



# L'efficacité énergétique au cœur des bâtiments publics

L'histoire du Groupe Scolaire Joseph Béard  
à Rumilly



# Conception du bâtiment et bilan global du projet

# Rappel du contexte et des objectifs du maître d'ouvrage

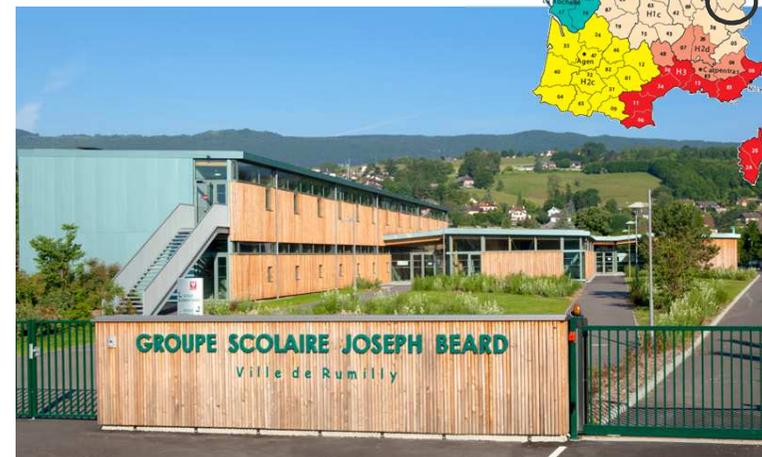
## Contexte et objectifs

- Souhait de matériaux bio-sourcés, d'où le choix d'une structure bois
- Performance énergétique exemplaire
- Bon confort visuel
- Bon confort d'été (malgré l'inertie faible de la construction en bois)



## Finalité du bâtiment

- 4 classes de maternelle, 6 classes de primaire
- Capacité d'accueil : 250 élèves aujourd'hui
- 8 classes de plus possible sur le site
- Année de construction : 2011, ouverture septembre 2011



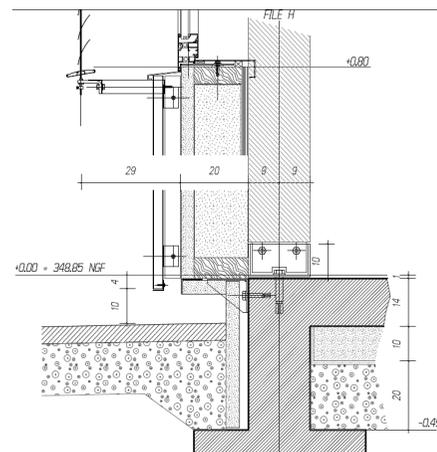
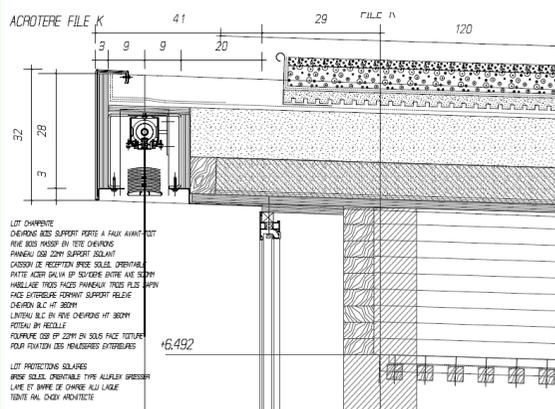
# Conception du bâtiment 1/3

Bâtiment	GRUPE SCOLAIRE JOSEPH BEARD, 20 r Verdun, 74150 RUMILLY
Maître d'ouvrage	COMMUNE DE RUMILLY ( 74)
Equipe de maîtrise d'œuvre	ATELIER PLOTTIER, CENA INGENIERIE, ARBORESCENCE, SINTEC, DEN HENGST, ARBOTECH
SHON / SHAB	2600 m <sup>2</sup>
Nombre de niveaux	1 à 2 Niveaux
Type de locaux	Salles de classe, de repos, bureaux, restaurant scolaire
Nombre d'occupants	250 enfants + corps enseignant



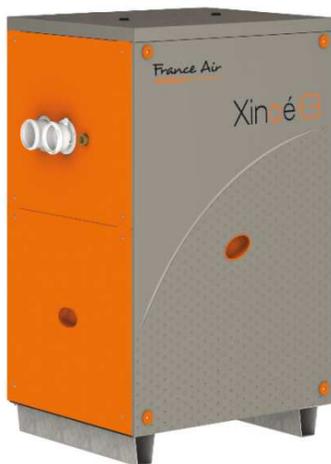
# Conception du bâtiment 2/3

Bâtiment	GROUPE SCOLAIRE JOSEPH BEARD, 20 r Verdun, 74150 RUMILLY		
Type de murs	Structure	Murs de façade à ossature bois	
	Isolant	Laine de roche entre montants bois 14,5 cm Laine de bois 3,5 cm devant les montants	R = 4,5 m <sup>2</sup> K/W
Type de toiture	Structure	Terrasse végétalisée	
	Isolant	8 cm de perlite et 12 cm de PU	R = 6,4 m <sup>2</sup> K/W
Type de plancher bas	Structure	Béton?	
	Isolant	10 cm de polystyrène	R = 3,4 m <sup>2</sup> K/W
Type de vitrages	Vitrage 4/16/4 remplissage argon et menuiserie aluminium Uw moyen = 1,7 W/m <sup>2</sup> K		
Etanchéité à l'air	I4 = 0,765 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> N50 = 2,1 V/h (Rappel: Label BBC-Effinergie en logement collectif I4=1 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> Passivhaus N50 = 0,6 V/h)		



# Conception du bâtiment 3/3

Bâtiment	GRUPE SCOLAIRE JOSEPH BEARD
Système de ventilation	5 CTA double flux à récupération d'énergie (Rendement entre 80 et 85%) Soufflage dans les classes et reprises dans les circulations (séchage des vêtements par temps humides)
Système de chauffage	3 pompes à chaleur à absorption de 37kW chacune, sur 11 sondes géothermiques
Système de climatisation	Surventilation nocturne automatique par les CTA (free-cooling) Rafraichissement direct grâce aux sondes géothermiques en by-passant les PAC. Soufflage d'air frais par les CTA.
Type d'émission / distribution	Emission avec régulation très réactive Ventilation avec batterie chaude terminale dans les salles de classes + réduit par un panneau rayonnant eau chaude ou des radiateurs Radiateurs dans les petits locaux

