

# FORMATION BATIMENT DURABLE

## POMPE À CHALEUR : CHOIX ET CONCEPTION

PRINTEMPS 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

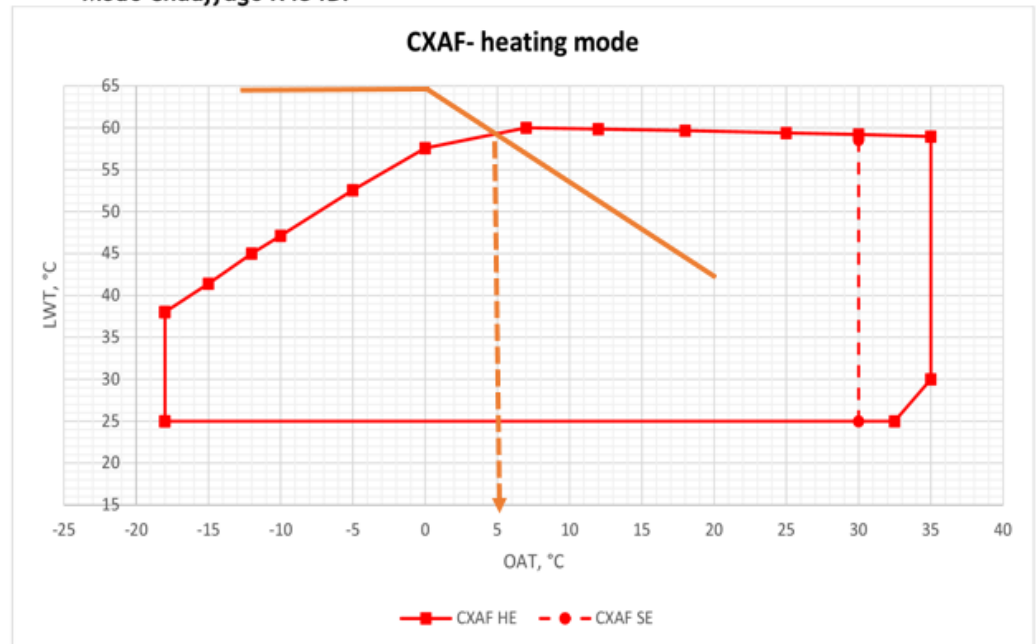
- ▶ Affectation : Bureaux
- ▶ Superficie : 9.177 m<sup>2</sup>
- ▶ Construction : Années '90
- ▶ Dates Clefs du projet
  - Conception : 2015
  - Chantier : 2018
- ▶ Techniques rénovées
  - Pompes à chaleur '4 Tubes' 600 kW
  - Chaudière à condensation
  - Nouvelle régulation
  - Nouveaux Ventilo-Convecteurs



## La Bivalence des pompes à chaleur

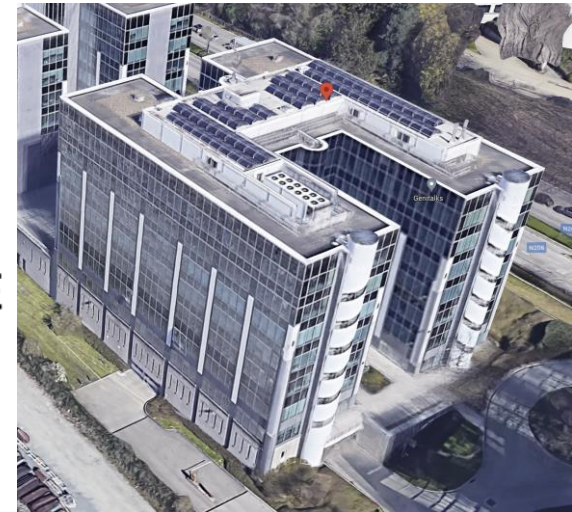
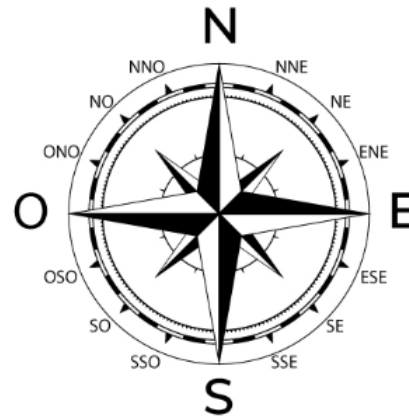
- Point de Bivalence
  - Rentabilité économique : 7°C
  - Temp. Max : 52°C vs Courbe de chauffe du bâtiment : 5°C
- Chaudières nécessaires

