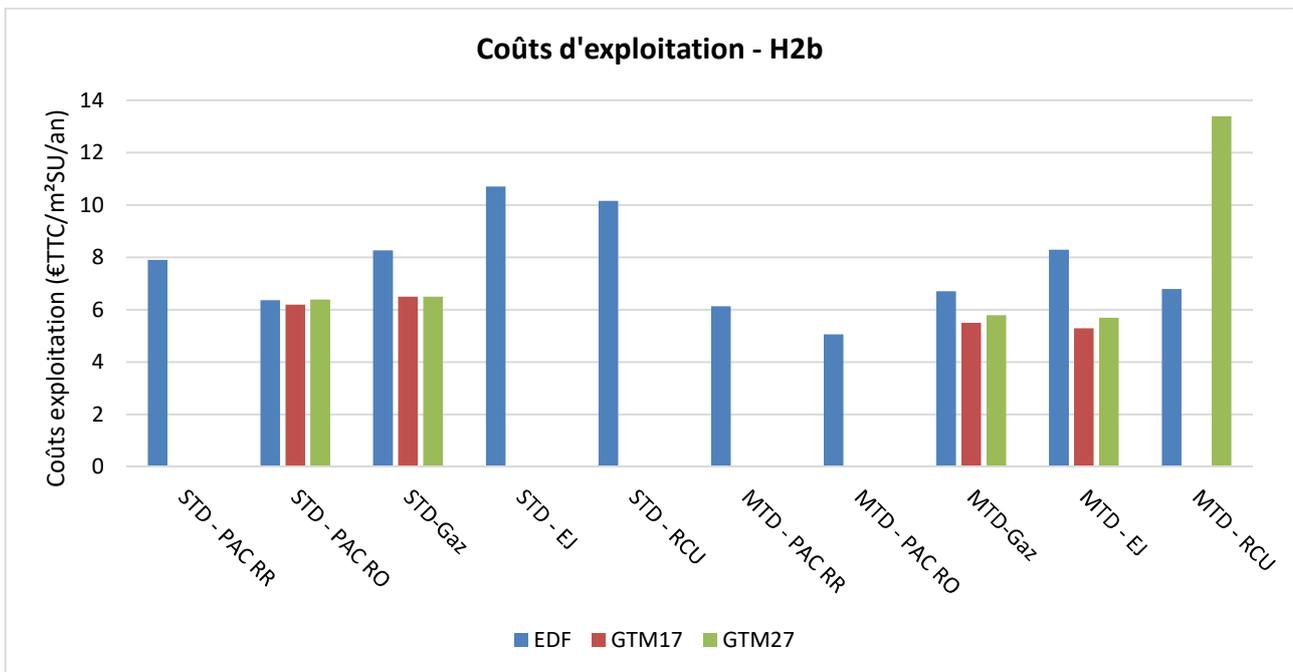
Ordres de grandeur de CO2 exploitation en zone H2b (périmètre 5 usages RT) :

En bâti Standard, l'EGES exploitation en zone H2b semble s'établir aux alentours de 4 kgCO₂/m²SU/an pour les solutions bas-carbone. Pour les RCU, en cours de verdissement, un traitement particulier est à envisager.



Ordres de grandeur des coûts d'exploitation en zone H2b (périmètre 5 usages RT)

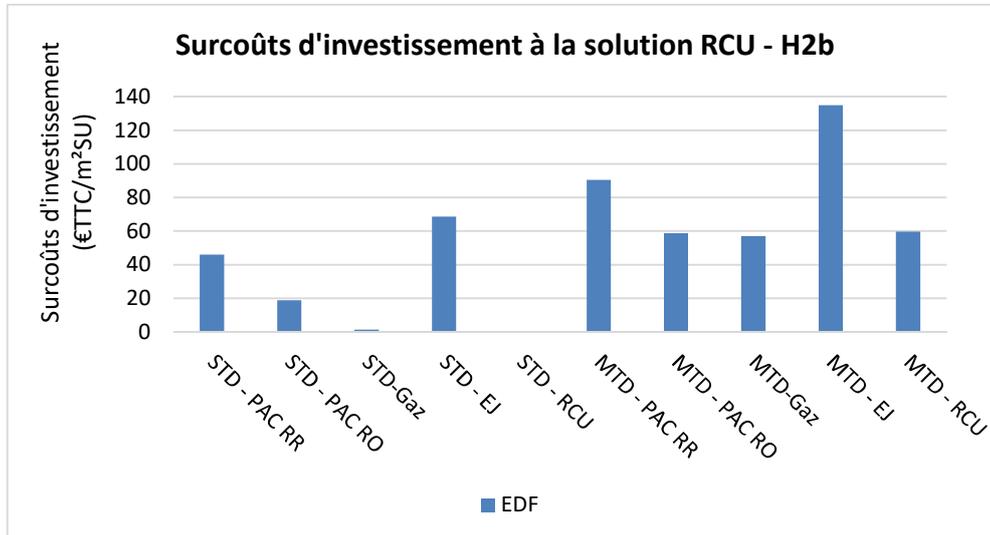
Les analyses suivantes présentent les factures intégrant les postes énergétiques (abonnement + variable) et maintenance (cf. § hypothèses économiques)¹. Les coûts d'exploitation semblent assez peu sensibles aux renforcements de bâti. La PAC RO et le gaz présentent des coûts d'exploitation équivalents. L'effet Joule semble pouvoir accéder à des coûts d'exploitation proches de ceux du gaz pour le bâti MTD.



