

FORMATION BATIMENT DURABLE

POMPE À CHALEUR : CHOIX ET CONCEPTION

AUTOMNE 2024

Pompe à chaleur

Retour d'expérience d'un bureau d'étude

Stéphane BARBIER



- ▶ Le passé, présent et futur des pompes à chaleur en rénovation au travers de quatre projets :
 - Plaine 11
 - ULB F1
 - Vignette
 - ARTS 56



PROJETS PRÉSENTÉS

- ▶ **Plaine 11** : La bivalence
- ▶ ULB : L'ECS Centralisée avec PAC CO2
- ▶ Vignette : La rénovation d'une maison bruxelloise typique
- ▶ ARTS 56 : La décarbonation progressive et complète d'un immeuble des années '70



Projet : Plaine 11

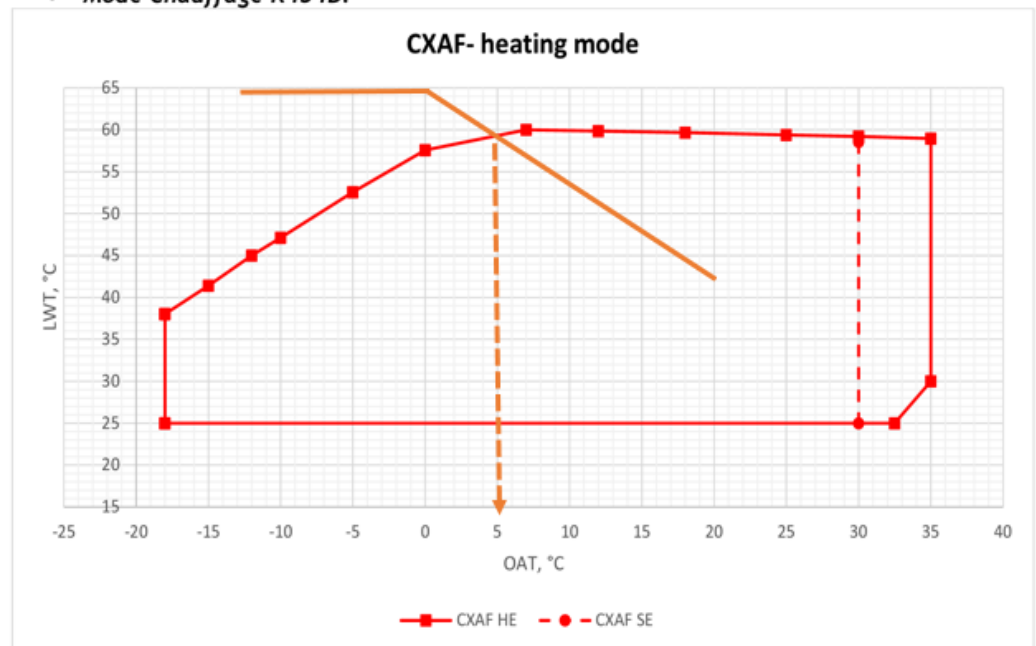
- ▶ Affectation : Bureaux
- ▶ Superficie : 9.177 m²
- ▶ Construction : Années '90
- ▶ Dates Clefs du projet
 - Conception : 2015
 - Chantier : 2018
- ▶ Techniques rénovées
 - Pompes à chaleur '4 Tubes' 600 kW
 - Chaudière à condensation
 - Nouvelle régulation
 - Nouveaux Ventilo-Convecteurs



La Bivalence des pompes à chaleur

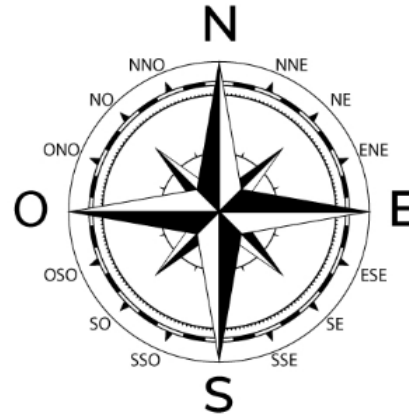
- Point de Bivalence
 - Rentabilité économique : 7°C
 - Temp. Max : 52°C vs Courbe de chauffe du bâtiment : 5°C
- Chaudières nécessaires

• *Mode Chauffage R454B.*

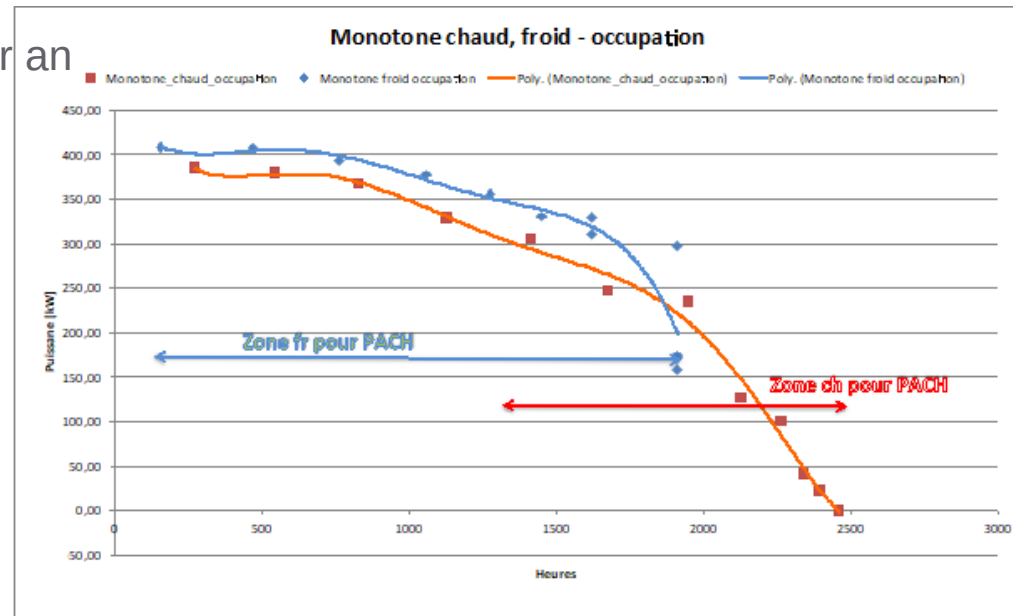


Les PAC "4 Tubes" : Besoins simultanés

- ▶ Besoins de Froid
 - IT
 - Façade Vitrée
 - Orientation Est-Ouest
- ▶ Besoins de Chaud
 - Orientation Nord
 - Façades peu performantes