• *Mode Chauffage R454B.*

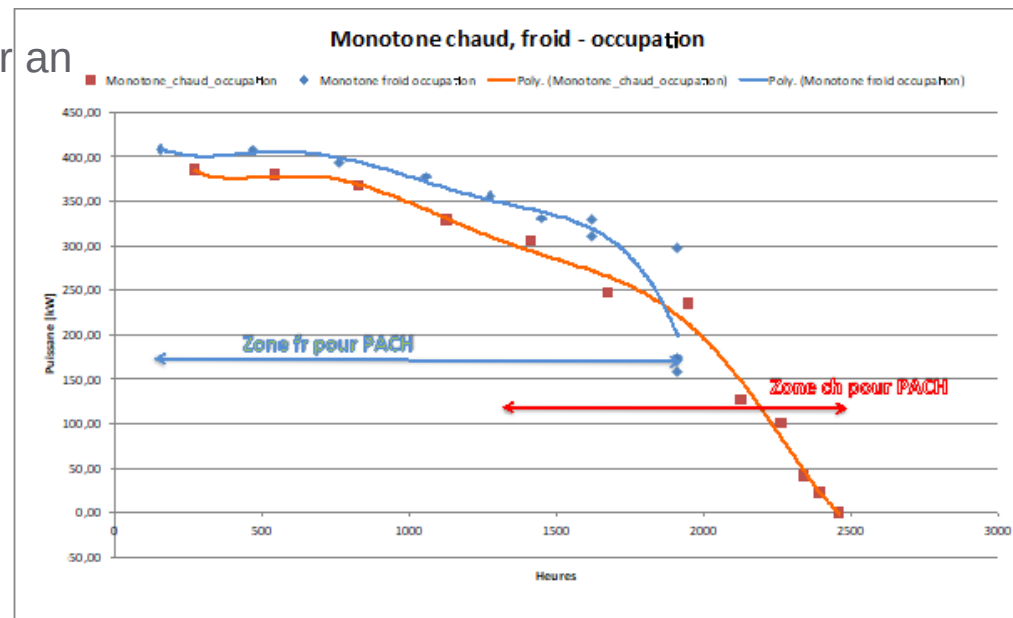


## Les PAC "4 Tubes" : Besoins simultanés

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



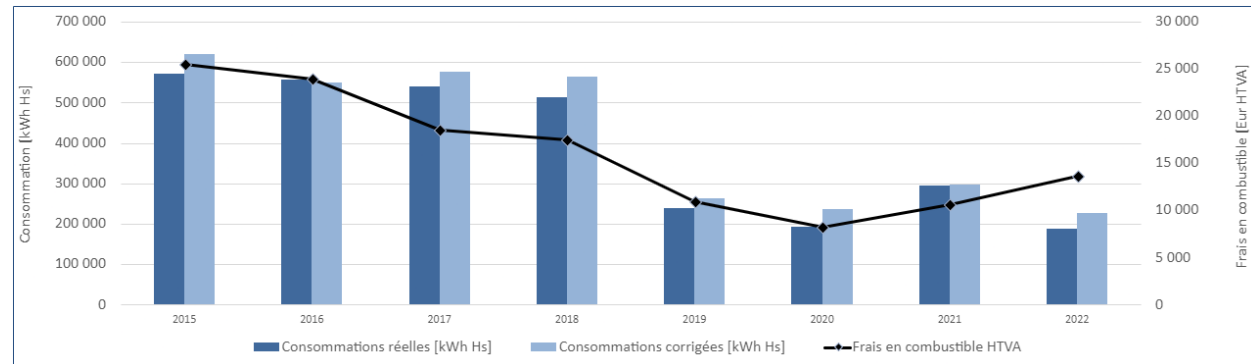
- ▶ 500 Heures de simultanéité par an



## Plaine 11 : Résultats

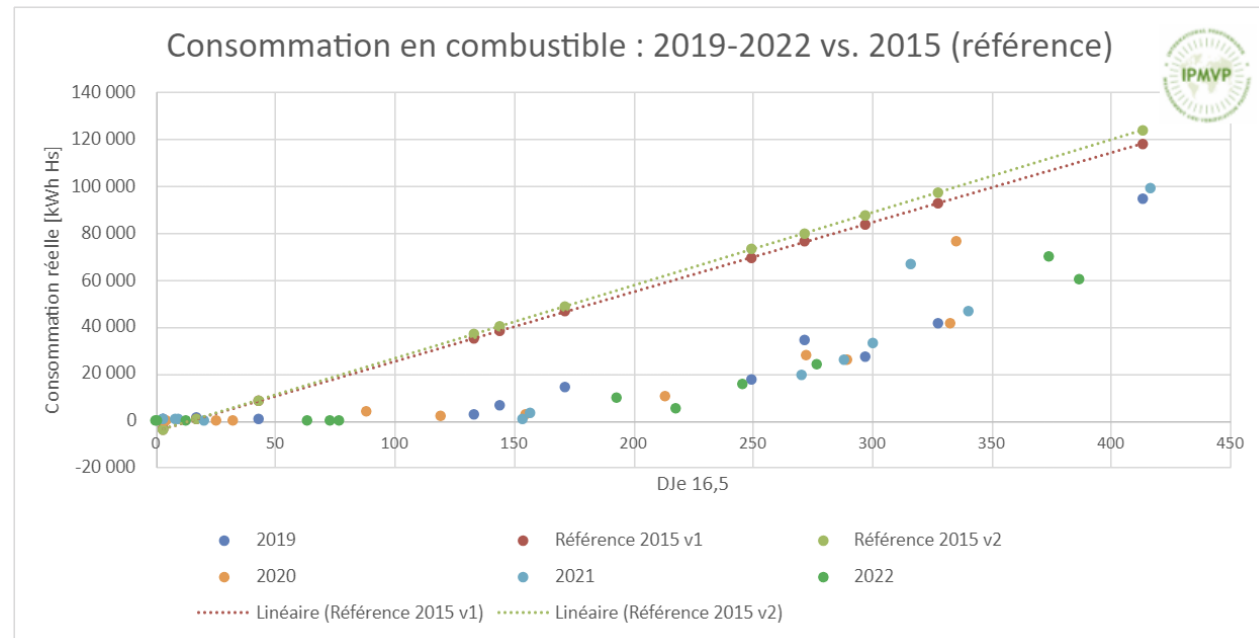
### ► Combustible

- 2015 : 67,68 kWh/m<sup>2</sup>
- 2022 : 24,62 kWh/m<sup>2</sup>