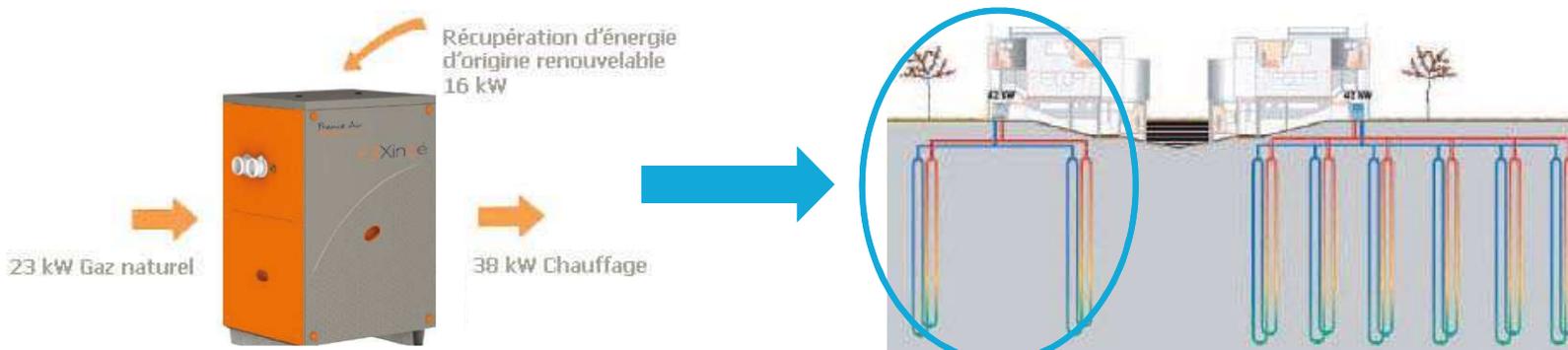


# PAC sur sondes géothermiques... ...mais pourquoi PAC gaz absorption?

○ Coût d'investissement favorable à la PAC absorption pour un coût d'exploitation similaire

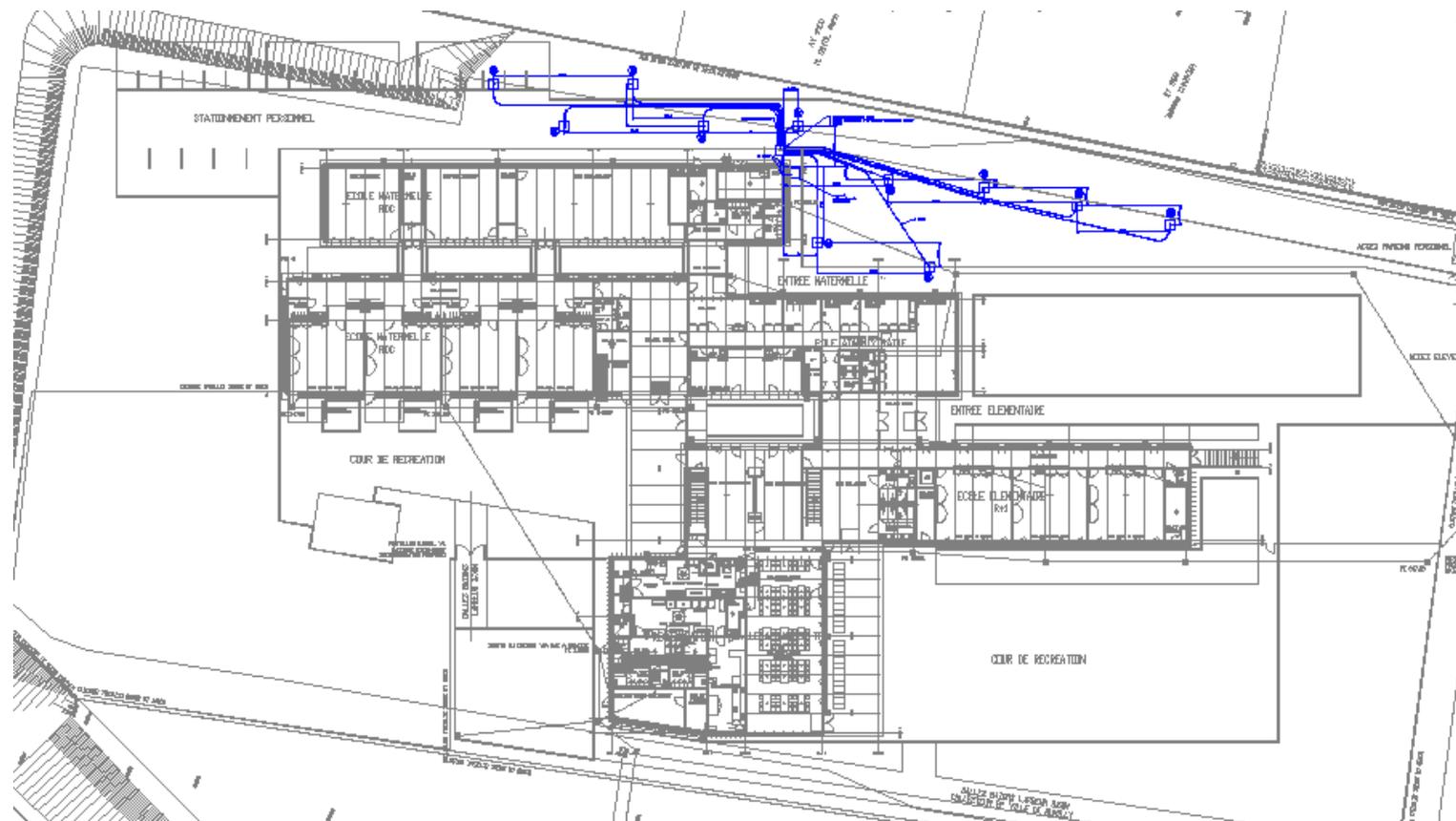
	<b>PAC GAZ ABSO</b>	<b>PAC ELEC</b>
PAC	50 000	25 000
Sondes	11 sondes 66 000	20 sondes 120 000
Adduction gaz	2 500	-
<b>TOTAL</b>	<b>118 500</b>	<b>145 000</b>