¹ Source des coûts des énergies : Pegase pour gaz et électricité et AMORCE RCE29 pour RCU.

Enseignement – ordre de grandeur de surcoûts de construction en zone H2b (en €TTC/m²SU)

Les analyses suivantes portent sur le poste enveloppe + systèmes énergétiques (source des coûts travaux issu d'un BET)). La solution de référence est le RCU en STD. La chaudière gaz est considérée quasiment sans surcoût vis-à-vis de la solution de référence. La PAC RO présente un surcoût de l'ordre de 20 €TTC/m² à la solution de base à prestation d'enveloppe identique. La solution de chauffage électrique (effet Joule) présente un surcoût important par la présence de PV dans cet assemblage.



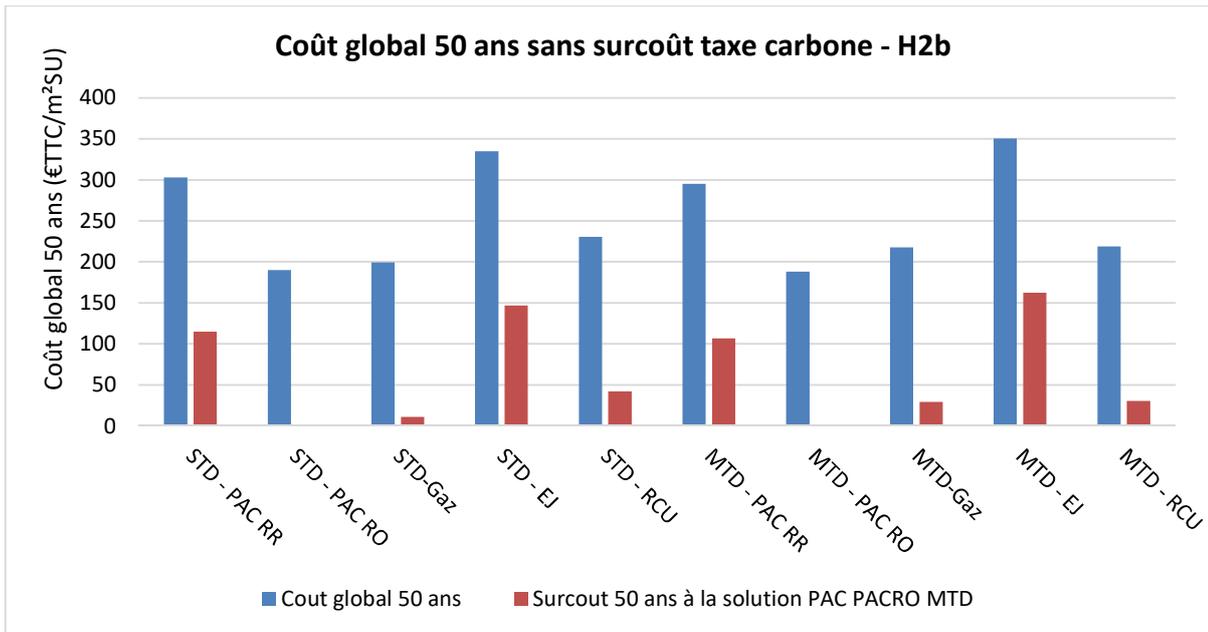
Coût global 50 ans (en €TTC/m²SU)

- **Résultats en coût global sans taxe carbone**

Hypothèses principales :

L'analyse suivante porte sur le coût global 50 ans actualisé à 4,5%, avec maintenance (source BET), sans augmentation des coûts des énergies (source prix énergies : Pegase et AMORCE RCE29), au périmètre 5 usages, sans surcoût taxe carbone, avec remplacement des systèmes à coût identique qu'à la construction (durées de vie des générations selon fiche CEE, durées de vie des émissions selon fiches CEE et durées de vie des distributions à dire d'expert par rapprochement avec les durées de vie des émissions).

