

Webinaire du 4 novembre 2025

PAC hybrides collectives : enseignements pour fiabiliser et optimiser vos projets en 2026



Vincent Lallemand



Pierre Murie



Sophie Valenti



Pourquoi instrumenter, point de départ

- La preuve par l'exemple : Démontrer la pertinence de la PAC hybride collective dimensionnée selon nos règles

Neuf/réno	Marché	Bâtiment	Zone climatique	Puissance PAC Hybride	Puissance vs. PAC élec	CAPEX vs. PAC élec	OPEX (conso + abo) VS PAC élec
				Puissance 0°C/50°C en % des déperditions à T base			
Neuf	Tertiaire	Enseignement primaire	H1a	Entre 40% et 50% *(-10% sur P PAC en H2b)	Divisée par 2 (en H2b : par 3 à 4)	-15 à 35% en faveur de l'hybride	Divisé par 2
			H2b*				
			H3	100% gaz réglementaire			
		Enseignement secondaire	H1a	Entre 20% et 35% *(-10% sur P PAC en H2b)	Divisée par 3 à 4	0 à -15% en faveur de l'hybride	En cours
			H2b*				
			H3	100% gaz règlementaire			
Neuf	Logement	PAC DS Ou PAC par usage	H1a	40% (30% par usage)	Divisée par 3	- 30 à -50%	équivalent
			H2b	30% (20% par usage)			
			H3	25% (20% par usage)			
Rénovation (en cours)	Logement	PAC par usage Ou PAC chauffage seul	H1a	30% / 35% ⁽¹⁾	Divisée par 3	En cours	équivalent
			H2b	25% / 30% ⁽¹⁾			
			H3	20% / 30% ⁽¹⁾			

Puissance PAC ~ 30% déperditions bâtiment

- Communiquer sur les résultats pour mettre en valeur la solution à la suite de l'exemple de Trets (13)



CEGIBAT
L'expertise efficacité énergétique de GRDF

XPAIR



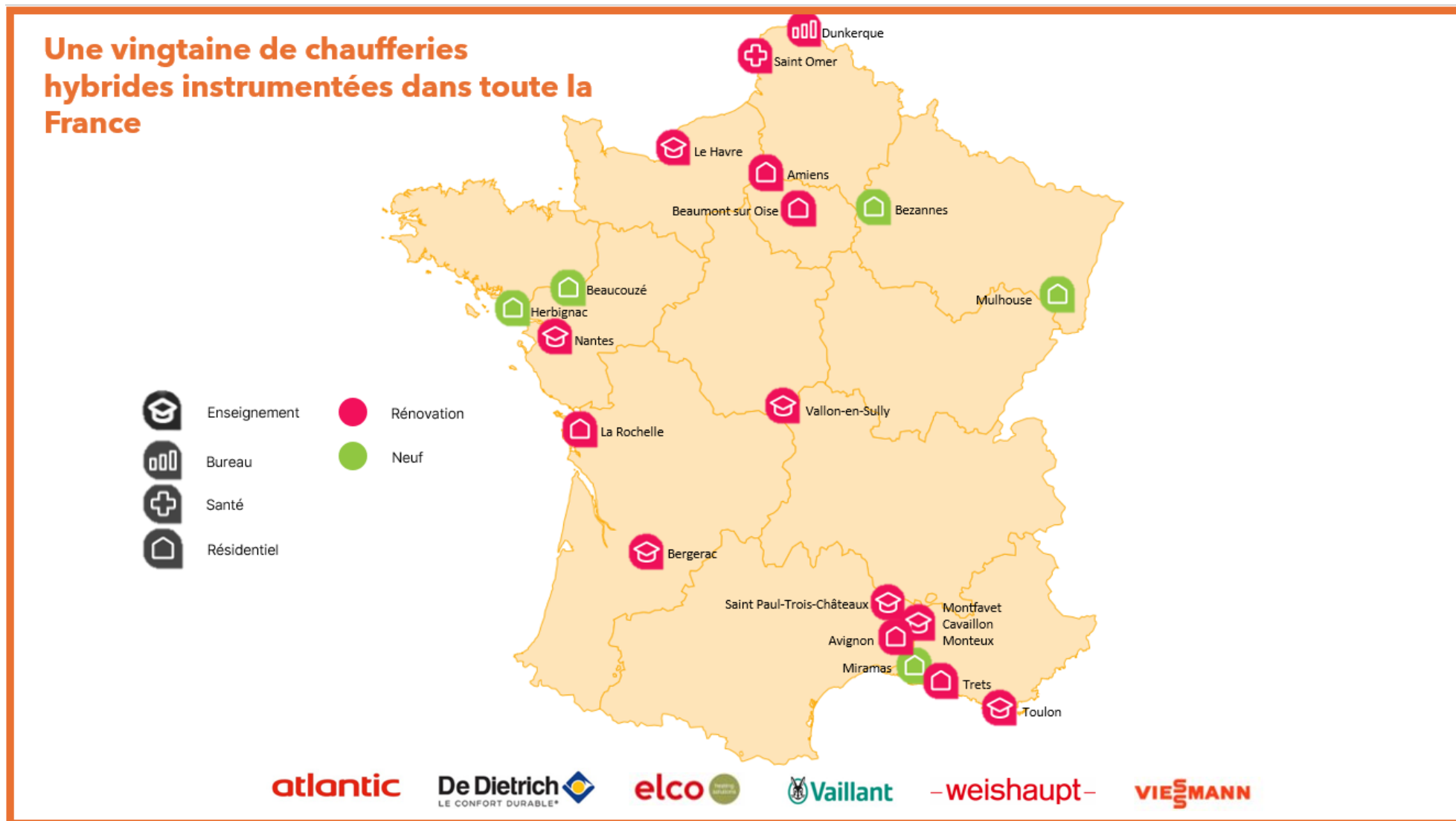
AFPAC
Association Française pour les Pompes à Chaleur

vecteurGAZ
N° 148 • 1^{er} trimestre 2025
Revue d'information de GRDF pour les acteurs du chauffage du bâtiment

Webinaires, interventions

CEGIBAT
L'expertise efficacité énergétique de GRDF

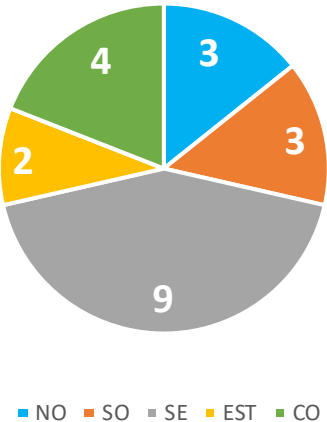
Fin 2025, une vingtaine de sites instrumentés