## Economie :

**-60%**



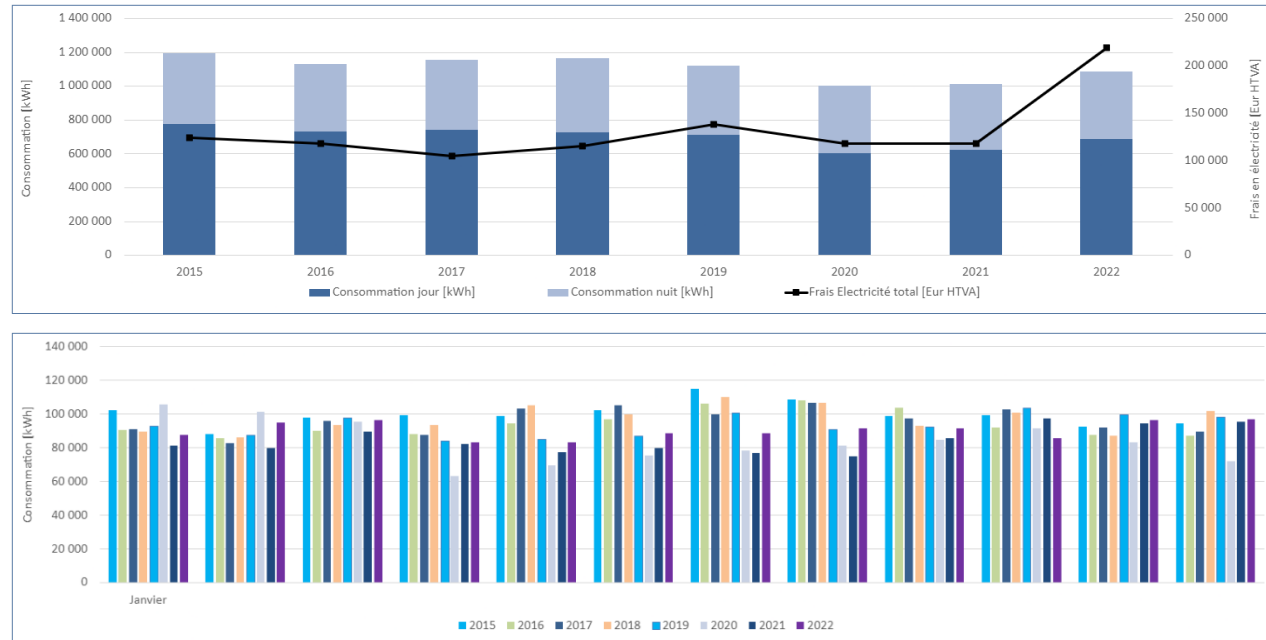
## Plaine 11 : Résultats

### ► Electricité

- 2016 : 130 kWh/m<sup>2</sup>
- 2022 : 119 kWh/m<sup>2</sup>

Economie :

**-10%**



## Plaine 11 : Résultats

### ► Energie finale

- 2016 : 68 kWh (gaz) + 130 kWh (élec) = 198 kWh/m<sup>2</sup>
- 2022 : 24 kWh (gaz) + 119 kWh (élec) = 143 kWh/m<sup>2</sup>

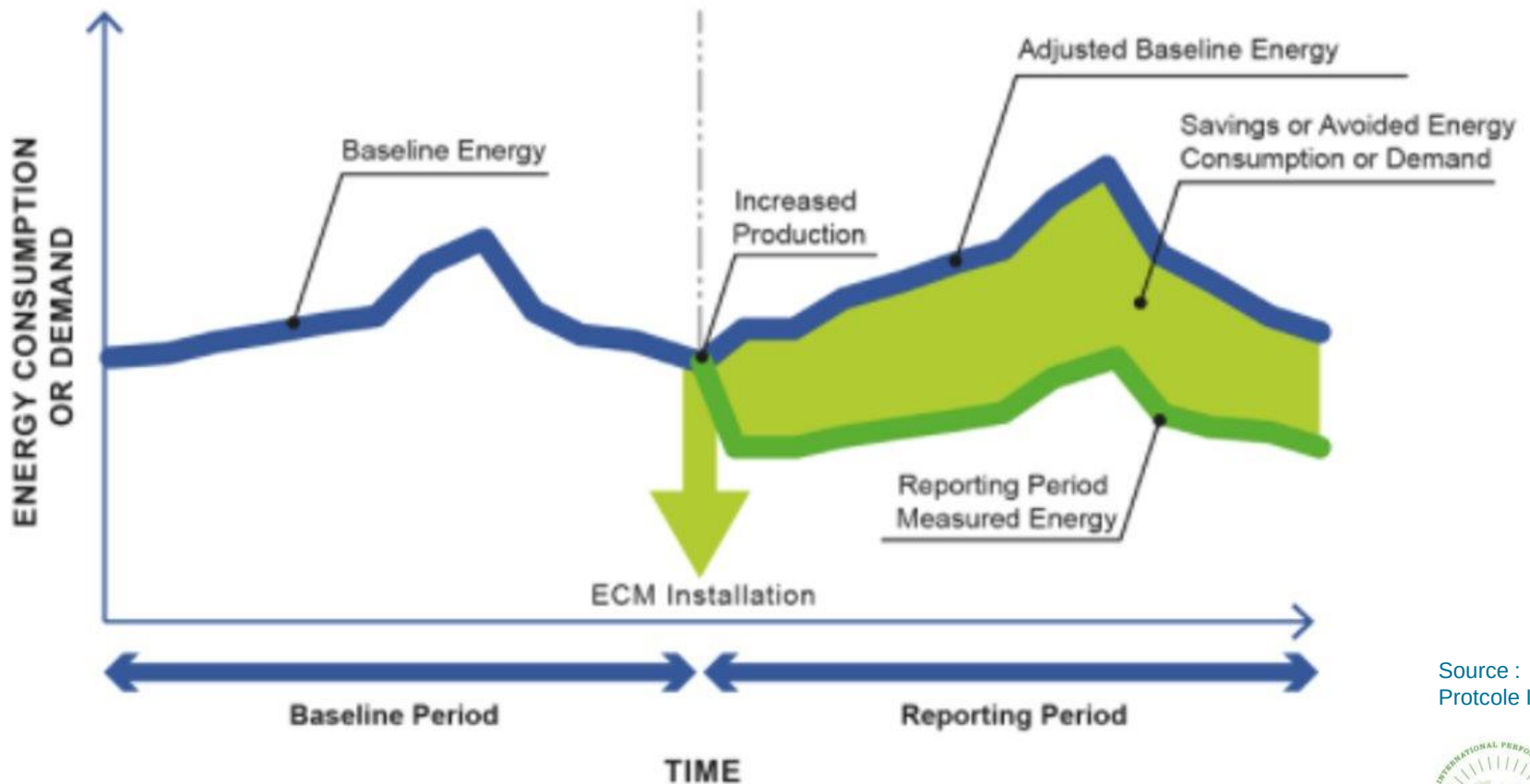
### Economie :

