

# Intégration des pompes à chaleur dans les expertises CECB®Plus

Demi-journée de formation destinée aux experts CECB

Mickael Guichard, expert CECB, Planair SA



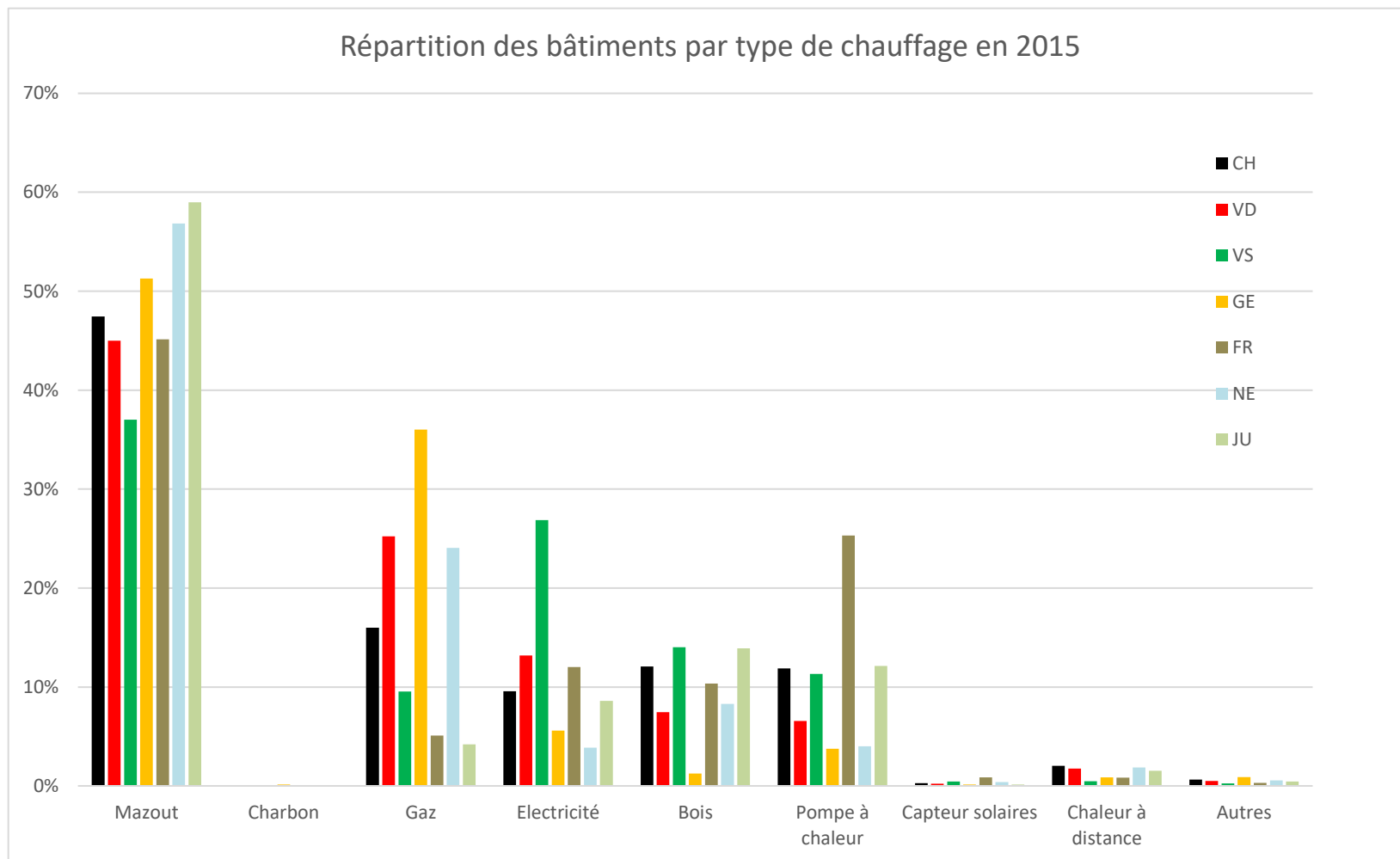
# Buts de la présentation

- Présentation générale sur la place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments
- Quelques notions techniques à connaître
- Présentation de 3 cas concrets (état initial)
- Travail en groupes
- Présentation des résultats des discussions
- Présentation des solutions réellement mises en œuvre
- Discussion finale

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments



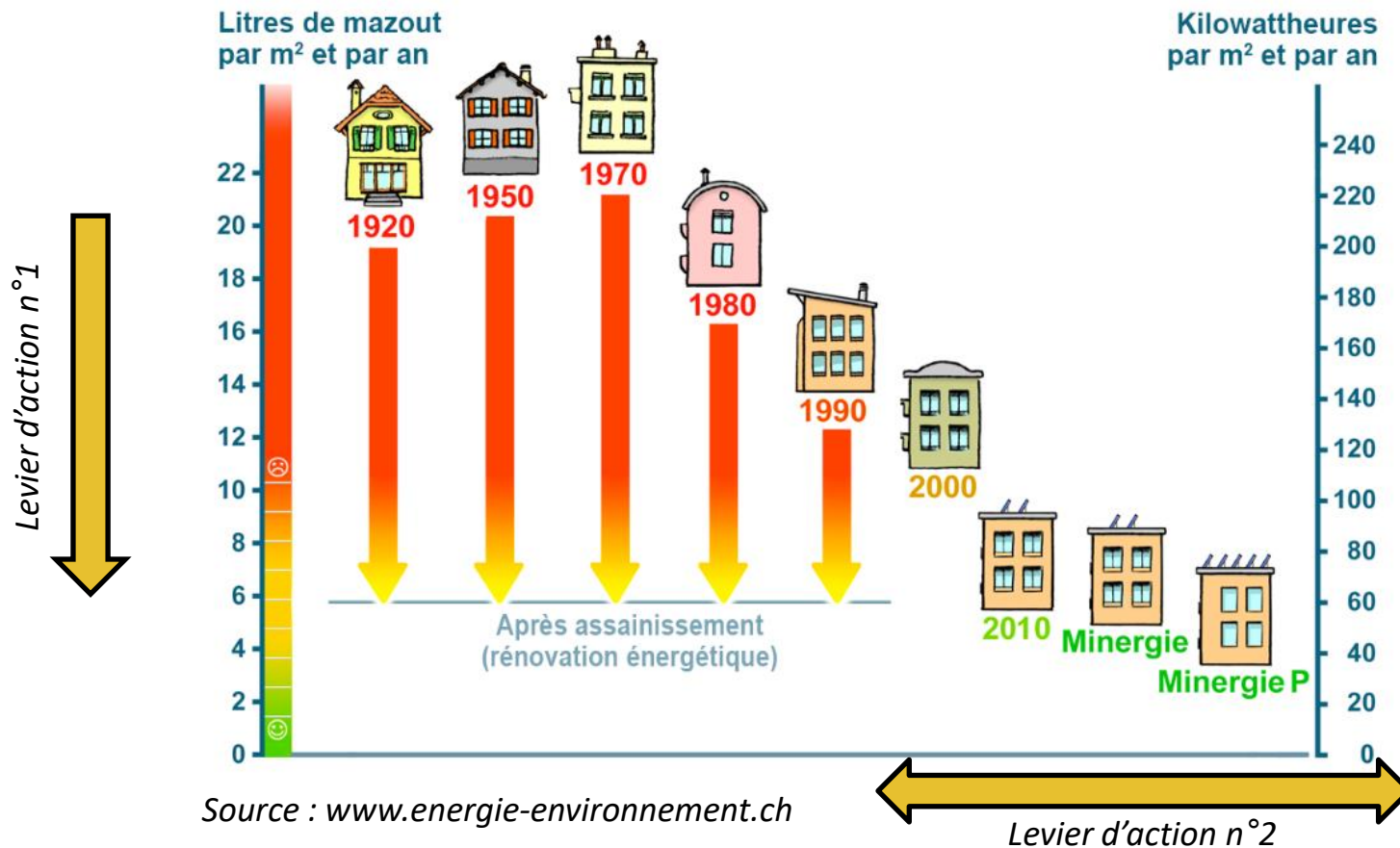
# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments



Source : OFS – Bâtiments d'habitation

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

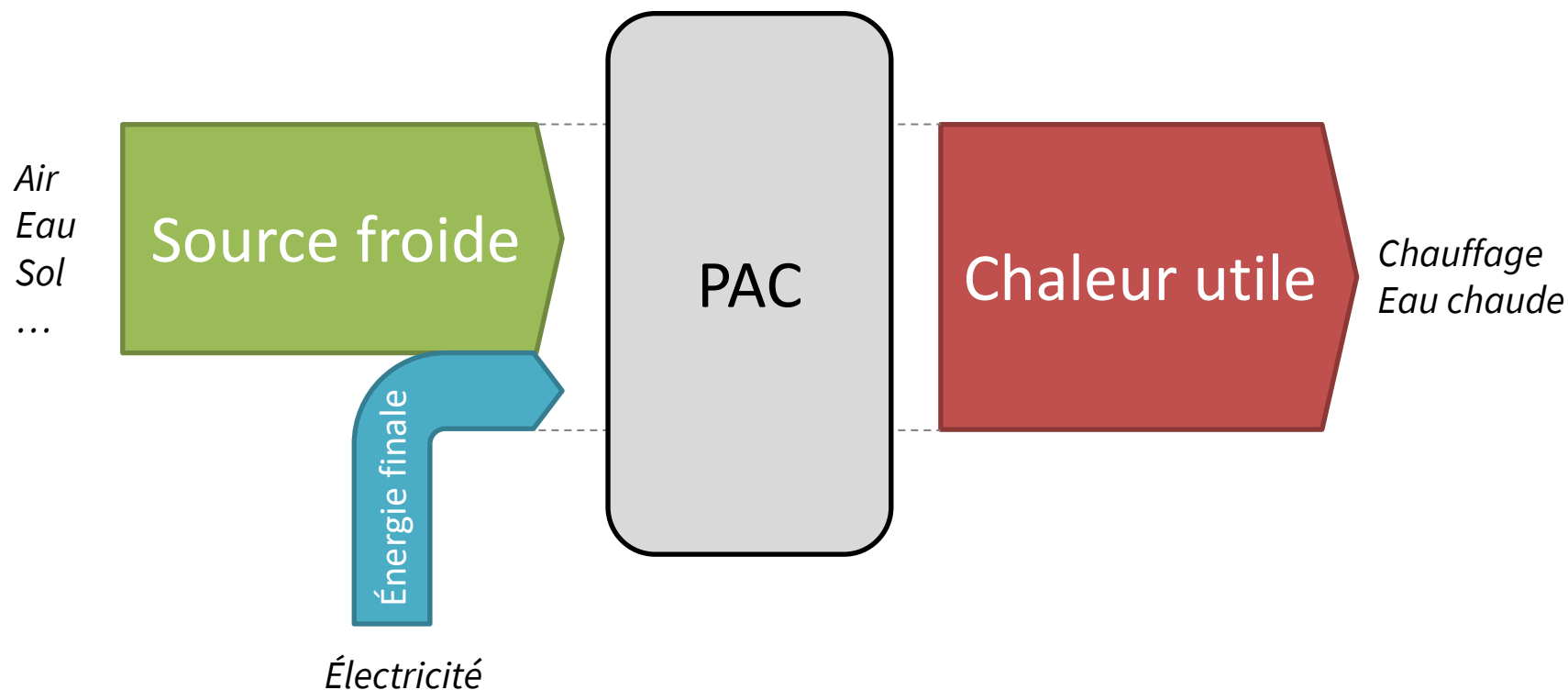
## Besoins de chaleur des bâtiments



# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Avantage de la pompe à chaleur dans ce contexte :

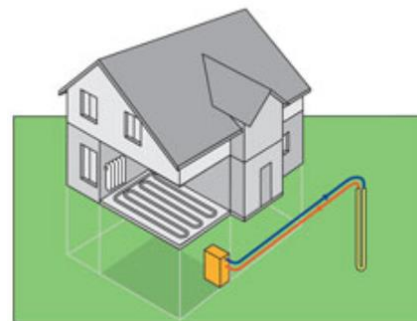
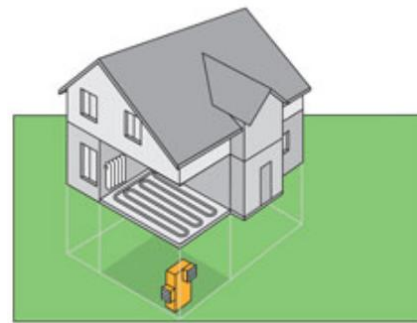
- Peu d'énergie finale consommée pour couvrir les besoins



# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Solutions les plus courantes :

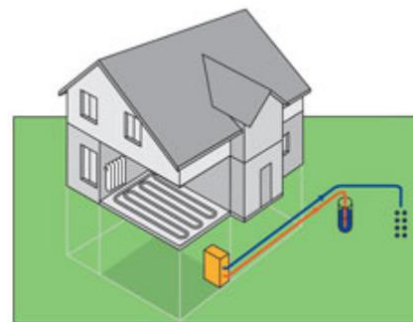
- PAC air/eau
  - Compacte intérieure
  - Compacte extérieure
  - Split
  
- PAC sol/eau (géothermie)



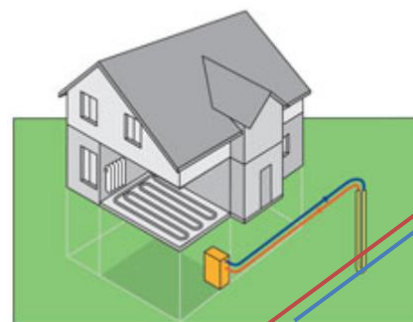
# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Solutions moins courantes :

- PAC eau/eau
  - eaux de surface
  - eaux souterraines



- PAC sur réseau basse enthalpie

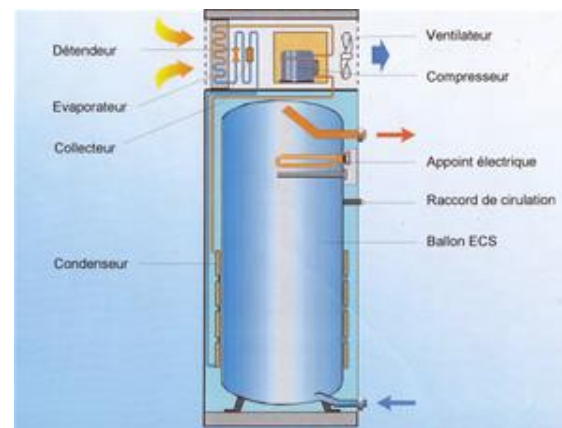
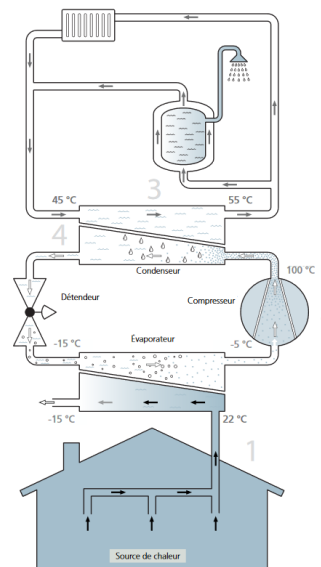




# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

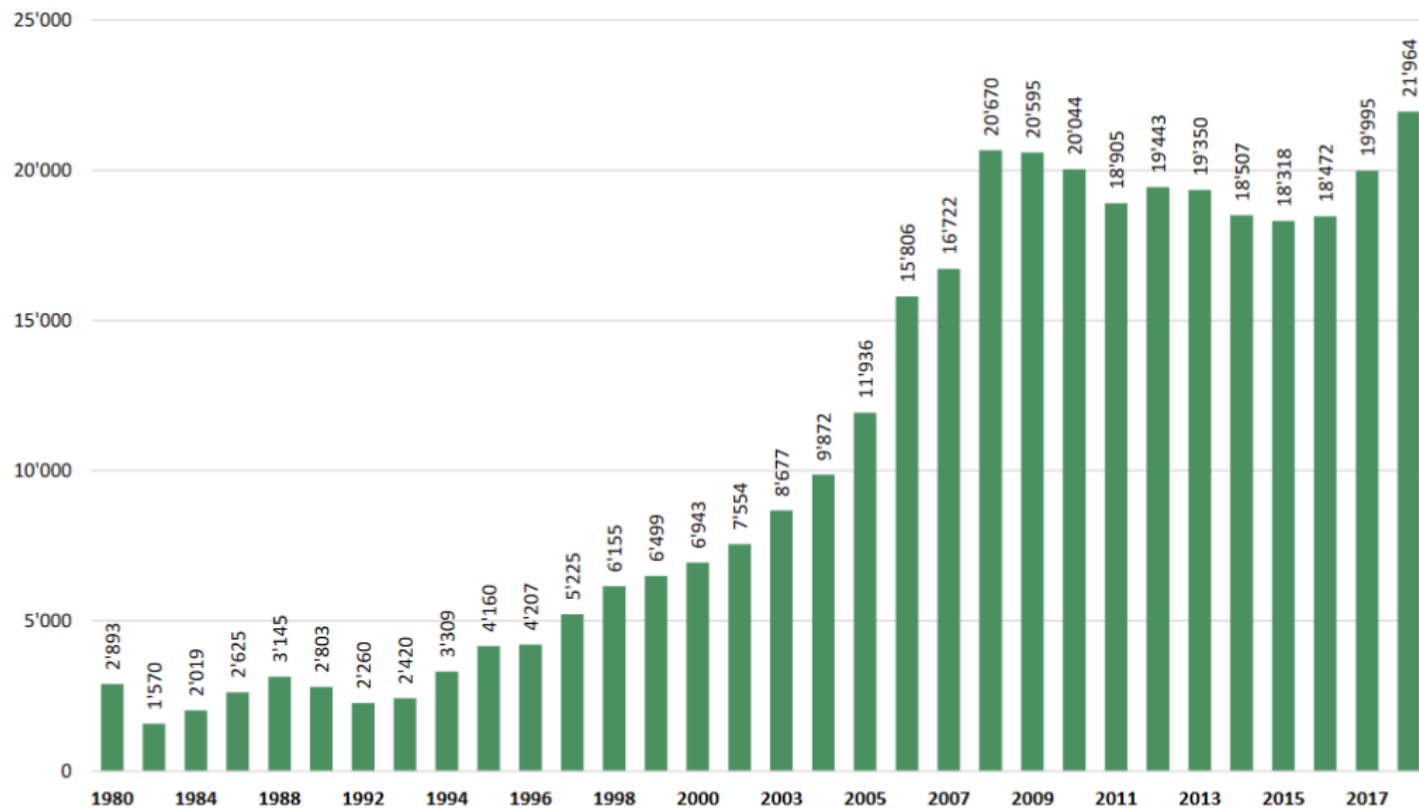
Solutions « partielles » :

- PAC sur air extrait
- Boilers thermodynamiques



# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

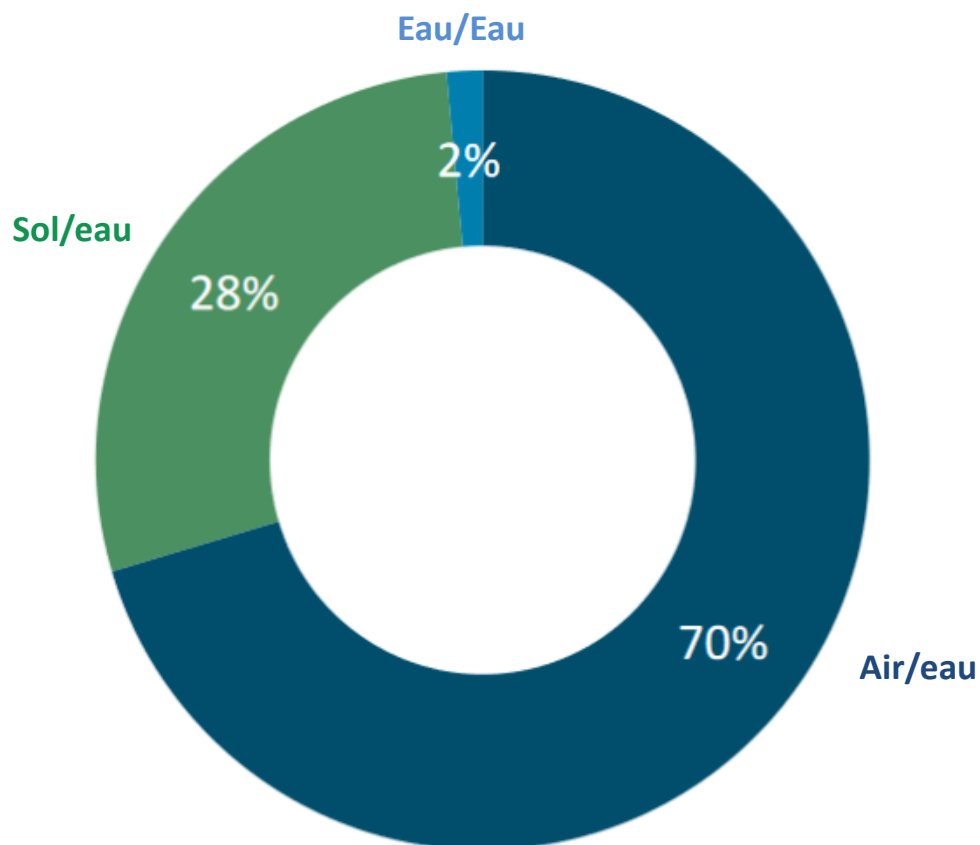
Évolution du marché des pompes à chaleur (nombre de ventes) :



Source : [www.fws.ch](http://www.fws.ch)

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

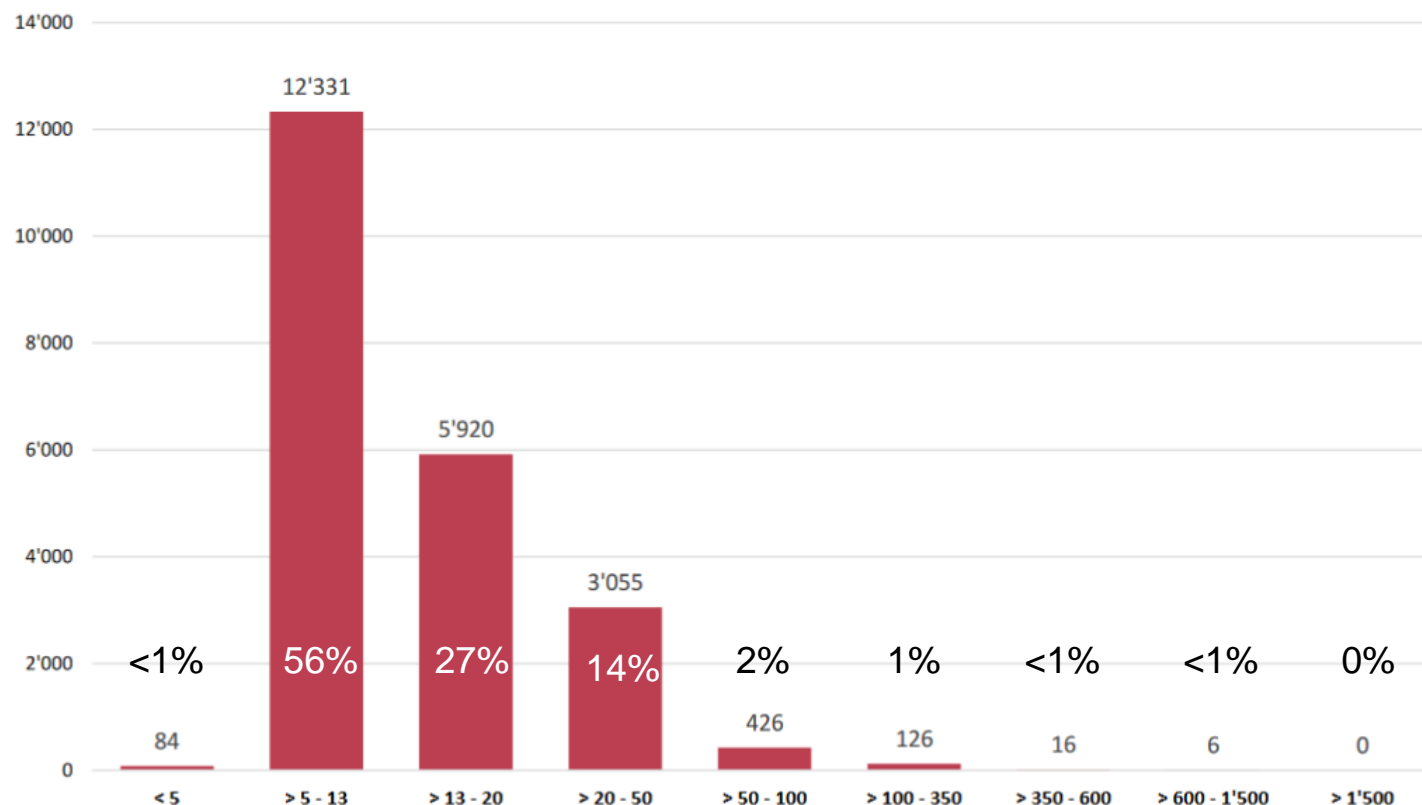
Part de pompes chaleur vendues par type :



Source : [www.fws.ch](http://www.fws.ch)

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

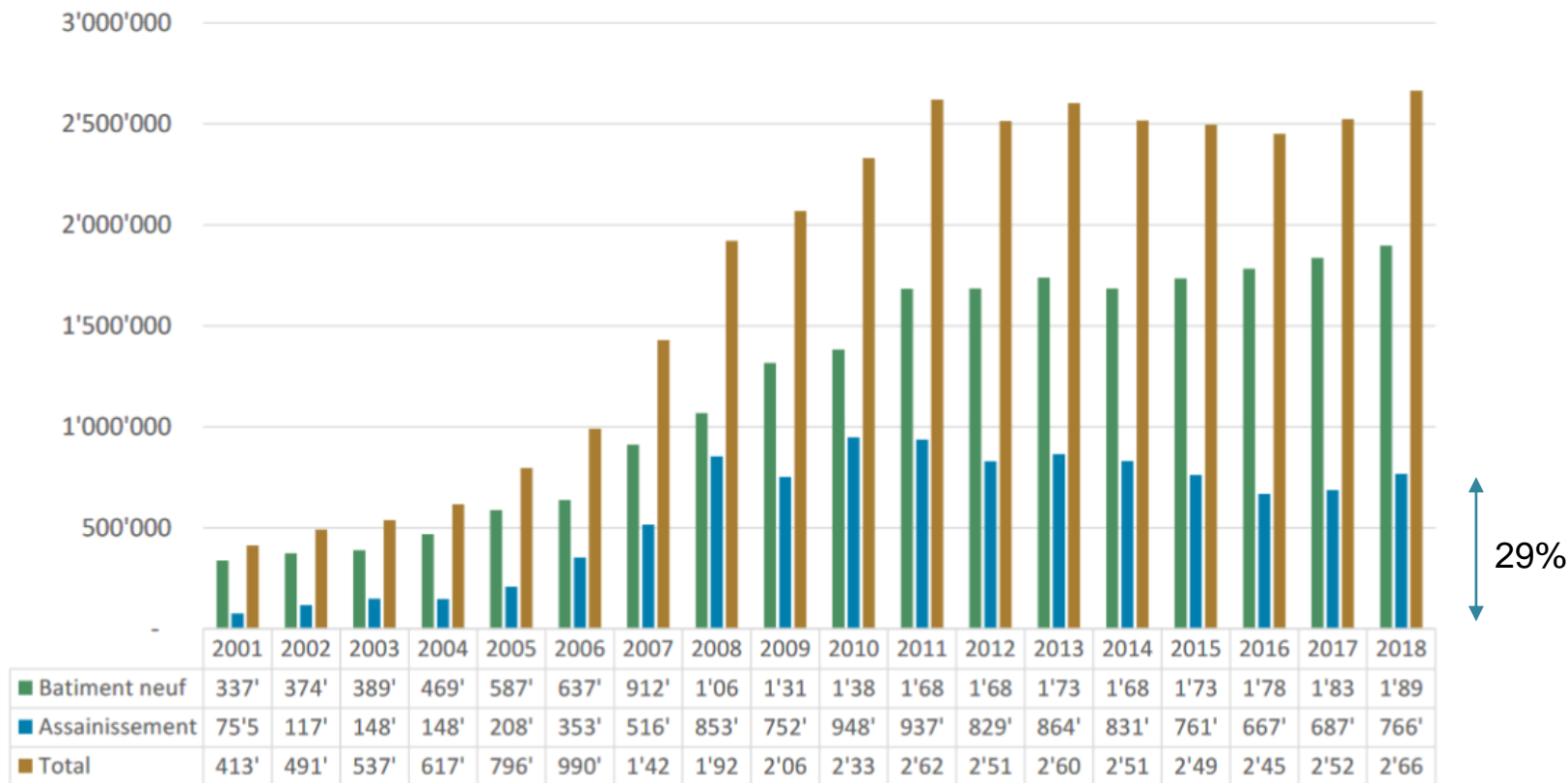
Nombre de ventes par puissances :