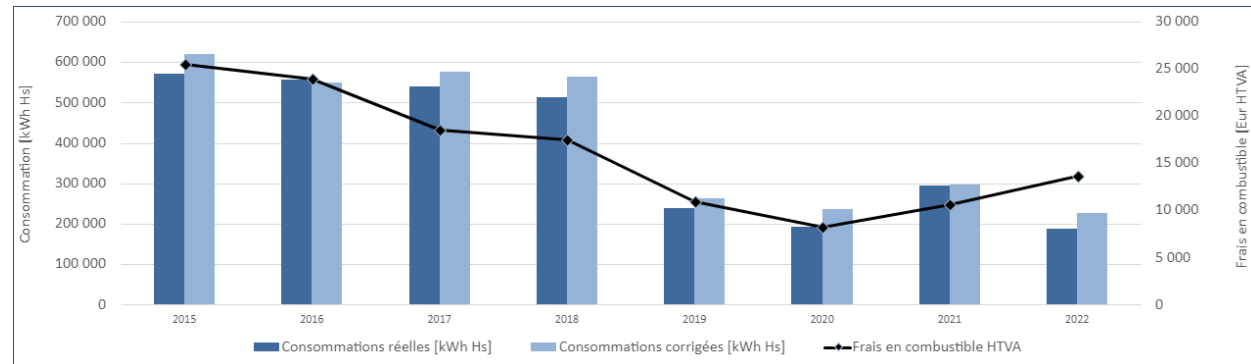
- ▶ 500 Heures de simultanéité par an



Plaine 11 : Résultats

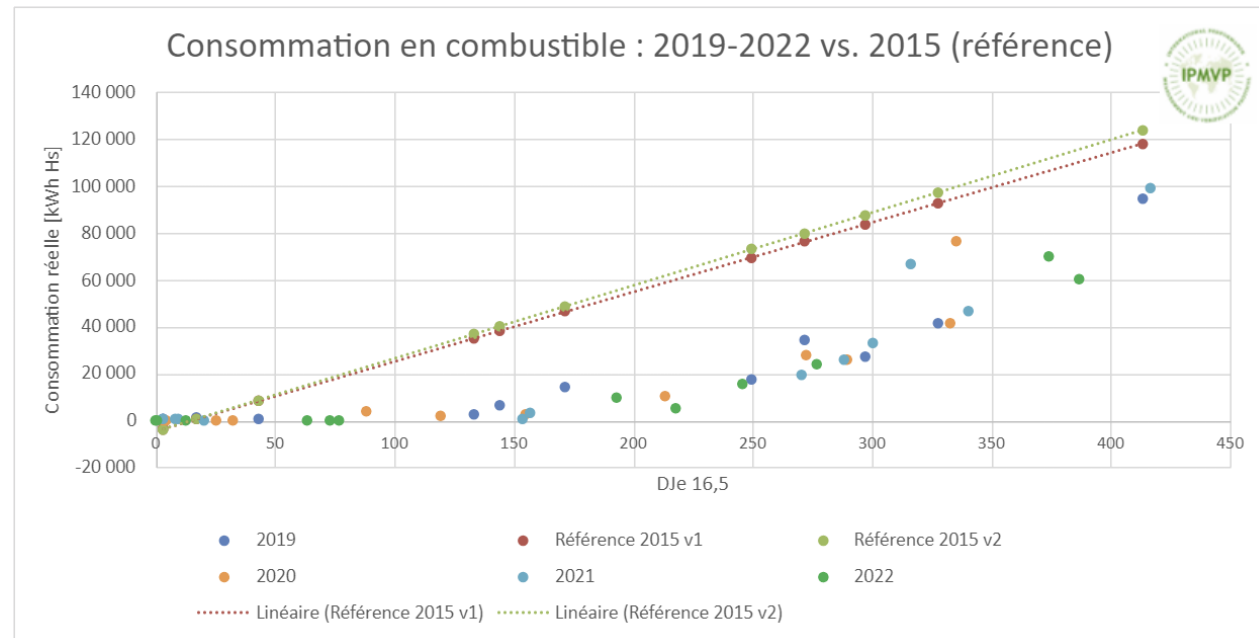
► Combustible

- 2015 : 67,68 kWh/m²
- 2022 : 24,62 kWh/m²



Economie :

-60%



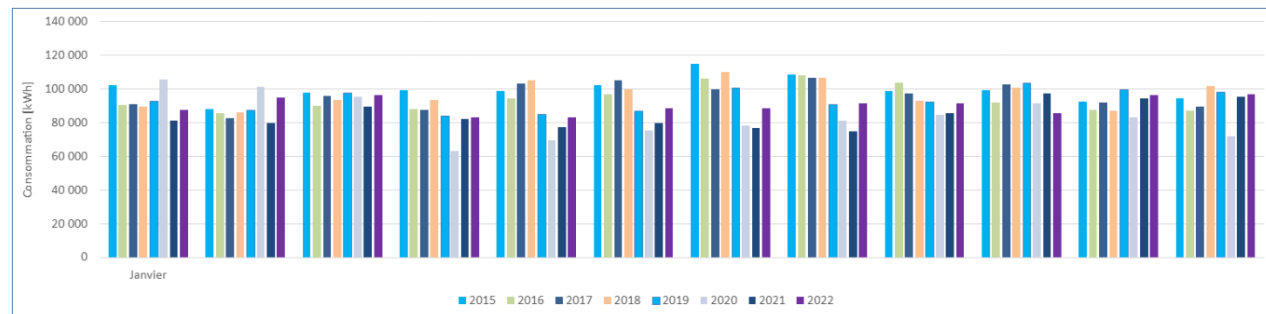
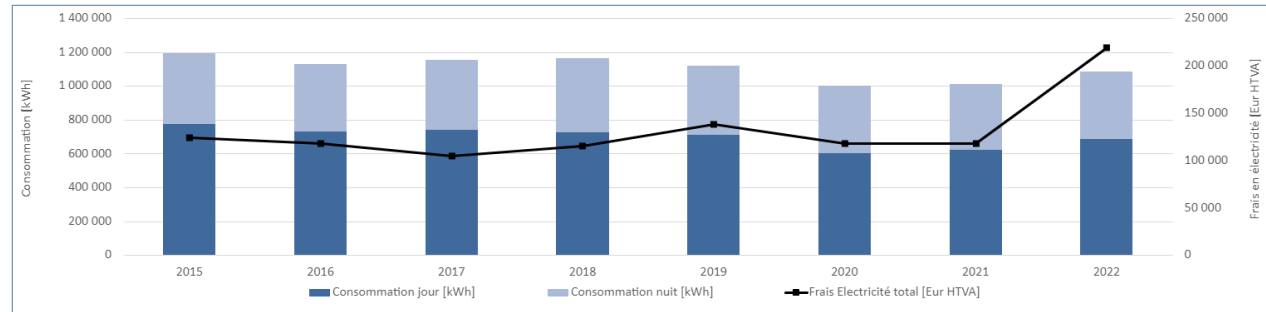
Plaine 11 : Résultats

► Electricité

- 2016 : 130 kWh/m²
- 2022 : 119 kWh/m²

Economie :

-10%



Plaine 11 : Résultats

► Energie finale

- 2016 : 68 kWh (gaz) + 130 kWh (élec) = 198 kWh/m²
- 2022 : 24 kWh (gaz) + 119 kWh (élec) = 143 kWh/m²