**-27,7% (énergie finale)**

**-19% (CO2)**



## Le Protocole IPMV



Source :  
Protocole IPMVP



## 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



## 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



**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

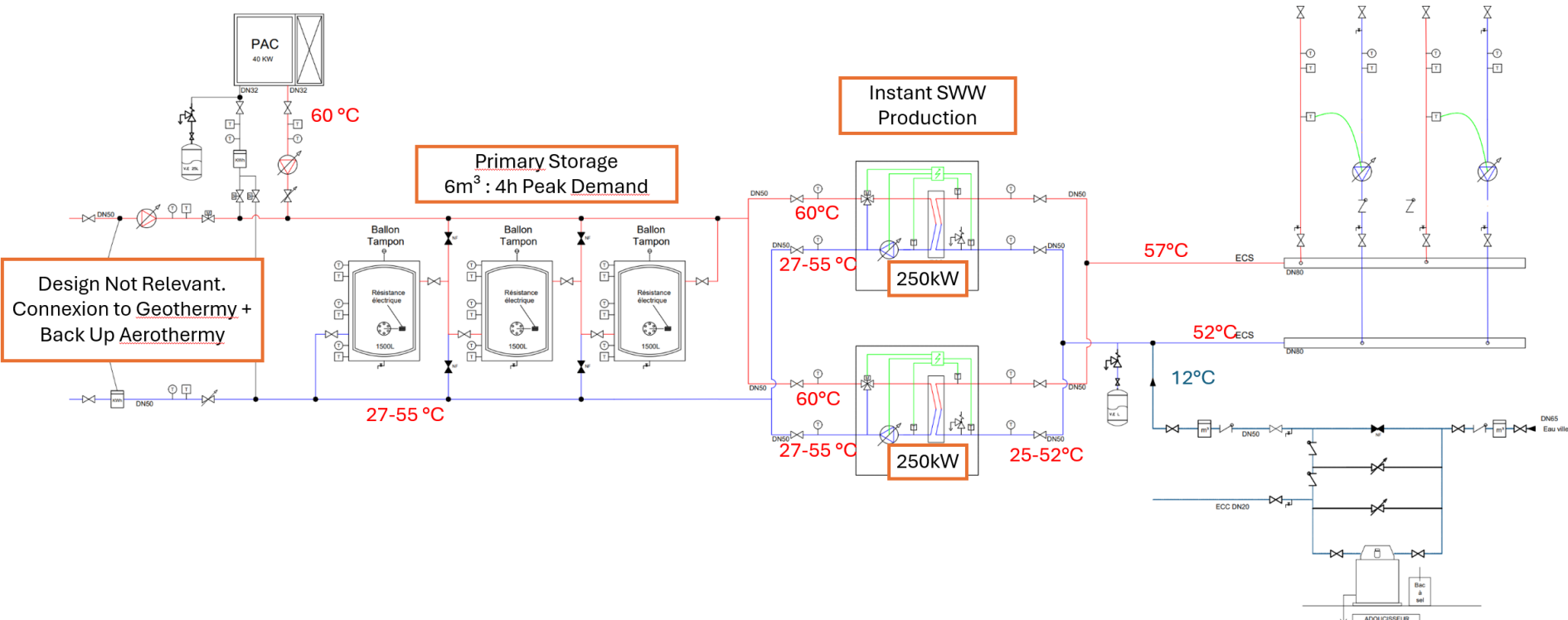
**255 Logements**

|                     |                  |                | 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         |
| <b>6,9%</b>         | 0,99 m³/h        | 49,16 kWh      | 6 kWh          | 55 kWh         |
| <b>7,7%</b>         | 1,10 m³/h        | 54,86 kWh      | 6 kWh          | 61 kWh         |
| <b>7,6%</b>         | 1,09 m³/h        | 54,15 kWh      | 6 kWh          | 60 kWh         |
| <b>5,7%</b>         | 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         |
| <b>100%</b>         | <b>14,3 m³/j</b> | <b>712 kWh</b> | <b>144 kWh</b> | <b>856 kWh</b> |
| Puissance Moyenne : |                  | <b>30 kW</b>   | <b>6 kW</b>    | <b>36 kW</b>   |