Source : [www.fws.ch](http://www.fws.ch)

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Forages géothermiques par type de projet (en mètres) :

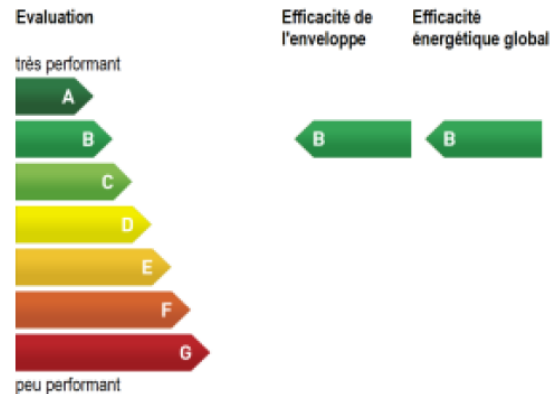


Source : [www.fws.ch](http://www.fws.ch)

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

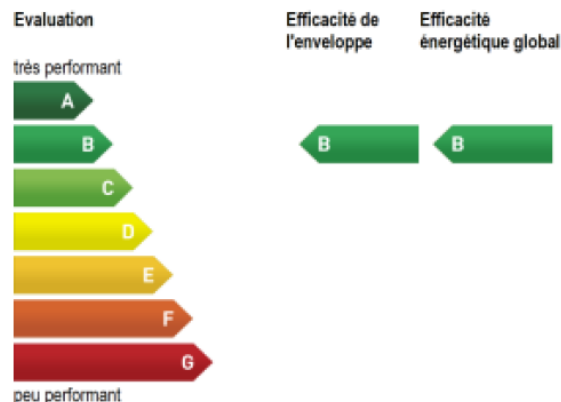
Dans le CECB<sup>®</sup>plus :

- Variante PAC :



	Standard	Actuel	
<b>Données</b> (Valeurs calculées, basées sur Q,eff)			
Efficacité de l'enveloppe du bâtiment:	38	38	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Efficacité énergétique globale:	81	64	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Énergie livrée nette annuelle</b> (Valeurs calculées, basées sur Q,eff)			
Électricité:	6'496	6'496	kWh/a
Chauffage:	4'979	4'979	kWh/a
Eau chaude:	2'636	2'636	kWh/a
Gain PV:	-2'600	-5'000	kWh/a
Gain CCF	0	0	kWh/a
<b>Equivalent-CO2</b>	7	5	kg/(m <sup>2</sup> a)

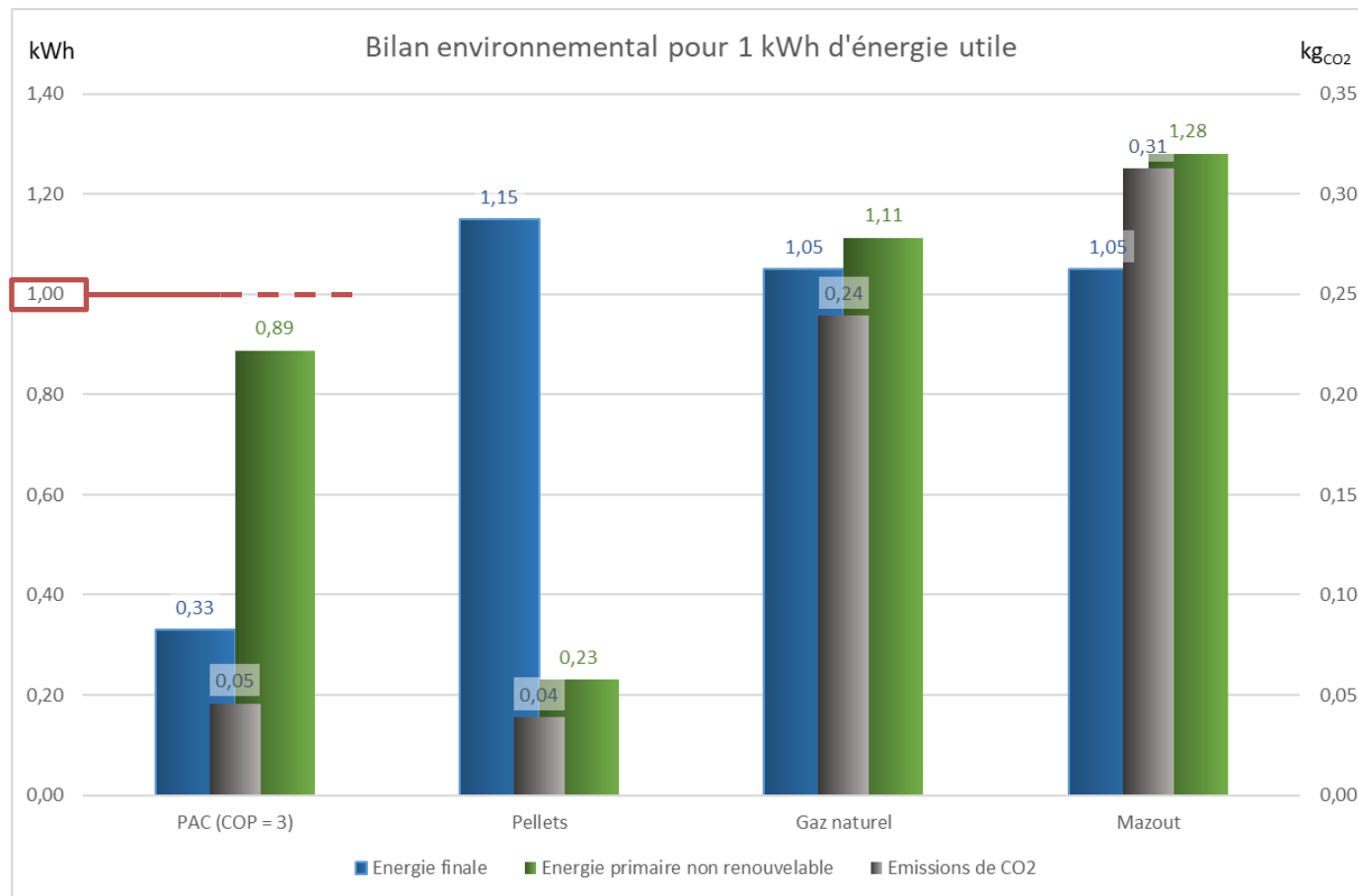
- Variante pellets :



	Standard	Actuel	
<b>Données</b> (Valeurs calculées, basées sur Q,eff)			
Efficacité de l'enveloppe du bâtiment:	38	38	kWh/(m <sup>2</sup> a)
Efficacité énergétique globale:	62	45	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Énergie livrée nette annuelle</b> (Valeurs calculées, basées sur Q,eff)			
Électricité:	7'009	7'009	kWh/a
Chauffage:	13'684	13'684	kWh/a
Eau chaude:	3'842	3'842	kWh/a
Gain PV:	-2'600	-5'000	kWh/a
Gain CCF	0	0	kWh/a
<b>Equivalent-CO2</b>	5	3	kg/(m <sup>2</sup> a)

# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Comparaison avec les autres vecteurs énergétiques :



# La place des pompes à chaleur dans l'assainissement énergétique des bâtiments

Avantages de la pompe à chaleur en rénovation :

- technologie éprouvée
- forte réduction de la consommation d'énergie finale ( $E_{f,hww}$ )
- forte réduction des émissions de gaz à effet de serre (sous réserve d'étanchéité du circuit)
- maintenance annuelle simple
- synergies possibles avec le photovoltaïque

Difficultés rencontrées en rénovation :

- accès aux sources froides
- hauts niveaux de température
- stockage
- grandes puissances
- altitude/humidité (dégivrage)
- acoustique



# Quelques notions

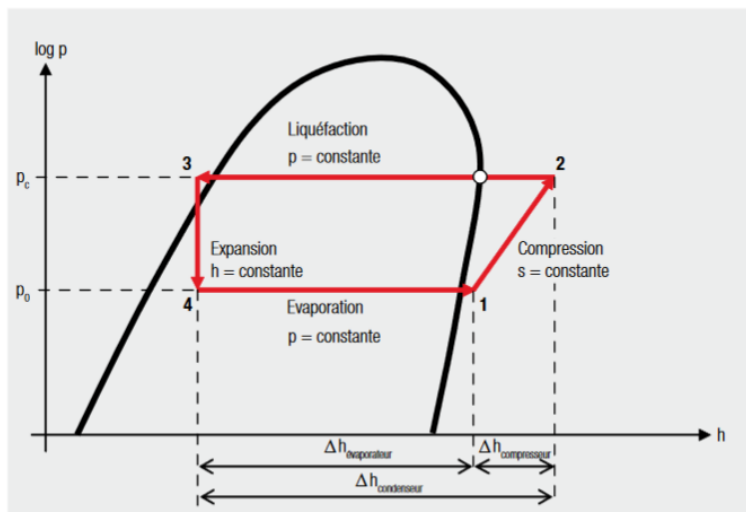
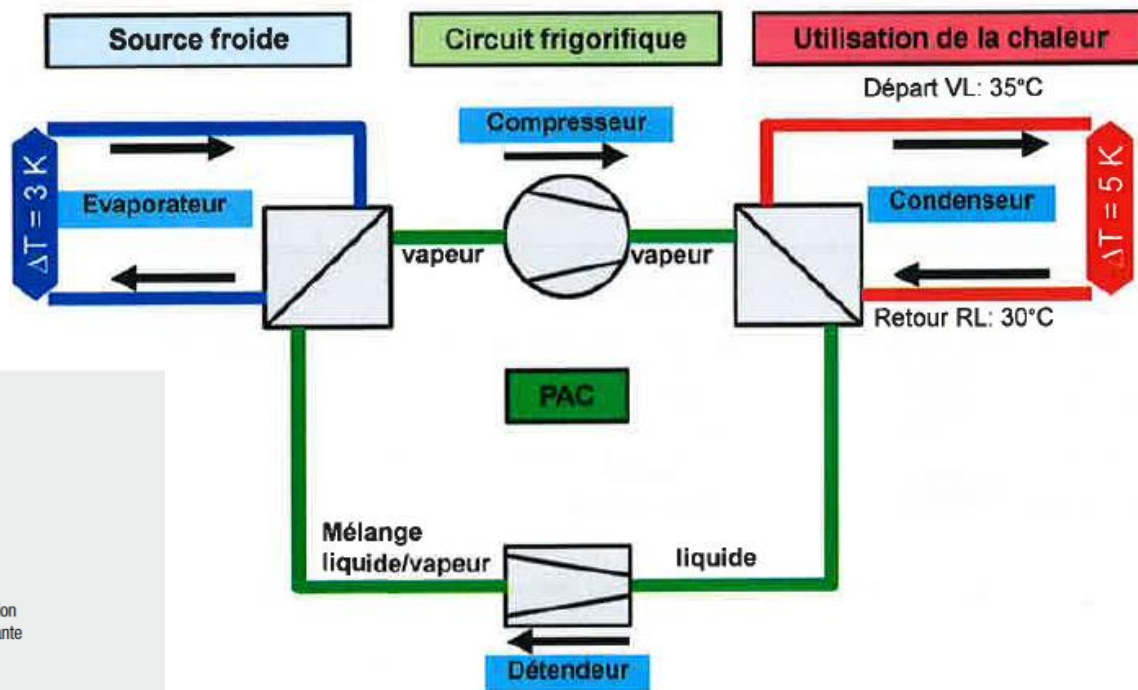
**APPRENDRE** v.t. 1. Acquérir la connaissance, la pratique de; communier

1. Acquérir la connaissance, la pratique de; communier avec un métier, les mathématiques. 2. Faire connaître, la pratique de; communier avec un métier, les mathématiques. 2. Faire connaître, la pratique de; communier avec un métier, les mathématiques.

**APPRENTI**, s.n. 1. Personne qui apprend, qui est en apprentissage. 2. Personne habile, expérimentée. ▢ Apprenti

# Quelques notions

- Les principaux composants :



Source : GSP

Mnémotechnique :

Évaporateur  
Extérieur

Condenseur  
Chaufferie

# Quelques notions

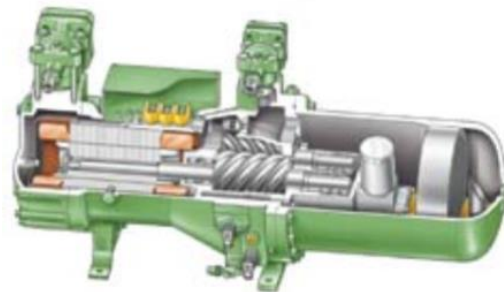
- Les principaux types de compresseurs :

Spiral/Scroll/Palette



*Compact*

Vis

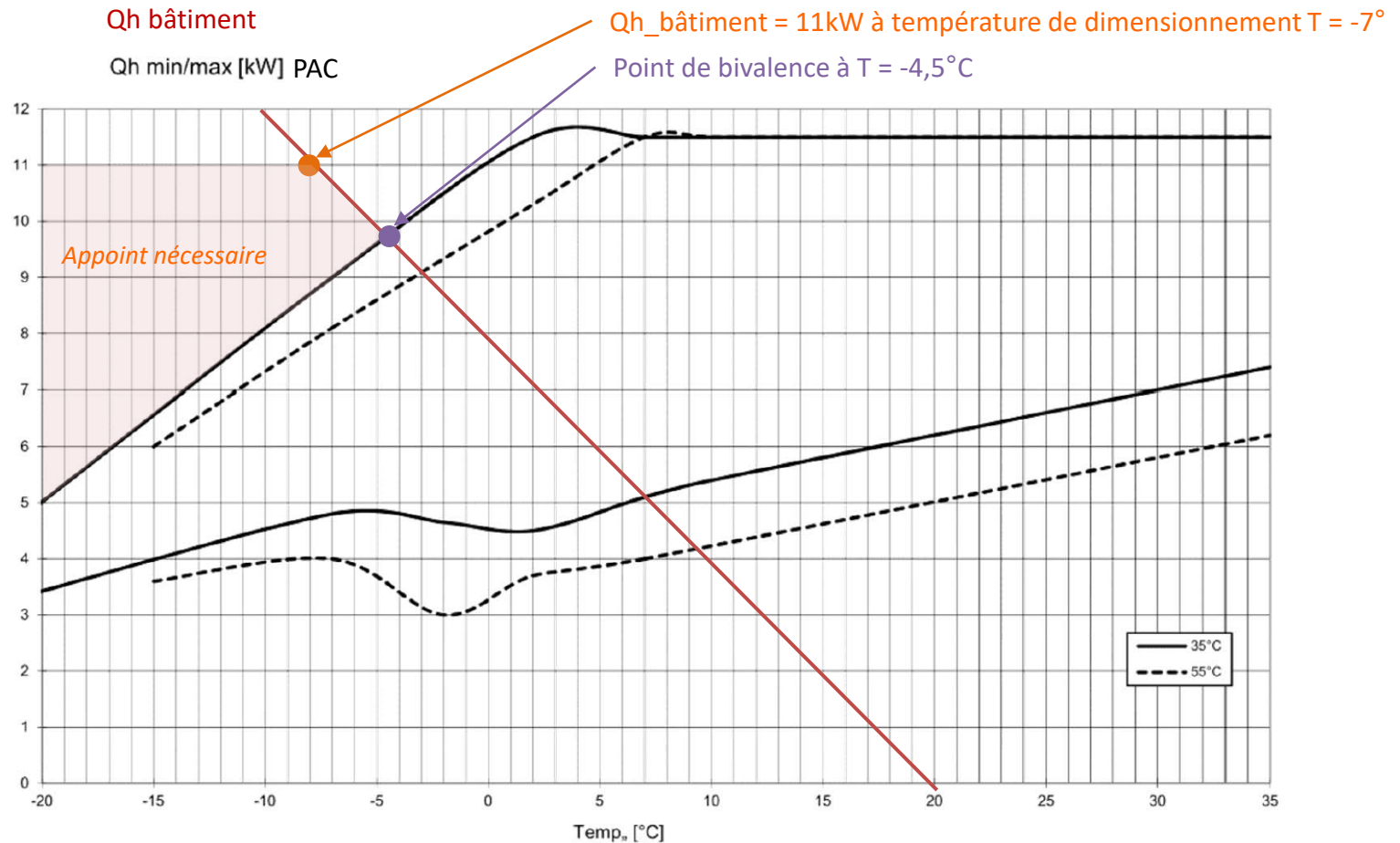


*Puissances élevées*

*Source : GSP*

# Quelques notions

- Point de bivalence :

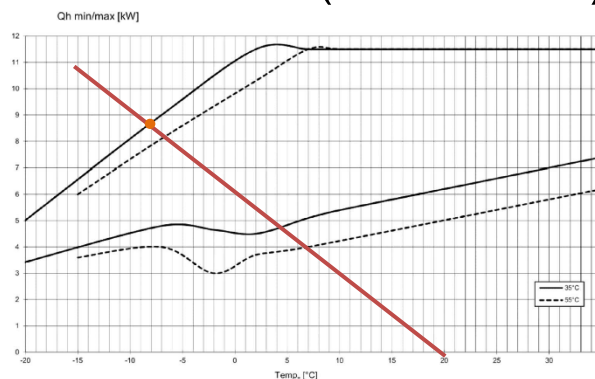


Exemple pour Alpha Innotec LWCV 122R3

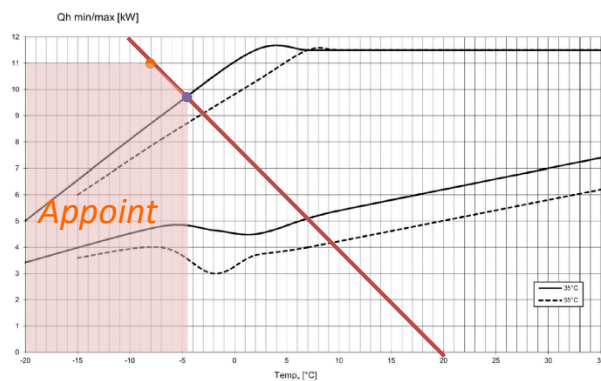
# Quelques notions

- Modes de fonctionnement :

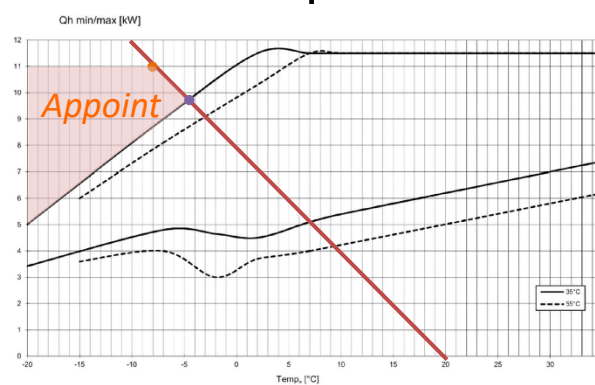
## Monovalent (100% PAC)



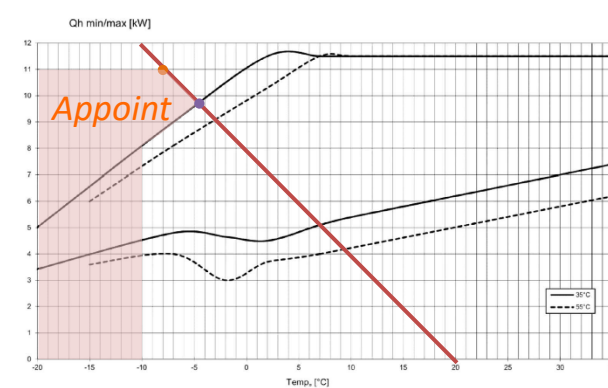
## Bivalent alternatif



## Bivalent parallèle



## Bivalent alternatif-parallèle



Exemple pour Alpha Innotec LWCV 122R3

# Quelques notions

- COP/COPa/SCOP:
  - **COP** : rapport électricité consommée/chaleur fournie pour un écart et un niveau de températures donnés
  - **COPa** : performance spécifique sur l'ensemble de l'année
  - **SCOP** : performance standard sur une saison

Nom de l'appareil		LWCV 82R1/3			
Type de pompe à chaleur	Air/Eau interieur				
Conformité	CE				
Caractéristiques de performance	Puissance calorifique / COP pour				
	A7/W35	Point normalisé selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	7,0   --
	A2/W35	Point service selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	7,0   --
	A-7/W35	Point service selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	6,0   3,0
	A-7/W55	Point service selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	5,4   2,0
Caractéristiques de performance	Puissance de refroidissement / EER				
	A35/W18	Point normalisé selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	6,0   --
	A35/W7	Point service selon EN14511	Fonc. à pleine charge	kW   ...	pas possible
Caractéristiques de performance SCOP	Pdesign/SCOP				
	SCOP 35	Selon norme EN14825	Climat moyen (Europe)	kW   ...	6,24   3,93
	SCOP 55	Selon norme EN14825	Climat moyen (Europe)	kW   ...	5,65   2,97
Limites d'utilisation	Circuit de chauffage chez A-7°C			°C	20' – 58°
	Source de chaleur			°C	-22 – 35
	Points supplémentaires de fonctionnement			°C	A0 / W60



# Quelques notions

- Acoustique - formulaire PAC du Cercle Bruit (<https://www.fws.ch/fr/nos-services/cercle-bruit/>) :


Données sur la pompe à chaleur air/eau (données techniques + plan de situation avec l'installation)  
selon les normes EN 255 resp. EN 14511 (voir www.wpz.ch)



Fabricant		Puissance acoustique $L_{WA}$	54 dBA	<input checked="" type="radio"/> Lw A
Modèle / Type		Niveau sonore LpA	dBA	<input type="radio"/> LpA
Puissance	12 kW	à (distance) $s_1$	m	

Situation  à l'intérieur  à l'extérieur  système split

Puissance acoustique à l'extérieur $L_{WA}$ (données constructeur / Wärmepumpen-Testzentrum www.wpz.ch)	54 dBA
Distance (s) Source - Récepteur (immeuble voisin ; maison plurifamiliale : sur l'immeuble même ; parcelle non construite : sur l'alignement)	6,5 m
<b>Valeurs de planification</b> (annexe 6 OPB) <input checked="" type="radio"/> DS II (habitation) <input type="radio"/> DS III (mixte)	45 dBA

**Calcul du niveau d'évaluation  $L_r$  au récepteur**

**Facteurs de corre** 

Directivité de	<input type="radio"/> PAC intérieure, ouvertures à la façade (+ 6 dB)
la source $D_c$ 	<input type="radio"/> PAC intérieure, ouvertures près d'un angle rentrant de façade (+ 9 dB)
	<input checked="" type="radio"/> PAC extérieure proche de la façade (+ 6 dB)

**Niveau d'évaluation  $L_r$**  **44,7 dBA**

La valeur de planification de 45 dBA est **respectée.**

<b>Nom de l'appareil</b>		<b>LWC 100</b>	
Type de pompe à chaleur	Air/Eau intérieur		
Acoustique	Niveau de puissance acoustique selon ERP (EN12102) (entrée dans cercle bruit suisse)	dB(A)	54
	Niveau de puissance acoustique max. en service de jour	dB(A)	54
	Niveau de puissance acoustique max. en service reduction de nuit	dB(A)	54

# Quelques notions

- Acoustique - Principes :
  - Déterminer le degré de sensibilité au bruit de la parcelle
  - Déterminer la distance à la façade la plus exposée/parcelle vide

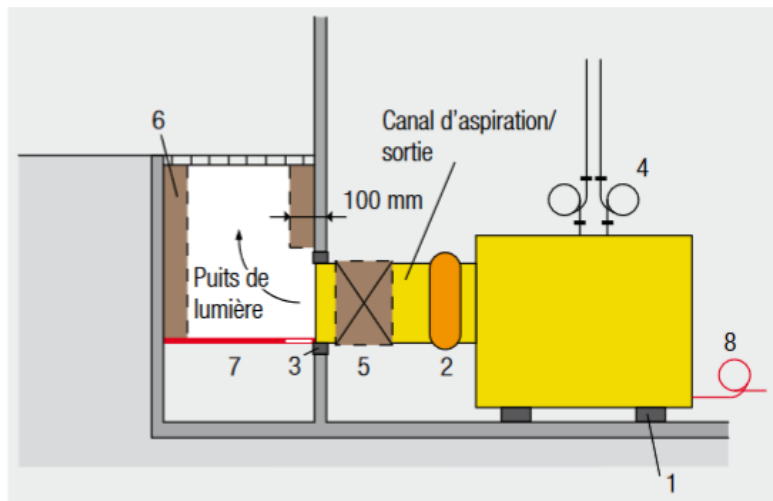


Source : SITN



# Quelques notions

- Acoustique - Mesures de réduction du bruit intérieur :



Source : GSP

- 1: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et le sol de la cave
- 2: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et le canal (le soufflet ne doit pas être tendu)
- 3: Séparation des bruits solidiens entre le canal d'air et le bâtiment
- 4: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et les conduites de chauffage
- 5: Amortisseur de bruit à absorption dans les canaux d'air lors d'exigences plus élevées
- 6: Chicane avec chemisage absorbant
- 7: Amortisseur de bruit pour les basses fréquences lors d'exigences plus élevées (amortisseur de bruit à résonance)
- 8: Séparation des bruits solidiens entre la pompe à chaleur et les raccords électriques

Source: «Isolation acoustique lors de l'installation de pompes à chaleur», éditeur GSP

# Quelques notions

## Points d'attention

- Source froide : disponibilité, températures, capacités
- Besoins thermiques : températures, puissances (chauffage et ECS)
- Capacités de stockage : place disponible pour les stocks hydrauliques, chauffage de sol
- Emplacement des appareils : acoustique, esthétique
- Synergie avec les autres composants (photovoltaïque, thermique, ventilation, ...)
- Monitoring énergétique

# Quelques notions

## Points d'attention dans le CECB<sup>®</sup> plus

PC-4	Pompe à chaleur, air-eau	2019	2.30	2.30 Ch+ECS (toute l'année)	36'000	1
Abrév.	PC-4	Année de construction	2019			
Type	Pompe à chaleur, air-eau	Taux d'utilisation chauffage	2.3			
Agent énergétique	Électricité (TB / heures creuses)	Taux d'utilisation ECS	2.3			
Dénomination	PAC air/eau	Surdimensionnement	1			
Accumulateur	Accumulateur combiné	Volume accumulateur	800 litres			
Distribution	Ch+ECS (toute l'année)	Production d'électricité couplage chaleur-force	0 kWh/a			
Emplacement	Hors enveloppe du bâtiment	Nombre (0=effacer)	1			
Type de modernisation	Remplacement/nouvelle construction	Investissement	36000 CHF			
Base de calculs	Forfait	Coûts d'entretien	0.5 %/a			
Durée d'utilisation	25 ans	Facteur de difficulté	1			
Description du programme		Montant subventionné	CHF			