Comparaison de l'investissement en €HT



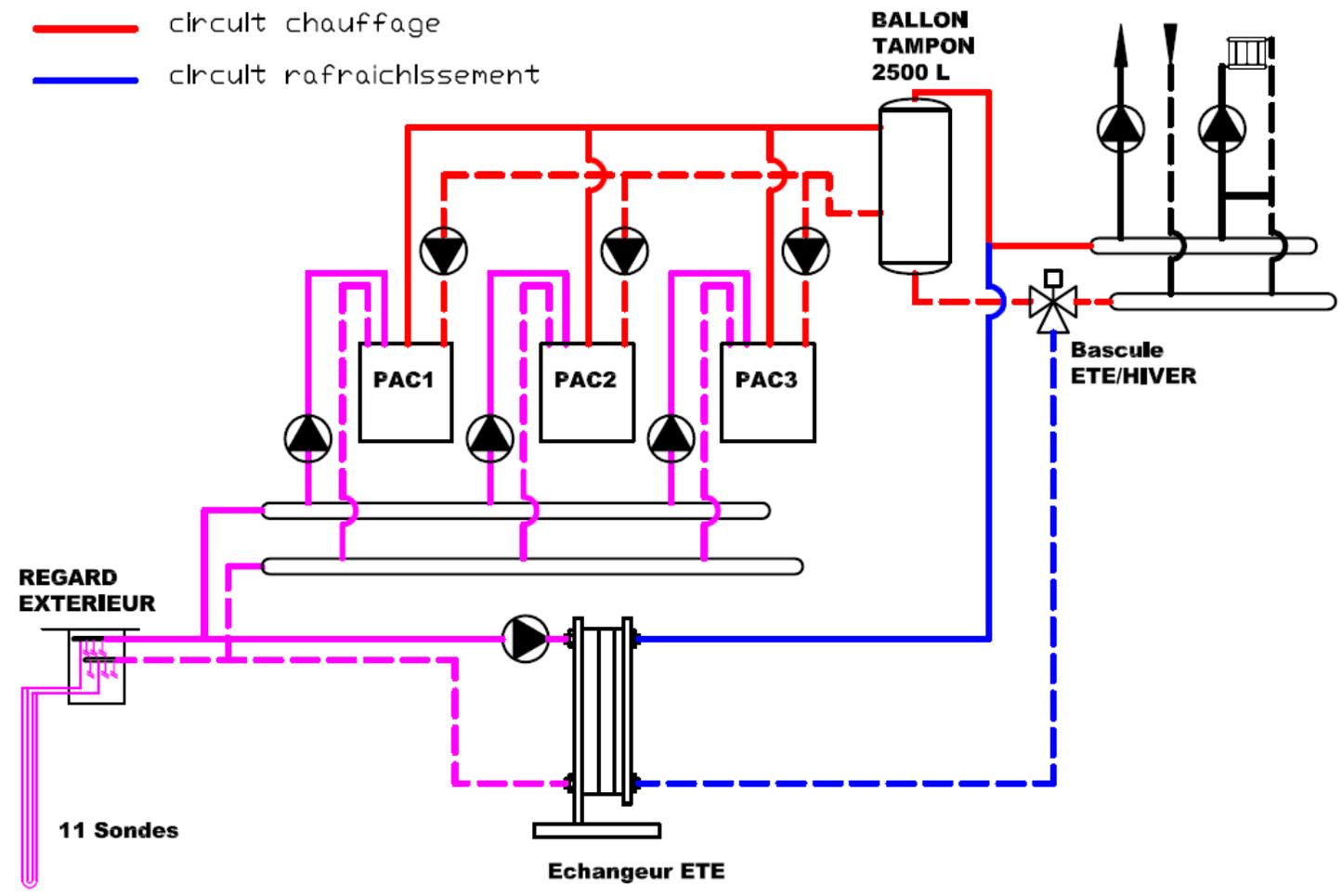
# Implantation des sondes géothermiques

- Faible place disponible pour les sondes sur le terrain  
→ Projet favorable à l'installation d'une PAC gaz à absorption



# Schéma hydraulique de l'installation

- circuit glycolé
- circuit chauffage
- circuit rafraichissement





# L'aspect thermique du groupe scolaire RT2005

Détails	Projet	Référence	Ecart en %
Ubat	0,459	<b>0,679</b>	32,33
Cep (kWhep/m <sup>2</sup> )	62,95	<b>162,27</b>	61,21
Chauffage/rafraichissement	16,89	<b>85,48</b>	80,24
Eclairage	21,21	<b>28,74</b>	26,19
Auxiliaires chauffage	7,45	<b>3,1</b>	-140,48
Auxiliaires ventilation	17,39	<b>44,95</b>	61,31

Le bâtiment atteint le niveau BBC de la RT2005

# Rex sur l'instrumentation des pompes à chaleur à absorption

Saison de chauffe 2012 - 2013  
Rex GrDF – ADEME



<http://media.xpair.com/pdf/chauffage/Instrumentation-PAC-Gaz-Rumilly.pdf>

# Caractéristiques et performance des machines

	GAHP A		GAHP GS		GAHP WS
	HT	LT	HT	LT	
Fonction	Chauffage seul		Chauffage rafraîchissement		Chauffage rafraîchissement
Photo					
Rendement GUE (PCI)	152% [A7/W50°C]	151% [A7/W50°C]	149% [B0/W50°C]	150% [B0/W50°C]	166% [W10/W50°C]
	125% [A-7/W50°C]	165% [A7/W35°C]	125% [B0/W65°C]	170% [B0/W35°C]	143% [W10/W65°C]
Puissance	35,4 kW [A7/W50°C]	34,9 kW [A7/W50°C]	37,6 kW [B0/W50°C]	37,7 kW [B0/W50°C]	41,6 kW [W10/W50°C]
	31,5 kW [A-7/W50°C]	38,4 kW [A7/W35°C]	31,5 kW [B0/W65°C]	42,6 kW [B0/W35°C]	35,8 kW [W10/W60°C]
Débit calorifique (Gaz)	25,7 kW		25,7 kW		25,7 kW
Puissance électrique consommée	1000 W		470 W		470 W
Plage de fonctionnement	[-20°C , 45°C]		T max entrée source renouvelable : 45°C T min sortie source renouvelable : -5°C	T max entrée source renouvelable : 45°C T min sortie source renouvelable : -10°C	Air [0°C,45°C] T max entrée source renouvelable : 45°C T min sortie source renouvelable : 3°C
T max chauffage	65°C	55°C	65°C	55°C	65°C
T max ECS	70°C à 50% de P		70°C à 50% de P		70°C à 50% de P
DeltaT de fonctionnement	10°C		10°C		10°C