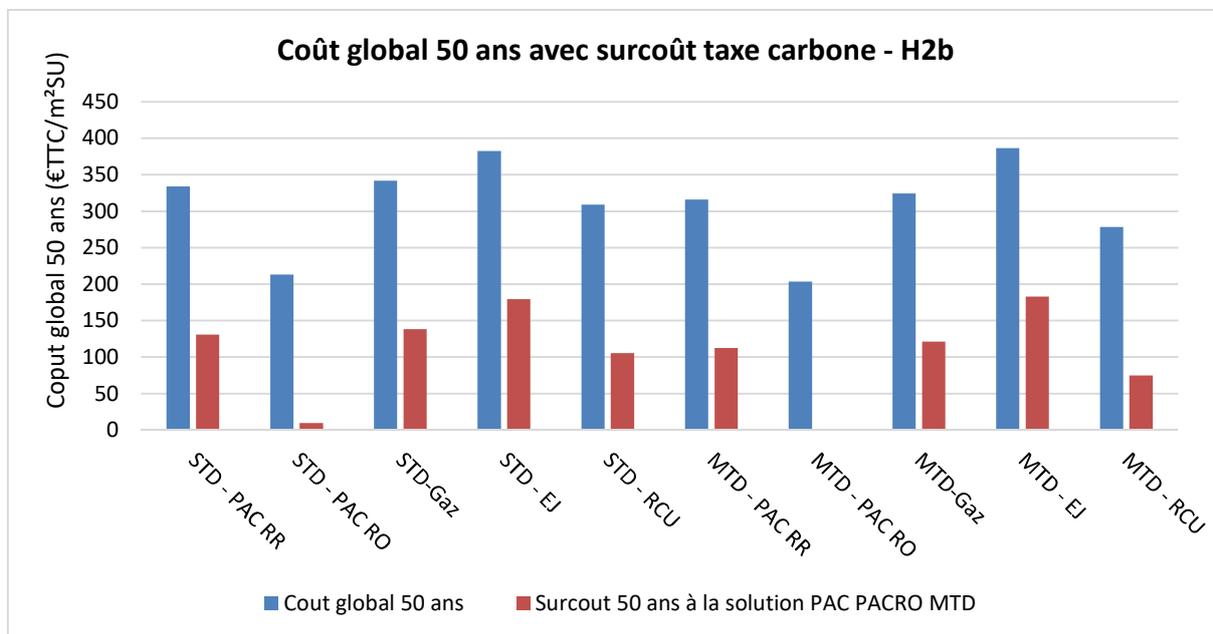
Les coûts d'investissements sont compatibles en surcoût par rapport à la solution de référence (RCU STD).



La solution la plus économiquement avantageuse à 50 ans est celle qui allie une forte exigence sur les besoins (bâti MTD), la consommation en énergie primaire la plus faible (Cep = 54 kWhep/m²SU/an) et les émissions de GES en exploitation les plus faibles (< 2 kgCO2/m²SU/an).

- **Résultats en coût global incluant une taxe carbone**

La même analyse a été faite en incluant un surcoût la taxe carbone conformément aux données gouvernementales (cf. § hypothèse économique) :