*PACesti ?*

# Quelques notions

## Intégration du PACesti

Données concernant le bâtiment			
Station climatique:			Neuchâtel
Catégorie d'ouvrage			Habitat individuel
Surface de référence énergétique SRE	$A_E$	m <sup>2</sup>	285
Besoins de chaleur pour le chauffage selon SIA 380/1	$Q_{h,eff}$	MJ/m2a	138
Déperditions par transmission selon SIA 380/1	$Q_T$	MJ/m2a	190
Déperditions par renouvellement d'air selon SIA 380/1	$Q_V$	MJ/m2a	68
Chauffage: pertes supplémentaires de distribution de chaleur		%	3%
Durée de coupure d'alimentation de la PAC		h/d	2
Puissance de chauffage nécessaire sans ECS à -5°C	valeur proposée: 6,2	kW	
Besoins de chaleur pour l'ECS selon SIA 380/1	$Q_{ww}$	MJ/m2a	60,0
Eau chaude sanitaire: pertes supplémentaires d'accumulation et de distribution		%	20%

▼ Résultats

Résultats intermédiaires

Résultats

Calculateur SIA

### Besoin en chaleur pour le chauffage

		État initial	Variante A	Variante B	Variante C
Besoin en chaleur de chauffage <sup>(P)</sup> , effective	$Q_{h,eff}$	428.0	203.6	138.3	138.3 MJ/(m <sup>2</sup> a)
Total des pertes de chaleur par transmission	$Q_T$	495.8	262.0	190.0	190.0 MJ/(m <sup>2</sup> a)
Pertes de chaleur par ventilation <sup>(P)</sup>	$Q_V$	68.1	68.1	68.1	68.1 MJ/(m <sup>2</sup> a)

# Quelques notions

## Intégration du PACesti

- Report dans CECBplus :

Résultats				
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$		kWh =	0
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1,6%	kWh =	79
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		5%	Etah =	95%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	2 665
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	100,0%	JAZ <sub>h</sub> =	3,67
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98,4%	JAZ <sub>ww</sub> =	2,88
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	y compris el. add.		-	3,36

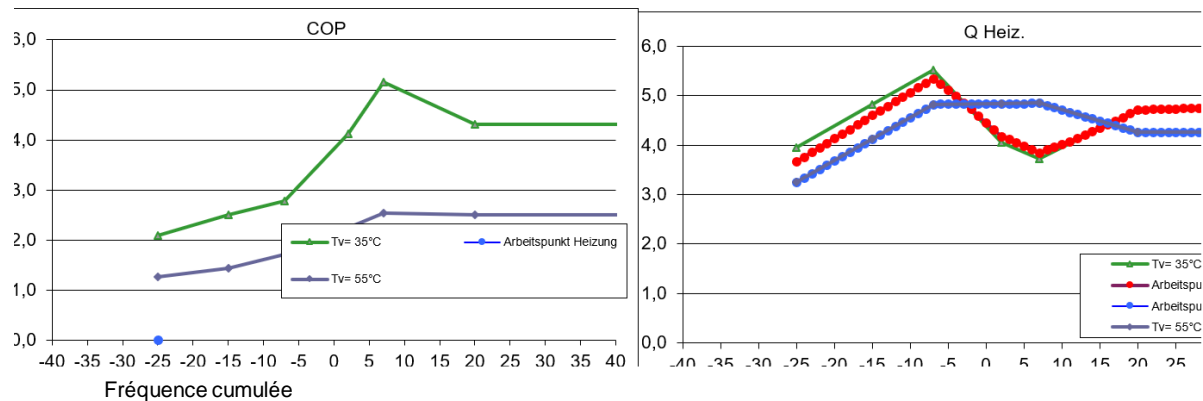
- Prestation de conseils – détection d'anomalies :

Résultats				
Part d'énergie électrique pour le chauffage	$\epsilon =$	15,4%	kWh =	1 926
Part d'énergie électrique pour l'ECS	$\epsilon =$	1,6%	kWh =	79
Pertes en mode chauffage (démarrage, accumulateur, etc.)		5%	Etah =	95%
Pertes en mode préparation d'ECS (démarrage, accumulateur, etc.)		6%	Etaw =	94%
Durée de fonctionnement de la pompe à chaleur			h / a	3 803
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour le chauffage	$\epsilon =$	84,6%	JAZ <sub>h</sub> =	3,82
Part et COP annuel de la pompe à chaleur pour l'ECS	$\epsilon =$	98,4%	JAZ <sub>ww</sub> =	2,28
COP annuel pour chauffage et ECS (COPa [ch+ECS])	y compris el. add.		-	2,52

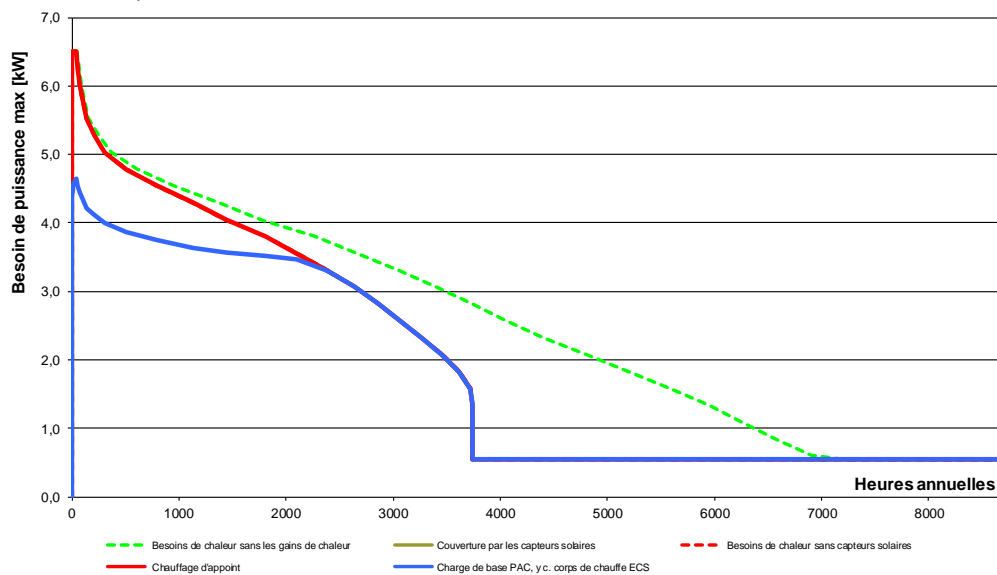
# Quelques notions

## Exploration du PACesti (feuilles masquées)

- « WP\_BIN » :



- « Graph » :



# Quelques notions

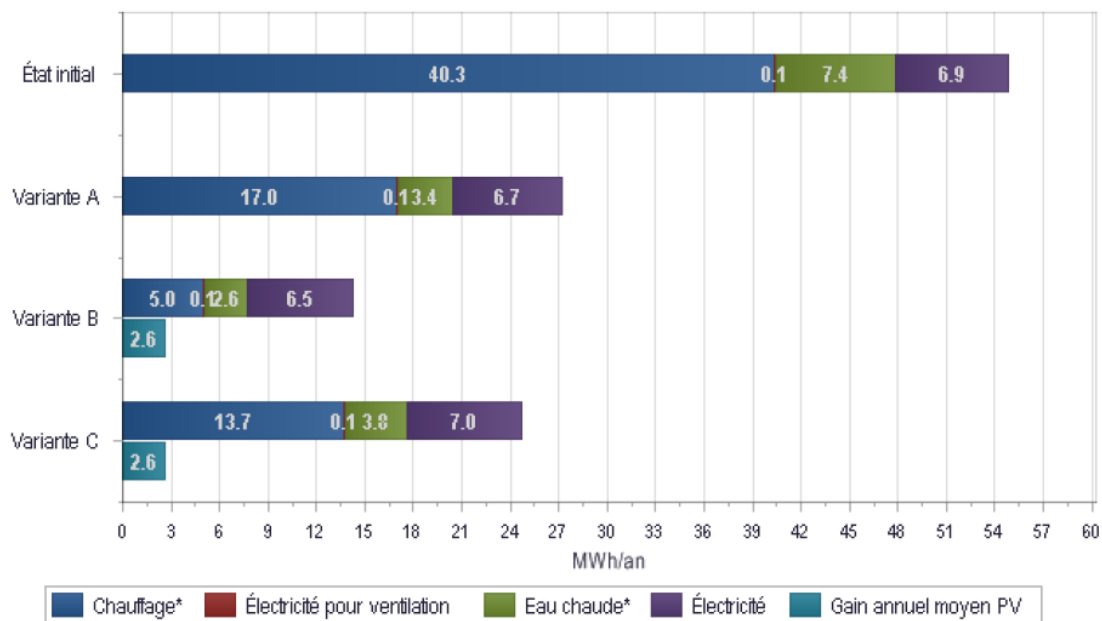
## Rapport de conseils

- Energie finale :

### 7 Aperçu énergie finale

Ci-dessous, la répartition de la consommation énergétique par poste et pour chaque variante proposée en comparaison avec l'état initial.

#### 7.1 Avec données d'utilisation standard:



\* Le besoin couvert par l'énergie thermique solaire est déjà déduit

La variante B est la plus efficace. La variante B apporte une amélioration supplémentaire en termes de réduction de la consommation énergétique comparativement à la variante A.

Les besoins de chauffage de la variante B intègre le COP de la pompe à chaleur.

# Quelques notions

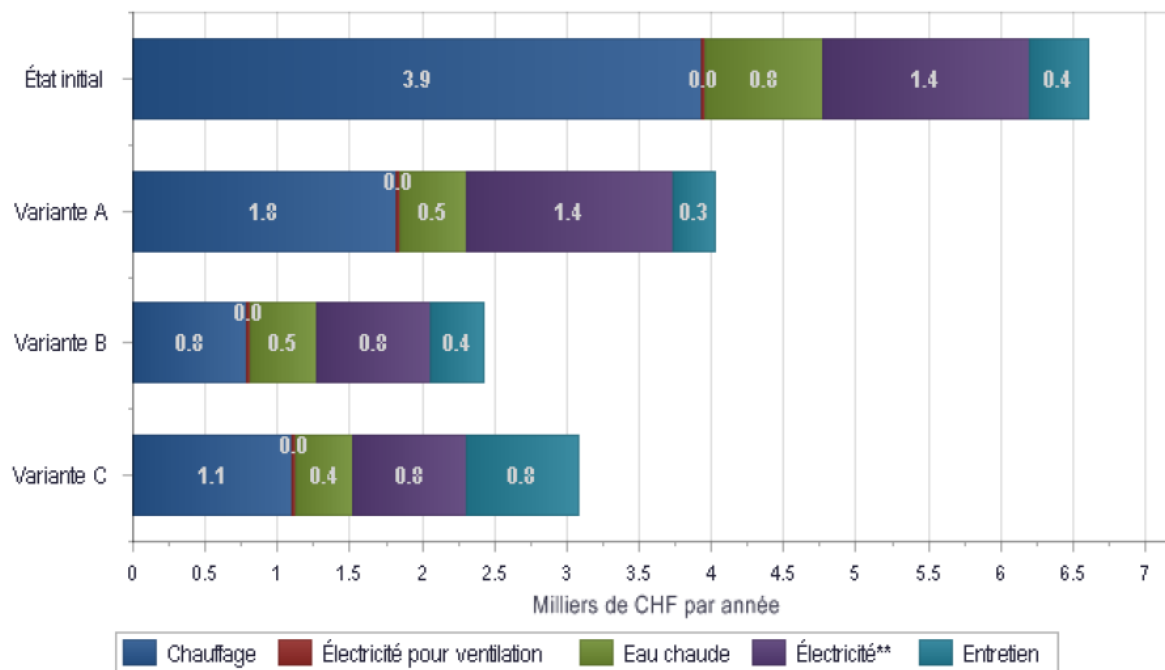
## Rapport de conseils

- Coût énergétiques :

### 8 Coûts énergétiques annuels

Ci-dessous, la répartition de la dépense énergétique par poste et pour chaque variante proposée en comparaison avec l'état initial.

#### 8.1 Avec données d'utilisation standard:



\*\* Le besoin couvert par l'énergie thermique solaire ainsi que la production totale d'électricité sont déjà déduits



# Présentation des cas

Un pouco de ciencia alonxa  
de Deus, pero moita ciencia leva  
directamente a Deus.

$$E = mc^2$$

and

$$I = Reli$$

# Cas n°1 : chalet des années 1970



# Cas n°2 : villa des années 1980



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960



# Solutions retenues par les maîtres d'ouvrages et mises en œuvre



# Solutions retenues par les maîtres d'ouvrages et mises en œuvre

## Avertissement

- Les projet présentés ci-après sont ceux qui ont été effectivement choisis par les maitres d'ouvrage et mis en œuvre
- Ils ne constituent en aucun cas des solutions « idéales »
- Ils ne constituent en aucun cas des « modèles universels »
- Ils sont juste le fruit de choix réfléchis en fonction des critères propres à chaque maitre d'ouvrage à une époque donnée
- Il faut cependant souligner que dans les 3 cas les propriétaires étaient satisfaits des travaux

# Cas n°1 : chalet des années 1970

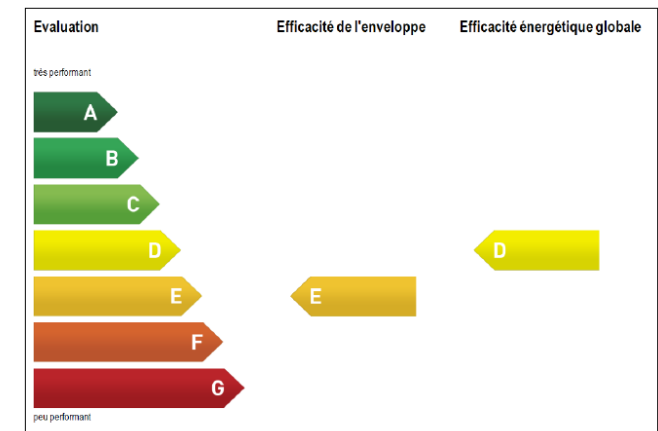
## Situation initiale



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Etat physique et énergétique

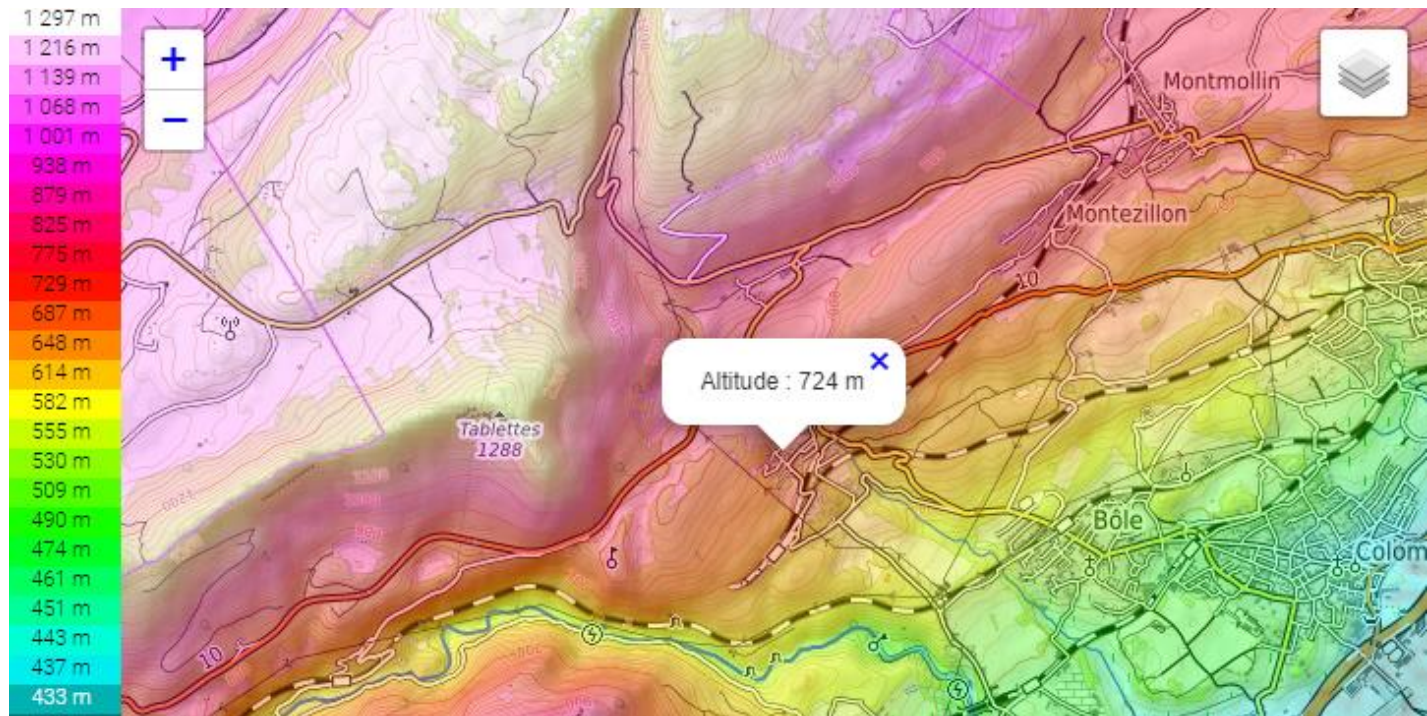
- Maison individuelle
- 1979
- SRE = 160 m<sup>2</sup>
- 2 habitants
- Chambrelieu (Rochefort, NE)
- Orientation Sud-Est
- Altitude 724 m
- Chauffage et ECS au mazout (d'origine)
- Cheminée de salon peu utilisée
- Tuiles fibrociment à remplacer
- Façades ossature bois isolées (10 cm)
- Fenêtres à 60% déjà remplacées
- Entretien globalement bien suivi





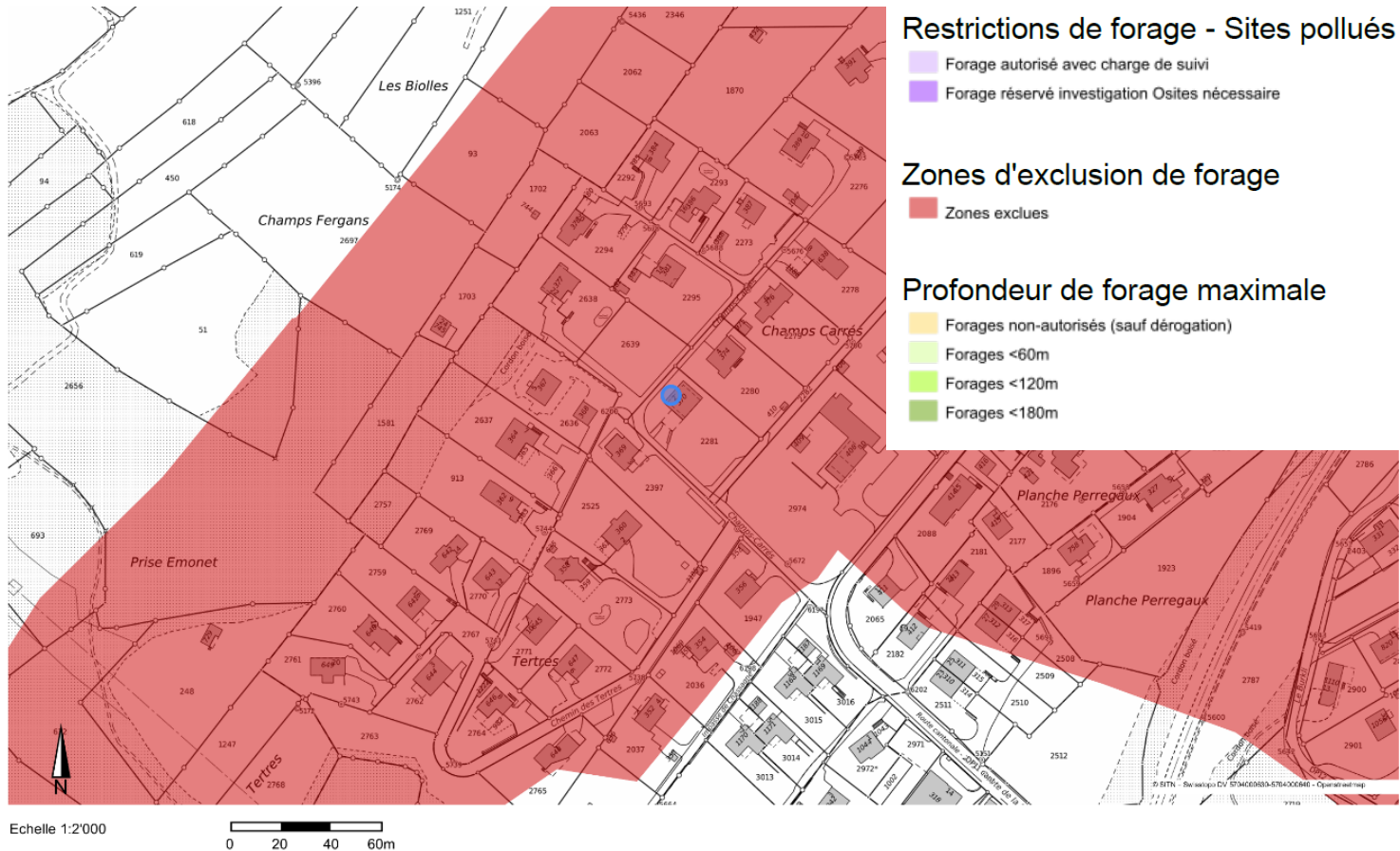
# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Exposition/altitude



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Sous-sol



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Potentiel solaire



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Toitures

Nord-Est



Sud-Ouest



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Façades

Sud-Est

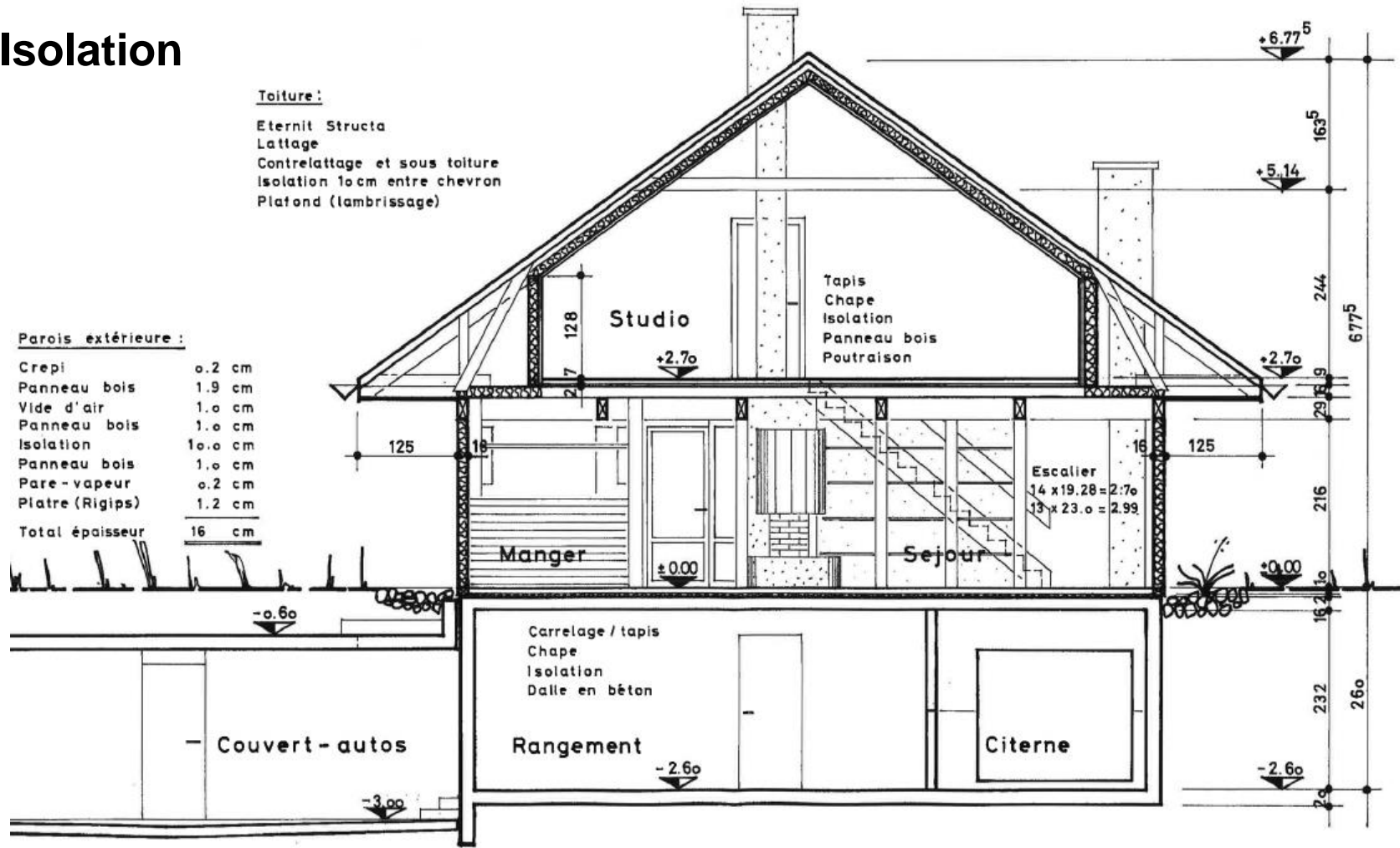


Nord-Ouest



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Isolation



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Isolation

- Toiture :  $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Murs c/ext. :  $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres DV (40%) :  $U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres TV (60%) :  $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sol c/ext (13 m<sup>2</sup>):  $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sol c/NC (84 m<sup>2</sup>):  $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

### Evaluation

très performant



peu performant

# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Consommation énergétique

- Consommation avant travaux :
  - Réelles : env. 1'600 litres/an
  - SIA 380/1 : env. 25'000 kWh/an

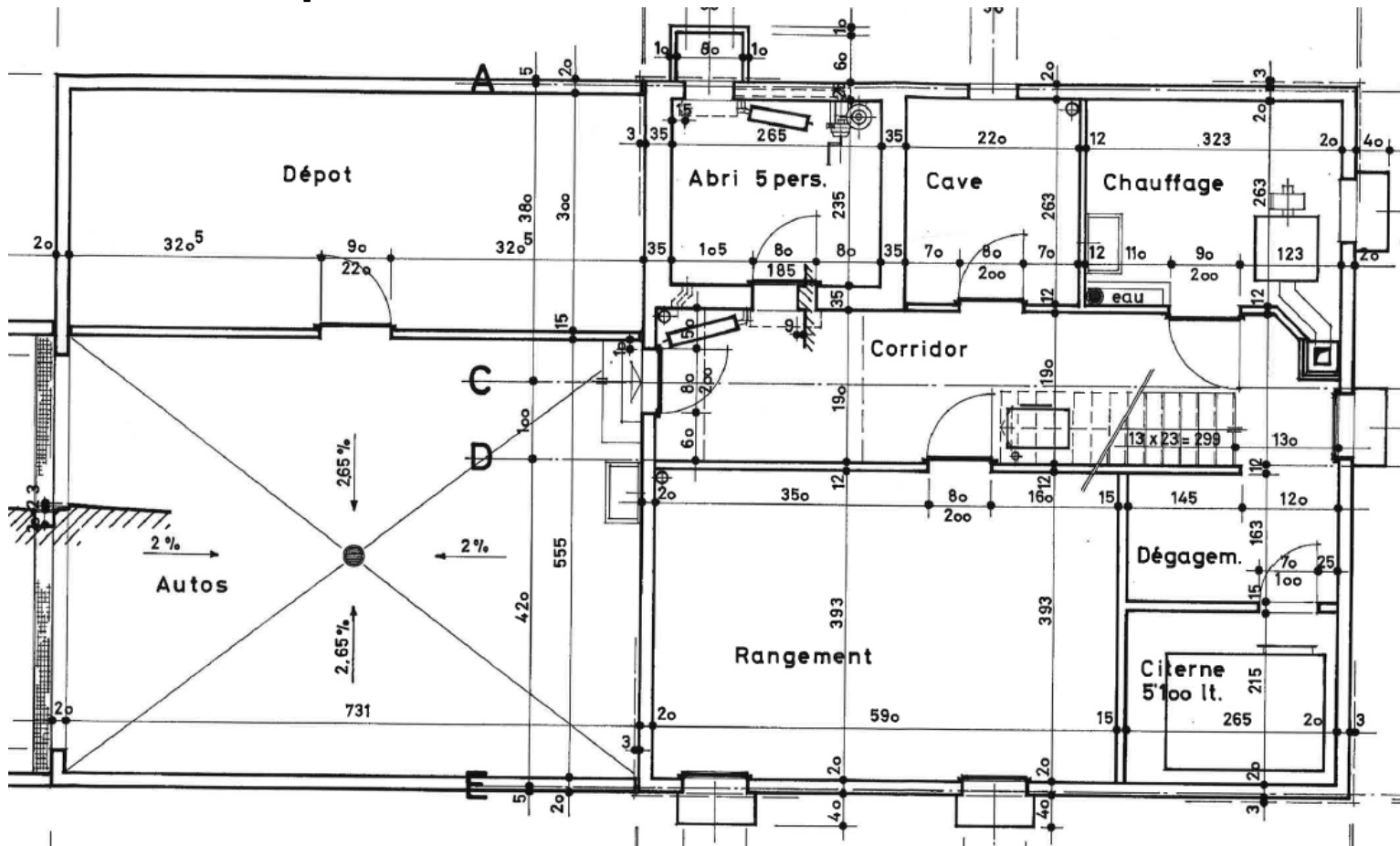
Écart important entre calcul théorique et consommations réelles qui s'explique par le comportement du maître d'ouvrage qui chauffe le strict minimum et sait bien tirer partie des apports solaires importants au travers de sa façade Sud