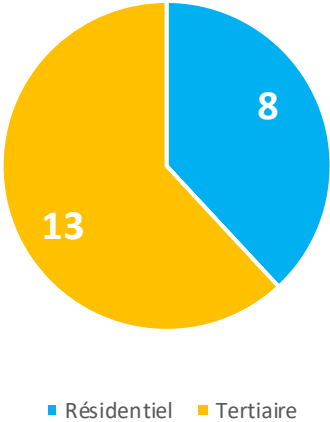
21 projets d'instrumentation d'hybridation de chaufferie



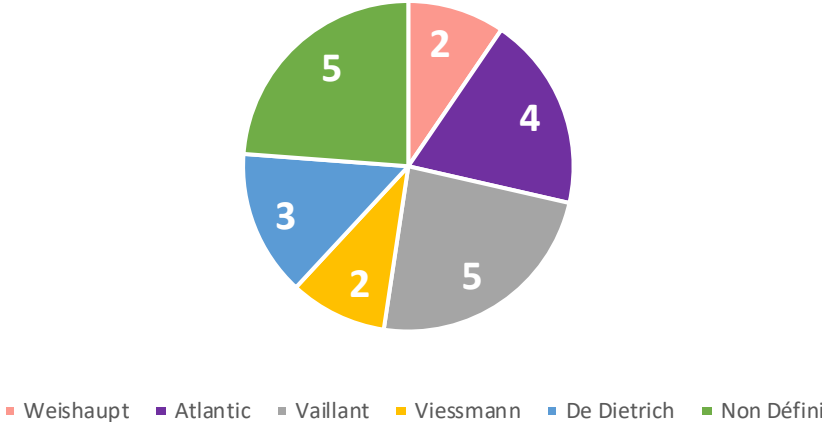
Répartition des projets par région



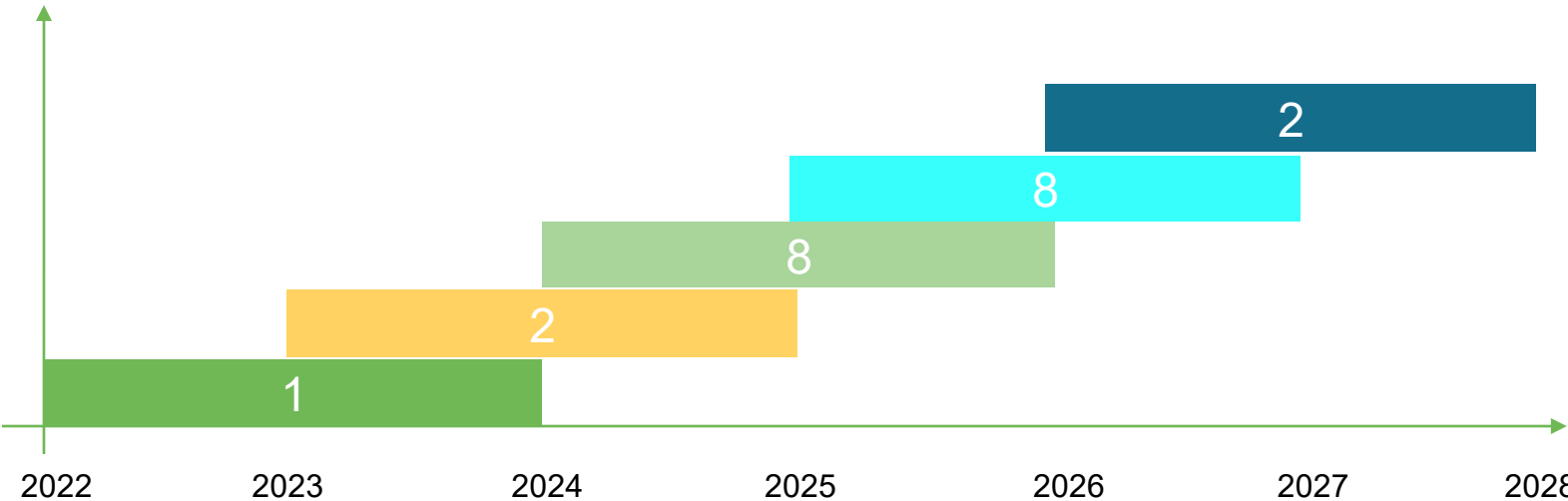
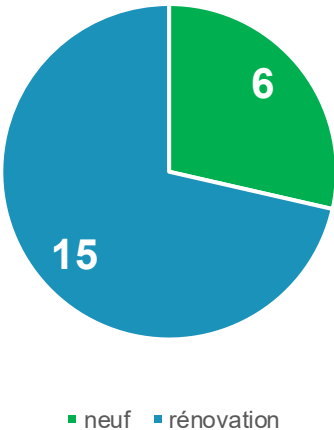
Répartition par marché



Répartition par fabricants



Neuf ou rénovation ?



Principe d'une instrumentation

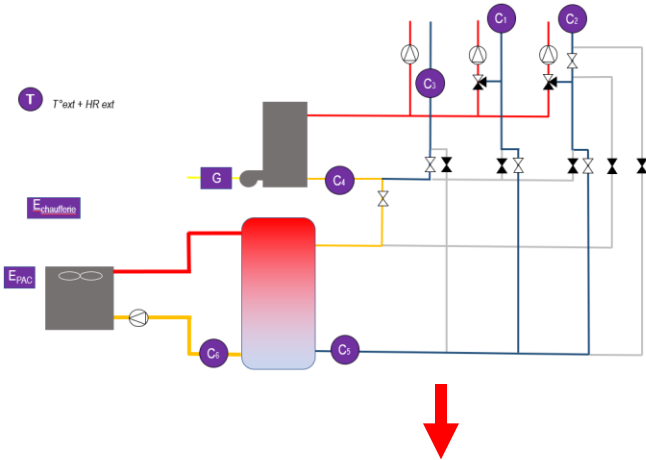
Groupement d'acteurs



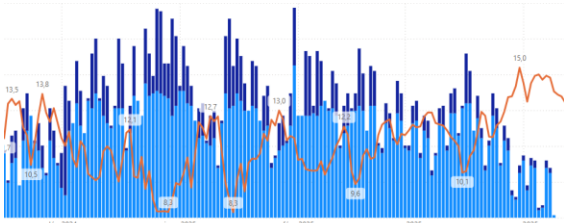
- MOA (+installateur et exploitant)
- Bureau d'études ou Centre technique
- GRDF (Ingénieurs Efficacité Energétique)
- Fabricant (facultatif)