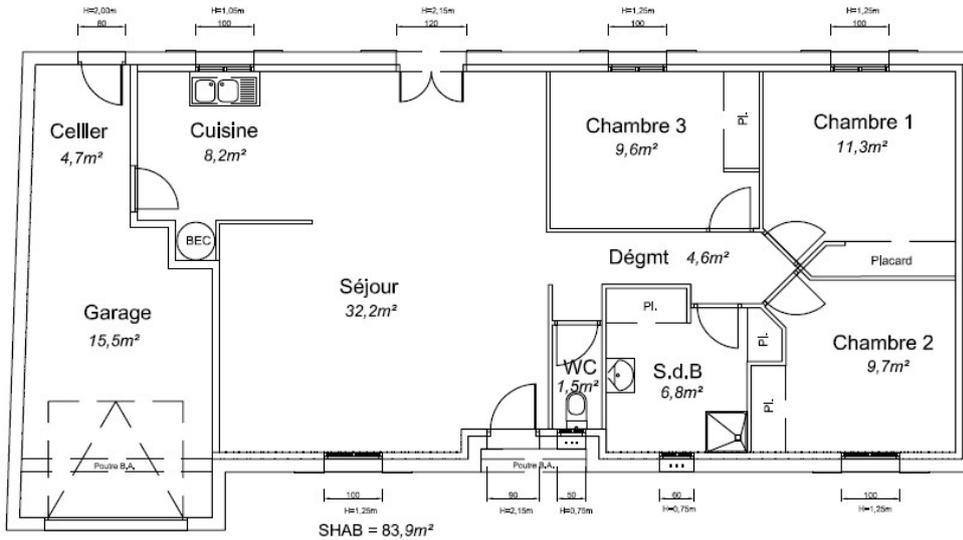


La solution de référence est toujours la PACRO en MTD. La seule solution à surcoût global raisonnable semble être la PAC RO en STD. La prise en compte d'un coût de carbone pénalise fortement les solutions gaz.

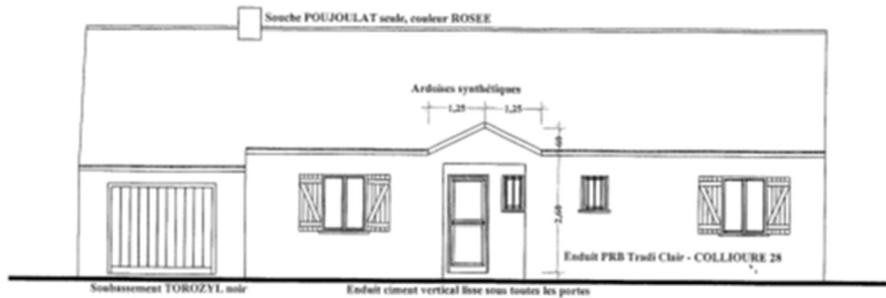
DESCRIPTION BATIMENTS – PRESTATIONS BATI ET SYSTEMS MODELISES

MAISON INDIVIDUELLE EN REZ DE CHAUSSEE AVEC COMBLES PERDUS

Plans de la maison :



Caractéristiques de la maison individuelle :



FACADE NORD

Descriptif	Maison de plain pied
	T4 / 1SDB / 1WC
	Plancher sur vide sanitaire
	Combles perdus
SHAB (m²)	83.6
SHON (m²)	100
SHON_{RT} (m²)	105
S_{vitrée} (m²)	14.2 (17% SHAB)

Prestations Bâties étudiées

	BBIO – STD 95 points	BBIO INTER 78 points	BBIO – MTD 63 points
Murs extérieurs	Parpaing + TH32 100+10 R=3,15	Brique BGV Costo R=1 + Th30 100+10 R=3.40	Brique BGV Thermo + R=1.49 + Th30 140+10 R=4.75
Plancher Bas	sur Terre Plein R=3,7 sous chape		Vide Sanitaire Up19 + R=3.70 sous chape (8cm TMS MF SI)
Plancher Haut	30cm Laine de Roche R=7,5	40cm Laine de Roche R=10	
Menuiseries	PVC 4/16/4 peu émissif argon Uw = 1,4	PVC 4/16/4 peu émissif argon Uw = 1,3 ; Ujn=1,14	
Protections extérieures	Volets pleins $\Delta R=0,19$	VR $\Delta R=0.25$ demi linteau $Uc=0.58W/m^2.K$ - h=31.4cm	
Gestion protections	Manuelle	Automatique crépusculaire (Chronis de Somfy)	
Perméa	0,6		0,4

Systemes étudiés

PAC Air/Eau double service : ATLANTIC - Alfea Extensa Duo 8

PAC Air/Air Multisplit : FUJITSU - B&B

Poêle à granulé : PF 800 - Jotul

Chaudière Gaz Simple service : SAUNIER DUVAL - Thema Condens F AS 12 TN

Chaudière gaz double service : SAUNIER DUVAL - ThemaPlus Condens F25 TN

Chauffe eau thermodynamique : AUER / EDEL 200 litres

LOGEMENT COLLECTIF

Logement collectif

Descriptif	Bâtiment R+4
	34 appartements
	T2/T3/T4
	Combles perdus
SHAB (m²)	2025,54 m ²
SHON_{RT} (m²)	2446 m ²