# Cas n°1 : chalet des années 1970

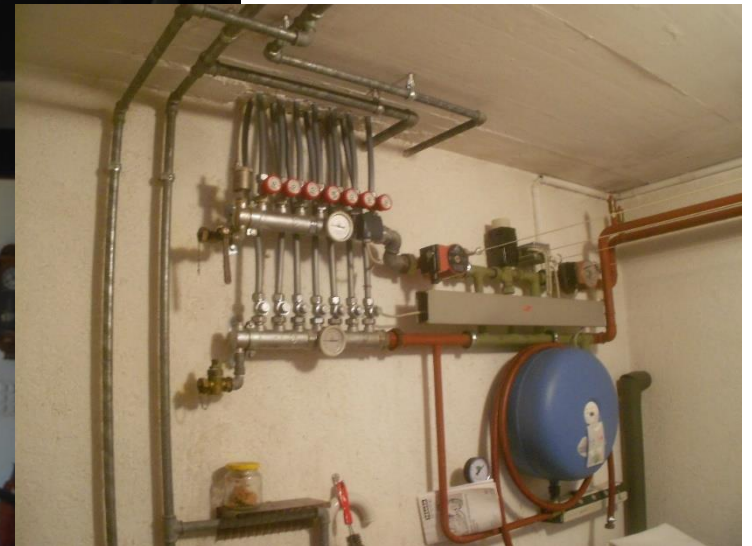
## Locaux techniques



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Émission de chaleur

- Chauffage au sol



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Production de chaleur

- Chaudière mazout de 1979 et de 26 kW pour chauffage et ECS



# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Récapitulatif

- Enveloppe thermique bien isolée ( $P_{th} < 10 \text{ kW}_{th}$ ),
- Entretien nécessaire en toiture (tuiles Eternit)
- Système de chauffage centralisé, émission par le sol
- Cheminée d'apparat (foyer ouvert)
- Production d'ECS centralisée dans le sous-sol
- Locaux techniques : chaufferie 8 m<sup>2</sup>, local citerne 5'000 litres
- Forts apports solaires au Sud
- Altitude 724 m
- Horizon dégagé
- Maître de l'ouvrage âgé, aux finances limitées, mais avec des convictions écologiques et de l'intérêt pour les nouvelles technologies

# Cas n°1 : chalet des années 1970

## Solutions retenues



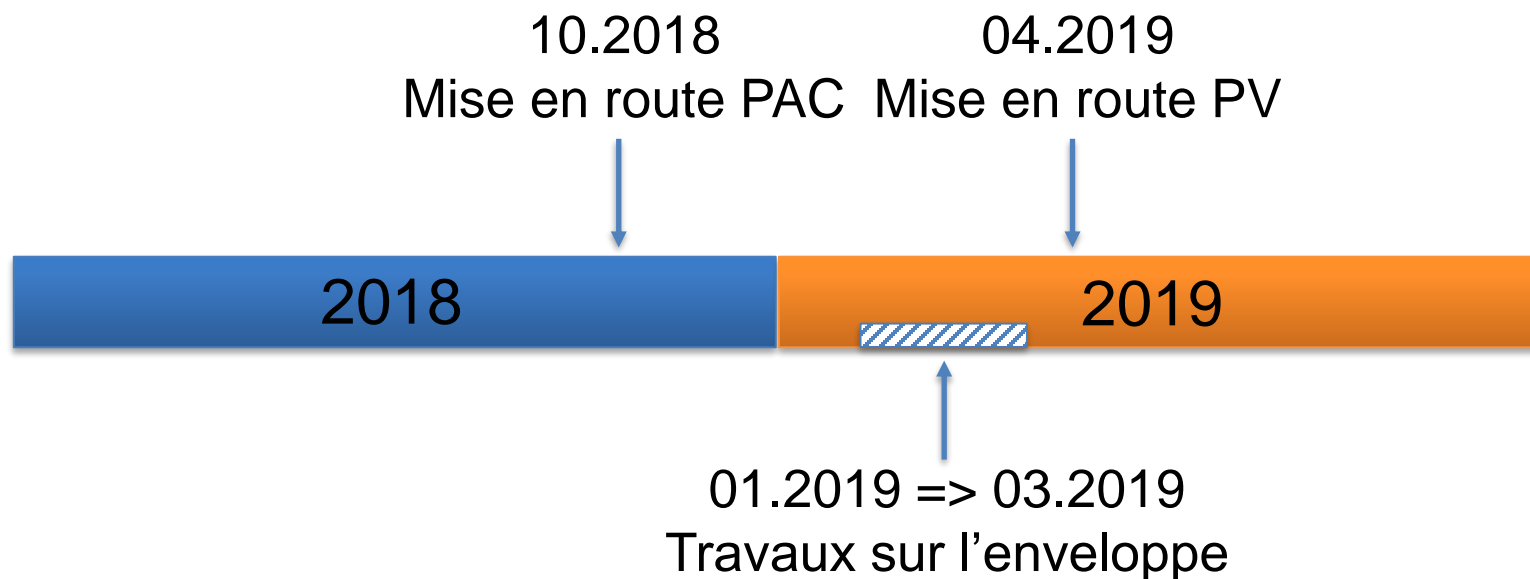
# Cas n°1 – Solutions retenues

## Projet retenu

- Entretien de l'enveloppe comprenant :
  - Renforcement de l'isolation du toit
  - Remplacement du velux par un triple vitrage
- Mise en place d'une pompe à chaleur air-eau  
=> Consommation prévue : **15'000 kWh/an**
- Couverture solaire photovoltaïque (5 kWc) sur pan Sud
- Couverture solaire thermique (4.7 m<sup>2</sup>) sur pan Sud

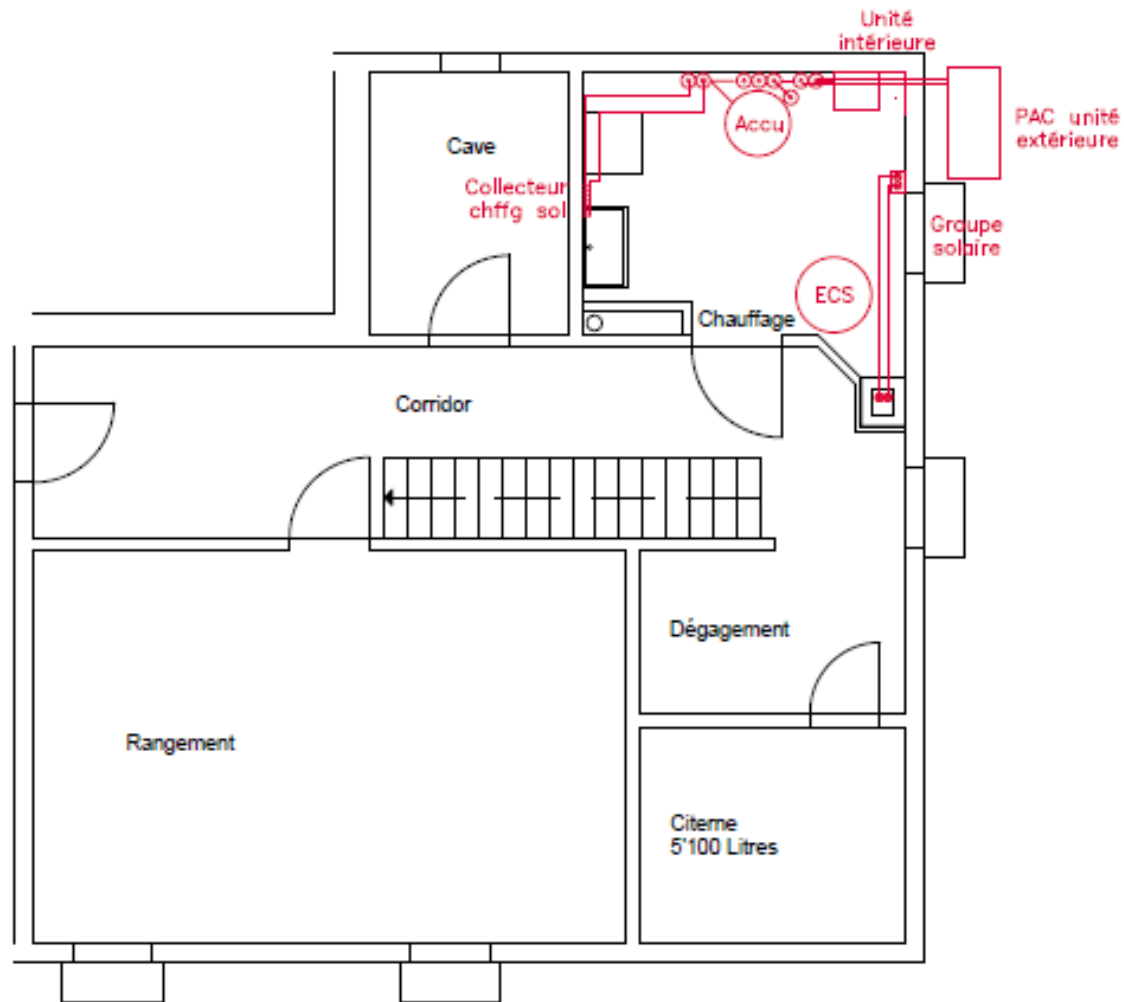
# Cas n°1 – Solutions retenues

## Planning des travaux



# Cas n°1 – Solutions retenues

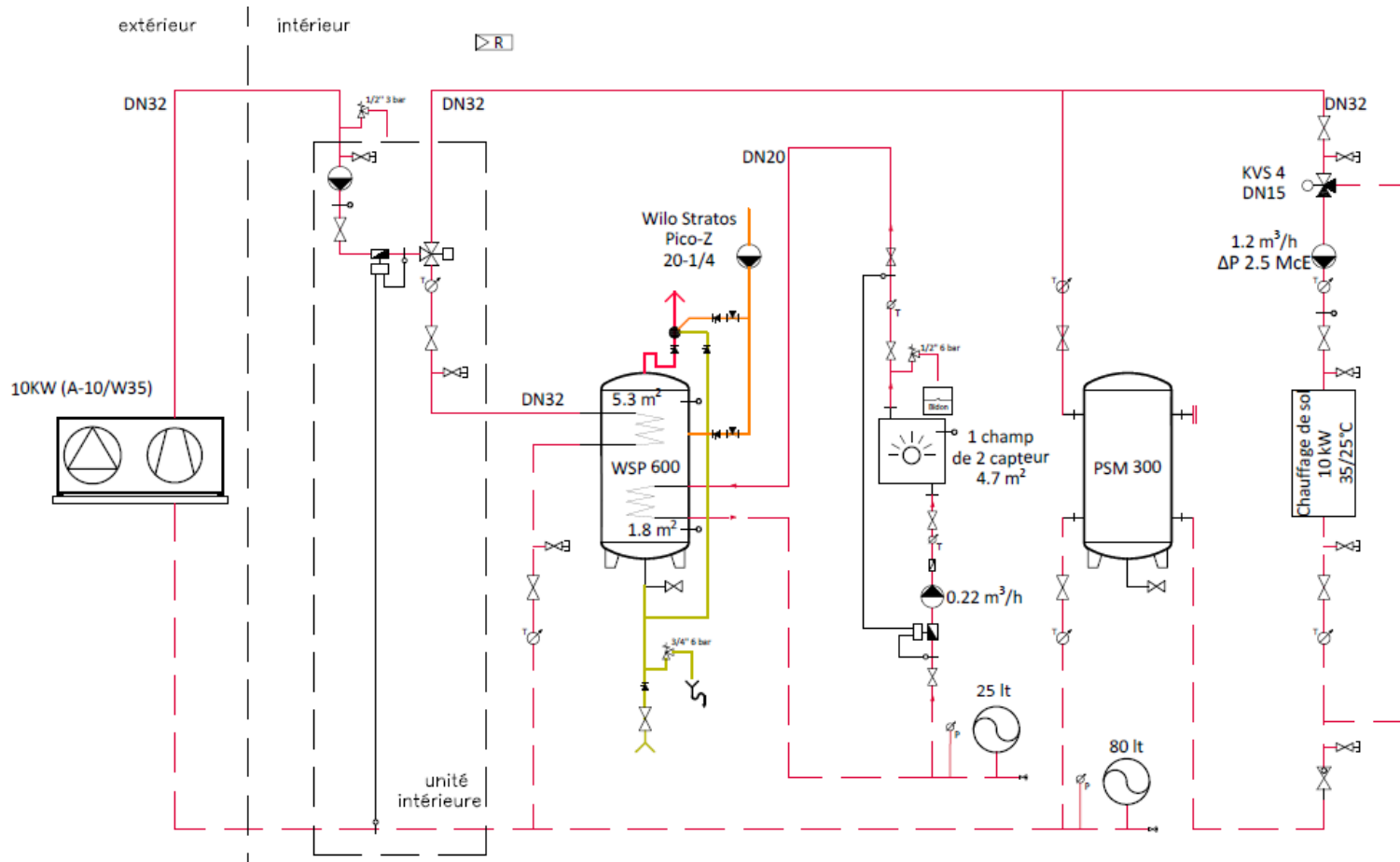
## Chauffage





# Cas n°1 – Solutions retenues

## Chauffage



# Cas n°1 – Solutions retenues

## Chauffage



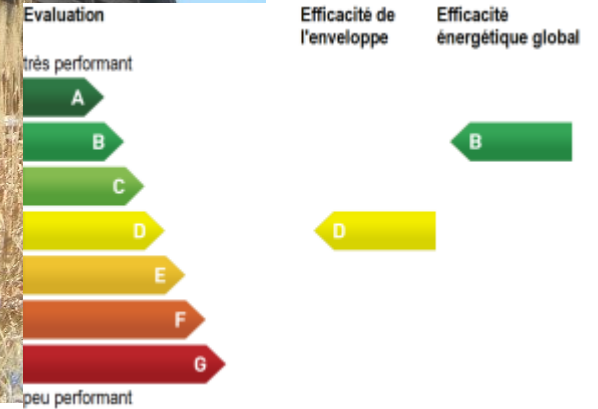
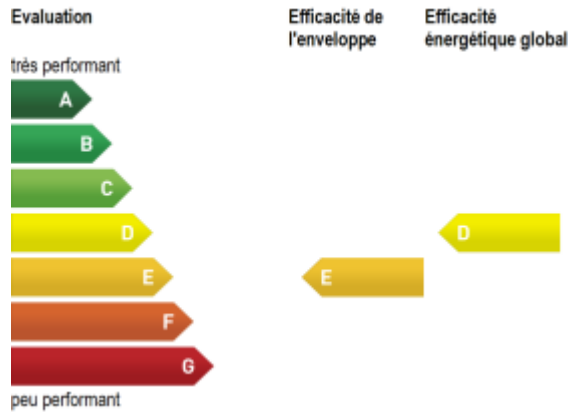
# Cas n°1 – Solutions retenues

## Toiture



# Cas n°1 – Solutions retenues

## Bilan global



# Cas n°1 – Solutions retenues

## Aspects économiques

Chauffage : coûts 40'000 CHF comprenant :

- Pompe à chaleur 10 kW CHF 25'000.-
- Panneaux solaires thermiques CHF 11'500.-
- Divers (raccords, démontage, etc.) CHF 8'000.-
- Rabais CHF -4'500.-

Travaux annexes :

- Maçonnerie CHF 3'500.-
- Raccordements électriques CHF 6'500.-
- Menuiserie CHF 1'200.-

**Total CHF 51'200.-**

# Cas n°1 – Solutions retenues

## Aspects économiques

Projet	Coût TTC	Subventions*	Déductions**	Total
Projet réalisé	51 kCHF	-6 kCHF	-14 kCHF	<b>31 kCHF</b>
<i>Remplacement</i>	<i>20 kCHF</i>	-	<i>-6 kCHF</i>	<i>14 kCHF</i>

*Investissement net : 17 kCHF*

Coûts énergétiques annuels (chauffage et ECS) :

- avant travaux : 2,5 kCHF/an
- après travaux : 1,2 kCHF/an
- *remplacement* : *1,8 kCHF/an*

$$RSI_{p/r \text{ état initial}} = 4,2 \%$$

$$RSI_{p/r \text{ remplacement}} = 3,5 \%$$

\* *Hors enveloppe*

\*\**Taux d'imposition considéré 30%*

\*\*\**Tarif de rachat considéré 12 cts/kWh*

# Cas n°1 – Solutions retenues

## Retour sur ce projet

Solution qui présentait un bon compromis investissement/facilité d'exploitation/bilan environnemental pour le propriétaire

Choix du solaire thermique en plus de la pompe à chaleur pour limiter au maximum sa consommation électrique

Problème esthétique au niveau du choix de l'emplacement du module extérieur

Problème au niveau du raccordement des panneaux solaires

# Cas n°2 : villa des années 1980

## Situation initiale

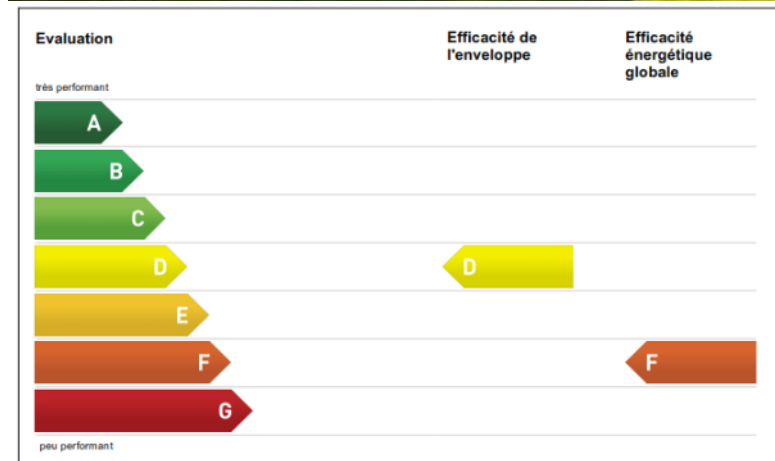




# Cas n°2 : villa des années 1980

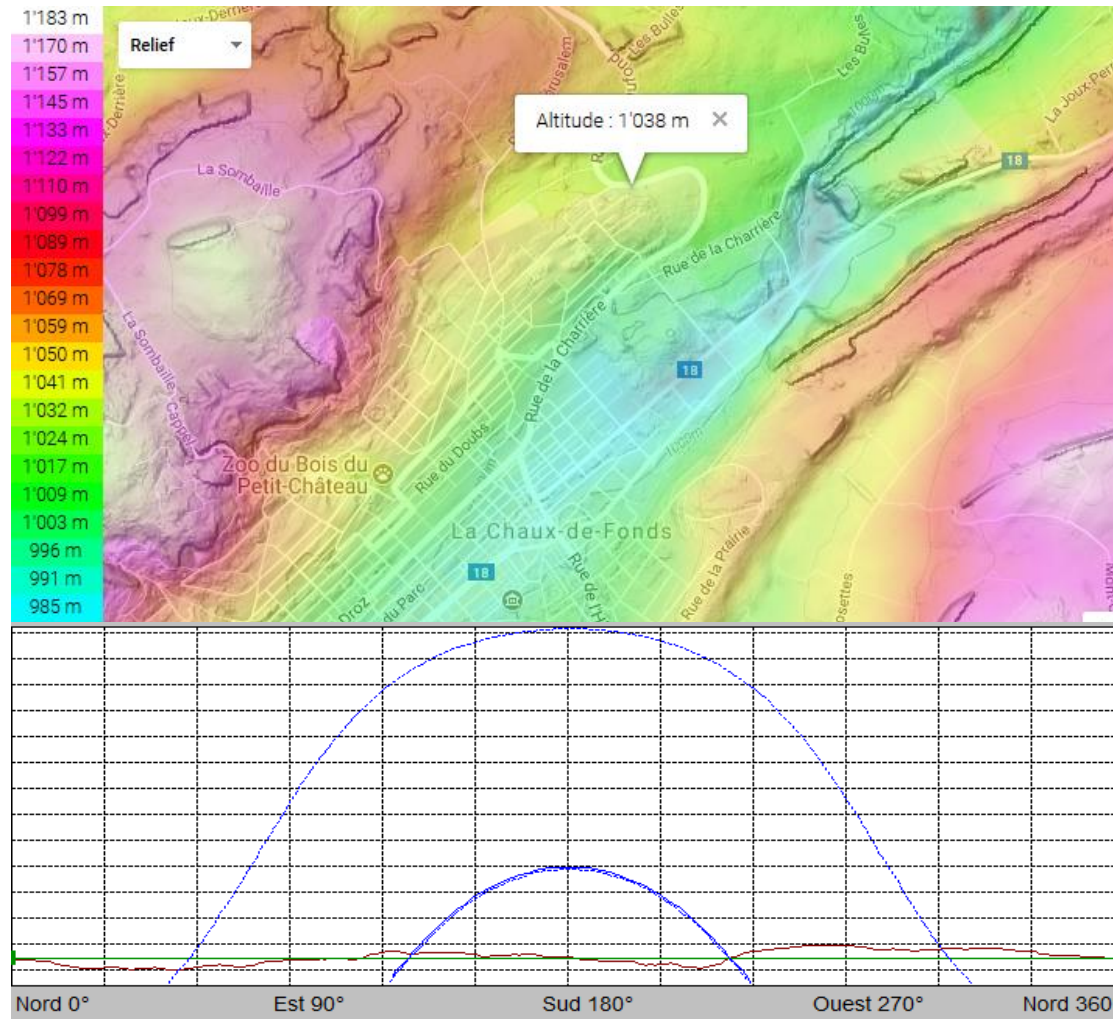
## Etat physique et énergétique

- Maison individuelle
- 1986
- SRE = 230 m<sup>2</sup>
- 4 habitants
- La Chaux-de-Fonds
- Orientation Est/Ouest
- Altitude 1'030 m
- Chauffage électrique direct
- Cheminée de salon peu utilisée
- Boiler électrique pour l'ECS
- Tuiles Eternit à remplacer
- Isolation périphérique dégradée
- Fenêtres en partie déjà remplacées



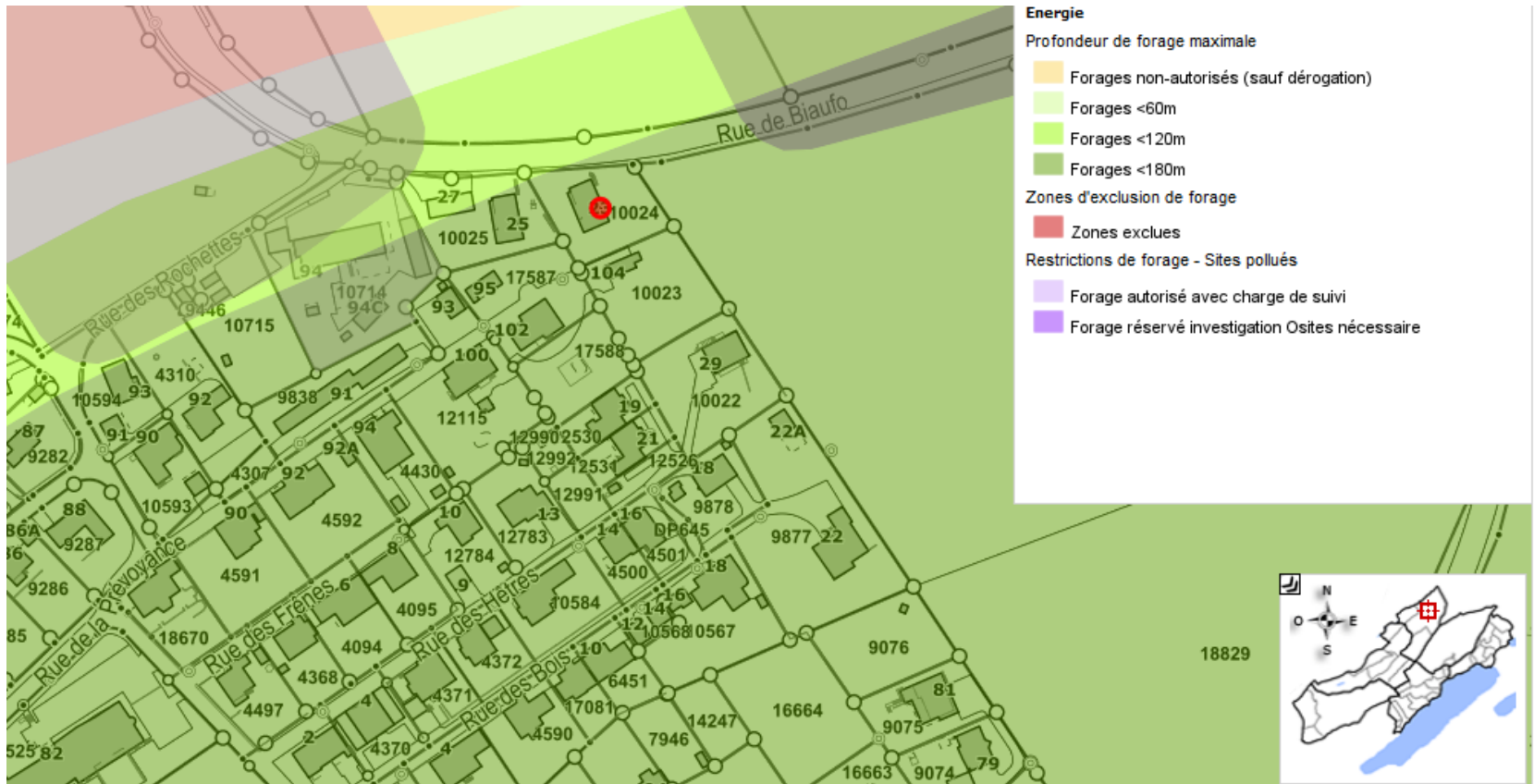
# Cas n°2 : villa des années 1980

## Exposition



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Sous-sol



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Potentiel solaire



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Toitures



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Façades

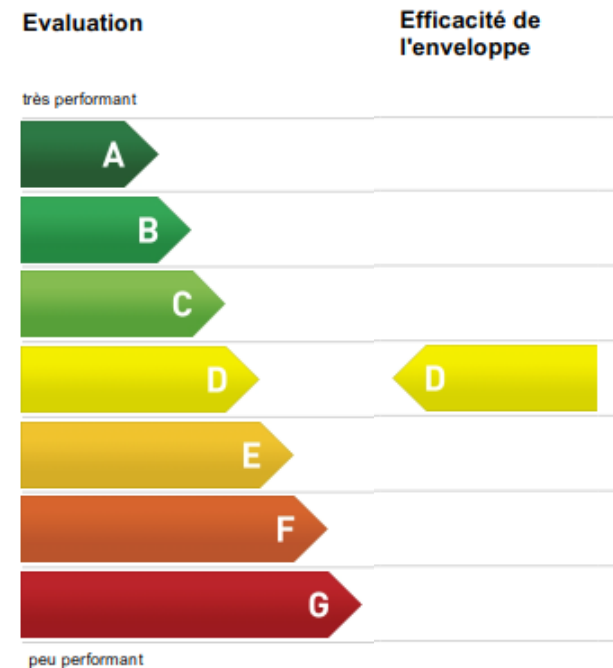




# Cas n°2 : villa des années 1980

## Isolation

- Toiture :  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $45 \text{ m}^2$  Sud et  $93 \text{ m}^2$  Nord)
- Murs c/ext. :  $U = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Murs c/NC :  $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres anciennes :  $U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres récentes :  $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sol c/terre :  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sol c/NC :  $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