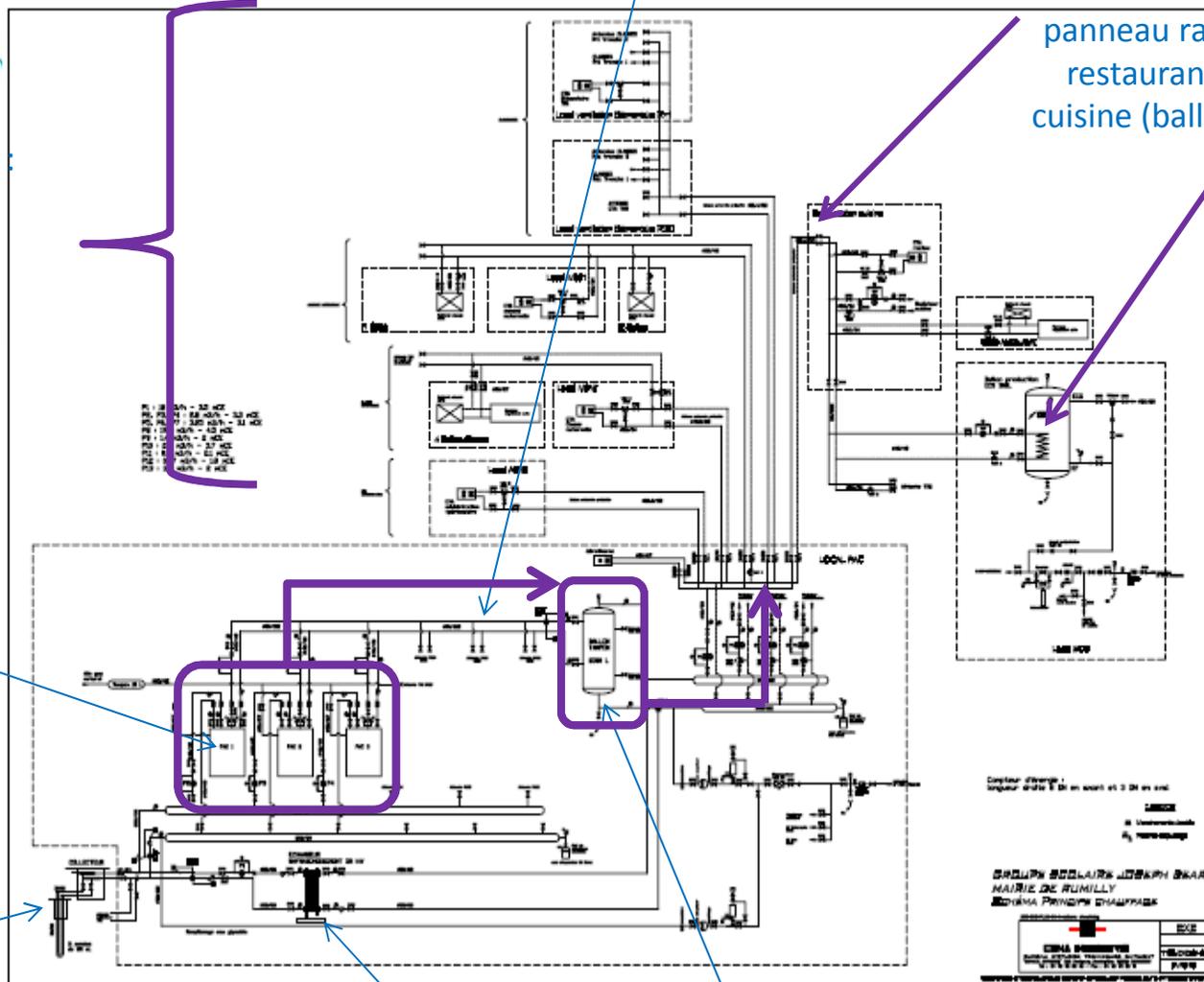
Emplacement prévu pour 3 CH supplémentaires si agrandissement de l'école

5<sup>ème</sup> départ : CTA restaurant, radiateur cuisine, panneau rayonnant restaurant + ECS cuisine (ballon 300 L)

4 départs chauffage :  
École primaire,  
Maternelle 1  
Maternelle 2  
CTA Administration

3 PAC géothermiques installées en salle des machines

Champ de 11 sondes de 100m



Echangeur de Bypass des PAC pour géo-cooling en été

Ballon tampon 1500 litres

# Présentation du système de chauffage et de refroidissement

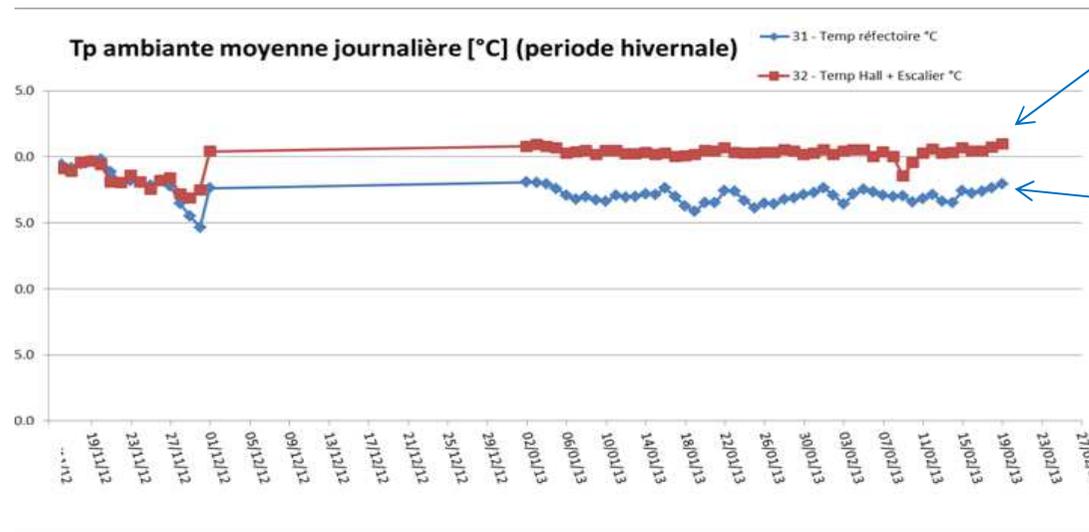
## ○ Spécifications de l'installation

- Température de consigne : 19°C, avec ralenti possible et hors gel à 7°C
- Fonctionnement des pompes à chaleur en cascade
- Bascule automatique en cas de défaut d'une machine
- Inversion périodique répartissant leur fonctionnement de manière équilibrée