Niveaux d'isolation étudiés :

	Bbio - STD 86,6 points BbiomaxRT -7%	BBIO INTER 1 79 points BbiomaxRT -17%	BBIO – MTD 58,6 points BbiomaxRT -53%
Murs extérieurs	ITI_Béton + Th32 100+10 R=3,15	ITI_Béton + Th32 120+10 R=3,75	ITE_Béton + Isofaçade 2x10cm R=6,20
Plancher Bas	PB / SSOL R=2,50 sous dalle (10cm flocage)	PB / SSOL R=2,60 sous chape (5,6cm TMS MF SI)	PB / SSOL R=4,65 sous chape (10cm TMS MF SI) + Flocage R=2,50
Plancher Haut	Dalle béton + 80mm PUR R=3,60	Dalle béton + 120mm PUR R=5,20	Dalle béton + 240mm PUR R=10,4
Menuiseries	PVC 4/16/4 Peu émissif Argon Uw=1.6 - Ujn=1.40		PVC 4/16/4 Peu émissif Argon Uw=1.4 - Ujn=1.20
Protections extérieures	CVR Uc=1,4 ΔR=0.19W/m ² .K		
Gestion protections	Manuelle		Motorisée
Ponts thermiques	Rupteurs (0.34 / 0.20)		ITE (0,07 et balcons désolidarisés)

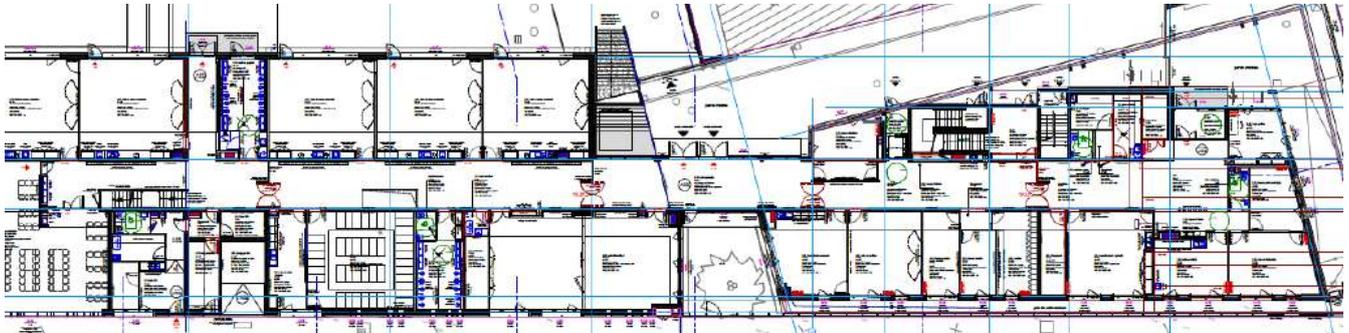
Systemes étudiés

Systemes individuels	Assemblages collectifs
<p>Chaudière gaz individuelle double service (ThemaPlus Condens 25TN de chez SAUNIER)</p> <p>Chaudière gaz chauffage seul (Thema AS Condens 12 de chez SAUNIER) + Chauffe-eau-thermodynamique (AUER Edel 200L)</p> <p>PAC air/air (TOne de chez RIBO – ALDES) + Joule + Chauffe-eau thermodynamique (AUER Edel 200L)</p> <p>Joule + Chauffe-eau thermodynamique (AUER Edel 200L)</p>	<p>Réseau de chaleur urbain (60% EnR)</p> <p>Pompe à chaleur air/eau collective double service (AUER, ZéPAC HRC70)</p> <p>Chaudière gaz collective double service (PRO MCA 90 de chez DE DIETRICH)</p>

BATIMENT TERTIAIRE ENSEIGNEMENT

Caractéristiques générales :

Zones	Enseignement pur
SU (m²)	2 828 m ²
SHON_{RT} (m²)	3 110 m ²



Niveaux d'isolation étudiés – Bâti Standard – Bbio = 97 points :