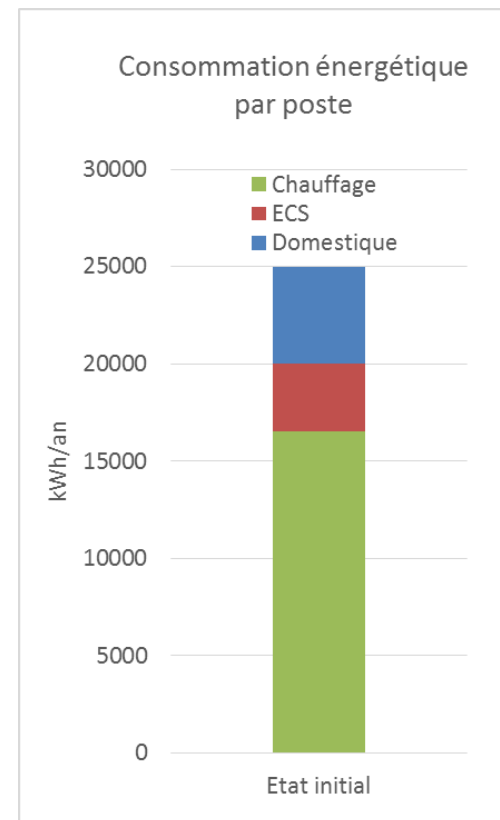
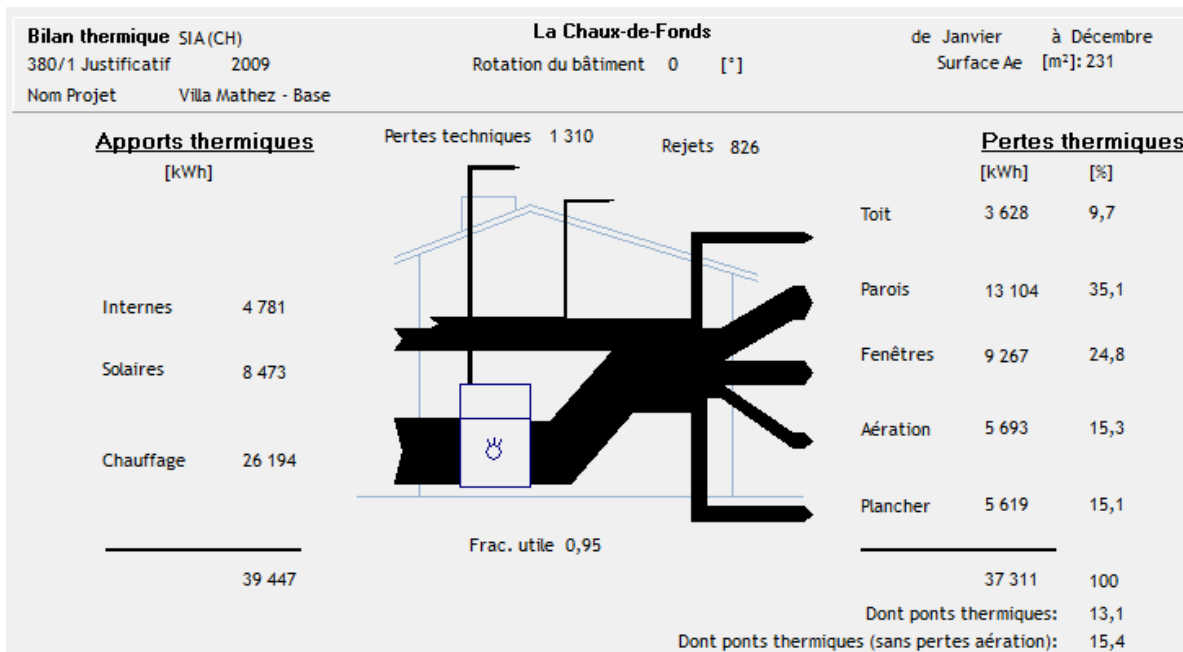




# Cas n°2 : villa des années 1980

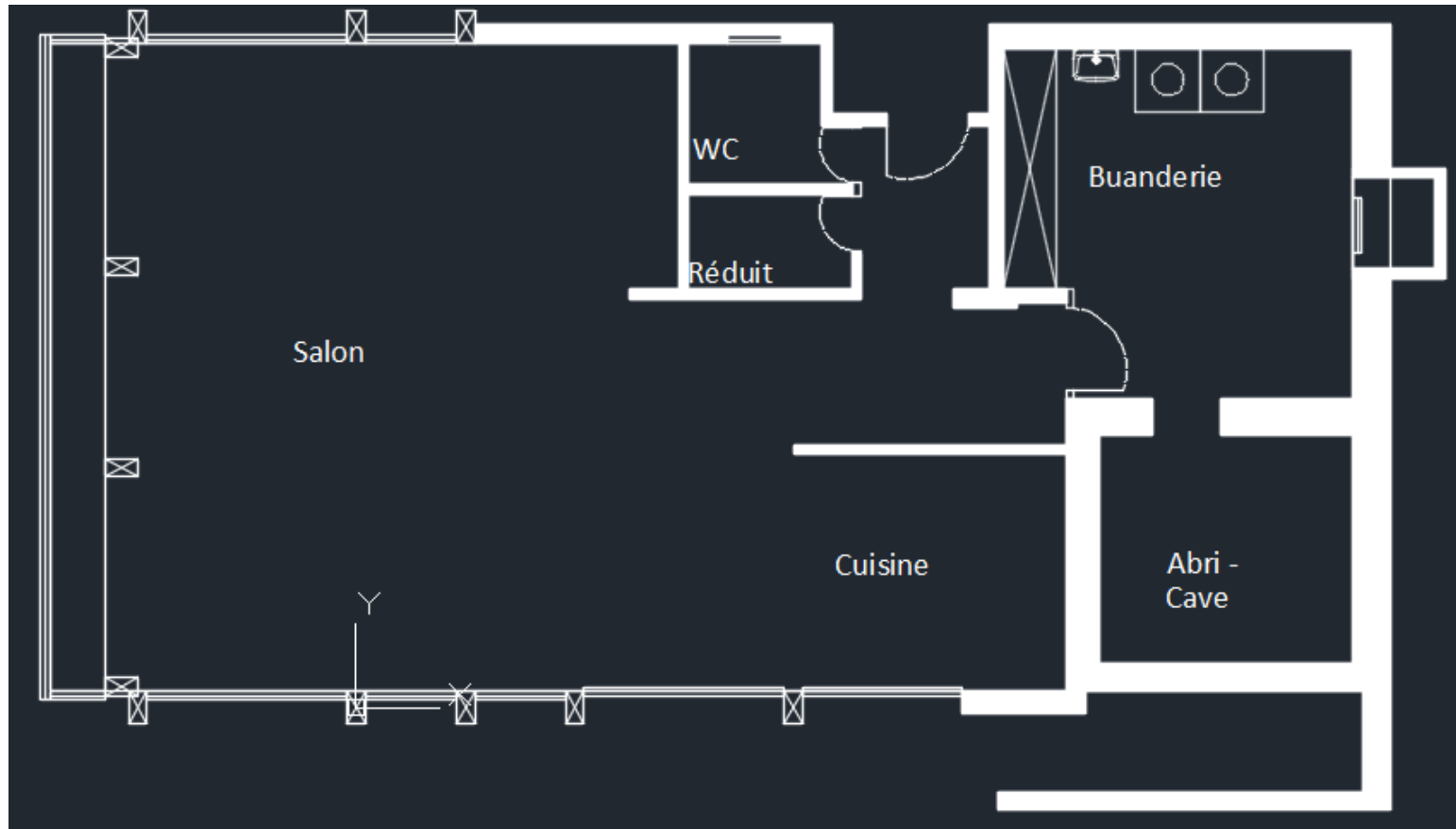
## Consommation énergétique

- Consommation avant travaux : env. 25'000 kWh/an
  - Électricité domestique : estim. 5'000 kWh/an
  - Eau chaude sanitaire : estim. 3'500 kWh/an
  - Chauffage électrique : solde 16'500 kWh/an



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Locaux techniques



# Cas n°2 : villa des années 1980

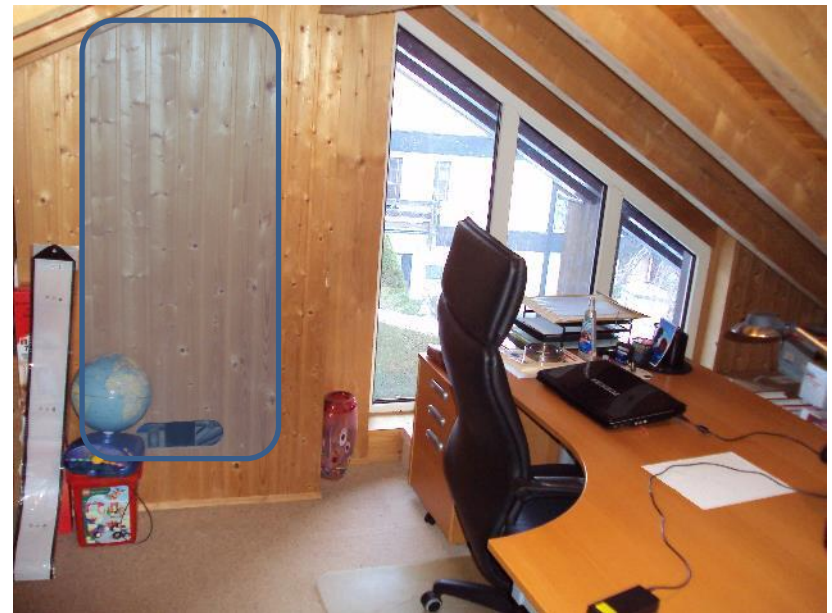
## Production/émission de chaleur



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Eau chaude sanitaire

- Centralisée (boiler électrique), dans les combles



# Cas n°2 : villa des années 1980

## Récapitulatif

- Enveloppe thermique bien isolée ( $P_{th} < 8 \text{ kW}_{th}$ ),
- Entretien nécessaire : tuiles Eternit, isolation périphérique
- Système électrique décentralisé, pas de réseau hydraulique
- Cheminée d'apparat (foyer ouvert)
- Production d'ECS centralisée dans les combles
- Locaux techniques : buanderie 8 m<sup>2</sup>, réduit extérieur 3 m<sup>2</sup>, abri PC
- Exposition Est/Ouest
- Altitude > 1'000 m
- Toiture exposée principalement Nord
- Horizon dégagé
- Maître de l'ouvrage aisé, actif, féru de nouvelles technologies, régulièrement absent pour voyages d'affaires

# Cas n°2 : villa des années 1980

## Solutions retenues



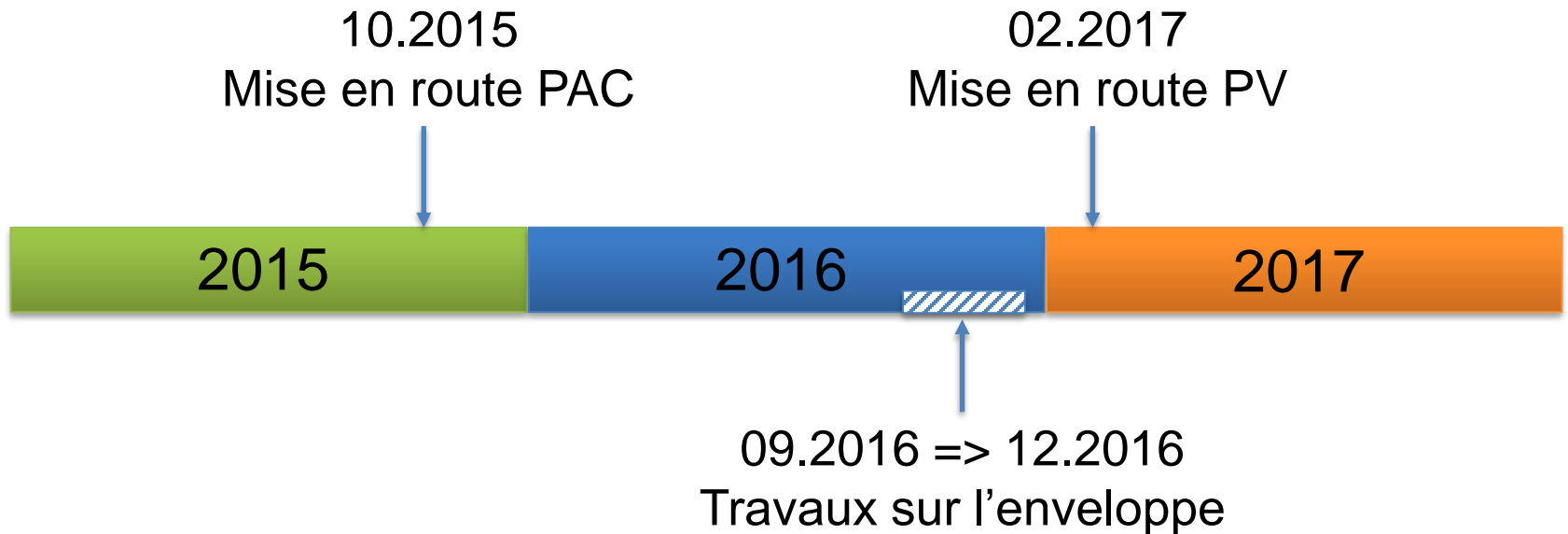
# Cas n°2 – Solutions retenues

## Projet retenu

- Entretien de l'enveloppe comprenant :
  - Renforcement de l'isolation du toit
  - Renforcement de l'isolation des façades
  - Remplacement des anciennes fenêtres (1/3)
- Mise en place d'une pompe à chaleur géothermique  
=> Consommation prévue : **12'000 kWh/an**
- Couverture solaire photovoltaïque sur toitures Nord et Sud  
=> Production prévue : **14'000 kWh/an**

# Cas n°2 – Solutions retenues

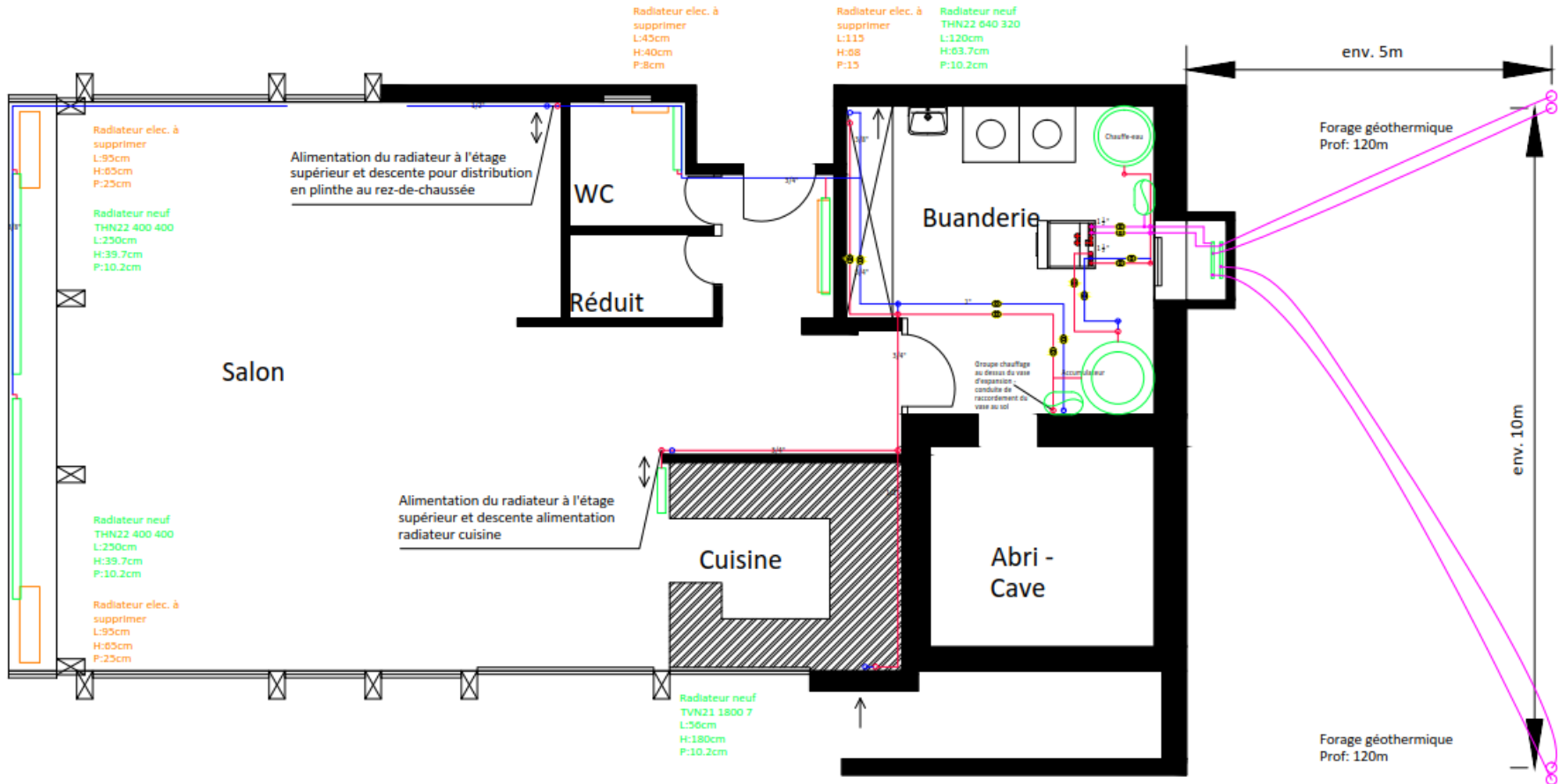
## Planning des travaux





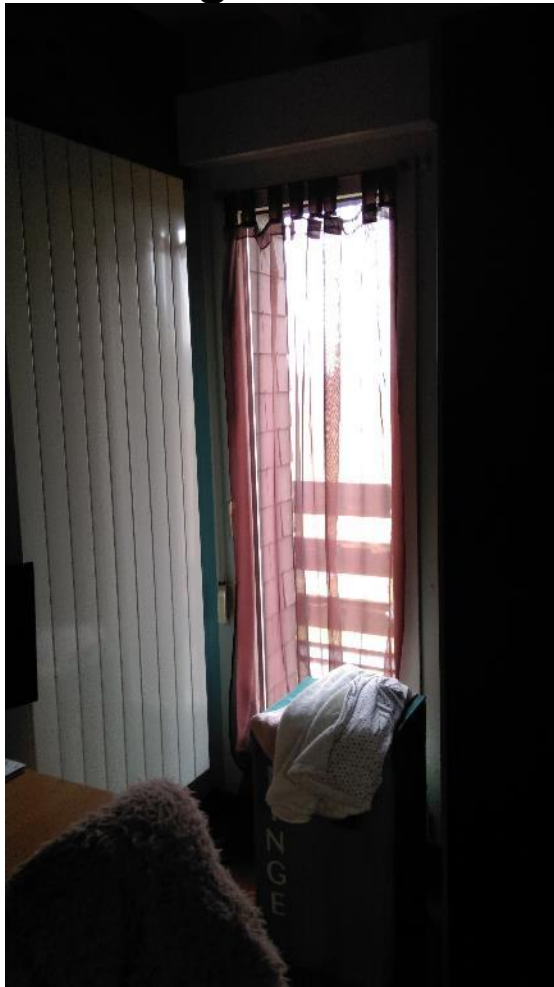
# Cas n°2 – Solutions retenues

## Chauffage



# Cas n°2 – Solutions retenues

## Chauffage



# Cas n°2 – Solutions retenues

## Enveloppe



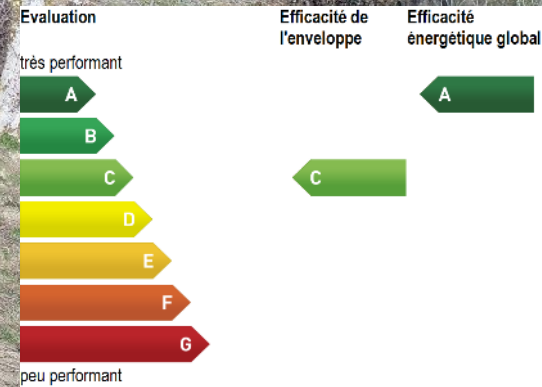
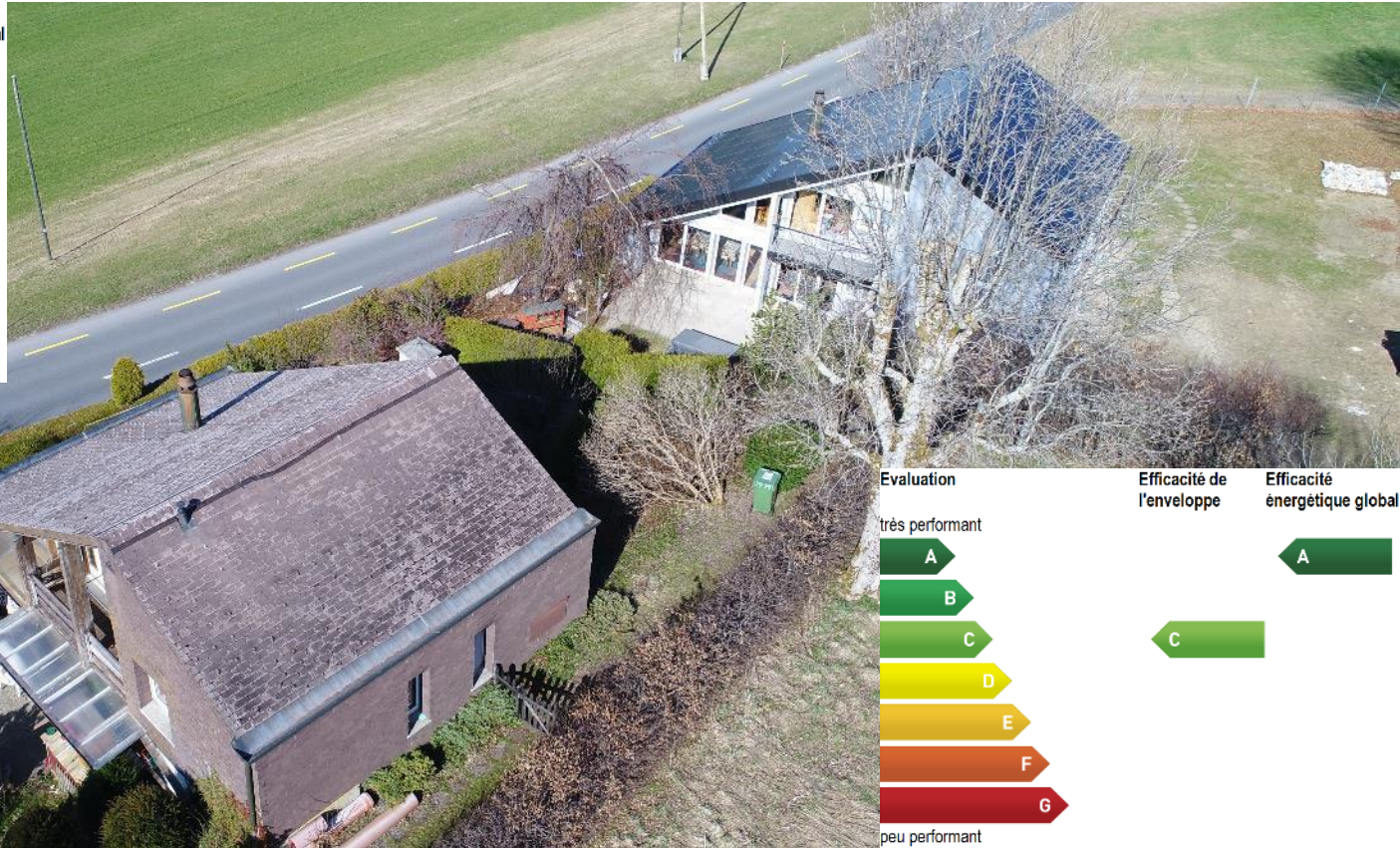
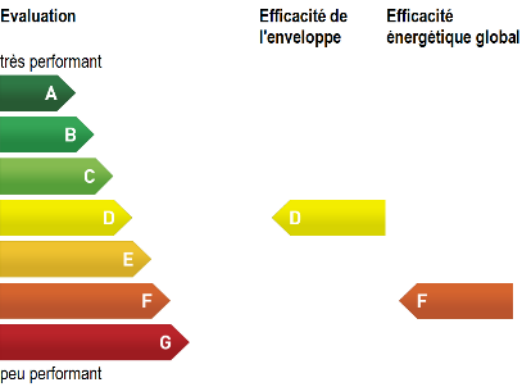
# Cas n°2 – Solutions retenues

## Enveloppe



# Cas n°2 – Solutions retenues

## Bilan global



# Cas n°2 – Solutions retenues

## Aspects économiques

Chauffage : coûts 78'000 CHF comprenant :

- Forages 2 x 120 m CHF 25'000.-
- Pompe à chaleur 12 kW CHF 25'000.-
- Nouvelle distribution de chaleur (y.c. ECS) CHF 28'000.-

Travaux annexes :

- Travaux de maçonnerie CHF 5'000.-
- Terrassement (raccordement des sondes) CHF 4'000.-
- Raccordements électriques CHF 4'000.-

**Total CHF 91'000.-**

+Photovoltaïque

CHF 45'000.-

# Cas n°2 – Solutions retenues

## Aspects économiques

Projet	Coût TTC	Subventions*	Déductions**	Total
Villa +14 MWh/an	91 kCHF	-3 kCHF	-27 kCHF	<b>61 kCHF</b>
Villa +6,6 MWh/an	105 kCHF	-7 kCHF	-30 kCHF	<b>68 kCHF</b>
Villa -2,2 MWh/an	136 kCHF	-30 kCHF	-32 kCHF	<b>74 kCHF</b>

=> Coût du pan Sud (6 kWc) : **CHF 7'000.-**

=> Coût du pan Nord (12 kWc) : **CHF 6'000.-**

Coûts énergétiques annuels (chauffage et ECS) :

- avant travaux : 4,5 kCHF/an
- après travaux : 0,5 kCHF/an      RSI = 5,4 %

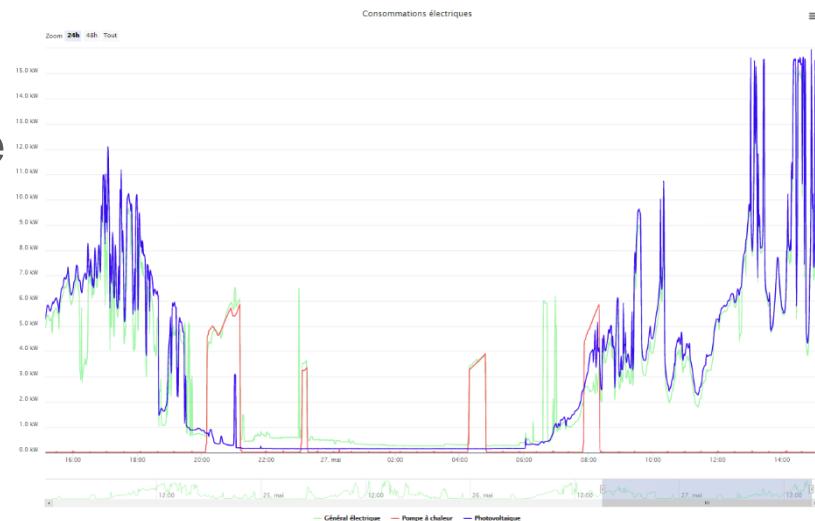
\* *Hors enveloppe*

\*\**Taux d'imposition considéré 30%*

# Cas n°2 – Solutions retenues

## Retour sur ce projet

- la villa produit 5'000 à 7'000 kWh de plus que ce qu'elle consomme :
  - solution photovoltaïque intégrée Swisspearl plus onéreuse mais également plus puissante (20 kWc),
  - la part initiale d'électricité dévolue à la production de chaleur a peut-être été surestimée,
  - les adolescentes se sont éloignées de la maison...
- Retour des propriétaires :
  - ils sont ravis du confort thermique
- Autoconsommation à optimiser





# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

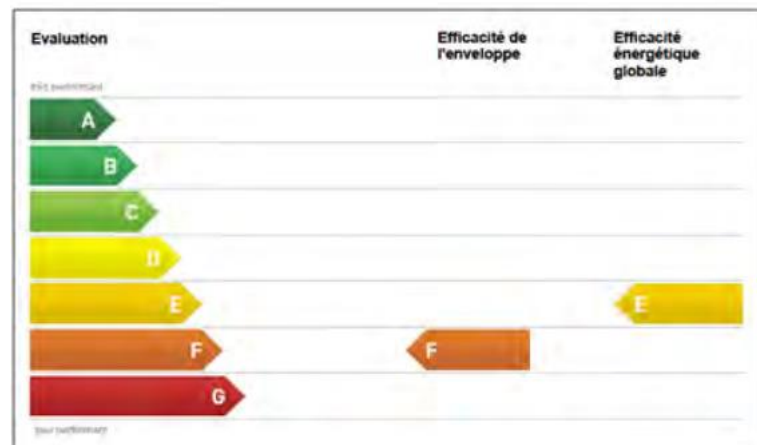
## Situation initiale



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

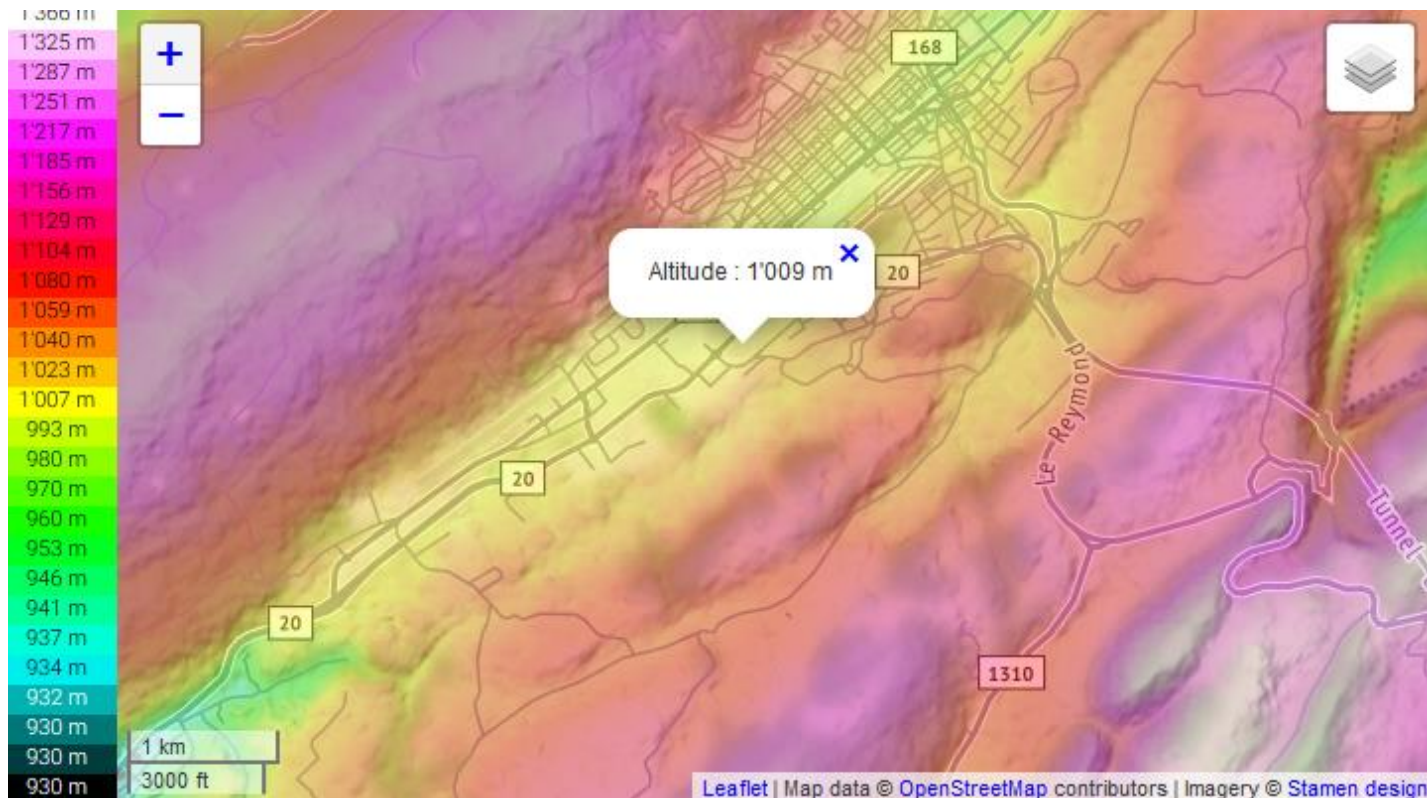
## Etat physique et énergétique

- Immeuble collectif (132 appartements)
- 1960
- SRE = 11'360 m<sup>2</sup>
- La Chaux-de-Fonds
- Orientation Est/Ouest
- Altitude 1'009 m
- Chauffage mazout
- Production d'eau chaude centralisée
- Ravalement de façade à prévoir
- Etanchéité toiture en fin de vie
- Fenêtres (1980) sources d'inconfort
- Loyers bas
- Rénovation en site occupé



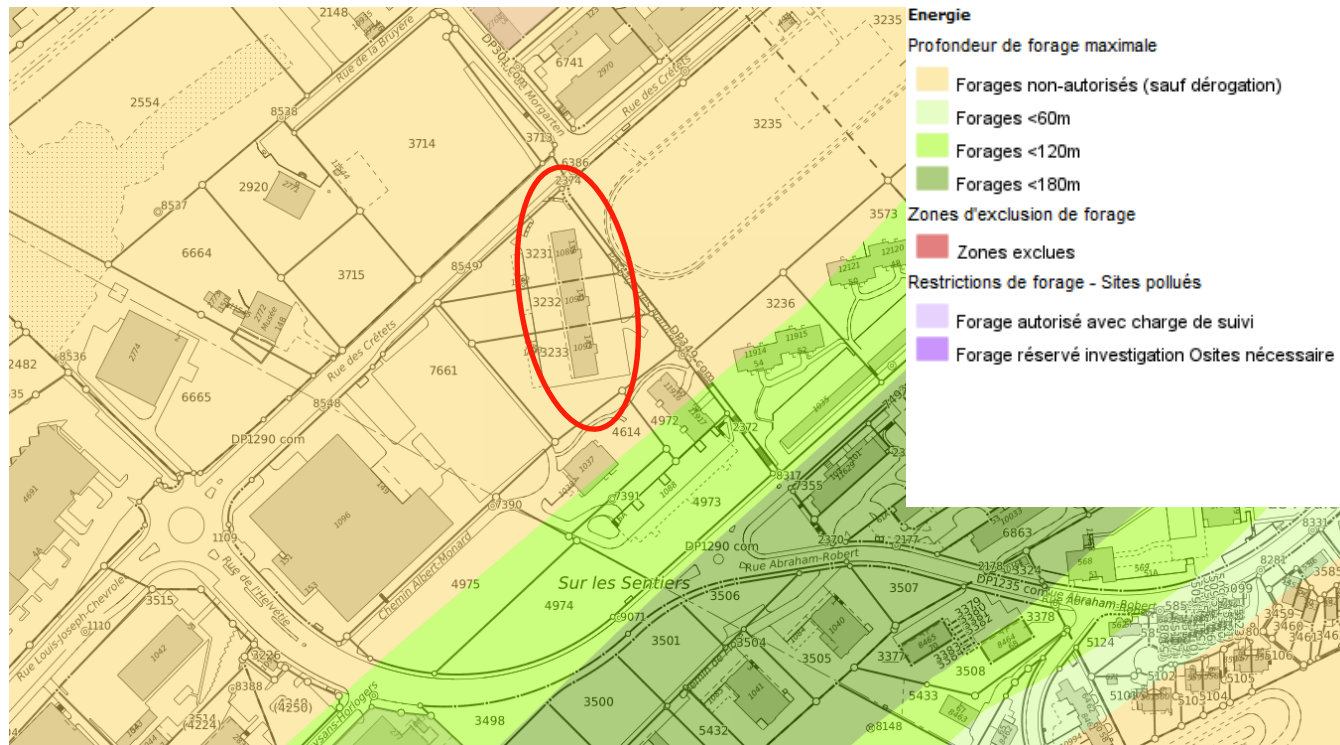
# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Altitude



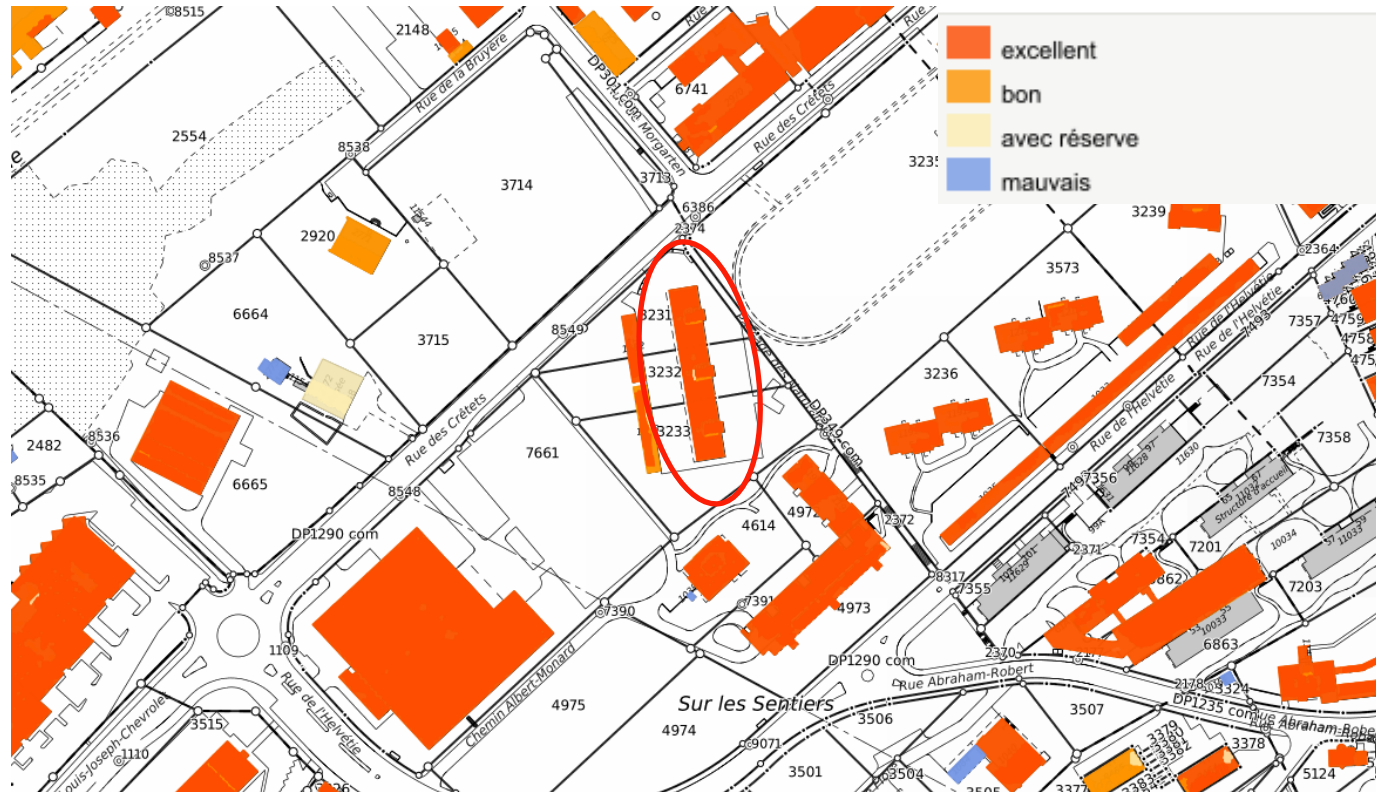
# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Sous-sol



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Potentiel solaire



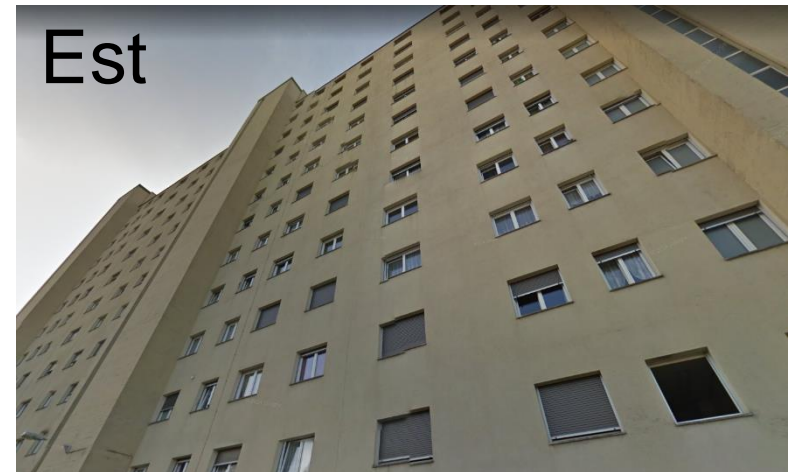
# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Toiture



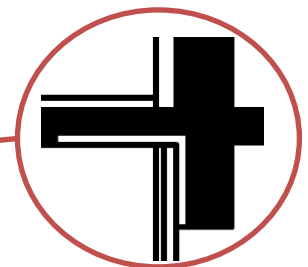
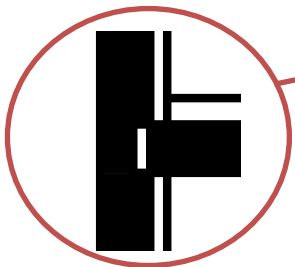
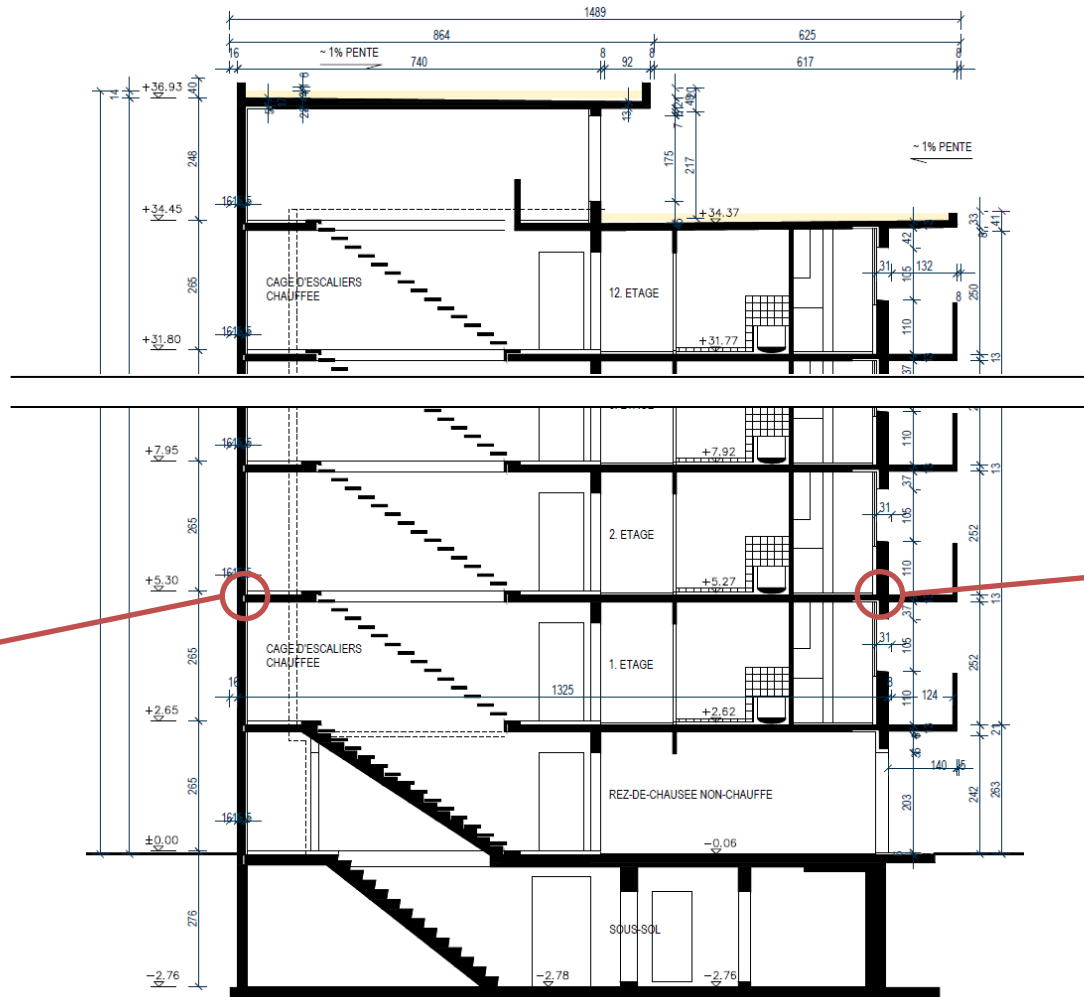
# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Façades



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Isolation

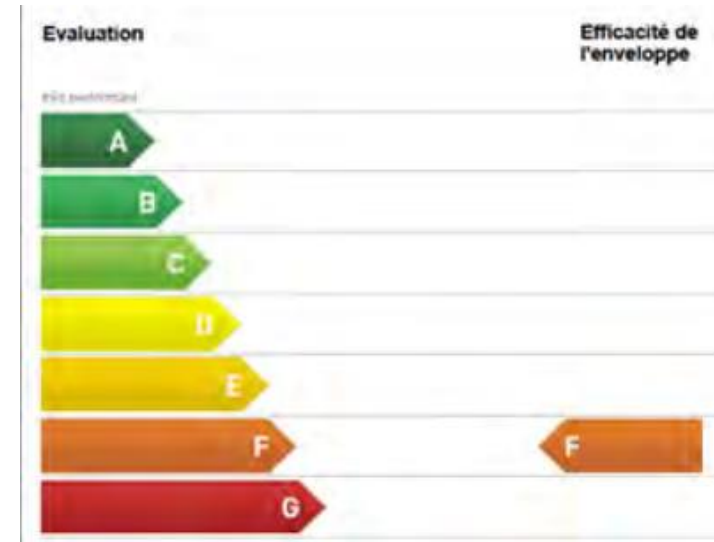




# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Isolation

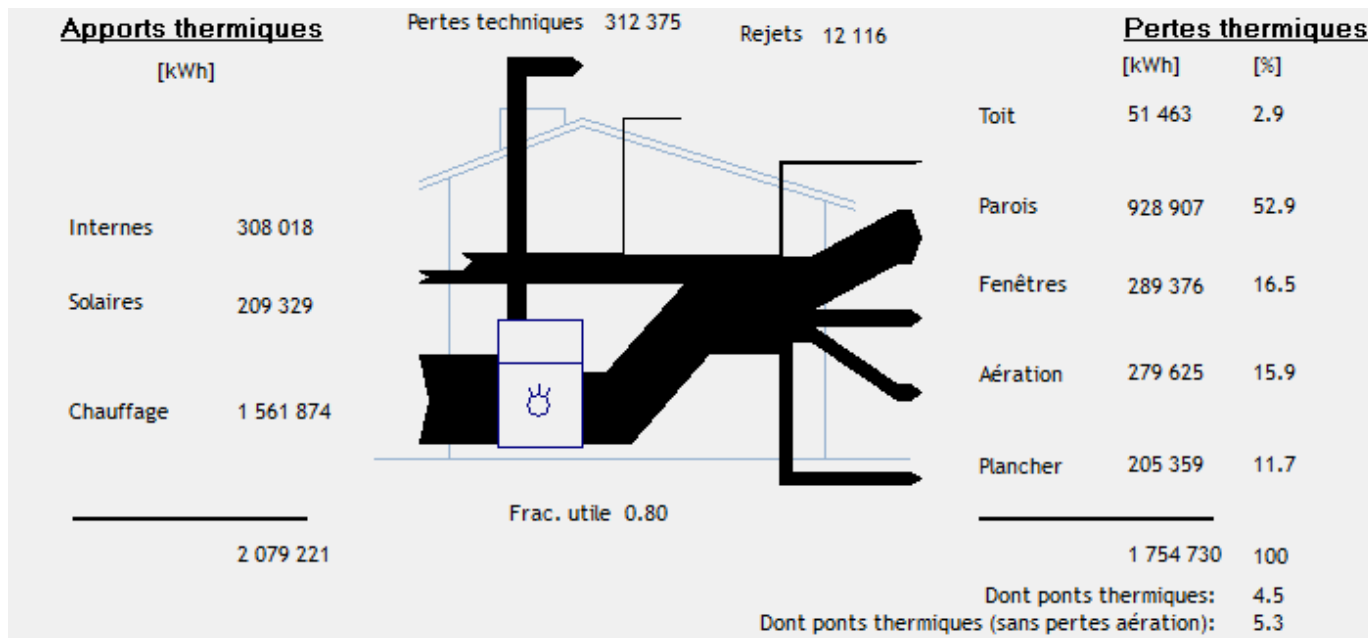
- Toiture :  $U = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Murs c/ext. :  $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres anciennes :  $U_w = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sol c/NC :  $U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Facteur d'enveloppe:  $A_{th}/A_e = 0,66$



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Consommation énergétique

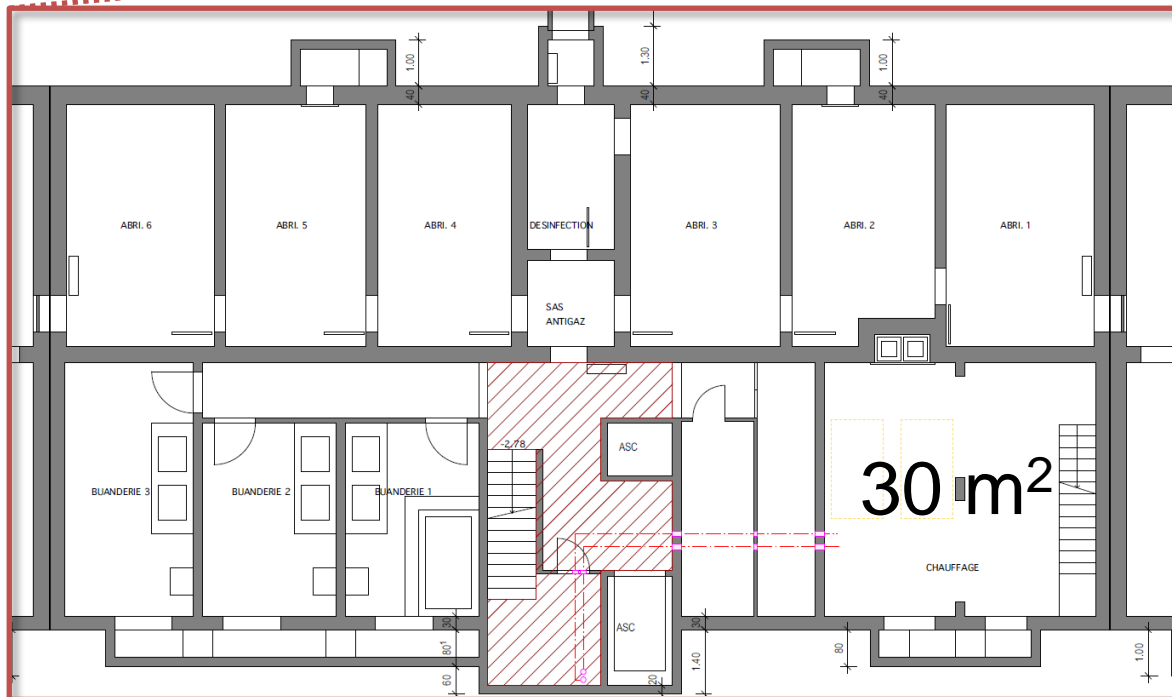
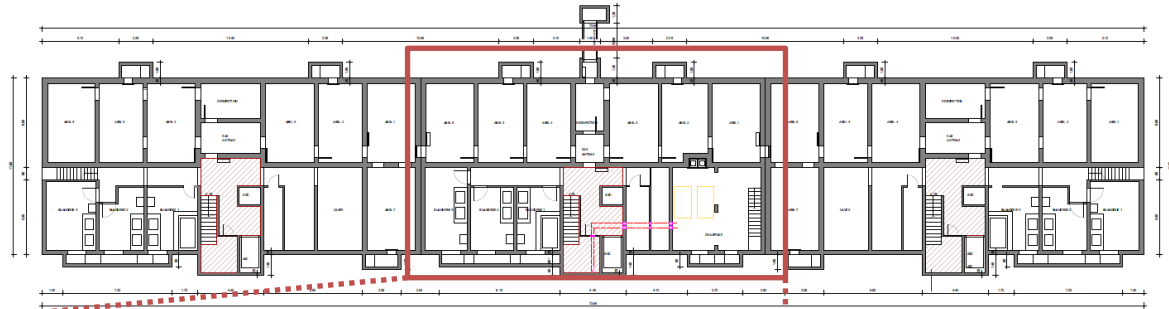
- Consommation avant travaux : près de 2 GWh/an
- SRE 11'360 m<sup>2</sup> => 17 litres mazout/m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