Période de chauffage étudiée:  
octobre 2012 à mars 2013



# Taux de disponibilité et confort des occupants



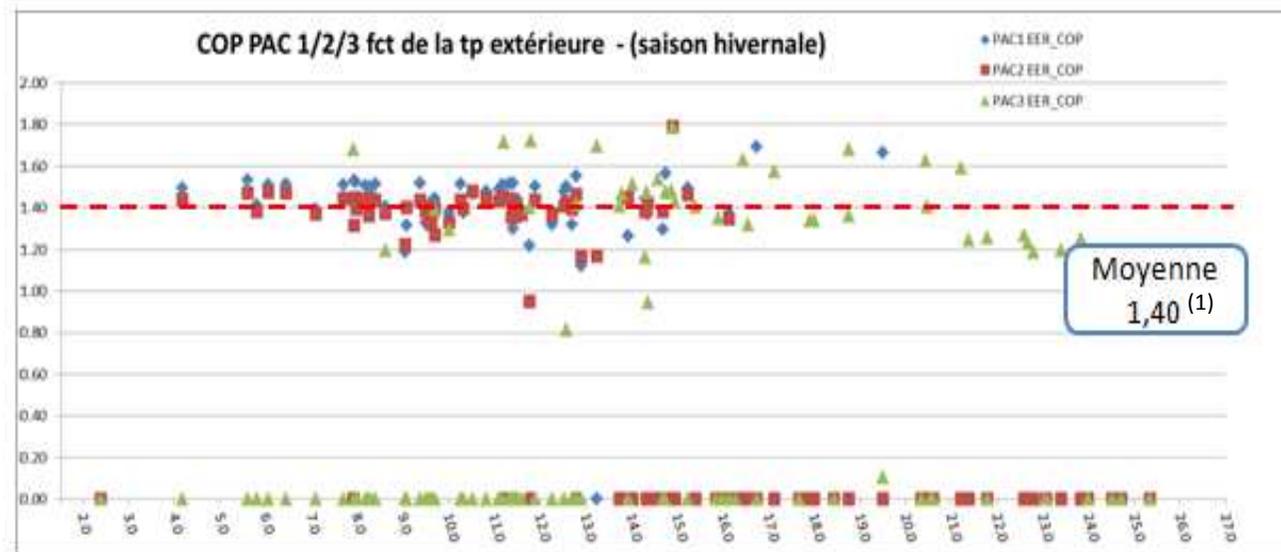
T° moyenne  
hall = 20°C

T° moyenne  
Réfectoire = 18°C

## Un confort assuré et une bonne disponibilité des pompes à chaleur

- Les températures varient peu dans le hall et le réfectoire
- Pas de ralenti de température pendant les week-end
- Le chauffage de l'ensemble de la période a été assuré par les PAC
- Taux de disponibilité de l'installation de 100%

## Performances saisonnières (chauffage)



### Des performances proches des données constructeur

- COP moyen de 1,4, soit 140% de rendement sur PCI (rendement nominal constructeur: 150%)
- Température d'émission entre 50°C et 53°C
- Stabilité des performances par rapport à la température extérieure.

# Comment a t'on obtenu de telles performances?

## Une installation bien dimensionnée

- Les trois PAC fonctionnent au maximum de leur charge au plus froid de l'hiver

## Un fonctionnement à pleine charge qui maximise le COP

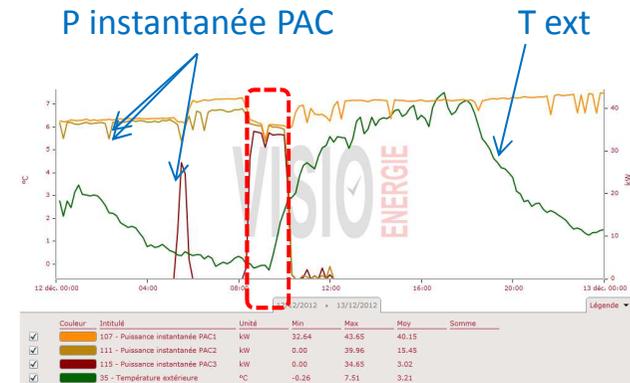


COP PAC  
Taux de charge

Corrélation entre COP et taux de charge

## Une régulation adaptée

- Modulation de la PAC entre 50 et 100% de charge
- Régulation en TOR jusqu'à 50% de charge pour des besoins plus faibles.



Modulation

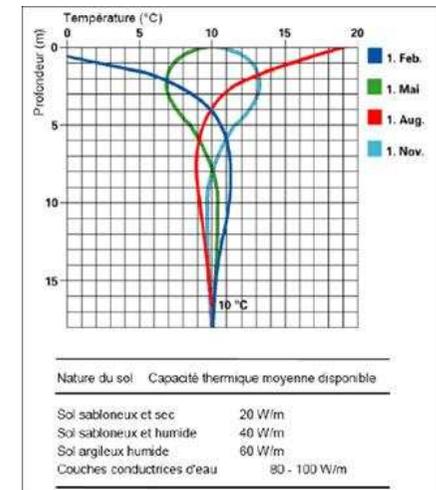
Régulation TOR



# Comment a t'on obtenu de telles performances?

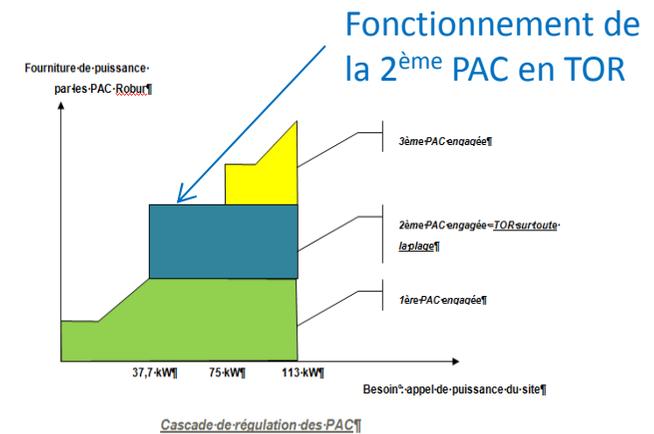
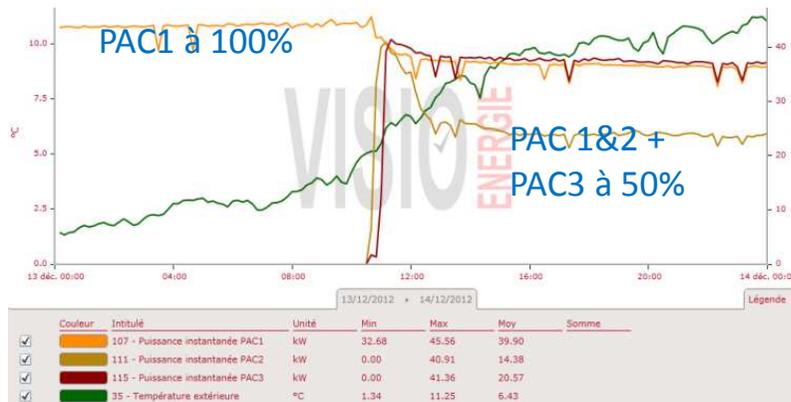
## Très peu d'influence des températures extérieures froides