Source : abclim

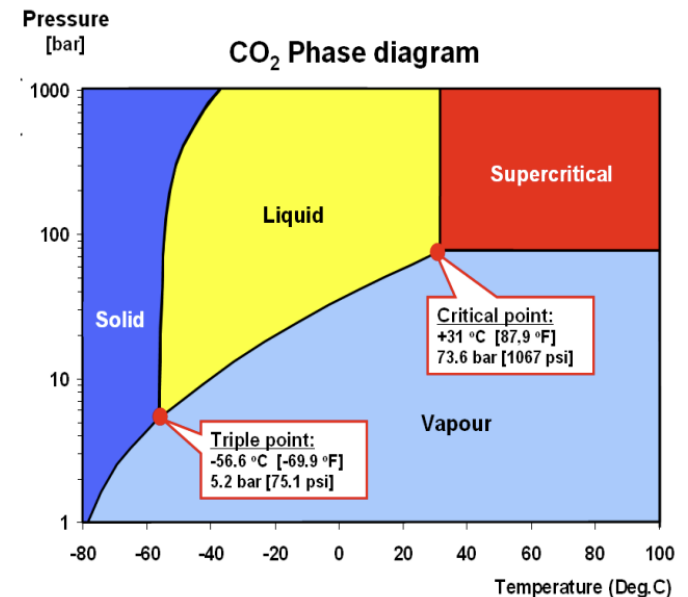
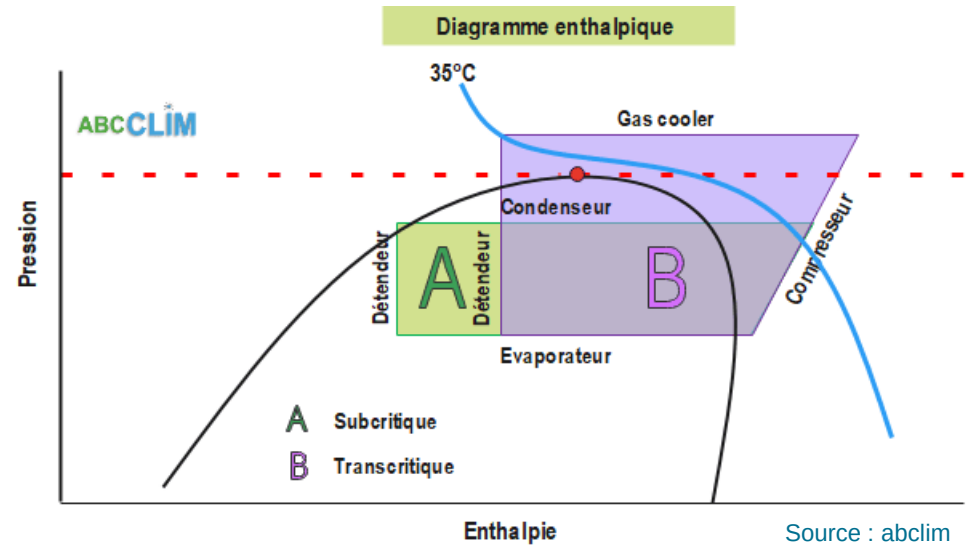


## ► Schéma Hydraulique



## 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

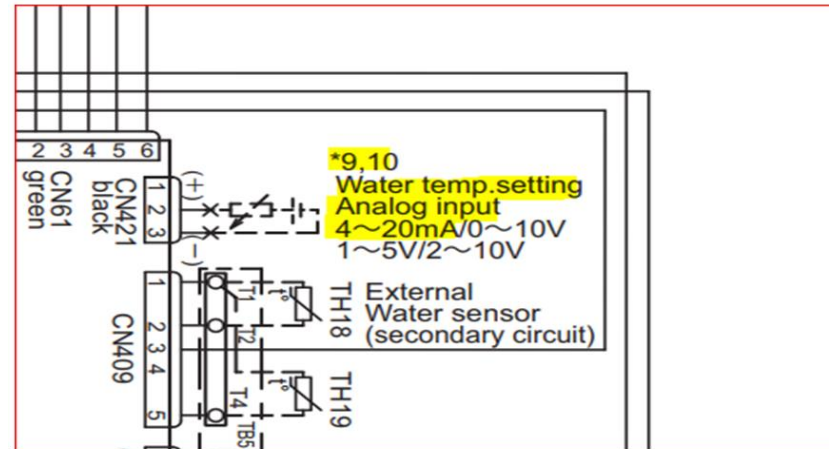
- ▶ 100.000 kWh (thermique) – Rendement 90%
  - 110.000 kWh mazout [0.7 c€/kWh]
- ▶ TOTAL : 7.700 €

**TRS : +/- 30 ans**



## Retour d'expérience

- ▶ Puissance
  - 40 kW Nominal -> 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 m<sup>2</sup>
- ▶ Construction : 20<sup>e</sup> 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 m<sup>2</sup>
- ▶ Construction : 20<sup>è</sup> 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 - €
  - 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**

### Rentabilité Financière

- ▶ Coût des travaux :
  - Radiateurs / Chauffage sol - €
  - 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  $-10^{\circ}\text{C}$ )
  - Puissance de chauffe :  $22 \text{ W/m}^2$
- ▶ Acoustique
  - Transmission des vibrations à la structure bois
- ▶ Consommations Energétiques
  - Tendances correctes après 6 mois d'utilisation (hiver)