Dénomination paroi	Proposition de prestation thermique
Murs extérieurs	Béton + isolation par l'intérieur laine de verre 75 mm R=2.35 m ² .K/W Up = 0.382 W/m ² .K
Murs intérieurs	Béton + isolation par l'intérieur laine de verre 75 mm R=2.35 m ² .K/W Up = 0.369 W/m ² .K
Ponts thermiques	Traitement des planchers intermédiaires par rupteurs de ponts thermiques sur 90% du linéaire : Ψmoyen = 0.25 W/ml.K
Baies vitrées	Double vitrage alu 4/16/4 argon Uw = 1.4 W/m ² .K Facteur solaire Sw = 0.48 Taux de transmission lumineuse Tlw = 0.6 Stores intérieurs manuels - ouverture manuelle des baies
Plancher bas sur vide sanitaire	Dalle béton + isolation sous chape polyuréthane 52 mm R=2.4 m ² .K/W Ue = 0.270 W/m ² .K
Toiture terrasse	Dalle béton + isolation polyuréthane 120 mm R=5.45 m ² .K/W Up = 0.176 W/m ² .K
Toiture sous rampants	Isolation laine de verre 200 mm R=5.7 m ² .K/W Up = 0.211 W/m ² .K
Perméabilité à l'air	1.7 m ³ /(h.m ²) (valeur par défaut)

Niveaux d'isolation étudiés – Bâti Excellent – Bbio = 91 points :

Dénomination paroi	Proposition de prestation thermique
Murs extérieurs	Béton + isolation par l'intérieur laine de verre 120 mm $R=3.75 \text{ m}^2.K/W$ $U_p = 0.152 \text{ W/m}^2.K$
Murs intérieurs	Béton + isolation par l'intérieur laine de verre 120 mm $R=3.75 \text{ m}^2.K/W$ $U_p = 0.150 \text{ W/m}^2.K$
Ponts thermiques	Traitement des planchers intermédiaires par rupteurs de ponts thermiques sur 90% du linéaire : $\Psi_{\text{moyen}} = 0.25 \text{ W/ml.K}$
Baies vitrées	Double vitrage alu 4/16/4 argon $U_w = 1.4 \text{ W/m}^2.K$ Facteur solaire $S_w = 0.48$ Taux de transmission lumineuse $T_{lw} = 0.6$
	Stores intérieurs manuels - ouverture manuelle des baies
Plancher bas sur vide sanitaire	Dalle béton + isolation sous chape polyuréthane 52 mm $R=2.4 \text{ m}^2.K/W$ + isolation sous dalle de type Rockfeu 140 mm $R=4.05 \text{ m}^2.K/W$ $U_e = 0.144 \text{ W/m}^2.K$
Toiture terrasse	Dalle béton + isolation polyuréthane 120 mm $R=5.45 \text{ m}^2.K/W$ $U_p = 0.176 \text{ W/m}^2.K$
Toiture sous rampants	Isolation laine de verre 260 mm $R=7.4 \text{ m}^2.K/W$ $U_p = 0.173 \text{ W/m}^2.K$
Perméabilité à l'air	$1 \text{ m}^3/(h.m^2)$ (valeur mesurée)

Systemes étudiés

Les systèmes étudiés sont :

- PAC air/air + PV (6,4m²)
- PAC air/eau
- Effet joule + PV (672 m²)
- RCU
- Chaudière gaz condensation

HYPOTHESES ECONOMIQUES

1.1. COUT INVESTISSEMENT

1.1.1. Maison individuelle

Bâti

Coûts des 3 niveaux de bâti étudiés

	Mur ext (€HT)	Plancher bas (€HT)	Plancher haut (€HT)	Menuiseries (€HT)	Protections extérieures (€HT)	Gestion protections (€HT)	TOTAL
STD (Bbiomax RT12)	6038	8893	1183	3550	0	0	19664
INTER (Bbiomax RT12 -23%)	6508	8893	1571	3672	1050	1200	22894
MTD (Bbiomax RT12 -44%)	7514	14678	1571	3672	1050	1200	29685

Systemes

Coûts des différents systèmes énergétiques étudiés

		Fourni et posé €HT	Durée de vie
Chauffage	Gaz condensation Ch+ECS	2200 €/unité	17
	Gaz condensation Ch seul	1800 €/unité	17
	PAC Air / Air	2000 €/unité	17
	PAC Air/Eau double service	5400 €/unité	17
	Poêle bois à granulés	3000 €/unité	12
	Fiche Composite	1900 €/unité	17
Emission	Radiateurs MT	33 €/m ²	35
	Radiateurs BT	33 €/m ²	35
	PCBT	29 €/m ²	50
	Panneaux rayonnants	22 €/m ²	16
	Multi-Split	1508 €/unité	17
	Poêle bois à granulés + Panneaux rayonnants	22 €/m ²	16
ECS	CET Odyssee	1880 €/unité	17
	CET Auer	1250 €/unité	17
	Solaire Thermique	3550 €/unité	20
VMC	Hygro B - étanchéité par défaut	800 €/unité	17
	Hygro B - étanchéité classe A	1090 €/unité	17