- Température de l'eau en sortie de sonde = 8 – 12°C
- Aussi bien en hiver qu'en été, les sondes de températures de 100m ne sont pas soumises aux variations extérieures
- Intérêt du géo-cooling l'été



## Fonctionnement de la cascade

- Selon attendu lorsqu'une ou les trois PAC sont engagées.
- A optimiser lorsque seules 2 PAC sont sollicitées





# Comment a t'on obtenu de telles performances?

## ○ Faible consommation des auxiliaires des PAC

- Pompe de circulation, ventilateur du brûleur et contrôle commande →  $P_{moy} = 1KW$ .

## ○ Consommation des PAC absorption au gaz

- Consommation moyenne des PAC sur la journée la plus froide: 650kWh.
- Consommation sur la saison de chauffe: 113MWh.

Indicateur	Nombre	Ratio (kWh/xx)	Ratio (€/xx) <sup>(4)</sup>
Surface	2600 m <sup>2</sup> <sup>(1)</sup>	43 kWh/m <sup>2</sup> .an	<b>2,4 €/m<sup>2</sup>.an</b>
Nombre élèves	250 élèves <sup>(2)</sup>	452 kWh/élève.an	<b>25 €/élève.an</b>
Degrés Jour Unifiés	2400 <sup>(3)</sup>	47 kWh/DJU.an	2,6 €/DJU.an

<sup>[1]</sup> Source Mairie de Rumilly

<sup>[2]</sup> Source Mairie de Rumilly

<sup>[3]</sup> Station météo de Meythet

<sup>[4]</sup> Energie Plus n°530 – Prix au 15 juin 2014 – Tertiaire.



# Annexes



# Bilan sur la PAC abso sur sonde

## Consommations de quelques bâtiments communaux

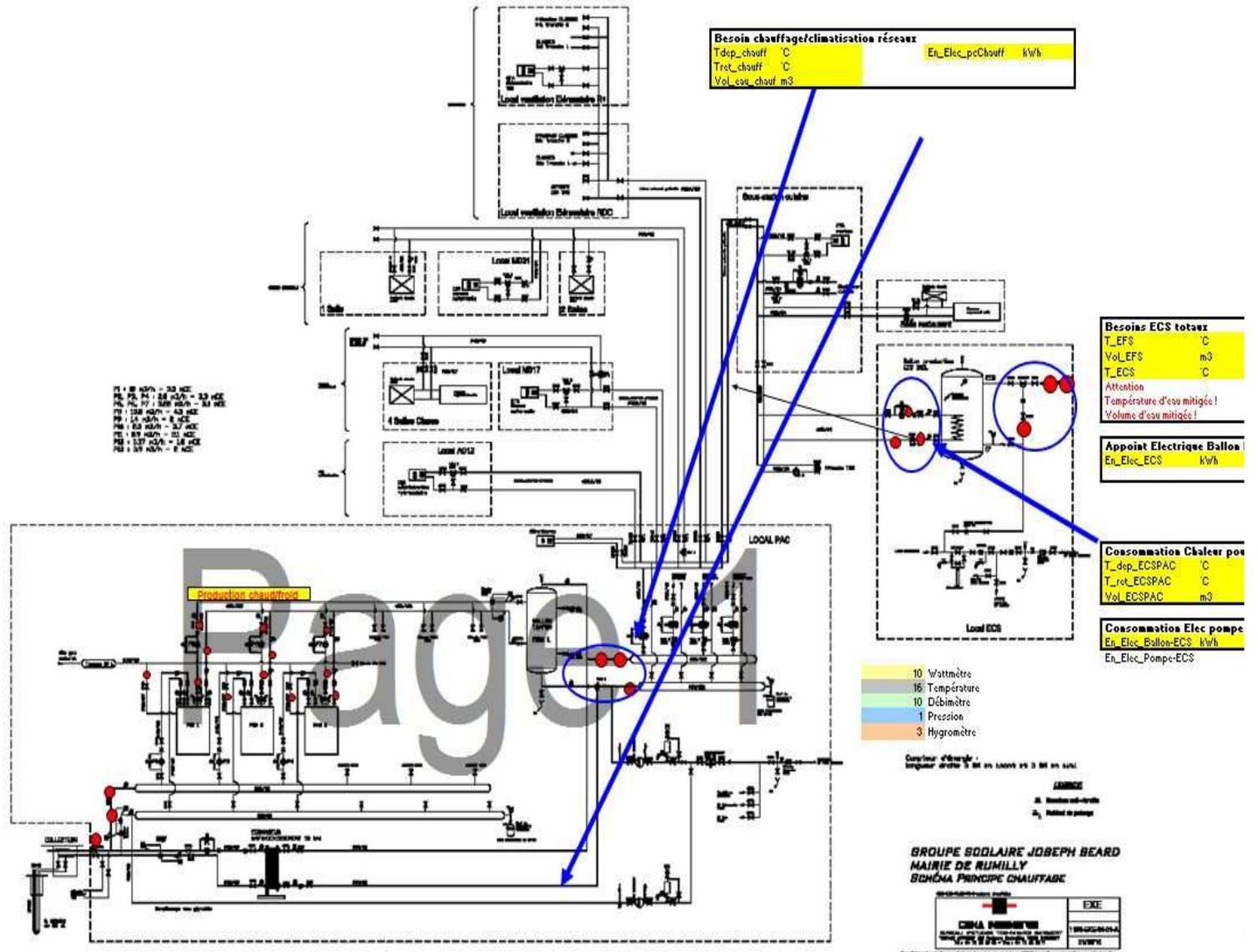
	<b>GS Beard – BBC Rumilly 2011</b>	<b>GS – bassin chambérien 1980</b>	<b>Salle spectacle – bassin chambérien – 1992</b>	<b>Lycée bassin chambérien – 2010</b>
Consommation gaz année 2011-2012 (kWh/m <sup>2</sup> )	42	189	138	47
Consommation électrique année 2011-2012 kWh/m <sup>2</sup>	33			31