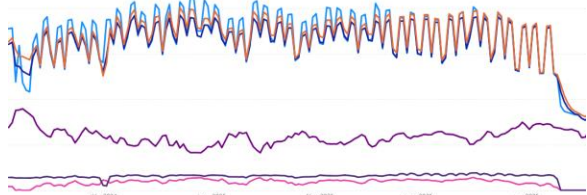
Dimensionnement et schémas



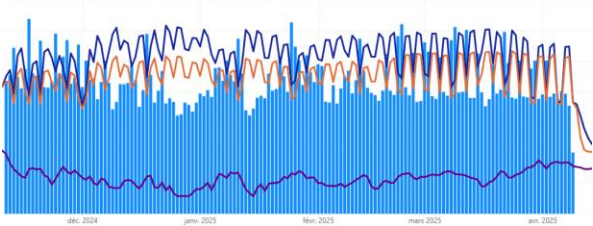
Exploitation de la DATA



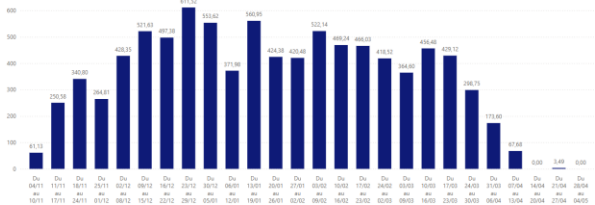
Taux de couverture / T° ext



T° et débits primaire/secondaire



COP et T° départ et retour PAC



Tonne de CO2 évitée



Récolte de la DATA

- Compteur d'énergie PAC
- Compteur d'énergie Chaudière
- Puissance utile PAC
- Puissance utile Chaudière
- Température départ primaire PAC
- Température retour primaire PAC
- Température retour secondaire PAC
- Température départ secondaire PAC
- Débit C1
- Débit C2

...

Partage de 4 enseignements majeurs

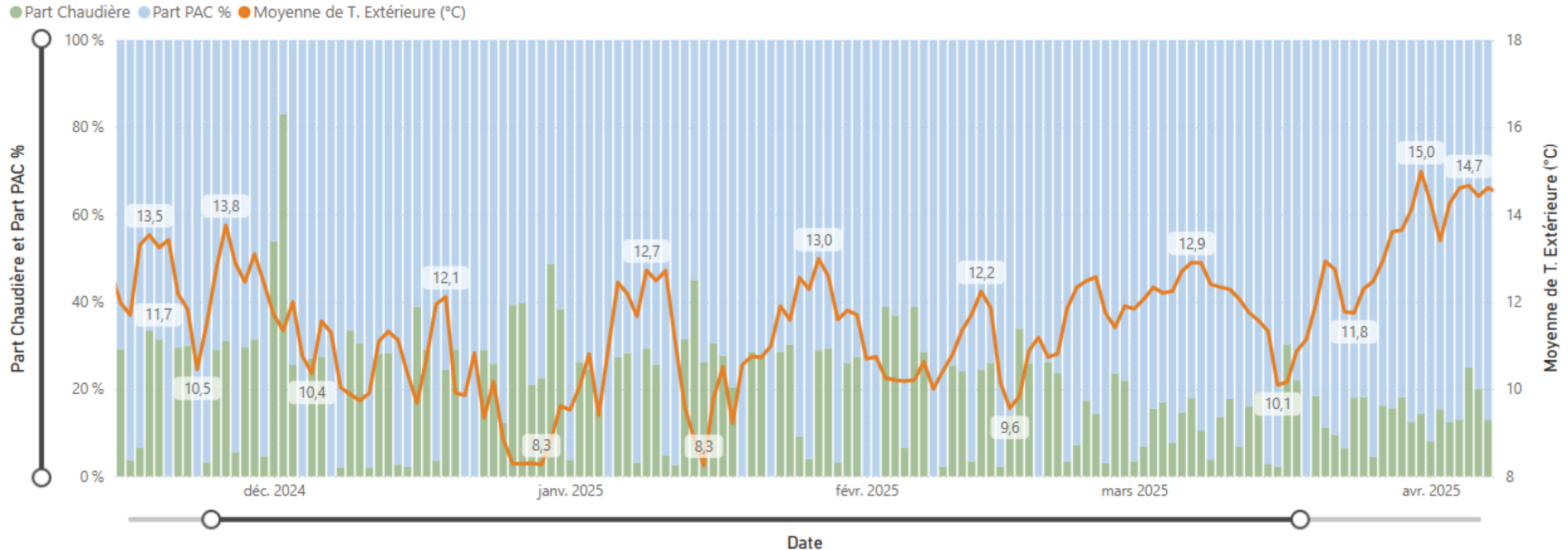
- Taux de couverture : Quel taux de couverture pour quel dimensionnement ?
- Modulation de puissance et Influence de la T°C extérieure et la T°C départ sur les performances de la PAC
- Hybridation totale ou partielle : quel réseau hybrider et comment ?
- Cycle de dégivrage PAC : quelles sont les différentes étapes et quel impact sur la performance globale ?

Quel taux de couverture pour quel dimensionnement ?

Focus sur un projet d'instrumentation d'hybridation d'une chaufferie (Ecole en H3)



La DATA au service du pilotage et de l'optimisation des chaufferies hybrides : garantir le bon fonctionnement des générateurs (PAC et chaudière) et maximiser la performance globale.