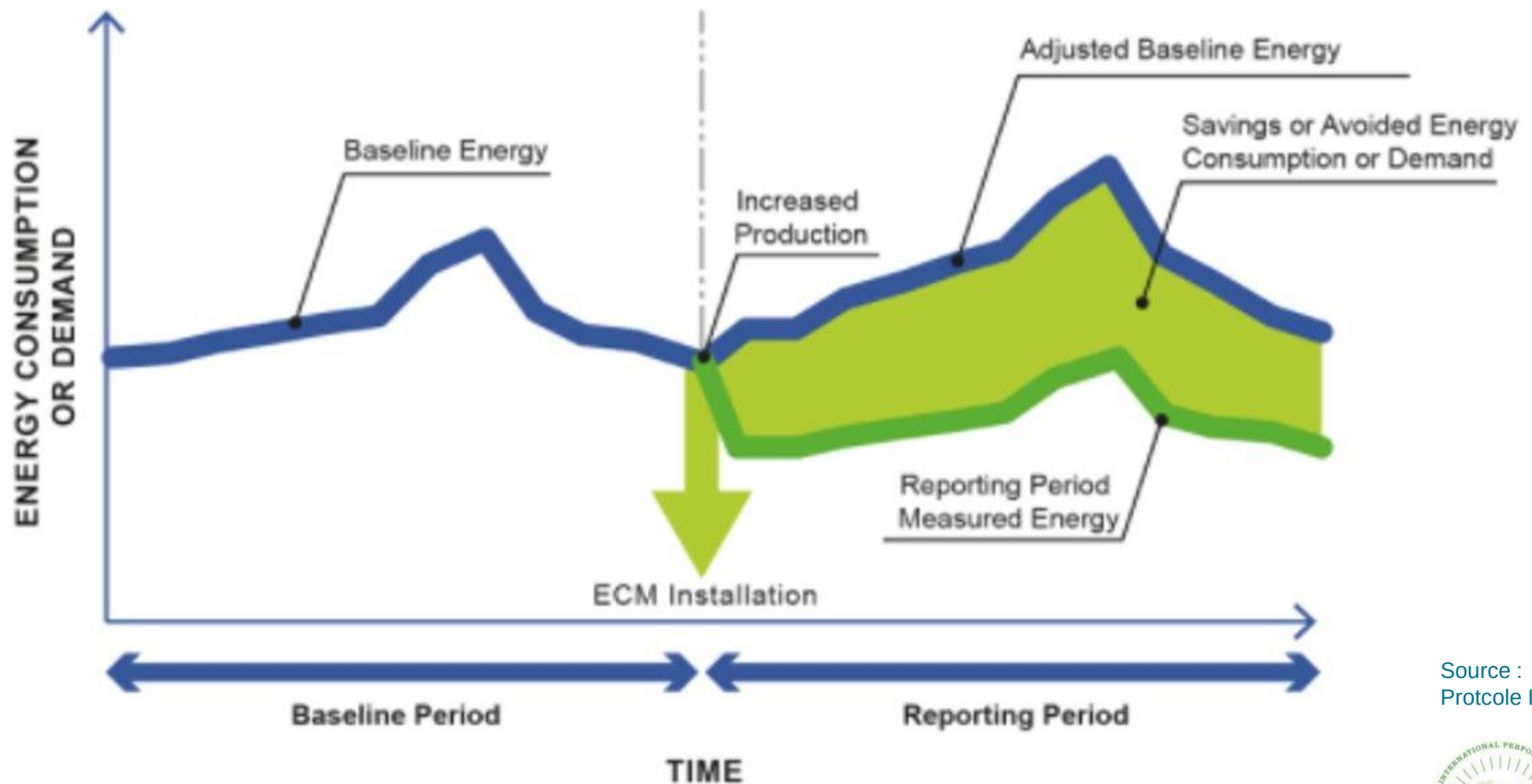
Economie :

-27,7% (énergie finale)

-19% (CO2)



Le Protocole IPMV



Source :
Protocole IPMVP



PROJETS PRÉSENTÉS

- ▶ Plaine 11 : La bivalence
- ▶ **ULB : L'ECS Centralisée avec PAC CO2**
- ▶ Vignette : La rénovation d'une maison bruxelloise typique
- ▶ ARTS 56 : La décarbonation progressive et complète d'un immeuble des années '70



Projet : ULB F1

- ▶ Affectation : Mixte & Logements
 - 175 Chambres d'étudiants
- ▶ Techniques renovées
 - Suppression des chaudières Mazout
 - Hydraulique Réseau de Chaleur
 - PAC CO2 pour l' ECS
 - Nouvelle régulation



IVa. Dimensionnement suivant Norme AFNOR

Suivant Norme Française (non valable en Belgique). Fonction du nombre d'appartements

Nombre d'appartements :

176

	A	B	litres	eq. l/h	eq. l/s	Débit	Pinst
10min	61	0,503	822	4.931 l/h	1,37 l/s	4,93 m³/h	275 kW
1h	83	0,708	3.228	3.228 l/h	0,90 l/s	3,23 m³/h	180 kW
2h	108	0,773	5.878	2.939 l/h	0,82 l/s	2,94 m³/h	164 kW
3h	116	0,815	7.844	2.615 l/h	0,73 l/s	2,61 m³/h	146 kW

Dimensionnement PAC ECS

- Dimensionnement Production Instantanée
 - Besoin Simultané Max
- Dimensionnement Stockage
 - 4h (pointe du soir)
- Dimensionnement PAC
 - Le moins puissant possible