# Instrumentation mise en place

<b>Consommation Gaz PACs</b>	
Vol_gaz_PAC1	m3
Vol_gaz_PAC2	m3
Vol_gaz_PAC3	m3
Pl_gaz_PAC	mbar
T_gaz_PAC	°C
<b>Consommation Elec PACs</b>	
En_Elec_PAC1+Pompe1	kWh
En_Elec_PAC2+Pompe2	kWh
En_Elec_PAC3+Pompe3	kWh
<b>Consommation Elec pompes Réseau</b>	
En_Elec_Pompe_Chauff	kWh P2+P5
En_Elec_Pompe_raffrai	kWh P3+P6
En_Elec_PompeCTA	kWh P4+P7
<b>Production chauffage/climatization PAC1</b>	
Tdep_PAC1	°C
Vol_eau_PAC1	m3
<b>Production chauffage/climatization PAC2</b>	
Tdep_PAC2	°C
Vol_eau_PAC2	m3
<b>Production chauffage/climatization PAC3</b>	
Tdep_PAC3	°C
Vol_eau_PAC3	m3
<b>Température retour PACs</b>	
Tret_PACs	°C
<b>Consommation Elec pompes P1 (testage géothermique climatisation)</b>	
En_Elec_P1	kWh
<b>Sondes Géothermiques</b>	
Tdep_geo	°C
Tret_geo	°C
Vol_eau_geo	m3
<b>Consommation de combustible gaz PACs</b>	
Vol_gaz_PAC1	m3



# Conception du bâti: le mode constructif

## Murs de façade à ossature bois

Laine de roche entre montants bois 14,5 cm

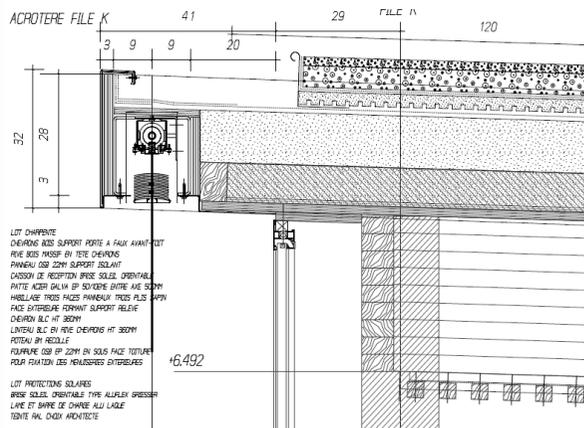
Laine de bois 3,5 cm devant les montants

$R = 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

## Toiture terrasse végétalisée

8 cm de perlite et 12 cm de PU

$R = 6,4 \text{ m}^2\text{K/W}$



Extraits du carnet de détails de l'atelier Plottier Architectes

cēnaingénierie

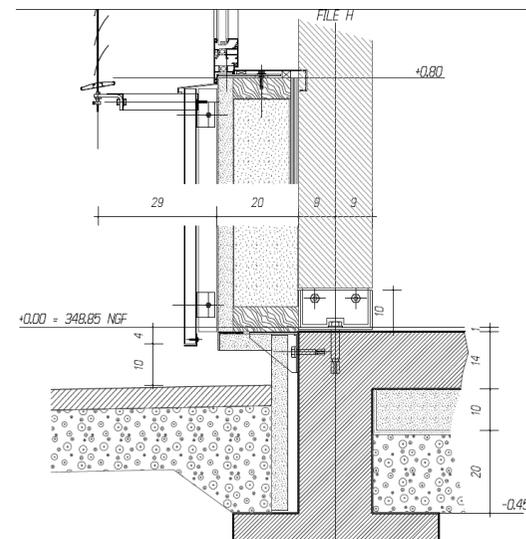
## Plancher

10 cm de polystyrène

$R = 3,4 \text{ m}^2\text{K/W}$

## Traitement des ponts thermiques

Exemple liaison façade / dallage



# Conception du bâti: le mode constructif

## ○ Vitrages

Vitrage 4/16/4 remplissage argon et menuiserie alu  
 $U_w$  moyen = 1,7 W/m<sup>2</sup>K

## ○ Etanchéité à l'air

Formation des entreprises  
Test en cours de chantier:

$$I_4 = 0,765 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$$

$$N_{50} = 2,1 \text{ V/h}$$

Rappel : Label **BBC-effinergie** en logement collectif

$$I_4 = 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$$

$$\text{Passivhaus } N_{50} = 0,6 \text{ V/h}$$



# Répondre à la spécificité du groupe scolaire

## Bâtiment ossature bois



Peu d'inertie et risque réel d'inconfort en période chaude



Recherche d'une solution permettant :  
- un rafraîchissement non pénalisant  
- une régulation très réactive



- Sondes géothermiques  
- Chauffage à air



# Comment rafraichir le groupe scolaire?

- Surventilation nocturne automatique par les CTA (free-cooling)
- Rafraichissement direct grâce aux sondes géothermiques en by-passant les PAC.  
Soufflage d'air frais par les CTA.



# Le choix des équipements thermiques de ventilation et d'émission

○ 5 CTA double flux à récupération d'énergie de marque SWEGON. Rendement entre 80 et 85%

○ Soufflage dans les classes et reprises dans les circulations (séchage des vêtements par temps humides)

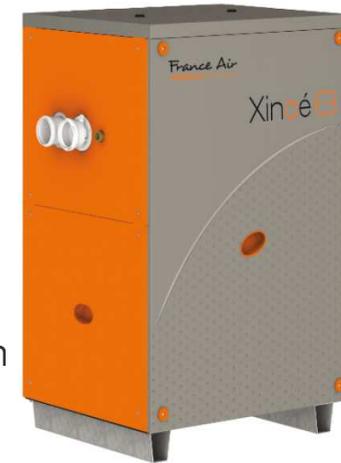
○ Emission avec régulation très réactive

- Ventilation avec batterie chaude terminale dans les salles de classes + réduit par un panneau rayonnant eau chaude ou des radiateurs
- Radiateurs dans les petits locaux





# Installation mise en place



## ○ Déperditions

- Pour -11°C extérieur, 19°C dans les classes et 16°C dans les circulation  
**102 kW soit 42 W/m<sup>2</sup>**

## ○ Chauffage du bâtiment:

- 3 pompes à chaleur à absorption Xinoé de France Air (modèle GS LT).
- 3 \* 37,7 kWch, pour un départ chauffage à 50°C.
- 11 sondes géothermiques de 100 m linéaires constituent la source froide de ces 3 pompes à chaleur.
  