20% de puissance PAC (0/50) / déperditions = 75 % de taux de couverture sur la saison de chauffe

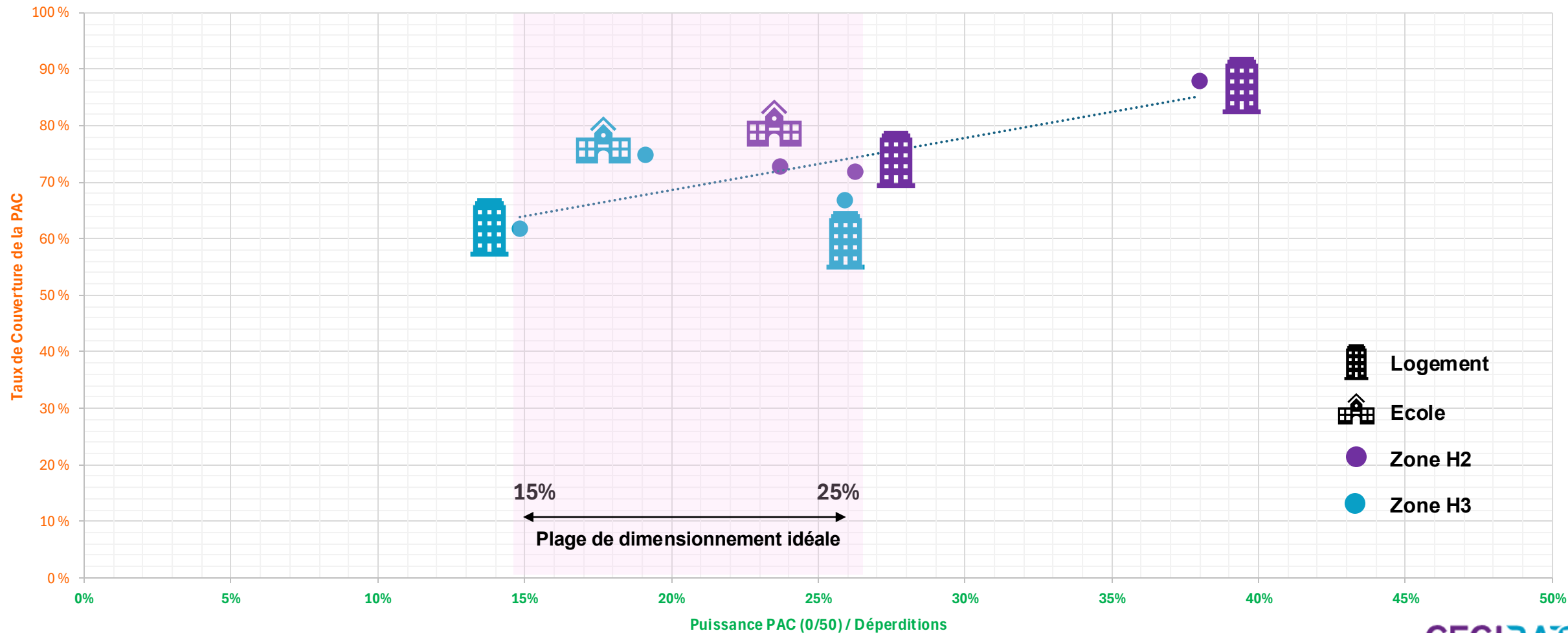
Quel taux de couverture pour quel dimensionnement ?

Exemple sur 6 projets instrumentés avec au moins 1 saison de chauffe d'instrumentation

Moyenne Puissance PAC (0/50) / Déperditions = **25 %**



Taux de couverture moyen = **73 %**

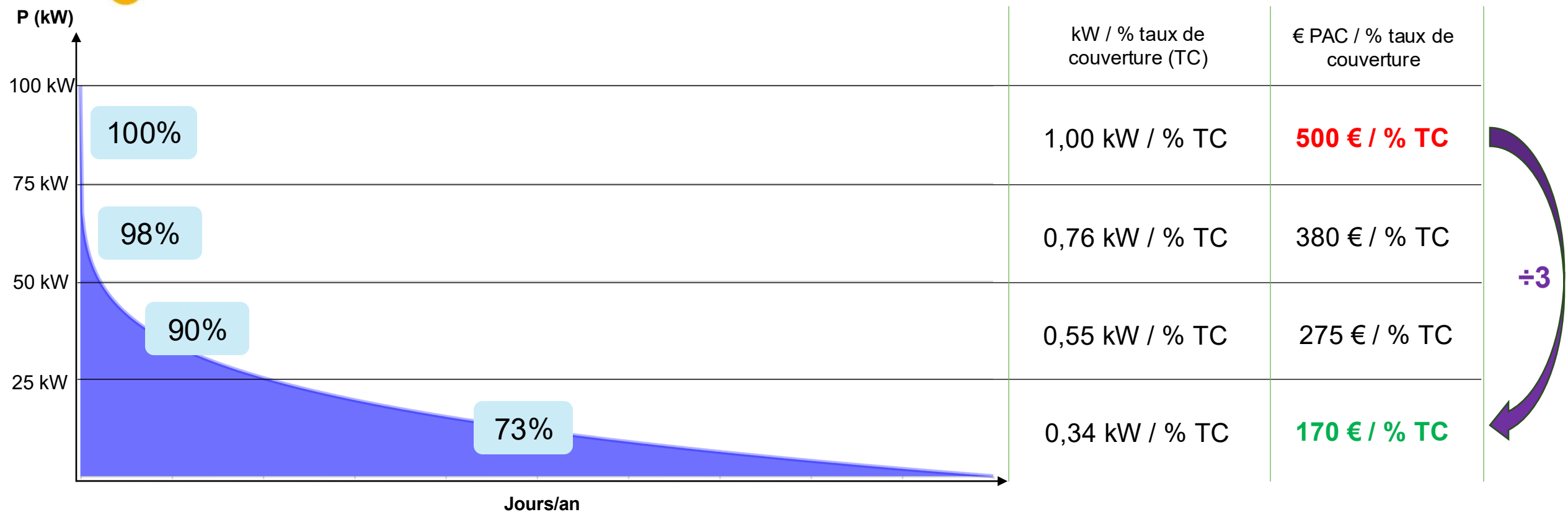


Pourquoi bien dimensionner sa chaufferie hybride ?