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

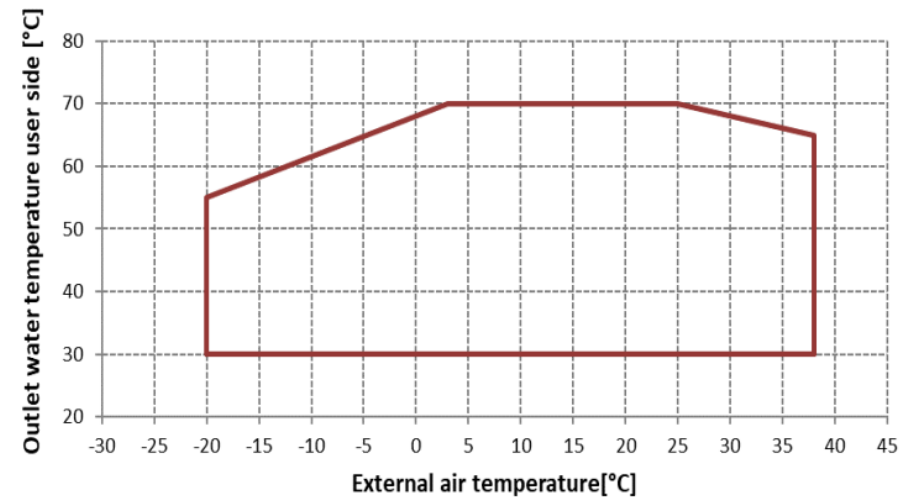


- ▶ Affectation : Bureaux
- ▶ Superficie : 26.000 m<sup>2</sup>
- ▶ Construction : 1968
- ▶ Rénovations précédentes :
  - Vitrages 1.1 (Châssis d'origine)
  - Toiture faiblement isolée
  - Atrium Simple Vitrage
- ▶ Techniques rénovées
  - Pompes à chaleur '2 Tubes'
  - 30m<sup>3</sup> Stockage Thermique
  - Chaudière à condensation
  - Nouvelle régulation

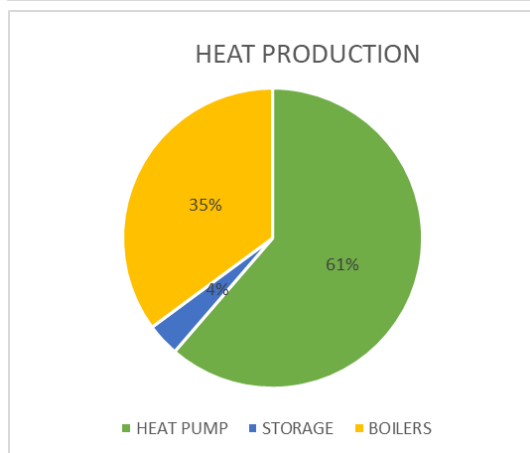
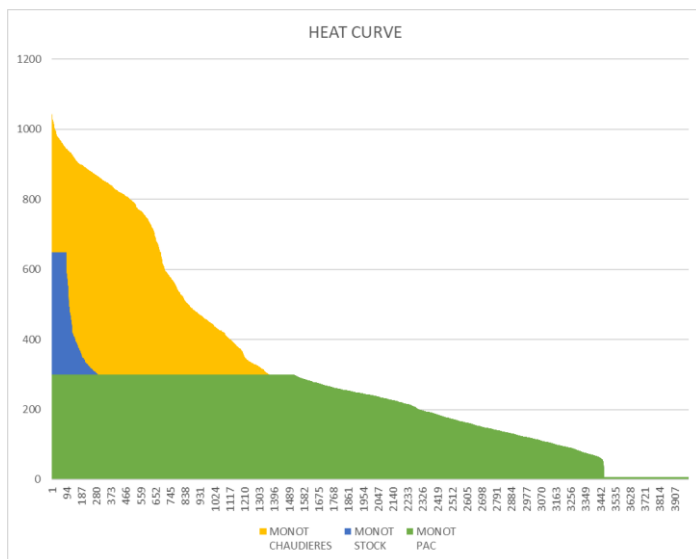


## Sélection PAC

- ▶ 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 m<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------------|

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

|                            |             |                          |
|----------------------------|-------------|--------------------------|
| CONSUMMATION D'ELECTRICITE | 273.665 kWh | 12 kWh Hs/m <sup>2</sup> |
|----------------------------|-------------|--------------------------|