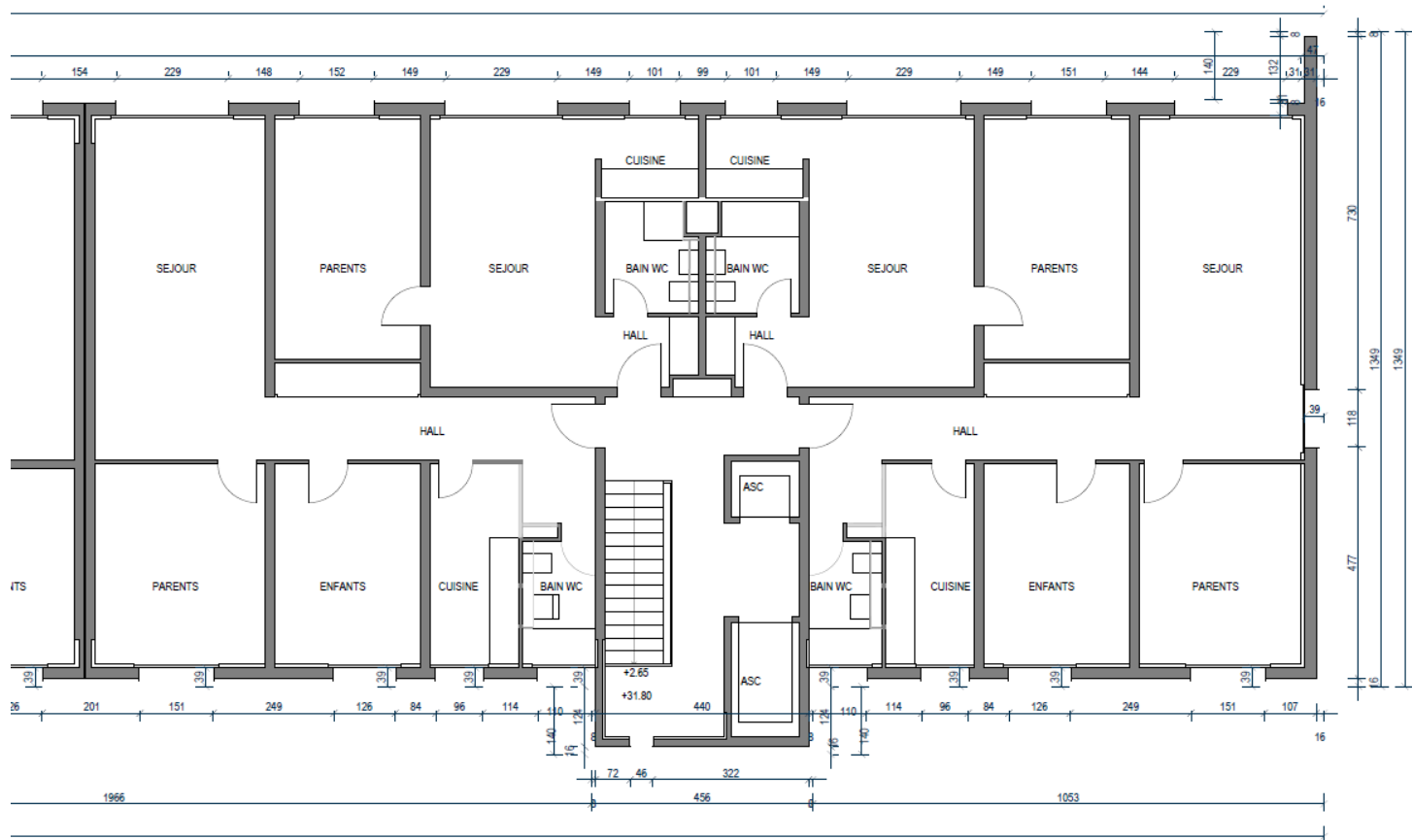
## Locaux techniques

- Env. 30 m<sup>2</sup>
- Citernes enterrées



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

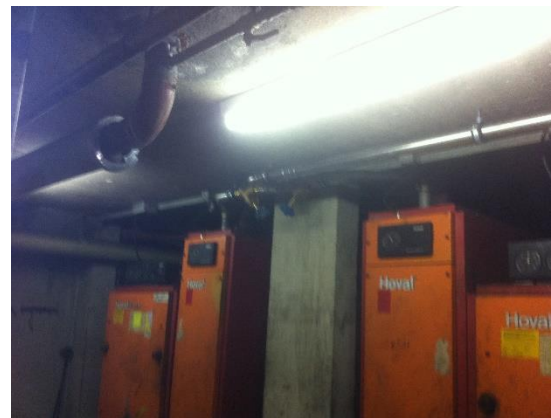
## Etage type



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Production de chaleur

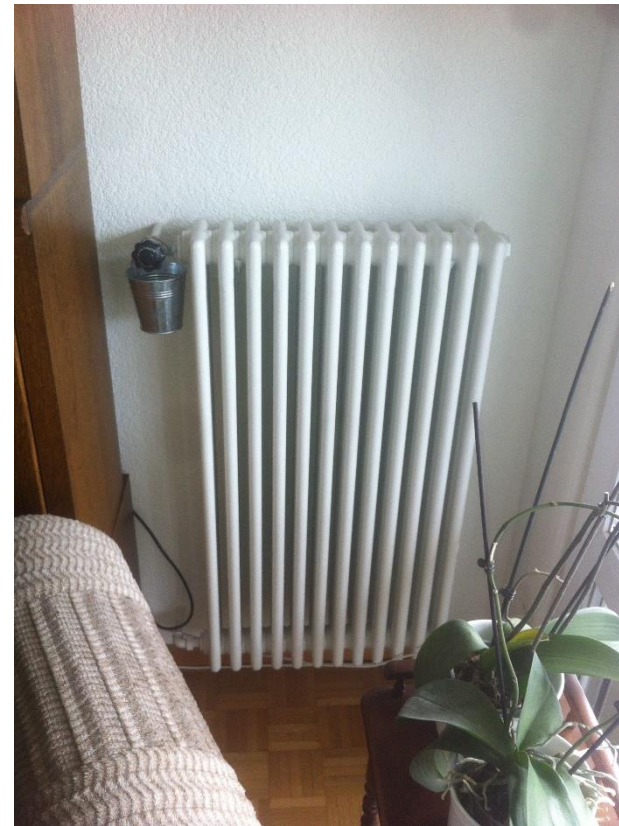
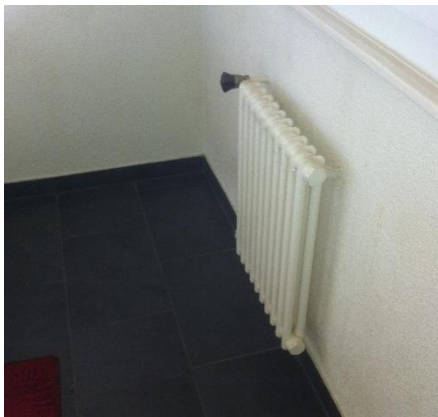
Mazout, vétuste, micro-accumulation pour l'ECS (2x300 litres => 5 l/log<sup>t</sup> !)



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Émission de chaleur

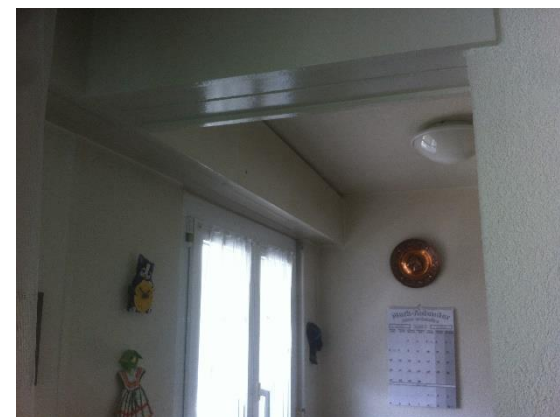
- haute température, sans vannes thermostatiques



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Ventilation

- uniquement dans les salles d'eau borgnes (30% des appartements)
- extraction dans gaines maçonnées, sans entrée d'air, débit fixe



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Récapitulatif

- Enveloppe thermique vétuste au niveau énergétique et d'aspect
- Production de chaleur mazout vétuste
- Production d'eau chaude en micro-accumulation
- Accès possible au chauffage à distance (>75% renouvelable)
- Forages interdits
- Ventilation 100% naturelle pour 2/3 des appartements
- Extraction mécanique des salles d'eau pour 1/3 des appartements
- Locaux techniques, surface limitée : 30m<sup>2</sup> pour 11'362 m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>
- Exposition Est-Ouest, Est peu vitré, Ouest ombragé (balcons)
- Altitude ≈ 1'000 m
- Toiture relativement libre, mais faible au regard de la SRE (860 m<sup>2</sup>)
- Objectifs du maître de l'ouvrage (assurance) :
  - rénovation en site occupé
  - labellisation Minergie



# Cas n°3 : immeuble collectif de 1960

## Solutions retenues



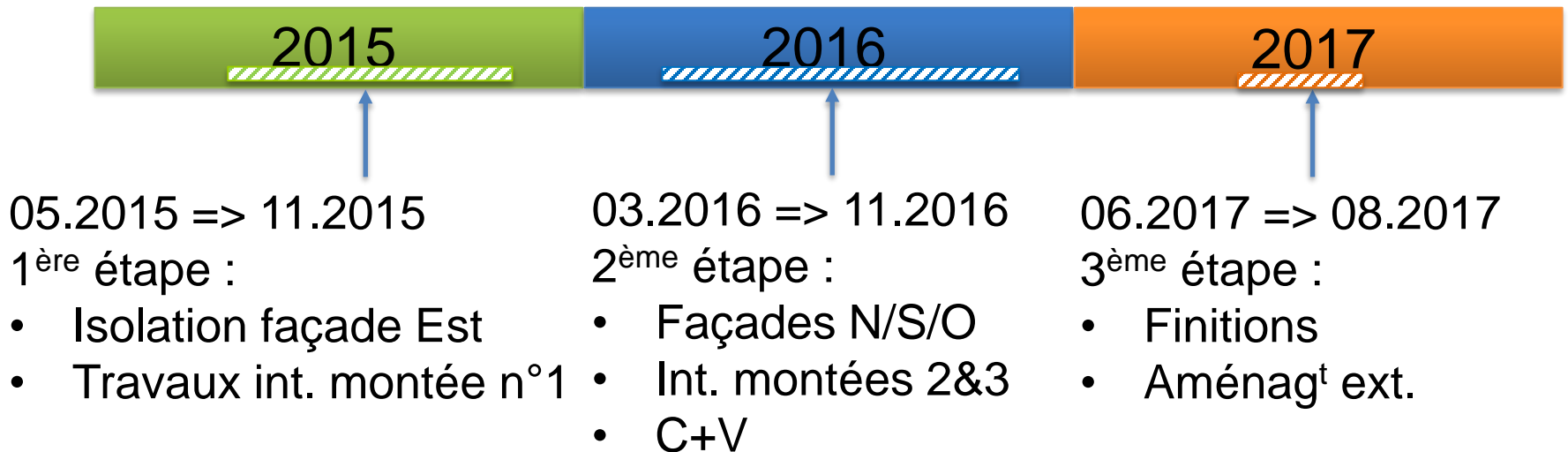
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Projet retenu

- Rénovation complète de l'enveloppe comprenant :
  - Isolation du toit
  - Remplacement des fenêtres
  - Isolation des caissons de volets roulants
  - Isolation (limitée) des façades
  - Isolation des plafonds des locaux non chauffés
- Raccordement au CAD
- Ventilation simple-flux hygroréglable
- Récupération de la chaleur de l'air extrait avec PAC air-eau pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire (52 kW, 4'000 litres)

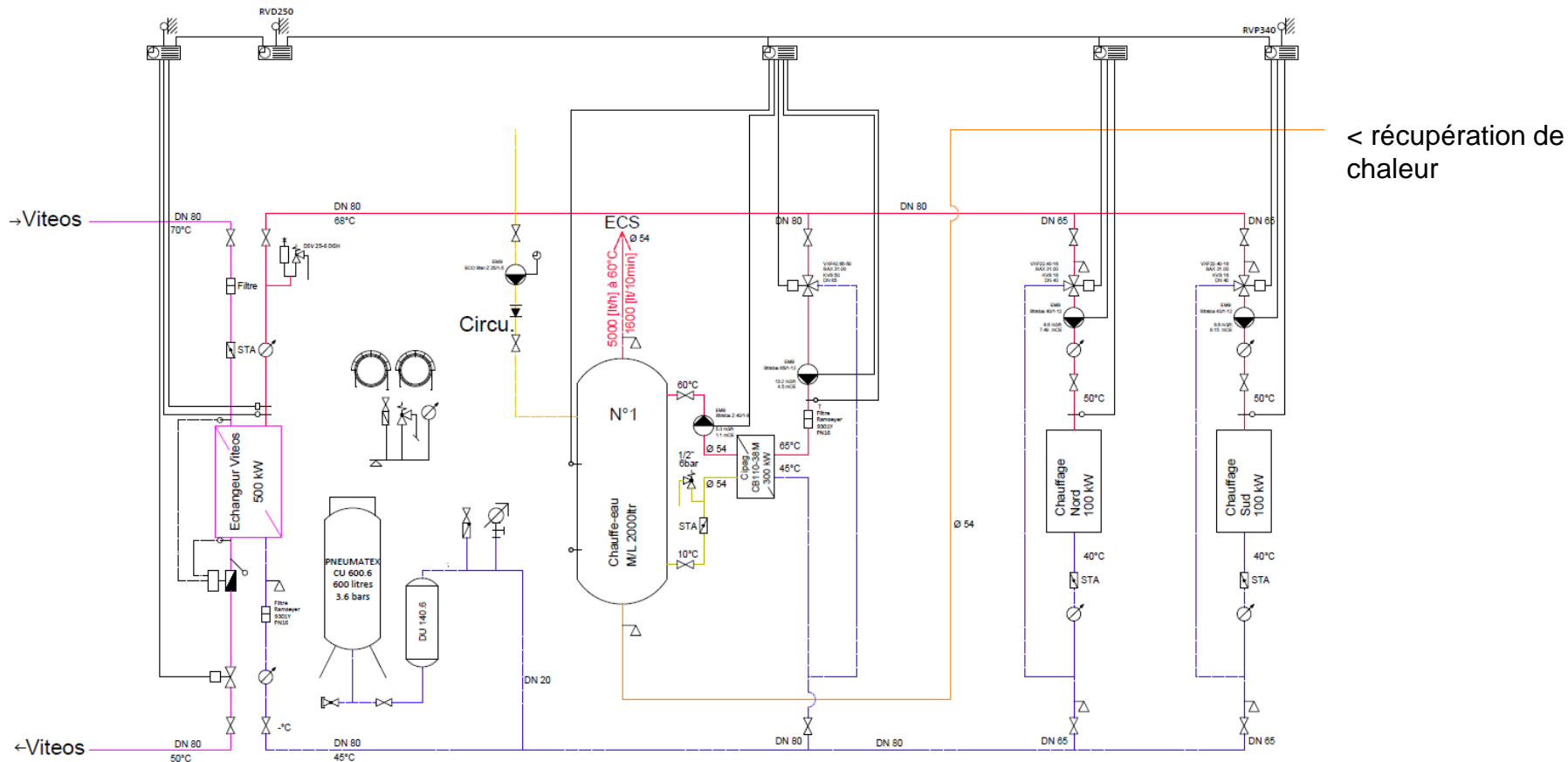
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Planning des travaux



# Cas n°3 – Solutions retenues

## Chauffage - Production

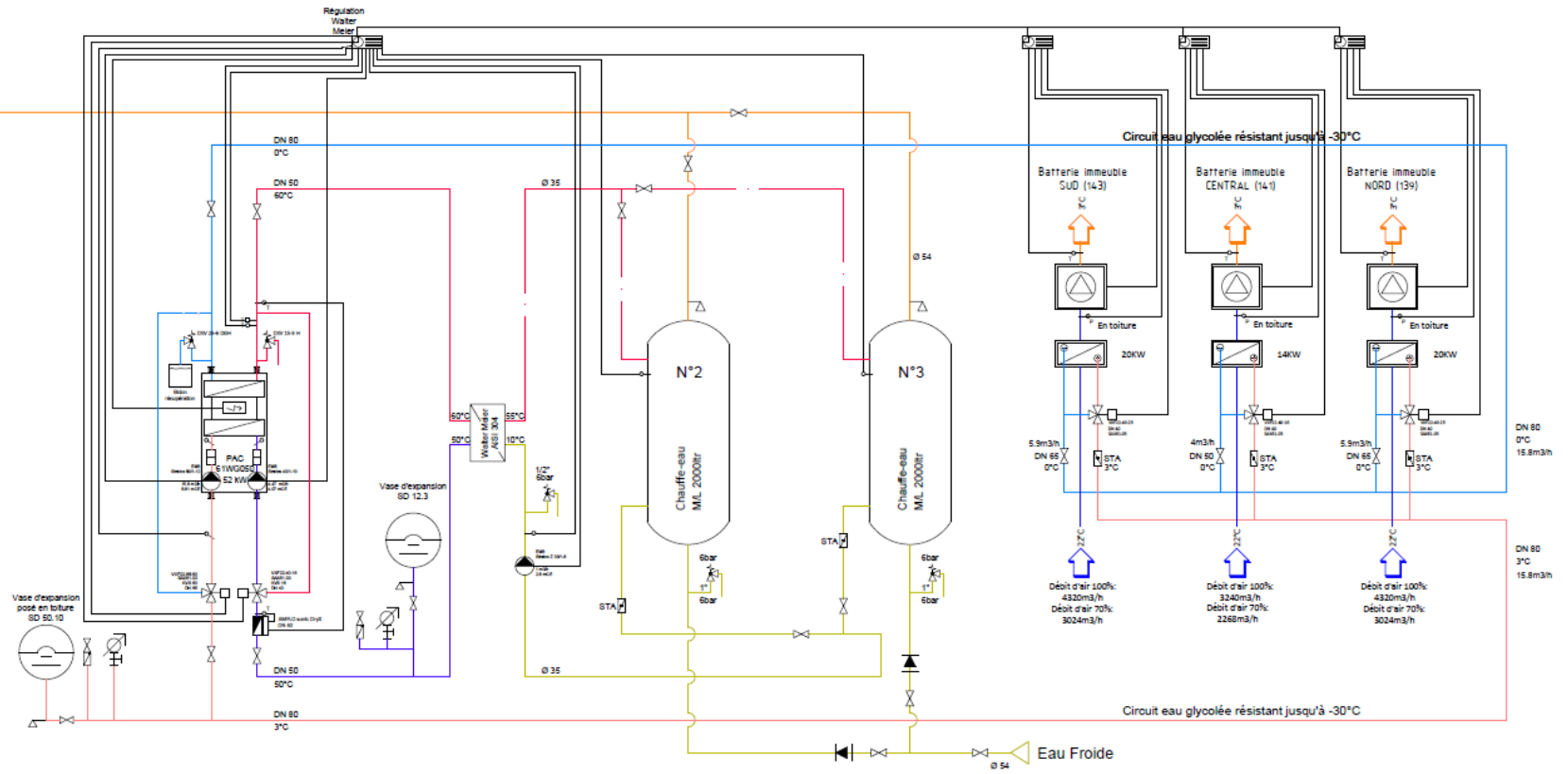


< récupération de chaleur

# Cas n°3 – Solutions retenues

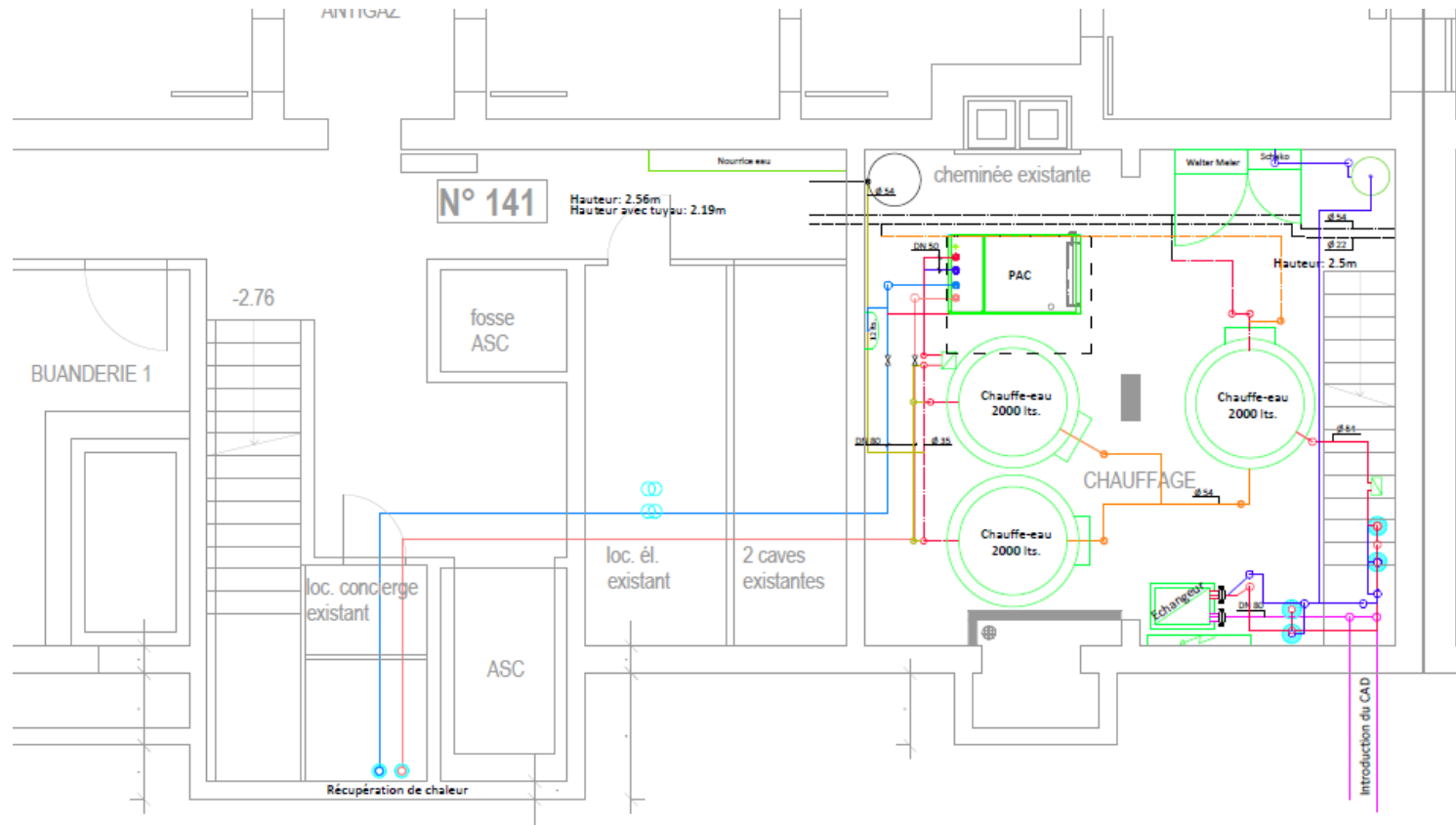
## Chauffage – Récupération de chaleur

vers  
production <



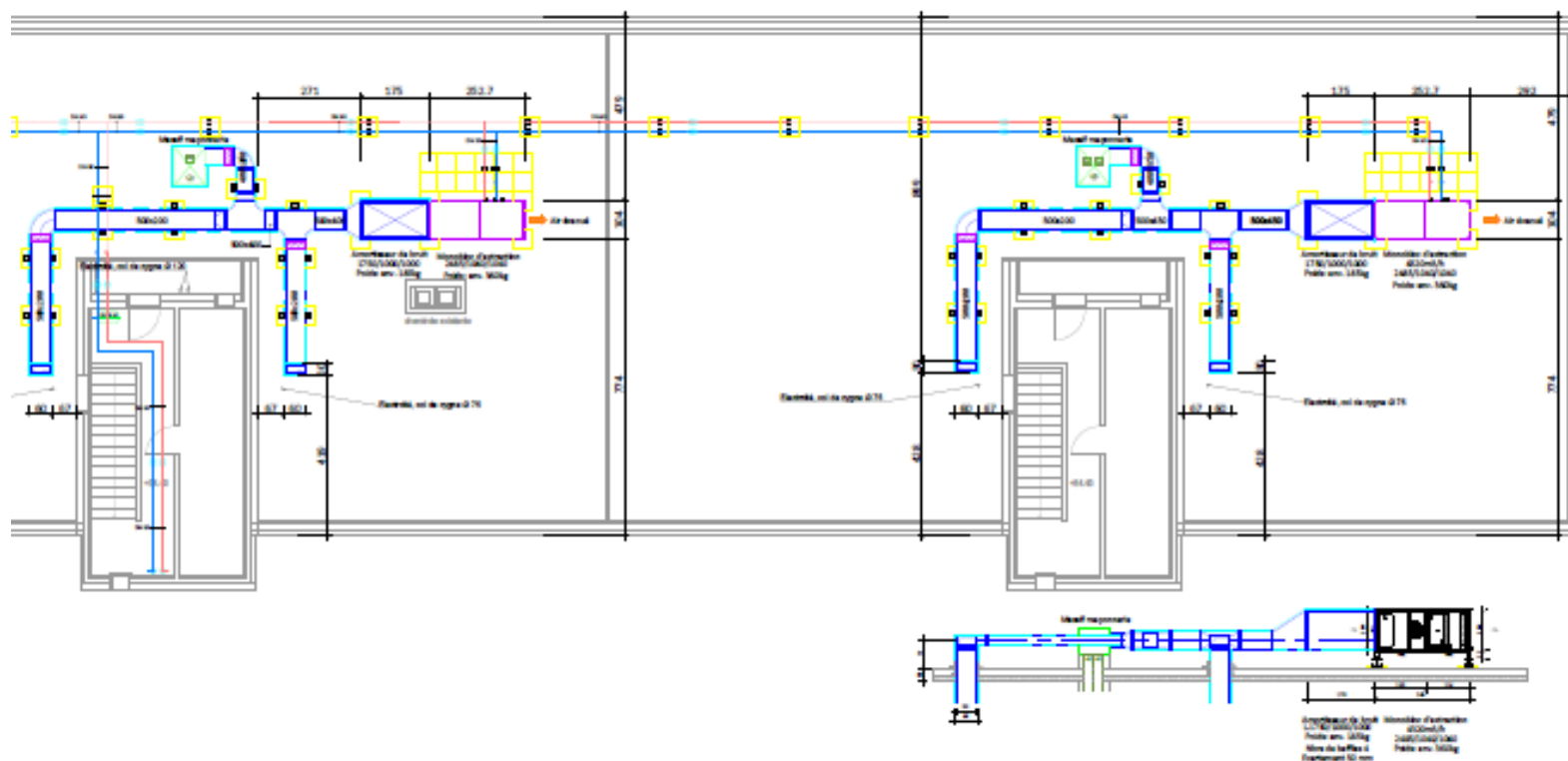
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Chauffage - Chaufferie



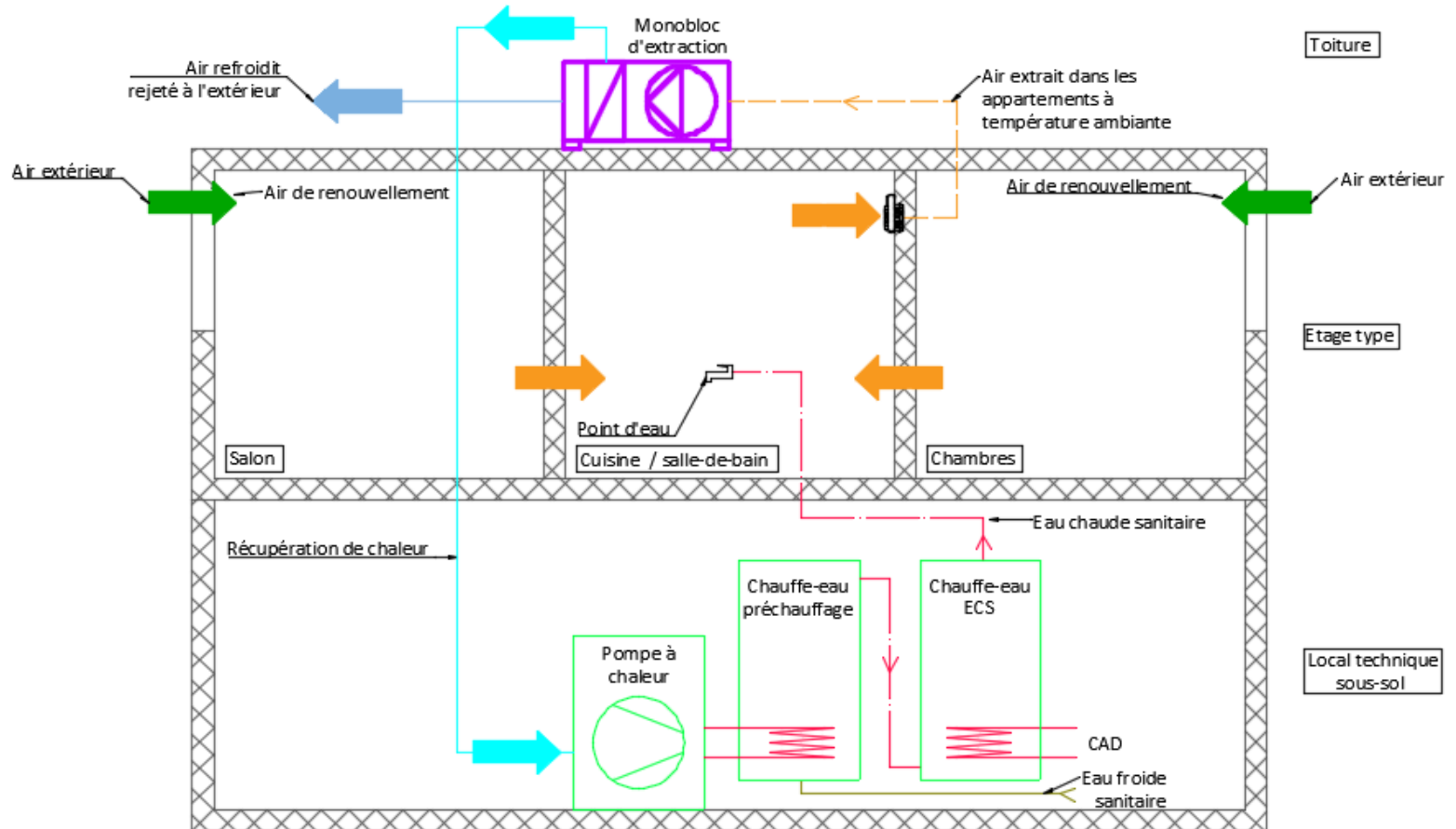
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Ventilation - Toiture