Un maître d'ouvrage préfère des kW utiles que des € en trop

Selon notre observatoire des coûts (site CEGIBAT), voici les prix moyens des générateurs seuls :

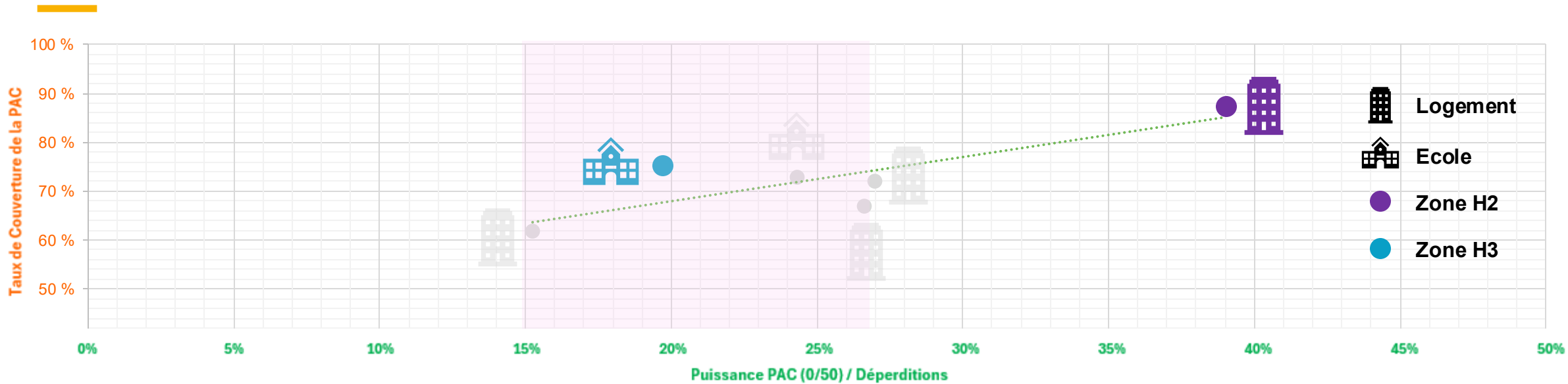
-  PAC = 481€ HT/kW
-  Chaudière = 88€ HT/kW



Une hybridation dimensionnée à environ 25 % des déperditions rend chaque kW de PAC installé trois fois plus rentable qu'une couverture intégrale.

Optimiser son dimensionnement de chaufferie hybride

Comparaison de deux dimensionnements de chaufferie hybride



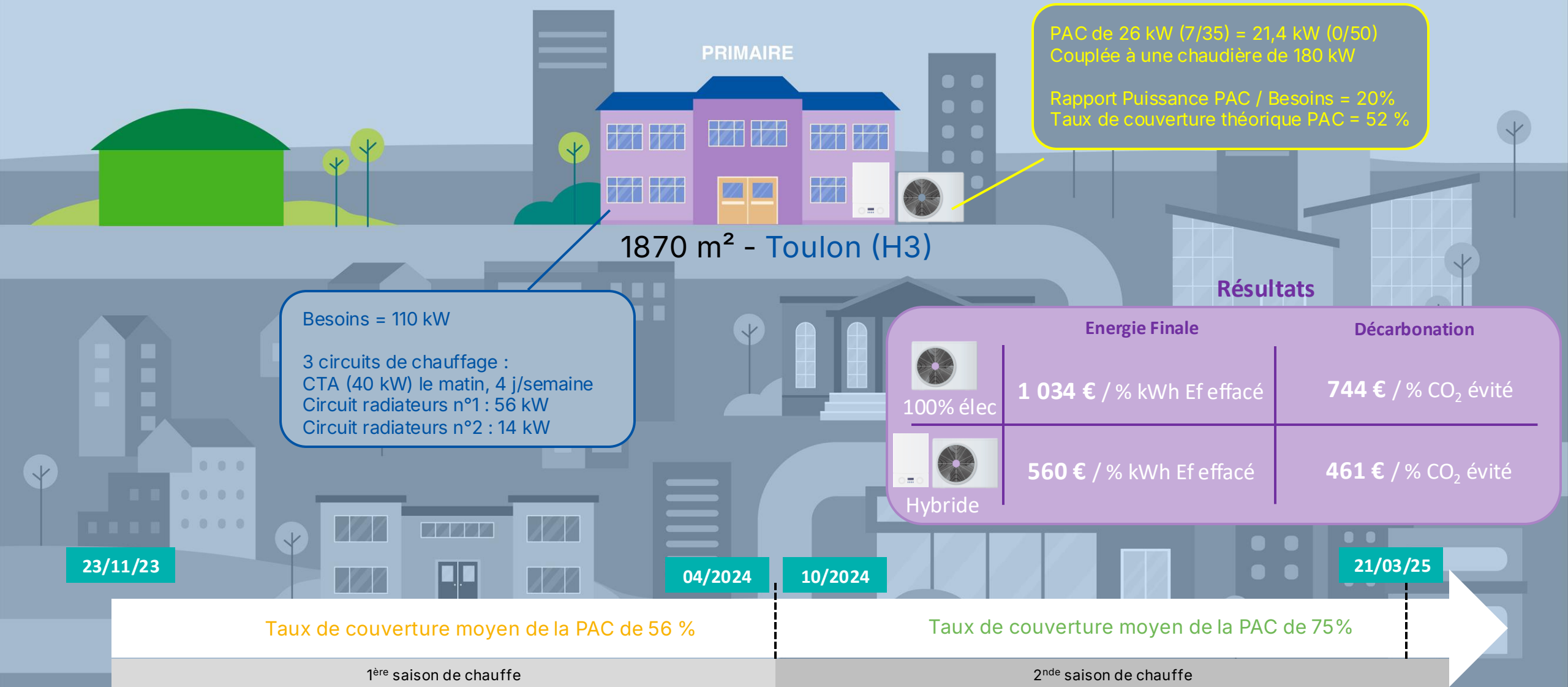
P PAC (0/50) / Déperditions	Taux de couverture
20%	75%
39%	88%

Exemple avec des déperditions de 100 kW

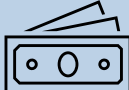
Puissance PAC (0/50)	% Taux de Couverture	P (kW) / % Taux de Couverture	€ / % taux de Couverture (TC)
20 kW	75%	0,27	135
39 kW	88%	0,44	220

La plage 15%-25% bénéficie d'une meilleure rentabilité du kW thermodynamique installé

Hybridation de l'école primaire Debussy à Toulon



Massifier la décarbonation de la ville de Toulon

sur 5 chaufferies gaz à iso budget  = 67 000 € (CEE déduits)



4 chaufferies gaz 100%PAC



3 à 5 hybridations

Décarbonation de la
ville à iso budget

18%

29% à 43%

PRIMAIRE

MAIRIE

MÉDIATHÈQUE

MATERNELLE

GYMNASE

Partage de 4 enseignements majeurs

- Taux de couverture : Quel taux de couverture pour quel dimensionnement?
- Modulation de puissance et Influence de la T°C extérieure et la T°C départ sur les performances de la PAC
- Hybridation totale ou partielle : quel réseau hybrider et comment ?
- Cycle de dégivrage PAC : quelles sont les différentes étapes et quel impact sur la performance globale ?