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

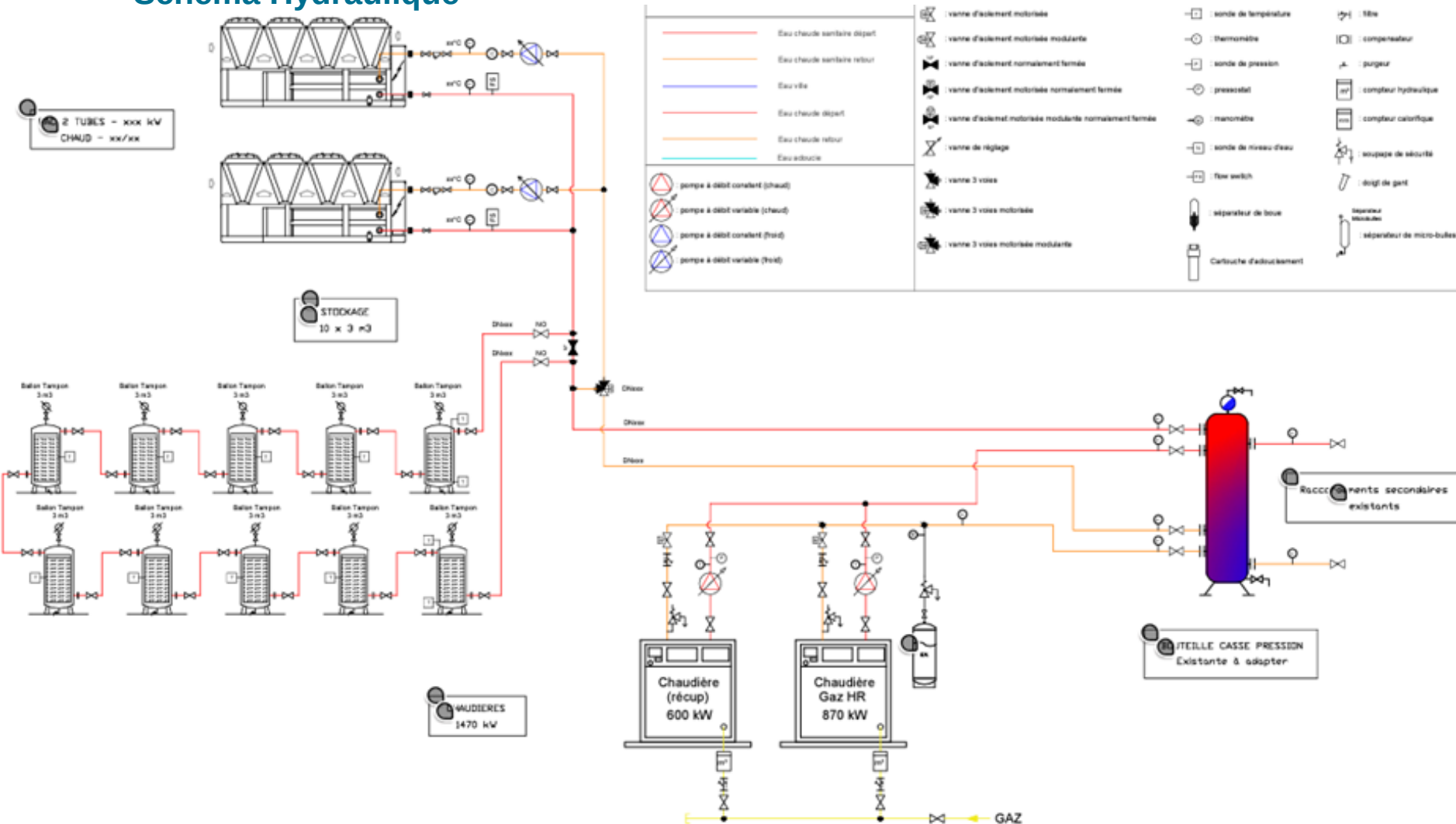
|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Rend. Prod. Chauffage HS | 86% |
|--------------------------|-----|

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

|                          |                |                          |
|--------------------------|----------------|--------------------------|
| CONSUMMATION COMBUSTIBLE | 510.159 kWh Hs | 23 kWh Hs/m <sup>2</sup> |
|--------------------------|----------------|--------------------------|



## Schéma Hydraulique

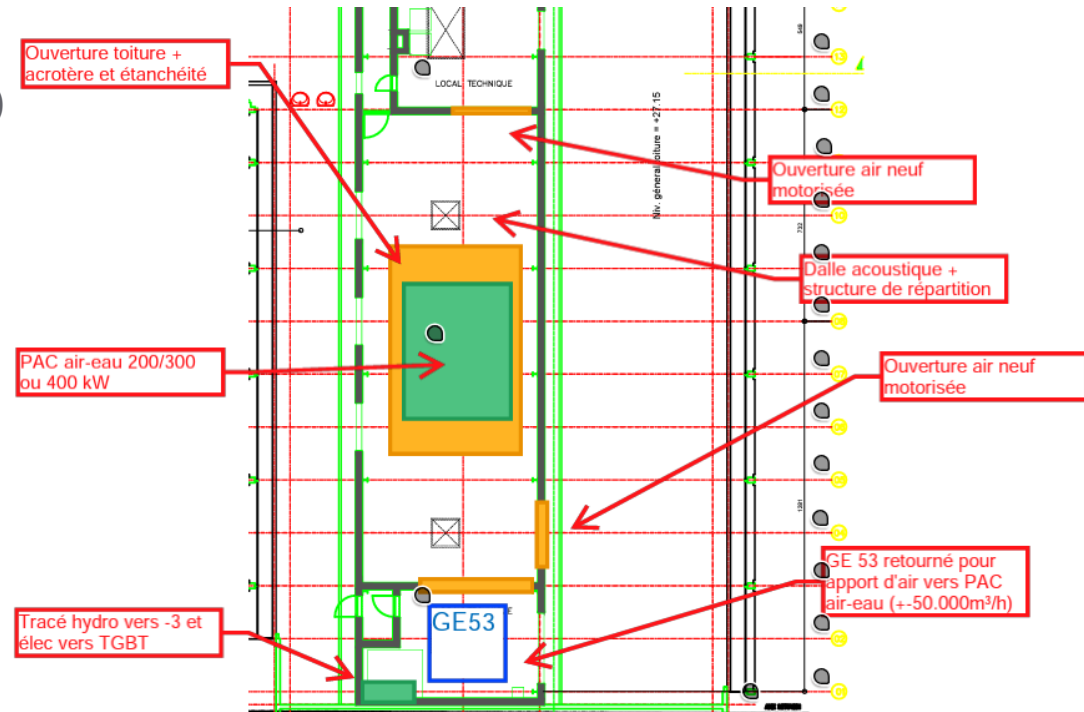


## Evaporateur :

- ▶ 75.000 m<sup>3</sup>/h (x2 machines)
- ▶ Extraction Parking
  - 60.000 m<sup>3</sup>
  - T° constante 15-20°C
- ▶ Air Extérieur
  - 15.000 – 90.000 m<sup>3</sup>/h
  - T° extérieure