1.1.2. Coûts d'investissement Logement collectif

Bâti

	Mur ext (€ HT)	Plancher bas (€ HT)	Traitement L9 (€ HT)	Plancher haut (€HT)	Menuiseries (€HT)	Protections extérieures (€HT)	Gestion protections (€HT)
Bbio - STD 86,6 points BbiomaxRT -7%	94526	23018	40932	6755	91082	28310	0
Bbio INTER 79 points BbiomaxRT -17%	95434	30533	40932	8188	91082	28310	0
Bbio MTD 58.6 points BbiomaxRT -53%	127246	45565	40455	12282	97828	28310	17880

Systemes

Coûts des différents systèmes énergétiques étudiés (incluant génération, distribution individuelle et collective et coût de raccordement)

		Fourni et posé €HT	Durée de vie
Chauffage	Gaz condensation Ch+ECS	3645 €/lgt	17
	Gaz condensation Ch seul	2470 €/lgt	17
	Gaz collectif Ch+ECS	131 350 €	22
	PAC Air / Air	3400 €/lgt	17
	Fiche Composite	2200 €/lgt	17
	PAC Air/Eau double service	159 553 €	22
	RCU	155 300 €	30
Emission	Radiateurs MT	1200 €/lgt	35
	Radiateurs BT	1350 €/lgt	35
	Panneaux rayonnants	1250 €/lgt	16
	Mono split	762 €/lgt	16
	CET Auer	1900 €/lgt	17
VMC	Hygro B - étanchéité par défaut	800 €/lgt	17
	Hygro B - étanchéité classe A	1090 €/lgt	17

1.1.3. Cout d'investissement ENSEIGNEMENT

Bâti

Niveau Bâti	Surcoûts investissement						Total Bâti (IHT)
	Mur ext (IHT)	Plancher bas (IHT)	Traitement L9 (IHT)	Plancher haut (IHT)	Menuiseries (IHT)	Perméabilité à l'air (IHT)	
Base	48594	191700	5500	106900	229760	0	582454
MTD	56320	256277	6225	108856	229760	4000	661438

Systemes

Coûts des différents systèmes énergétiques étudiés

Nom de la variante	Niveau Bâti	Surcoûts investissement						Total Systèmes (€HT)
		Génération (€HT)	Distribution (€HT)	Emetteurs (€HT)	Ventilation (€HT)	Eclairage (HT)	PV (€HT)	
Base_h2b_PAC_air_air	Base	94215	119860	164551	60000	169000	4480	612105
Base_h2b_PAC_air_eau FDES	Base	124464	163683	18201	60000	169000	0	535349
Base_h2b_effet_joule	Base	0	58405	19082	60000	169000	369600	676087
Base_h2b_RCU	Base	63210	169721	20288	60000	169000	0	482218
Base_h2b_CH_gaz_condensation	Base	67320	169721	20288	60000	169000	0	486328
MTD_h2b_PAC_air_air	MTD	47107	112809	154871	162800	183000	3520	664108
MTD_h2b_PAC_air_eau	MTD	57445	154055	17131	162800	183000	0	574430
MTD_h2b_PAC_air_eau_reversible	MTD	54397	157873	152851	162800	183000	0	710921
MTD_h2b_effet_joule	MTD	0	58405	16356	162800	183000	369600	790161
MTD_h2b_RCU	MTD	54180	159737	17727	162800	183000	0	577444
MTD_h2b_CH_gaz_condensation	MTD	46200	159737	17727	162800	183000	0	569464

1.2. COUTS D'EXPLOITATION

1.2.1. Maintenance

- **Maison individuelle**

Coûts de maintenance annuelle des systèmes installés – Source Contrat d'entretiens CHAM

Maintenance	€ TTC/an
Chaudière gaz	151
PAC DS	243
PAC RR	168
Poele	230
CET	116
ECS Solaire	116

- **Logement collectif**

Coûts de maintenance annuelle des systèmes installés – Source Contrat d'entretiens CHAM et sources BET