Modulation de puissance et Impact de la T°C ext et T°C départ

(Ecole Jean XXIII à Nantes et résidence à Trets)



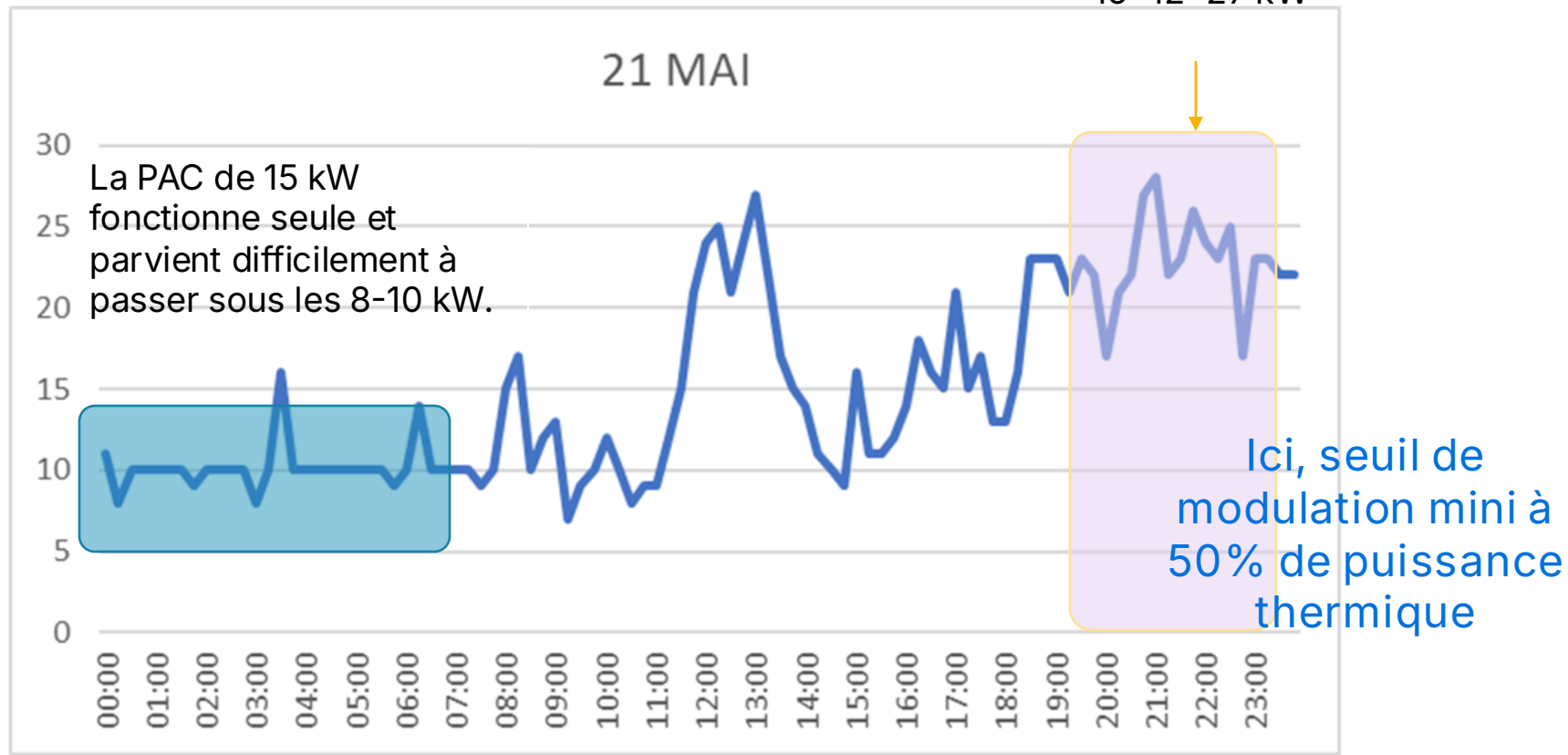
- Site : école primaire Nantes
- Besoins : Besoins chauffage : 116 kW
- 4 circuits de chauffage régulés + 1 circuit ECS
- Hybridation
 - PAC R32 34 kW (soit 30% de la puissance appelée)
 - Chaudière 107 kW

- Site : Résidence de 49 logements située à Trets (H3)
- Besoins : chauffage et ECS
- Particularité : Hybridation de la chaufferie après défaillance du solaire thermique
- Hybridation
 - PAC R290 12 + 15 kW
 - Chaudière 170 kW

Modulation de vitesse ou modulation de puissance de 2 PAC en cascade

Résidence à Trets

Production de pointe :
les 2 PAC fonctionnent
et produisent
 $15+12=27$ kW



Un compresseur
inverter est donné
pour une variation de
vitesse comprise entre
20% et 100%.

*Exemple 1800 tr/min à Pmin et
7200 tr/min à Pmax.*

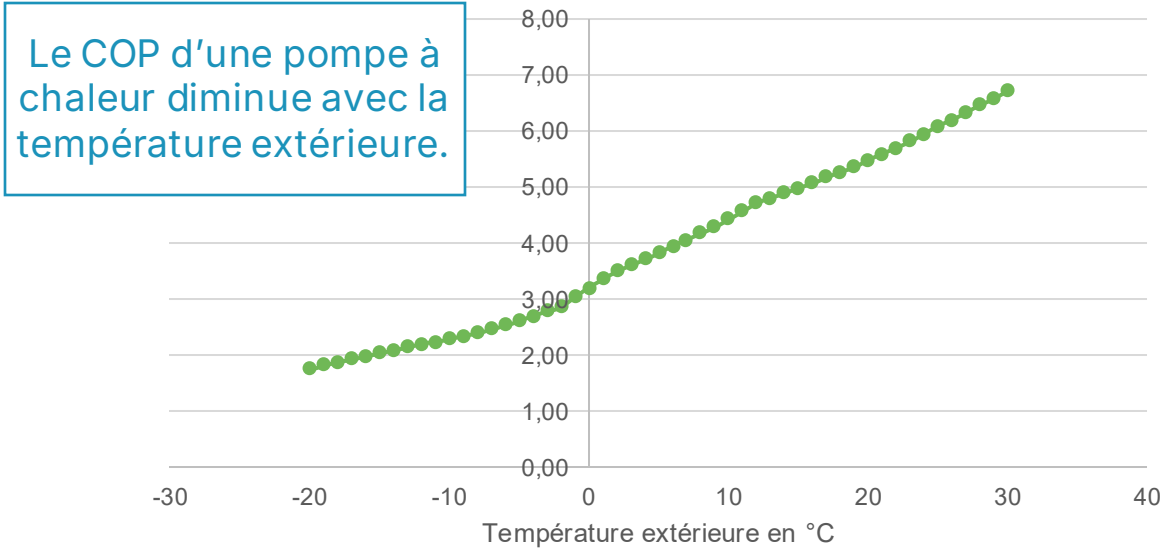
Attention ne pas
confondre modulation
de vitesse et
modulation de
puissance