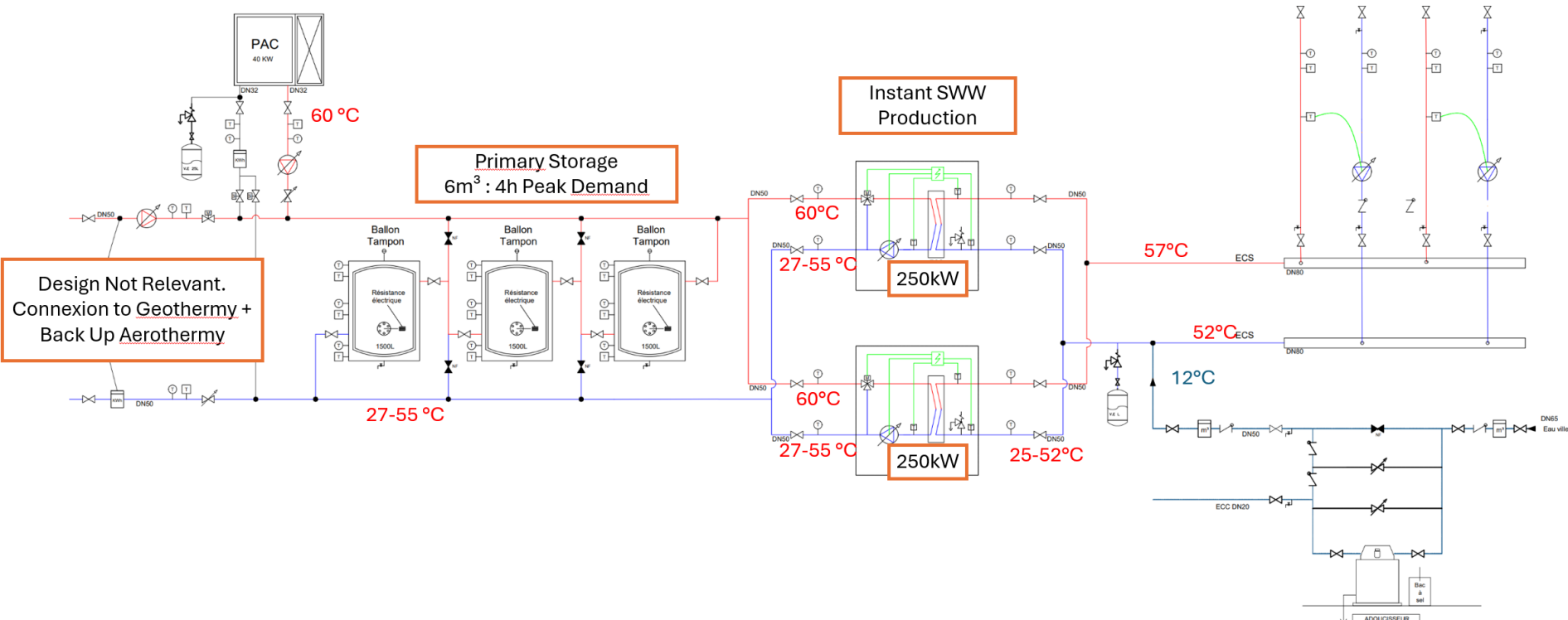
255 Logements

			Boucle	TOTAL
1,7%	0,24 m³/h	12,11 kWh	6 kWh	18 kWh
0,9%	0,13 m³/h	6,41 kWh	6 kWh	12 kWh
0,5%	0,07 m³/h	3,56 kWh	6 kWh	10 kWh
0,4%	0,06 m³/h	2,85 kWh	6 kWh	9 kWh
0,7%	0,10 m³/h	4,99 kWh	6 kWh	11 kWh
1,4%	0,20 m³/h	9,97 kWh	6 kWh	16 kWh
2,8%	0,40 m³/h	19,95 kWh	6 kWh	26 kWh
3,9%	0,56 m³/h	27,79 kWh	6 kWh	34 kWh
4,3%	0,61 m³/h	30,64 kWh	6 kWh	37 kWh
5,0%	0,71 m³/h	35,62 kWh	6 kWh	42 kWh
5,2%	0,74 m³/h	37,05 kWh	6 kWh	43 kWh
5,7%	0,81 m³/h	40,61 kWh	6 kWh	47 kWh
7,0%	1,00 m³/h	49,87 kWh	6 kWh	56 kWh
6,4%	0,91 m³/h	45,60 kWh	6 kWh	52 kWh
4,5%	0,64 m³/h	32,06 kWh	6 kWh	38 kWh
4,0%	0,57 m³/h	28,50 kWh	6 kWh	34 kWh
4,7%	0,67 m³/h	33,49 kWh	6 kWh	39 kWh
5,9%	0,84 m³/h	42,04 kWh	6 kWh	48 kWh
6,9%	0,99 m³/h	49,16 kWh	6 kWh	55 kWh
7,7%	1,10 m³/h	54,86 kWh	6 kWh	61 kWh
7,6%	1,09 m³/h	54,15 kWh	6 kWh	60 kWh
5,7%	0,81 m³/h	40,61 kWh	6 kWh	47 kWh
4,1%	0,59 m³/h	29,21 kWh	6 kWh	35 kWh
3,0%	0,43 m³/h	21,37 kWh	6 kWh	27 kWh
100%	14,3 m³/j	712 kWh	144 kWh	856 kWh
Puissance Moyenne :		30 kW	6 kW	36 kW

Source : abclim



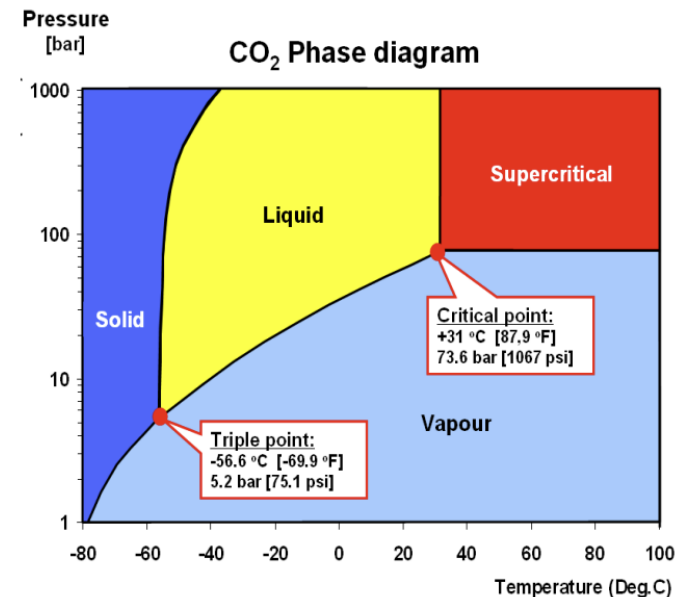
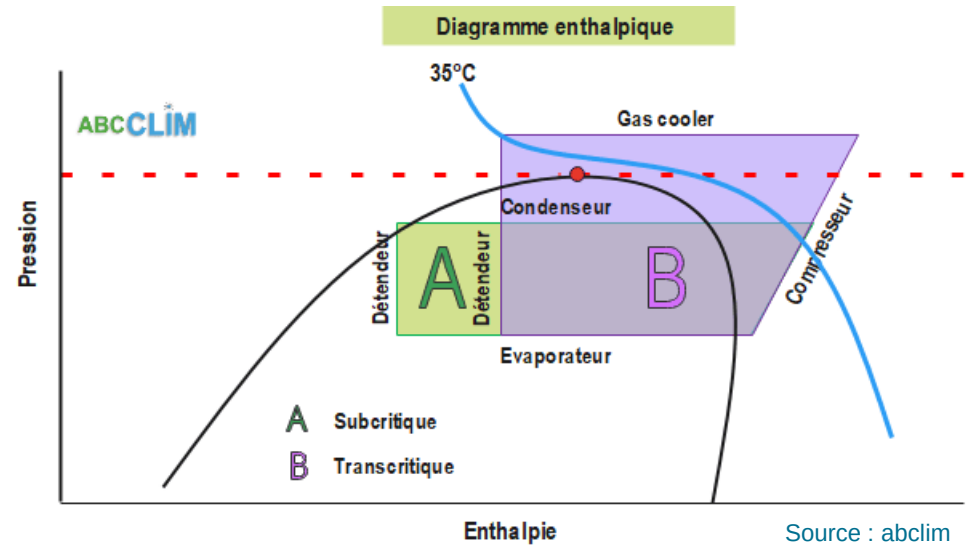
► Schéma Hydraulique



La Technologie CO2

- Avantages
 - Réfrigérant Naturel (GWP = 1)
 - Haute Température

- Points d'attentions
 - Haute Pression
 - Complexe (compétence des frigoristes)
 - DeltaT important : Température MAX de retour généralement <50°C !