Maintenance	€ TTC/an
Chaudière gaz individuelle	151
PAC RR individuelle	168
PAC DS collective	1800
Chaudière gaz collective	1800
Réseau de chaleur	1100
CET individuel	116

- **Enseignement**

Coûts de maintenance annuelle des systèmes installés (périmètre chauffage, ECS, ventilation, éclairage et PV) – Source BET

Maintenance	€ TTC/an
Assemblage PAC RR -STD	4000
Assemblage PAC RO -STD	4500
Assemblage EJ - STD	1000
Assemblage Réseau de chaleur -STD	3500
Assemblage gaz à condensation -STD	4500
Assemblage PAC RR -MTD	5000
Assemblage PAC RO -MTD	5500
Assemblage EJ - MTD	2000
Assemblage Réseau de chaleur -MTD	4500
Assemblage gaz à condensation -MTD	5500

1.2.2. Prix des énergies

Prix des énergies pour le résidentiel

- Répartition Heures Creuses / Heures Pleines en résidentiel

Part des consos HC			
	Zone H1	Zone H2	Zone H3
Chauffage	0,39	0,41	0,47
Eau chaude sanitaire	0,95	0,95	0,95
Auxiliaires	0,33	0,33	0,33
Autres usages	0,23	0,23	0,23

- Consommation d'électricité

Tarif réglementé de vente de l'électricité au 1^{er} juillet 2020 pour les bâtiments résidentiels

Option Heures Creuses (TTC)			
Puissance souscrite (kVA)	Abonnement mensuel	Prix du kWh (€ TTC/kWh)	
		Heures Pleines	Heures Creuses
6	11,1		
9	13,62		
12	16		
15	18,23		
18	20,3	0,1781	0,1337
24	24,97		
30	27,32		
36	31		

Option Base (TTC)		
Puissance souscrite (kVA)	Abonnement mensuel	Prix du kWh (cts €TTC/kWh)
3	8,26	
6	10,1	
9	11,97	0,1546
12	13,85	
15	15,62	

- Consommations de gaz

Tarif réglementé de vente du gaz au 1^{er} juillet 2020

Tarif	Abonnement annuel (€ TTC)	Prix du kWh (€ TTC/kWh)
Base	108,04	0,0687
B0	108,04	0,0687
B1 ou B2I	Niveau 1 (H2b - Nantes)	0,0451
	Niveau 2 (H1a - Paris)	0,0458
	Niveau 3 (H3 - Nice)	0,0465

Coûts du bois

	Coût €TTC/kWh
Bois granulés	0,05953

Prix des énergies pour le bâtiment enseignement

Prix de l'électricité

Source : Pegase – Prix et tarifs industriel – Electricité – Décembre 2019 – Tranche IB : 127,134 €horsTVA/MWh

Prix du gaz

Source : Pegase – Prix et tarifs industriel – Gaz – Décembre 2019 – Tranche I1 : 56,343 €horsTVA/MWhPCS

Prix du RCU

Source : AMORCE – Valeur moyenne constaté selon document RCE29 page 11:

- Fourniture : 40,8 €horsTVA/MWh
- Abonnement : 35,3 €horsTVA/kW

1.3. TAXE CARBONE

La valeur de la taxe carbone prise en compte dans l'étude est conforme aux données gouvernementales ci-dessous :

La proposition de valeur de l'action pour le climat

- 2018 : 54 €₂₀₁₈/tCO_{2e}
- 2020 : 87 €₂₀₁₈/tCO_{2e}
- 2030 : 250 €₂₀₁₈/tCO_{2e}
- 2040 : 500 €₂₀₁₈/tCO_{2e}
- 2050 : 775 €₂₀₁₈/tCO_{2e}

Source : commission sur la valeur de l'action pour le climat

Ce rapport est téléchargeable ici : <https://www.strategie.gouv.fr/publications/de-laction-climat>

A partir de 2050, un taux de croissance annuel de 4.5% est appliqué.

Il est supposé que le gaz reste d'origine fossile dans le calcul mais la prise en compte d'une trajectoire d'incorporation du biogaz aboutit aux mêmes ordres de grandeur de coûts (i.e. coût de production du biogaz² ~ coût de production du gaz + externalité carbone).

1.4. ACTUALISATION DES COUTS

Une durée d'actualisation de 50 ans a été prise, avec un taux d'actualisation à 4.5%.

² <https://atee.fr/system/files/2020-02/Rapport%20100%25%20GazVert%20Nouvelle-Aquitaine.pdf>.