Impact de la T°C extérieure et T°C départ (Trets, Ecole Jean XXII)

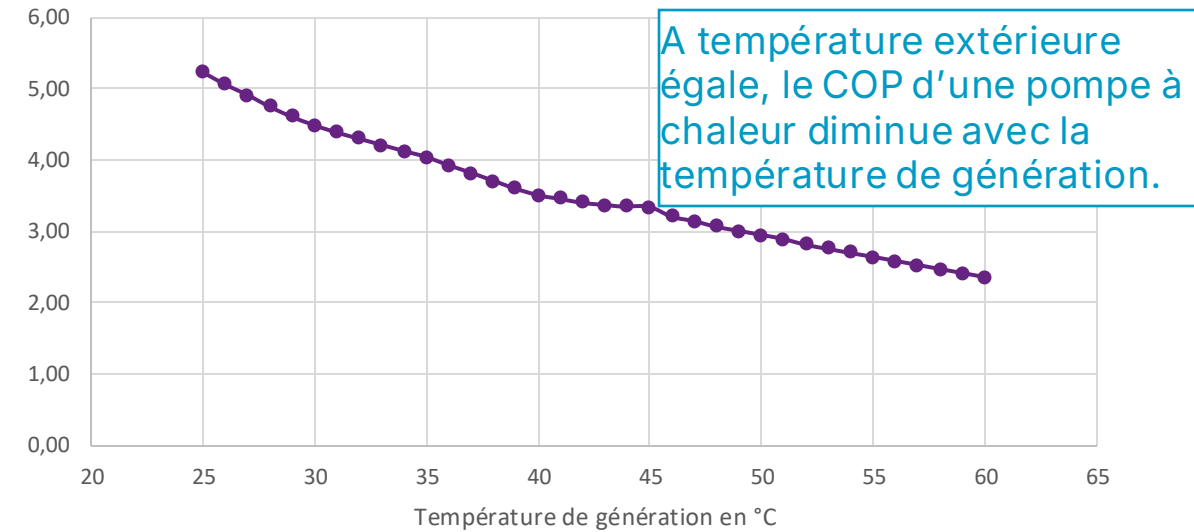
Evolution théorique



COP PAC en fonction de T_{ext}



Evolution du COP en fonction de la température de génération



Le COP varie

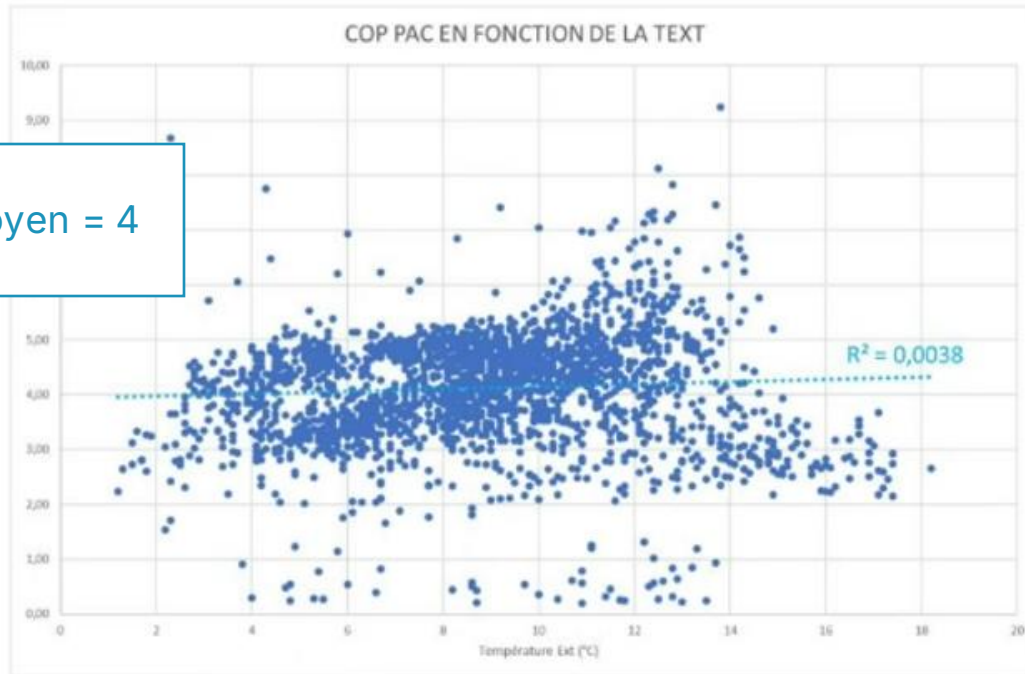
- Selon la température extérieure,
- Selon la température de départ

→ Que ce soit la température extérieure ou la température de départ, l'impact sur le COP est sensiblement le même sur les documentations du constructeur mais dans la réalité ...