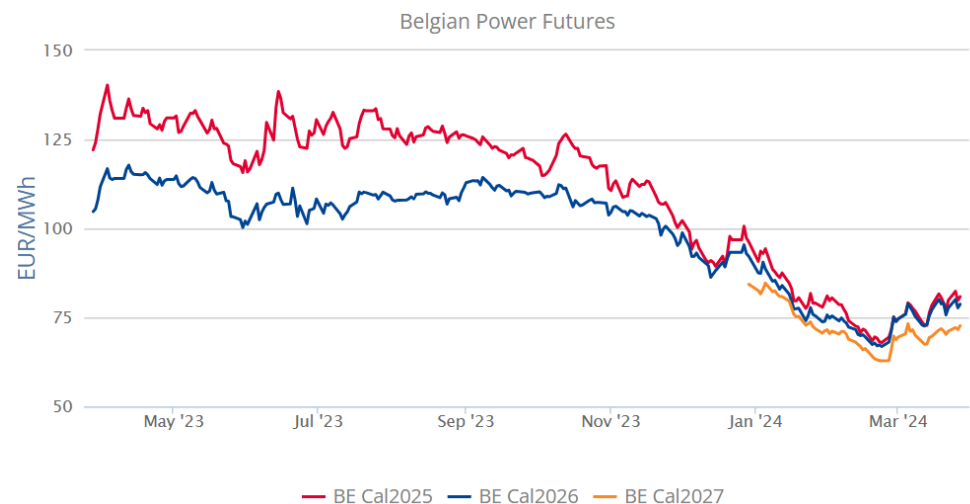
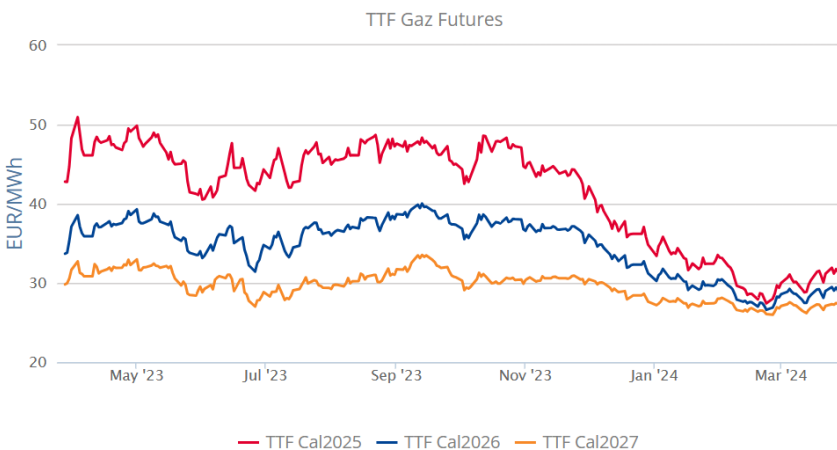
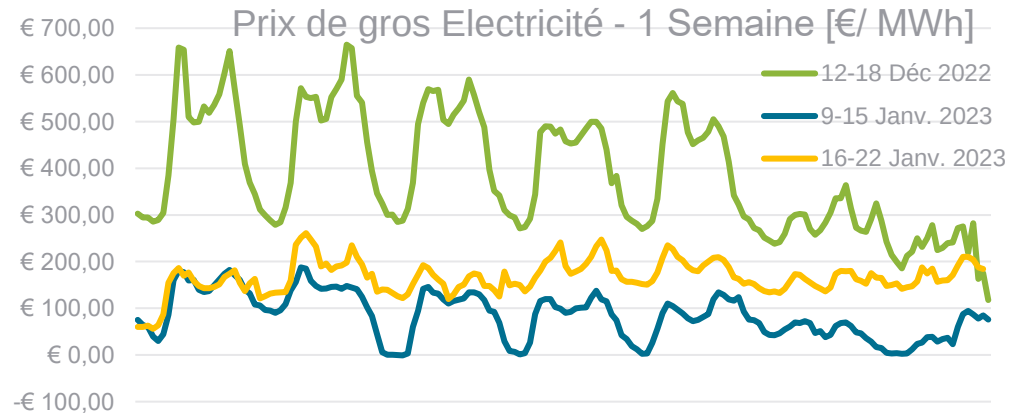
COP

**+20-30%**



## Rentabilité Financière

- Prix de l'électricité (marché de gros)
  - 75€/MWh (mars 2024 – 1 an)
  - Variation intraday
  - 2 – 3 fois plus cher que le gaz



## Rentabilité Financière

- ▶ Prix de l'électricité (marché de gros)
  - 75€/MWh (mars 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%           |

|            |                                |                  |
|------------|--------------------------------|------------------|
|            | <b>Montant Travaux (CAPEX)</b> | <b>682.231 €</b> |
| Reserve    | 5%                             | 0 €              |
| Honoraires | 15%                            | 102.335 €        |
|            | <b>TOTAL (htva)</b>            | <b>784.566 €</b> |
|            | <b>ROI</b>                     | 15,2 y           |





- ▶ L'avenir n'est plus à l'hybridation ... les solutions 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.





## Guide bâtiment durable

[www.guidebatimentdurable.brussels](http://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](mailto:barbier.s@deplasse.com)



**BUREAU D'EXPERTS PH. DEPLASSE & ASSOCIÉS**



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