Rentabilité Financière

- ▶ Coût des travaux :
 - PAC CO2 40kW : 30.000 €
 - Racc. Hydrauliques : 35.000 €
 - Stockage Hydraulique : 20.000 €
 - Traitement de l'eau : 10.000 €
 - Electricité : 30.000 €
 - As-built/Receptions : 5000 €
- ▶ TOTAL : 130.000 €

Coûts d'utilisation

- ▶ 100.000 kWh (thermique) – COP 2.5
 - 40.000 kWh elec [0.15 c€/kWh]
- ▶ TOTAL : 6.000 €

Rentabilité Financière

- ▶ Coût des travaux :
 - Chaudière : 10.000 €
 - Nouvelle Cuve enterrée : 20.000 €
 - Racc. Hydrauliques : 20.000 €
 - Stockage Hydraulique : 5.000 €
 - Traitement de l'eau : 10.000 €
 - Electricité : 20.000 €
 - As-built/Receptions : 5000 €
- ▶ TOTAL : 80.000 €

Coûts d'utilisation

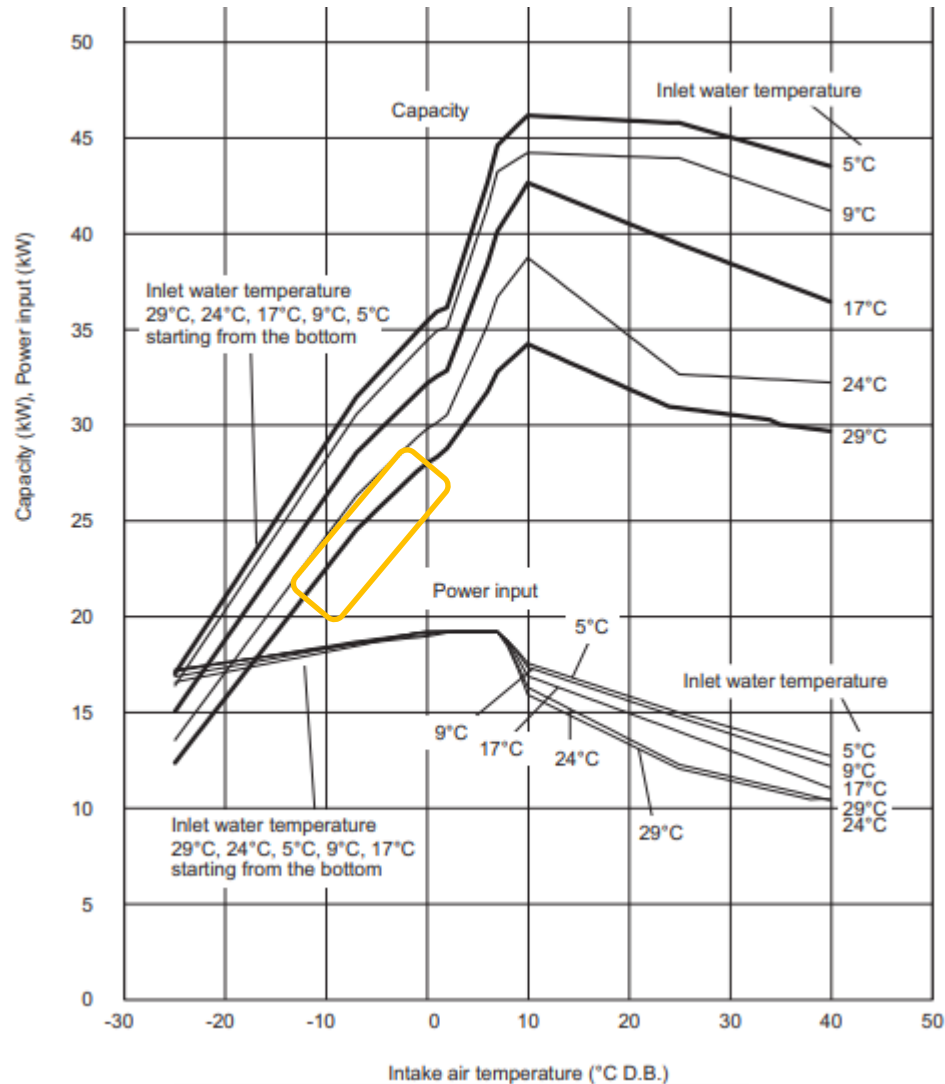
- ▶ 100.000 kWh (thermique) – Rendement 90%
 - 110.000 kWh mazout [0.7 c€/kWh]
- ▶ TOTAL : 7.700 €

TRS : +/- 30 ans



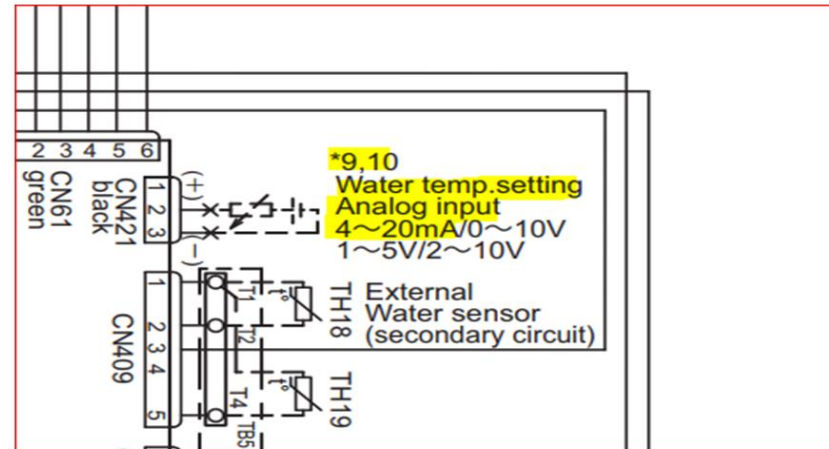
Retour d'expérience

- ▶ Puissance
 - 40 kW Nominal -> 20 kW par -7°C
- ▶ Température ECS
 - Température Primaire jusqu'à 80°C
- ▶ Régulation : débit vs Delta T
 - Débit des boucles sanitaires > Débit de production de la Pompe à Chaleur
- ▶ Régulation intégrée
 - Communication 4-20mA problématique (commande externe)
- ▶ Producteur ECS instantané
 - Absence de V3V
 - Redondance complète : trop peu de pertes de charges
- ▶ Réseau de Chaleur
 - Pertes de charges trop faible cause un débit trop important malgré la pompe au minimum



Retour d'expérience

- ▶ Puissance
 - 40 kW Nominal -> 25 kW par -7°C
- ▶ Température ECS
 - Température Primaire jusqu'à 80°C
- ▶ Régulation : débit vs Delta T
 - Débit des boucles sanitaires > Débit de production de la Pompe à Chaleur
- ▶ Régulation intégrée
 - Communication 4-20mA problématique (commande externe)
- ▶ Producteur ECS instantané
 - Absence de V3V
 - Redondance complète : trop peu de pertes de charges
- ▶ Réseau de Chaleur
 - Pertes de charges trop faible cause un débit trop important malgré la pompe au minimum.



9. Need to select either Water temperature setting input signal. Set the SW421 as shown in the table below.

	SW421-1	SW421-2
4~20mA	ON	ON
0~10V	OFF	OFF
1~5V	OFF	ON
2~10V	OFF	OFF

10. Use a 4-20mA signal output device with insulation. Feeding 30mA or more current may damage the circuit board.
11. For prevention of damage of the pump, SWS2 is set in "A"(factory set). Change the slide switch SWS2 「B(automatic)」 in Test Run.
12. Use a contact that takes 250VAC, 10mA or above, and 1A or below for contact output.