# Cas n°3 – Solutions retenues

## Schéma de principe chauffage/ventilation simplifié





# Cas n°3 – Solutions retenues

## Production de chaleur



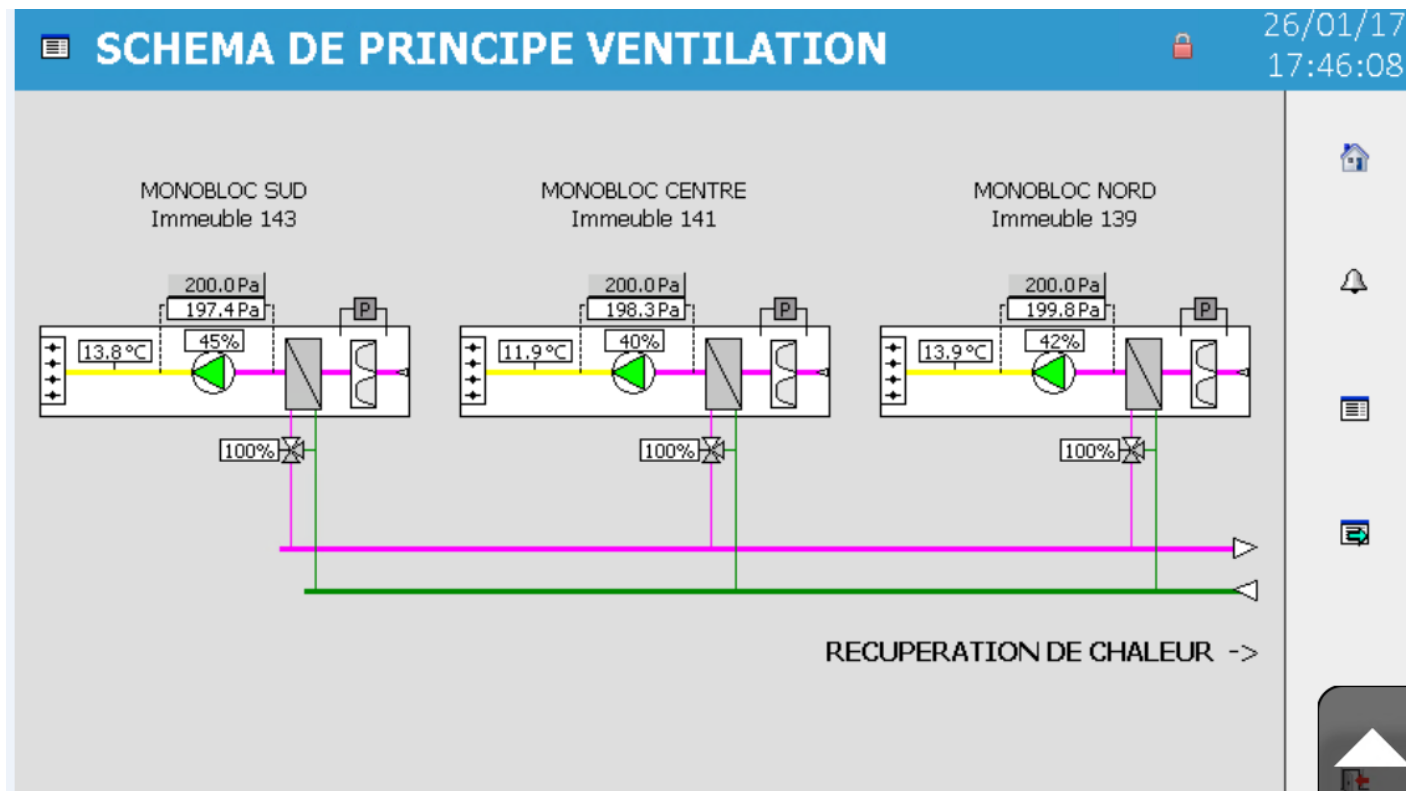
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Ventilation



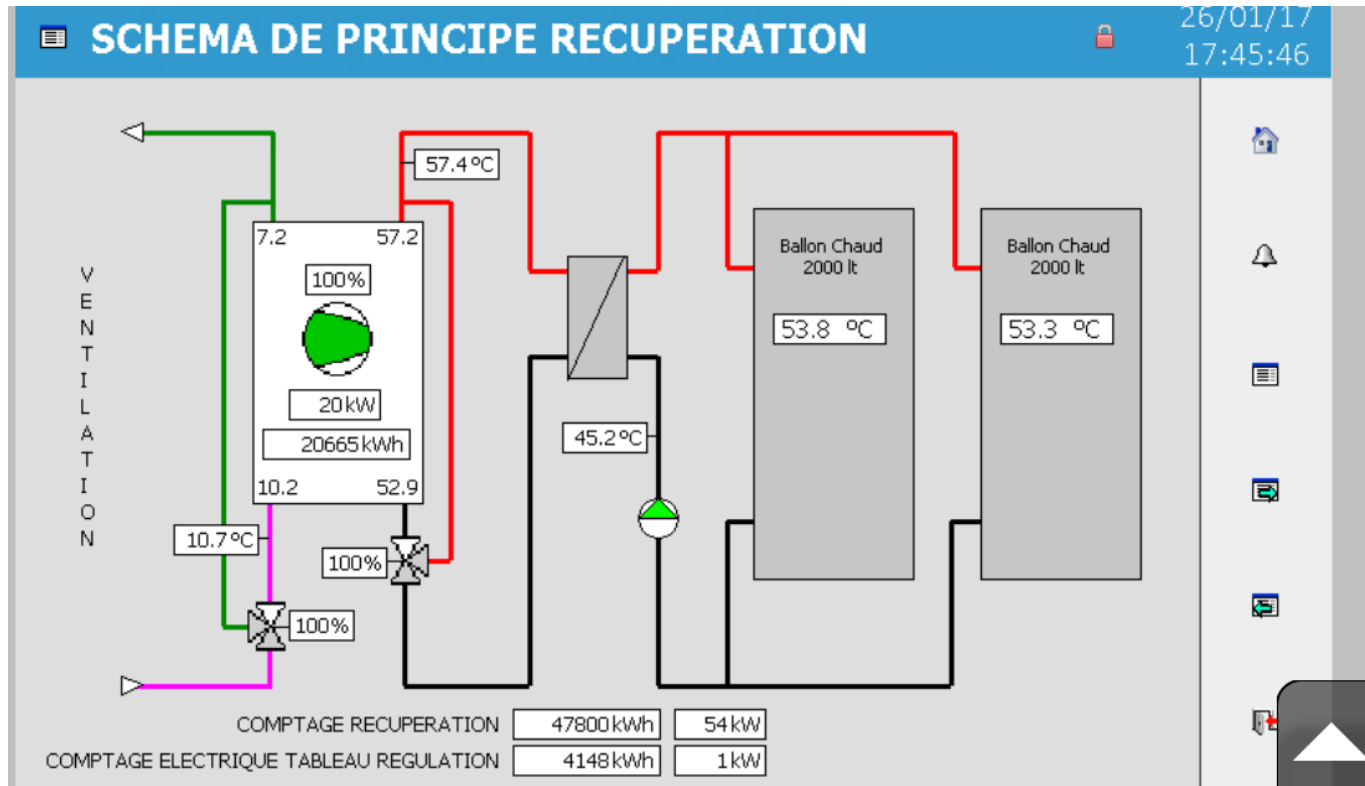
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Ventilation



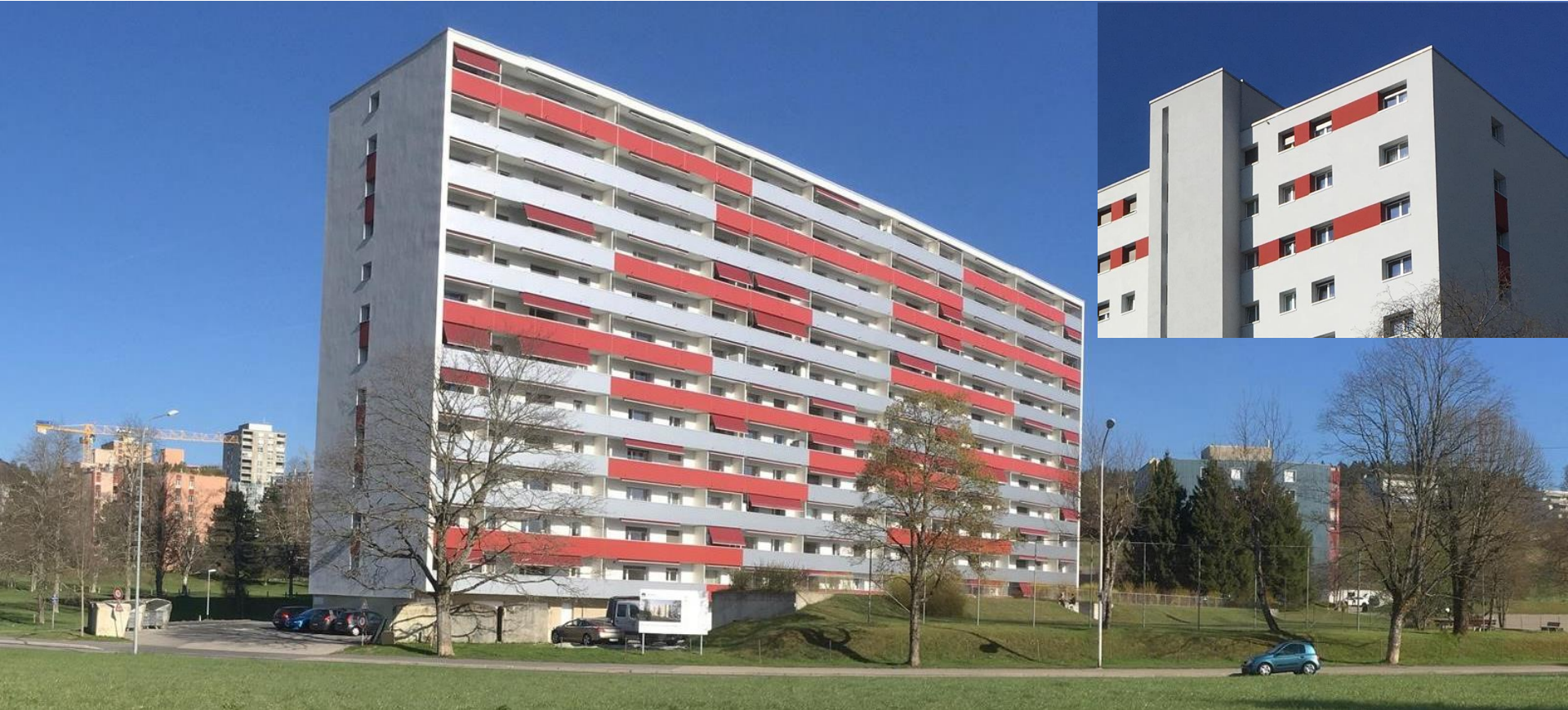
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Récupération de chaleur



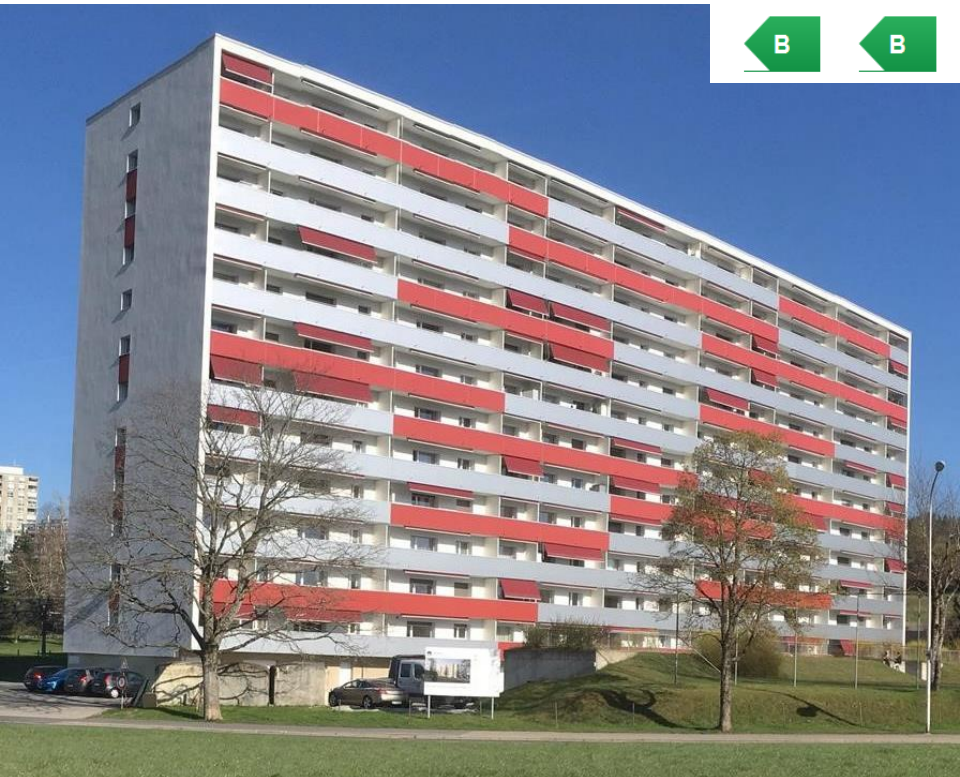
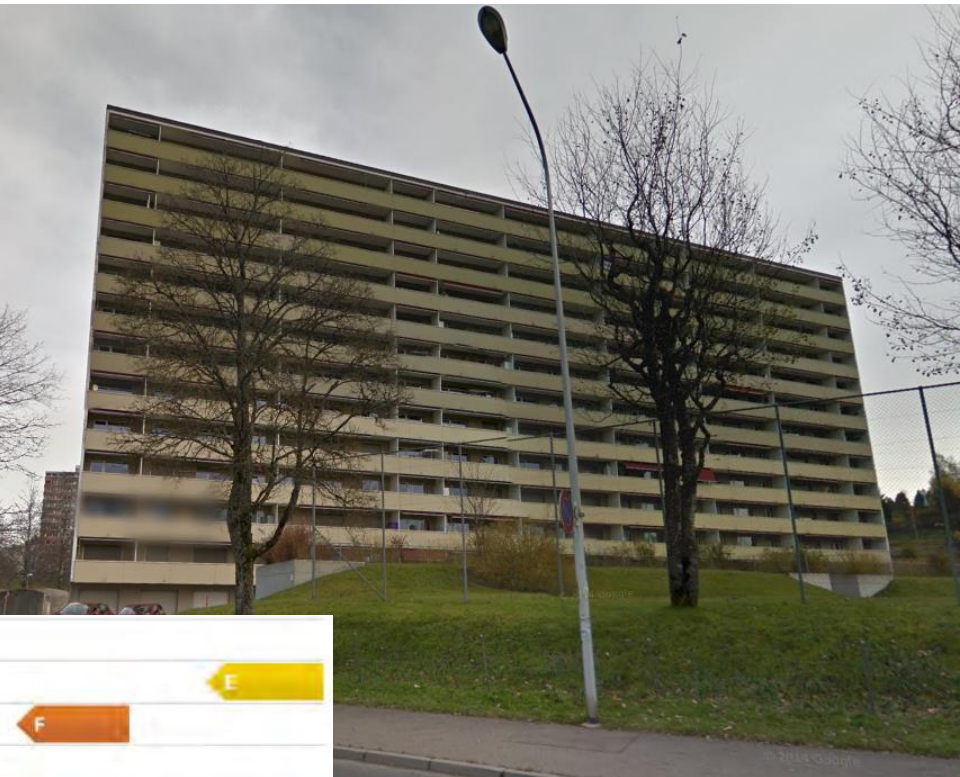
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Enveloppe



# Cas n°3 – Solutions retenues

## Bilan global



# Cas n°3 – Solutions retenues

## Label Minergie



**Minergie, 2018** 

La Chaux-de-Fonds 2300,  
Transformation, Habitat  
collectif Bâtiments NE-404



**Minergie, 2018** 

La Chaux-de-Fonds 2300,  
Transformation, Habitat  
collectif Bâtiments NE-405



**Minergie, 2018** 

La Chaux-de-Fonds 2300,  
Transformation, Habitat  
collectif Bâtiments NE-406

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Aspects économiques

- Ventilation : **195'000.-** (env. 1'500.-/appartement)
  - Ventilateurs
  - Gaines en toiture
  - Bouches
  
- Chauffage : **405'000.-**
  - dont récupération 210'000.- (PAC, stock, réseau, etc.)
  - reste : CAD, vannes thermostatiques



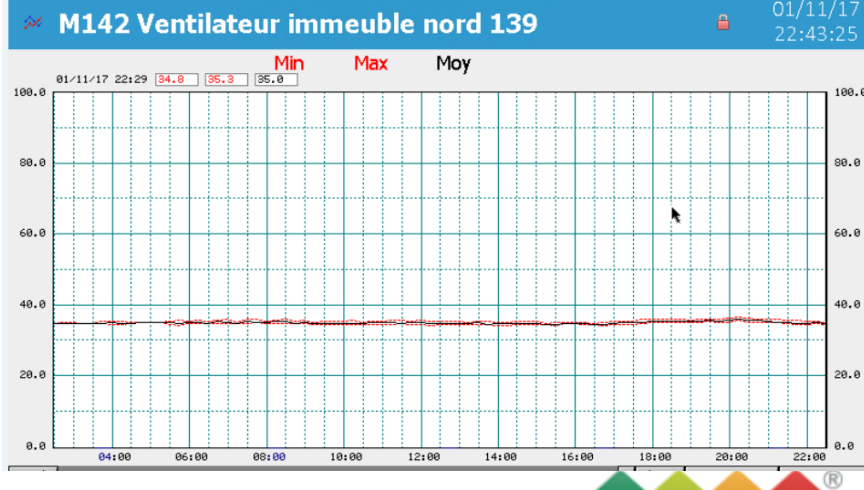
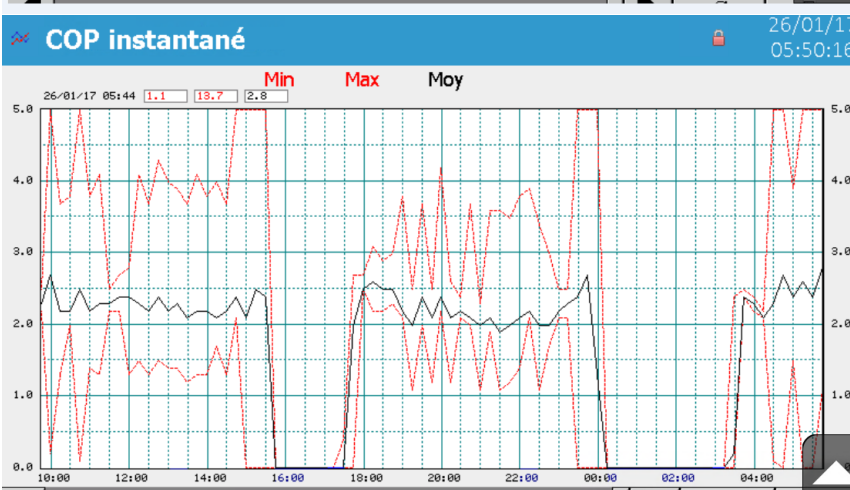
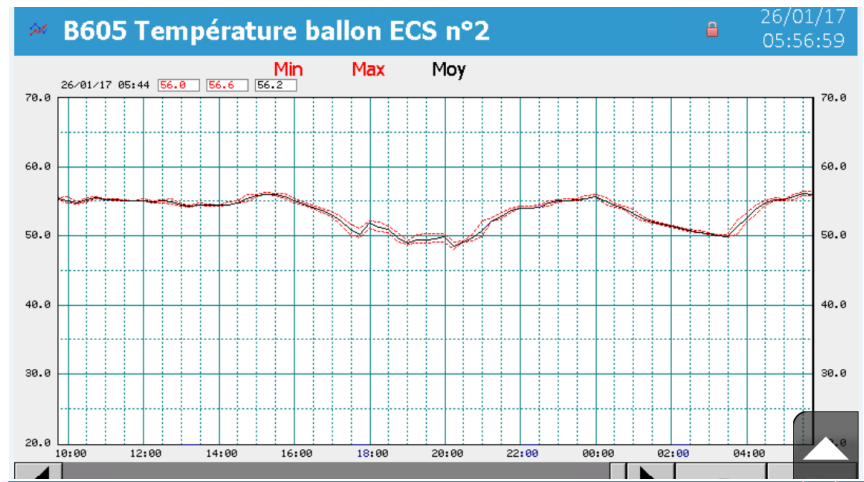
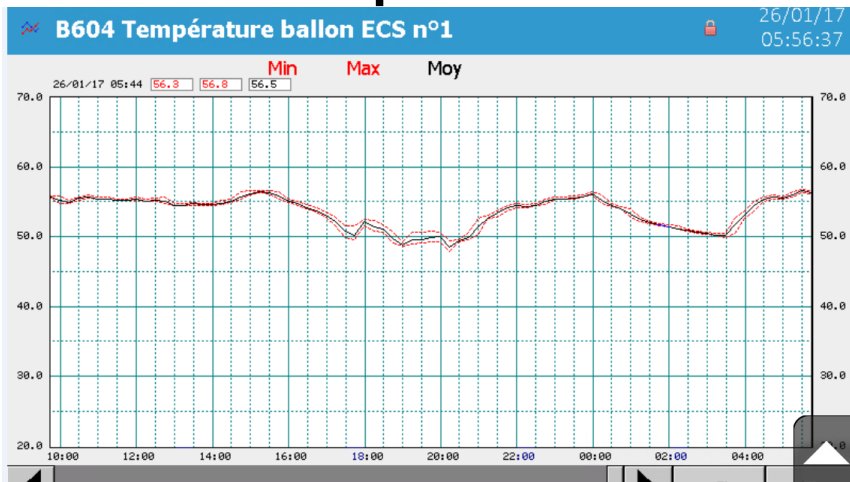
# Cas n°3 – Solutions retenues

## Potentiel de récupération de chaleur - Prévisions

- Débit nominal : 13'000 m<sup>3</sup>/h
- Débit moyen : 9'000 m<sup>3</sup>/h
- Récupération (delta T) : 10 °C
- Récupération (kWh/an) : 275'000 kWh/an
- Énergie injectée dans ECS : 458'000 kWh/an (COP=2,5)
- Besoins ECS ( $Q_{ww}$ ) : 235'000 kWh/an
- Besoins ECS ( $E_{f,ww}$ ) : 470'000 kWh/an ( $\rho = 50\%$ )
- Taux de couverture : 97 %

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Relevés récupération de chaleur en conditions réelles



# Cas n°3 – Solutions retenues

## Relevés récupération de chaleur en conditions réelles

Production PAC				
Production PAC	Récupéré	Electricité	Total	COPA
	KWh	KWh	KWh	
Février 2017	18 134	7 756	25 890	2,34
Mars 2017	18 200	7 378	25 578	2,47
Avril 2017	16 129	6 486	22 615	2,49
Mai 2017	15 626	6 119	21 745	2,55
Juin 2017	14 120	5 597	19 717	2,52
Juillet 2017	12 368	4 979	17 347	2,48
Août 2017	13 669	5 055	18 724	2,70
Septembre 2017	14 602	6 606	21 208	2,21
Octobre 2017	17 035	6 485	23 520	2,63
Novembre 2017	17 619	7 574	25 193	2,33
Décembre 2017	17 197	6 837	24 034	2,52
Janvier 2018	16 865	6 692	23 557	2,52
Février 2018	15 284	6 108	21 392	2,50
<b>Total</b>	<b>206 848</b>	<b>83 672</b>	<b>290 520</b>	<b>2,47</b>
Nombre de fonctionnement de la PAC à 100%	646	Hrs/an		
Nombre de fonctionnement de la PAC à 50%	6011	Hrs/an		
Nombre de fonctionnement de la PAC à 0%	2219	Hrs/an		

Consommation réelle d'eau chaude sur cette période : 299'000 kWh

Taux de couverture réel : 97%

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Dans le CECB®Plus

### Modélisation de la récupération de chaleur sur air extrait :

- Ventilation :

Ve-1	Simple-flux hygroréglable	1
Abrév.	Proportion (Tarif haut -moyen-bas)	
Ve-1	0-100-0 %	
Dénomination	Coûts d'entretien	
Simple-flux hygroréglable	0 CHF/a	
Type d'installation de ventilation standard	Nombre (0=effacer)	
Pas de petite installation avec valeurs standard	1	
Nombre de pièces avec amenée d'air	Rafraîchissement et/ou humidification?	
0	Aucune	
Récupération de chaleur-Échangeur de chaleur	Débit d'air neuf thermiquement actif	
Pas de récupération de chaleur	9000 m <sup>3</sup> /h	
Entraînement de ventilateur	Besoins d'électricité pour la ventilation et la protection antigel	
aucun	15000 kWh	
Débit d'air thermiquement actif	Besoins d'électricité pour le transport du froid	
m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )	kWh	
	Besoins d'électricité pour la climatisation et l'humidification	
	kWh	

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Dans le CECB®Plus

### Modélisation de la récupération de chaleur sur air extrait :

- Chauffage/ECS : PC-2 Installation de ventilation 2020 0.00 2.30 Eau chaude sanitaire (ECS) 100'000 1 plus récupération de chaleur

Abrév.	Date
PC-2	2020
Type	Taux d'utilisation chauffage
Installation de ventilation avec PAC air vicié / air frais plus récupé	0.00
Agent énergétique	Taux d'utilisation ECS
Électricité (TB / heures creuses)	2.30
Dénomination	Surdimensionnement
PAC sur air extrait	1
Accumulateur	Volume accumulateur
Accumulateur ECS	4000 litres
Distribution	Production d'électricité couplage chaleur-force
Eau chaude sanitaire (ECS)	0 kWh/a
Emplacement	Nombre (0=effacer)
Dans l'enveloppe du bâtiment	1

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Dans le CECB®Plus

Modélisation de la récupération de chaleur sur air extrait :

- ECS :

ECS-1   CAD + PAC   11'362   Central   Oui   Circulation   100'000   1

Abrév.	Surface
<input type="text" value="ECS-1"/>	<input type="text" value="11362"/> m <sup>2</sup>
Dénomination	Type d'alimentation
<input type="text" value="CAD + PAC"/>	<input type="text" value="Central"/>

---

**Degré de couverture producteur de chaleur**

PC-1 Chauffage à distance (de UIOM, STEP, Industrie) (Chauffage à distance)

PC-2 Installation de ventilation avec PAC air vicié / air frais plus récupération de chaleur (PAC sur air extrait)

# Cas n°3 – Solutions retenues

## Retour sur cette solution

- Relativement facile à mettre en œuvre :
  - compatible avec une intervention en site occupé
- Sensible aux réglages :
  - fonctionnement de la PAC (COP/heures de fonctionnement)
  - régulation de l'appoint
- Compatible avec l'hygroréglable, le photovoltaïque / incompatible avec le solaire thermique
- Rentabilité :
  - immédiate si on considère la comparaison avec le double-flux
  - à discuter si on compare avec la production principale

**Merci pour votre attention !**

*The End*