- Les 3 PAC couvrent l'ensemble des besoins de chauffage de l'école mais également l'ECS des cuisines.
- Le reste des besoins ECS (sanitaires) est réalisé par les cumulus électriques.
- Les 3 Pac alimentent un ballon tampon de 1500 litres

## ○ Confort d'été

- En été un rafraîchissement du site est réalisé par géo-cooling (PAC à l'arrêt)

# Le choix des équipements thermiques: la production de chaleur

- Production par 3 PAC gaz abso sur 11 sondes géothermiques





# Bilan sur la PAC absorption sur sonde

## ○ Etude et chantier

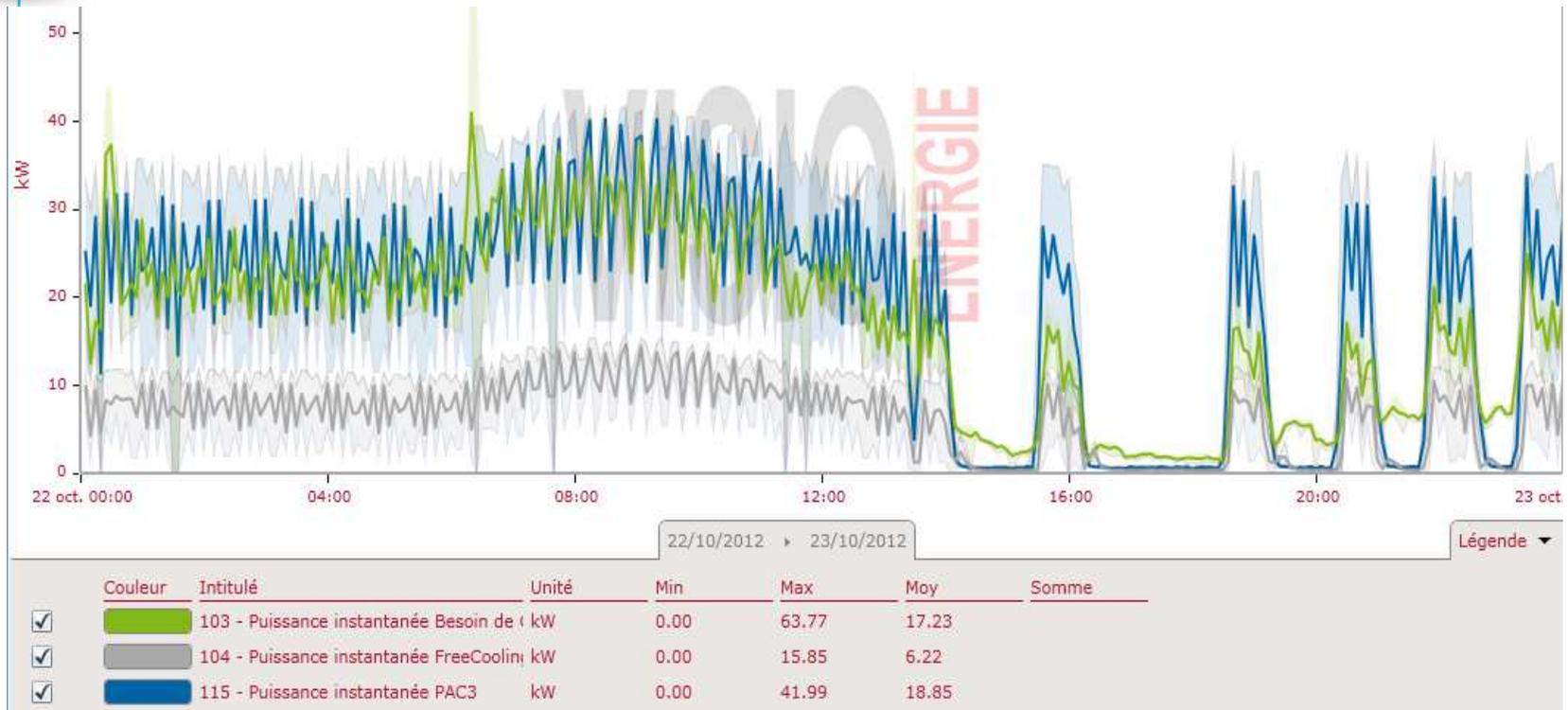
- Difficultés en études et sur chantier car organisation commerciale se mettant en place en 2009.
- Problème résolu aujourd'hui avec plus de distributeurs ayant une réflexion globale sur les schémas hydrauliques et la régulation.

## ○ Mise en service

- Difficultés car c'était la 1<sup>ère</sup> installation de PAC absorption mise en service par le prestataire courant d'été 2011.



Autre enseignement, ne pas oublier de bien stopper le free cooling à la reprise de la saison de chauffe.



La puissance délivrée par la PAC (courbe bleue) est largement au dessus du besoin de chauffage mesuré à la sortie du ballon tampon (courbe verte), car il faut compenser le freecooling (courbe grise).

Cela représente 1/3 de la puissance de la PAC.



## Conclusion

Un bilan très satisfaisant :

- Performances au rendez vous,
- Installation bien dimensionné,
- Une cascade qui fonctionne
- Un fonctionnement de la PAC conforme à l'annoncé constructeur : performance, régulation, modulation.
- Des performances stable en géothermie

Des points de progrès :

- Constructeur : modulation entre 80 et 100% de Pnominal,
- Constructeur : permutation circulaire des machines
- Utilisateur : Fonctionnement de la résistance électrique ECS certaines nuits,
- Utilisateur : Mise en place d'une procédure de maintenance pour éviter de refroidir le ballon tampon via le geocooling en hiver.

Deux regrets :

- Absence de bilan économique du géocooling : quel confort ? Quel coûts évités ?
- Absence d'analyse sur l'incidences des sondes sur le comportement du sol : sommes nous en train de l'épuiser ?