PROJETS PRÉSENTÉS

- ▶ Plaine 11 : La bivalence
- ▶ ULB : L'ECS Centralisée avec PAC CO2
- ▶ **Vignette** : La rénovation d'une maison bruxelloise typique
- ▶ ARTS 56 : La décarbonation progressive et complète d'un immeuble des années '70



PROJET VIGNETTE

- ▶ Affectation : Maison résidentielle
- ▶ Superficie : 170 m²
- ▶ Construction : 20^e Siècle
- ▶ Rénovation Complète (2022)
 - Isolation toiture
 - Isolation extérieure arrière
 - Extension arrière
 - Isolation intérieure façade à rue
- ▶ Techniques rénovées
 - Pompe à chaleur Air/Eau
 - Chauffage Sol & Radiateurs
 - VMC Double Flux
 - Poêle à bois (appoint)
- ▶ Budget travaux : 250 k€

Source : Puzzle.archi



- ▶ Affectation : Maison résidentielle
- ▶ Superficie : 170 m²
- ▶ Construction : 20^e Siècle
- ▶ Rénovation Complète (2022)
 - Isolation toiture
 - Isolation extérieure arrière
 - Extension arrière
 - Isolation intérieure façade à rue
- ▶ Techniques rénovées
 - Pompe à chaleur Air/Eau
 - Chauffage Sol & Radiateurs
 - VMC Double Flux
 - Poêle à bois (appoint)
- ▶ Budget travaux : 250 k€

Source : Puzzle.archi



Rentabilité Financière

- ▶ Coût des travaux
 - Radiateurs & Chauffage sol – non inclus
 - PAC Air/Eau 6kW : 7.000 €
 - Racc. Hydrauliques : 3.000 €
 - Electricité/Régulation : 1.000 €
 - Cloisons/Plafonnage/Etanchéité: 2000 €
- ▶ TOTAL : 13.000 €
 - PRIME : -4.000 € (*)
- ▶ **TOTAL : 9.000 €**

Coûts d'utilisation

- ▶ 12.000 kWh (thermique) – COP 3
 - 4.000 kWh elec [0.30 c€/kWh]
- ▶ **TOTAL : 1.200 €**

TRS : théoriquement négatif

(*) incertitude à partir de 2025

Rentabilité Financière

- ▶ Coût des travaux
 - Radiateurs / Chauffage sol – non inclus
 - Chaudière 22 kW : 4.000 €
 - Racc. Hydrauliques : 2.000 €
 - Electricité/Régulation : 500 €
 - Fumisterie : 1000 €
 - Cloisons/Plafonnage/Etanchéité: 500 €
- ▶ **TOTAL : 8.000 €**

Coûts d'utilisation

- ▶ 12.000 kWh (thermique) – Rendement 90%
 - 13.200 kWh gaz [0.8 c€/kWh]
- ▶ **TOTAL : 1.050 €**



Retour d'expérience

- ▶ Puissance nominale :
 - 6 kW largement suffisant (Hiver 2023/2024 à -10°C)
 - Puissance de chauffe : 22 W/m^2
- ▶ Acoustique
 - Transmission des vibrations à la structure bois
- ▶ Consommations Energétiques
 - Après un an, facture d'électricité globale 2023 : 900 €



Source : Puzzle.archi



PROJETS PRÉSENTÉS

- ▶ Plaine 11 : La bivalence
- ▶ ULB : L'ECS Centralisée avec PAC CO2
- ▶ Vignette : La rénovation d'une maison bruxelloise typique
- ▶ **ARTS 56** : La décarbonation progressive et complète d'un immeuble des années '70

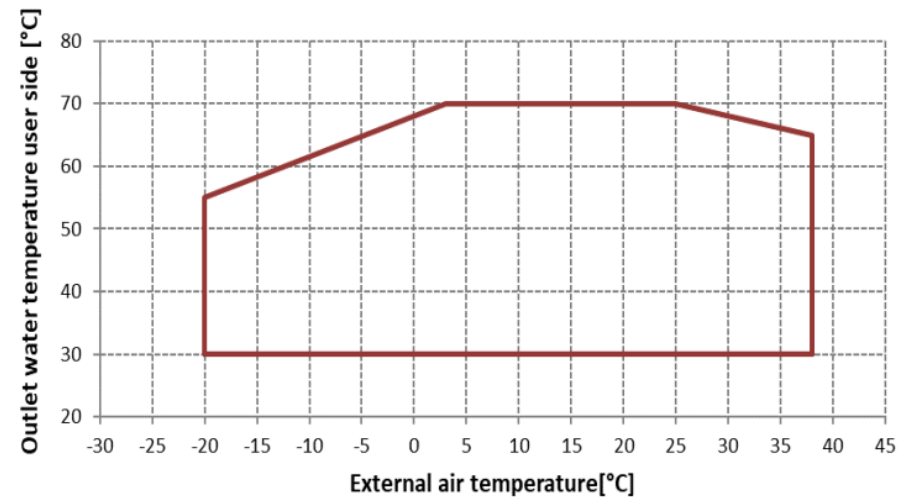


- ▶ Affectation : Bureaux
- ▶ Superficie : 26.000 m²
- ▶ Construction : 1968
- ▶ Rénovations précédentes :
 - Vitrages 1.1 (Châssis d'origine)
 - Toiture faiblement isolée
 - Atrium Simple Vitrage
- ▶ Techniques rénovées
 - Pompes à chaleur '2 Tubes'
 - 30m³ Stockage Thermique
 - Chaudière à condensation
 - Nouvelle régulation

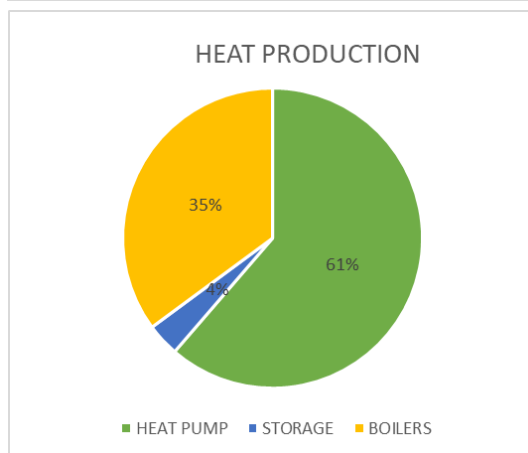
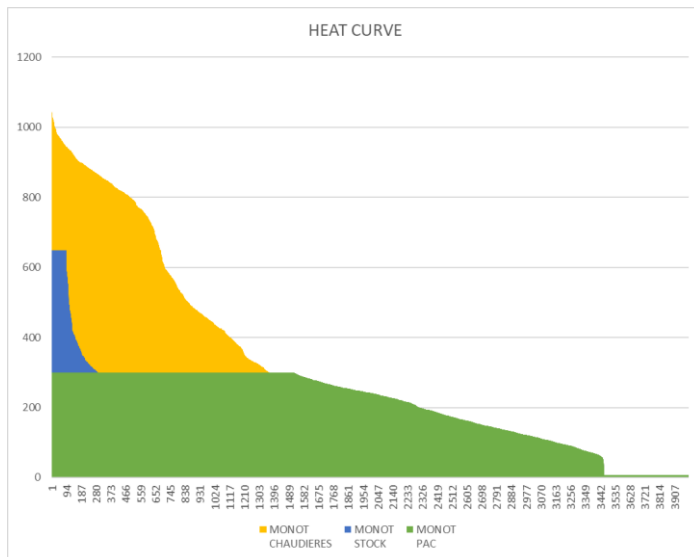


Sélection PAC

- ▶ Réfrigérant R290 (Propane)
 - Naturel
 - GWP = 3
 - ODP = 0
- ▶ A-7/ W62 : High Température
- ▶ Performances
 - COP A7/W55 : 3
 - SCOP : 3,8
- ▶ Acoustique
 - Xtra Low Noise (44 dB)



Monotone de Chaleur du bâtiment



Bâtiment : ARTS 56

22.138 m² GLA

CHAUFFAGE

1. Transmissions Losses		1.071.663 kWh th
	WALLS	87.653 kWh Nets
	ROOF	82.167 kWh Nets
	FLOOR	142.084 kWh Nets
	WINDOWS	759.758 kWh Nets

2. Déperditions par infiltrations	INFILTRATIONS	354.710 kWh Nets
-----------------------------------	---------------	------------------

4. Sun	SUN	474.346 kWh Nets
5. Internal Gains	INTERNAL GAINS	439.338 kWh Nets

6. Net Energy for HEATING		512.690 kWh th
---------------------------	--	----------------

3. CTA Heat Battery	VENTILATION	708.255 kWh Nets
---------------------	-------------	------------------

7. Pertes de distribution	Pertes Chauffage	49.207 kWh Nets
---------------------------	------------------	-----------------

8. Besoins Bruts en énergie pour le chauffage	1.270.152 kWh Nets	57 kWh Hs/m ²
---	--------------------	--------------------------

Chaleur Fournie par la PAC		820.994 kWh Nets
	SCOP	3,0

CONSUMMATION D'ELECTRICITE	273.665 kWh	12 kWh Hs/m ²
----------------------------	-------------	--------------------------

8. Besoins Bruts en énergie pour le chauffage (hors PAC)	449.158 kWh Nets	20 kWh Hs/m ²
--	------------------	--------------------------

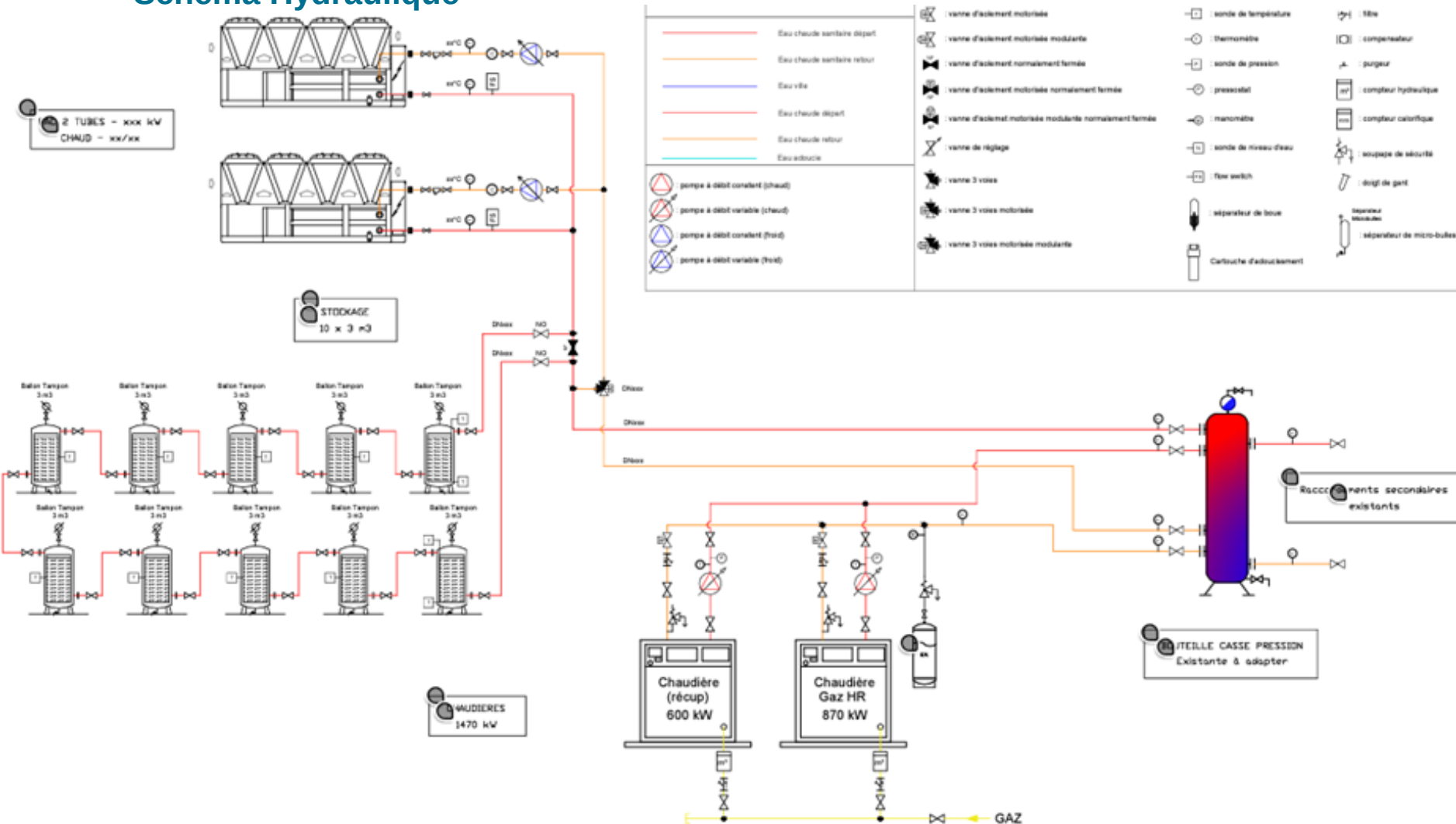
Rend. Prod. Chauffage HS	86%
--------------------------	-----

9. Pertes de production chaudières	61.002 kWh Nets
------------------------------------	-----------------

CONSUMMATION COMBUSTIBLE	510.159 kWh Hs	23 kWh Hs/m ²
--------------------------	----------------	--------------------------



Schéma Hydraulique

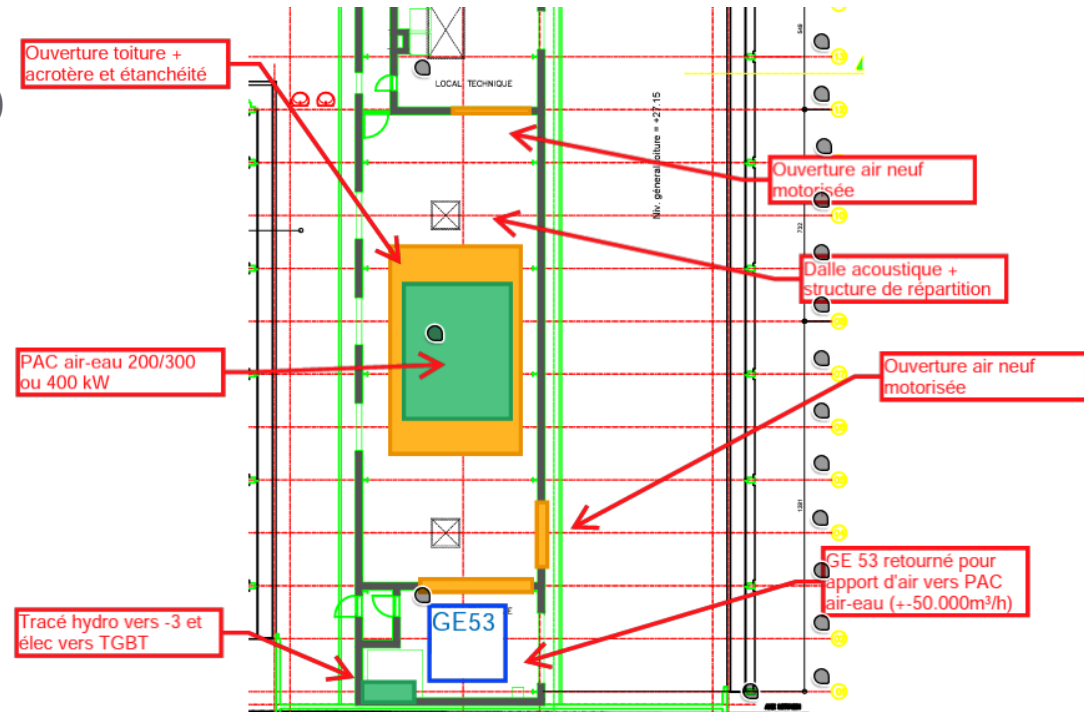


Evaporateur :

- ▶ 75.000 m³/h (x2 machines)
- ▶ Extraction Parking
 - 60.000 m³
 - T° constante 15-20°C
- ▶ Air Extérieur
 - 15.000 – 90.000 m³/h
 - T° extérieure

COP

+20 à 30%

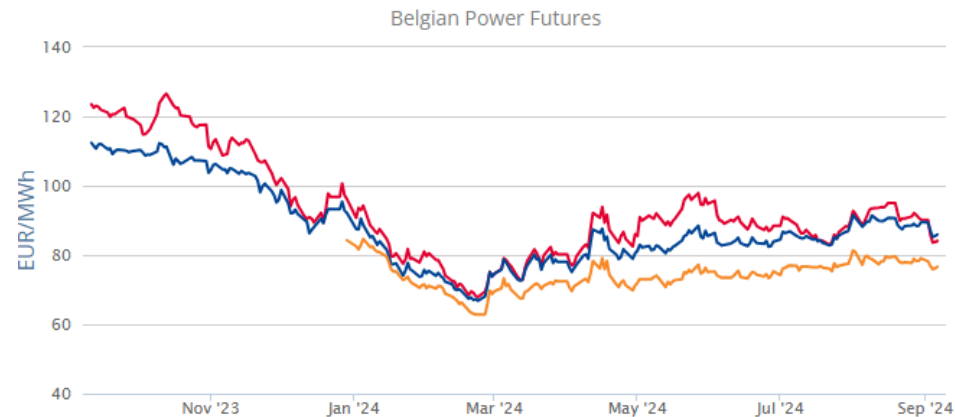
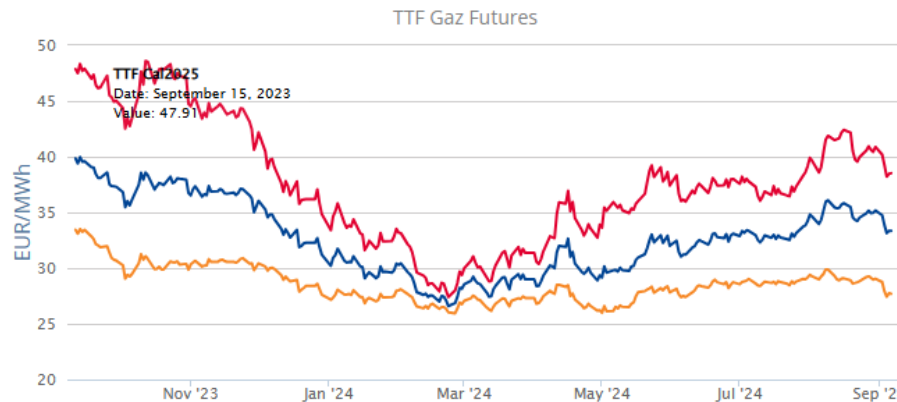
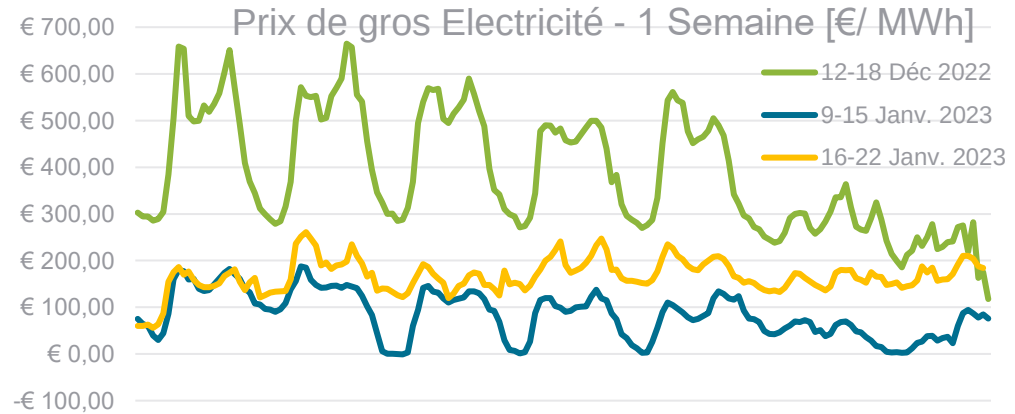


Rentabilité Financière

- Prix de l'électricité (marché de gros)
 - 90 €/MWh (sept 2024 – 1 an)
 - Variation intraday
 - 2 – 3 fois plus cher que le gaz

ETS 2

- Taxation Européenne sur le GAZ
- Entrée en vigueur 2027
- Impact estimé +10-15€/MWh (2027)
- Augmentation chaque année



Rentabilité Financière

- ▶ Prix de l'électricité (marché de gros)
 - 90 €/MWh (Sept 2024 – 1 an)
 - Variation intraday
 - 2 – 3 fois plus cher que le gaz
- ▶ PAC R290 150 kW
 - +/-120.000 € (6x chaudière équivalente)
- ▶ Retour sur investissement supérieur à la durée de vie estimée de la pompe à chaleur

Energy /m²	26,4 €
Economy /m²	-2,3 €/m²year
Charges Reduction	-8%

	Montant Travaux (CAPEX)	682.231 €
Reserve	5%	0 €
Honoraires	15%	102.335 €
	TOTAL (htva)	784.566 €
	ROI	15,2 y





- ▶ L'avenir n'est plus à l'hybridation ... les solutions 100% décarbonées sont disponibles sur le marché
- ▶ Bâtiment 100% « Fossil Fuel Free » n'est pas réservé aux bâtiments passifs
- ▶ Un stockage thermique est indispensable
- ▶ La rentabilité financière reste difficile lorsque l'on regarde uniquement les coûts de l'énergie
- ▶ La nouvelle taxation ETS2 amènera un équilibrage progressif du prix du gaz (à la hausse) comparativement à l'électricité ce qui va favoriser les pompes à chaleur





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels



Sites internet

- Bruxelles environnement

<https://environnement.brussels/citoyen/lenvironnement-bruxelles/renover-et-construire>



Formations et séminaires

- Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement

<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>

Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Stéphane BARBIER

Associé - Gérant

Deplasse & Associés

☎ + 32 2 736 63 23

✉ barbier.s@deplasse.com



BUREAU D'EXPERTS PH. DEPLASSE & ASSOCIÉS



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