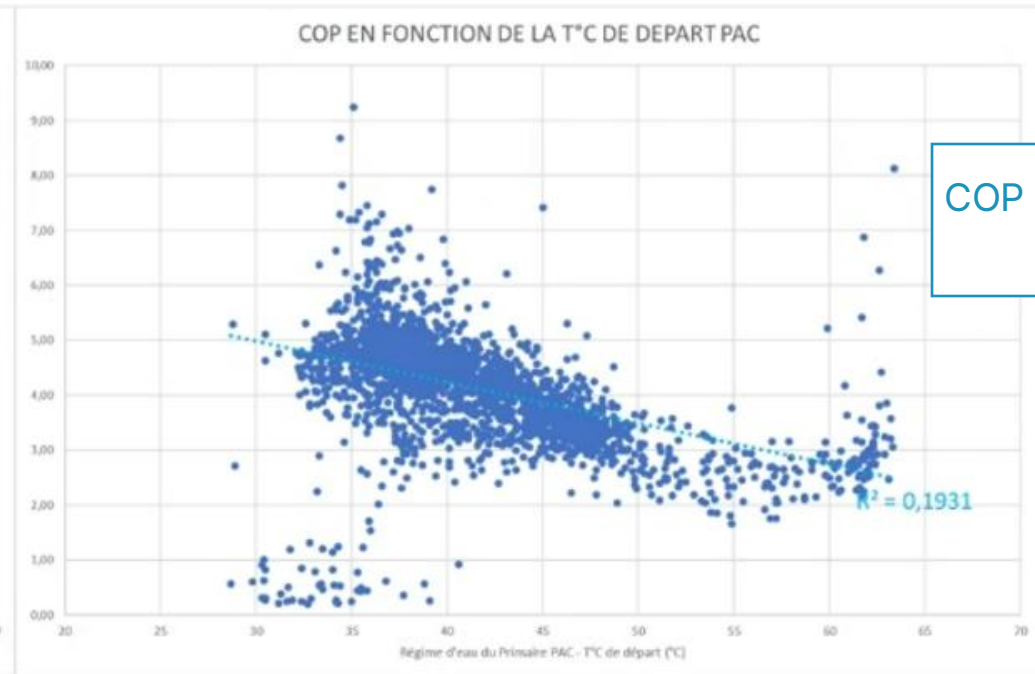
Impact de la T°C extérieure et T°C départ (Trets, Ecole Jean XXII)

Evolution du COP mesuré sur école Jean XXIII

3.6 COMPARAISON DE L'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE ET DU REGIME D'EAU DU CIRCUIT PRIMAIRE SUR LES PERFORMANCES DE LA PAC



COP Moyen = 4

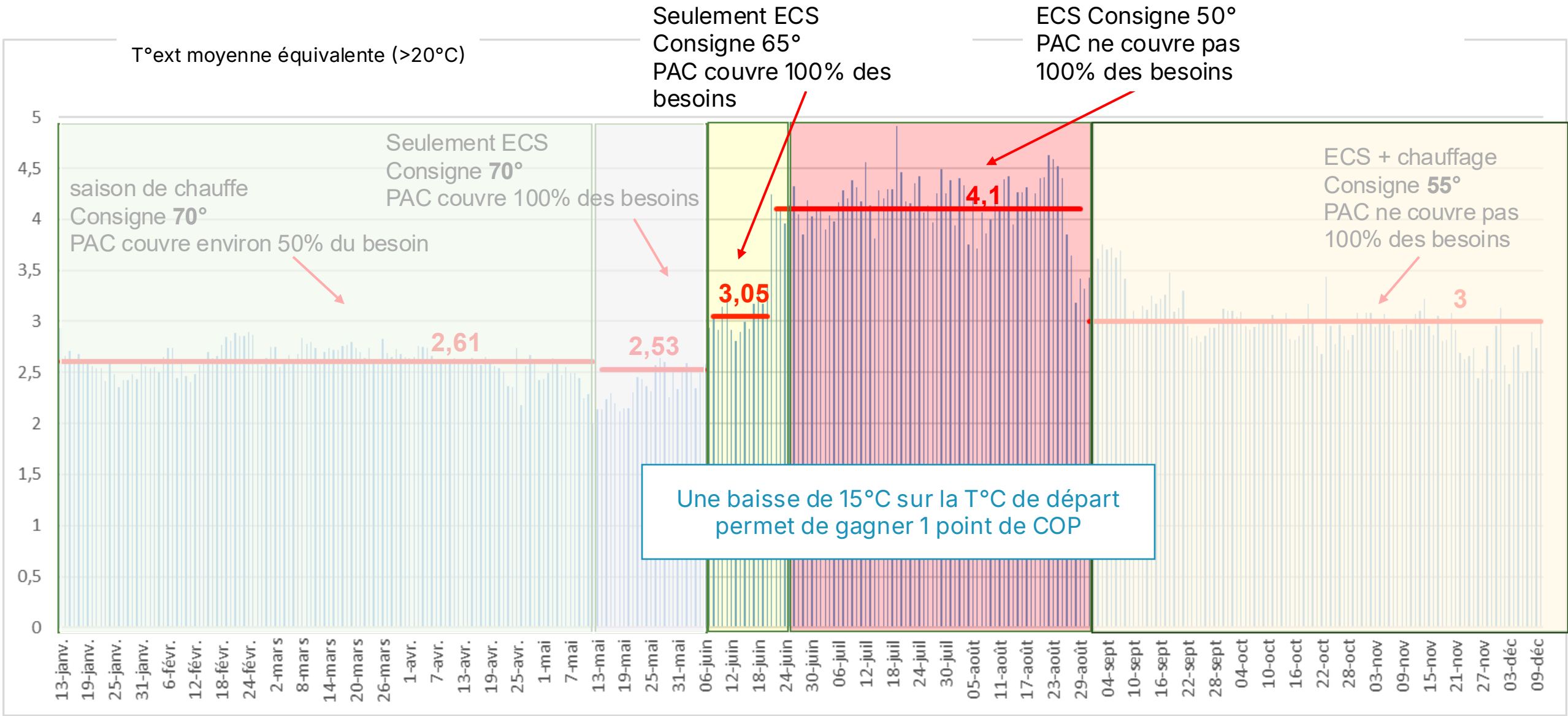


COP compris entre
5 et 3

Les performances de la PAC (COP sur la période) sont plus influencées par la température de départ plutôt que par la T°C extérieure

Evolution du COP sur l'année 2023

Evolution du COP mesuré sur Trets



Partage de 4 enseignements majeurs

- Taux de couverture : Quel taux de couverture pour quel dimensionnement?
- Modulation de puissance et Influence de la T°C extérieure et la T°C départ sur les performances de la PAC
- **Hybridation totale ou partielle : quel réseau hybrider et comment ?**
- Cycle de dégivrage PAC : quelles sont les différentes étapes et quel impact sur la performance globale ?

Hybridation partielle ou totale (Ecole Toulon)

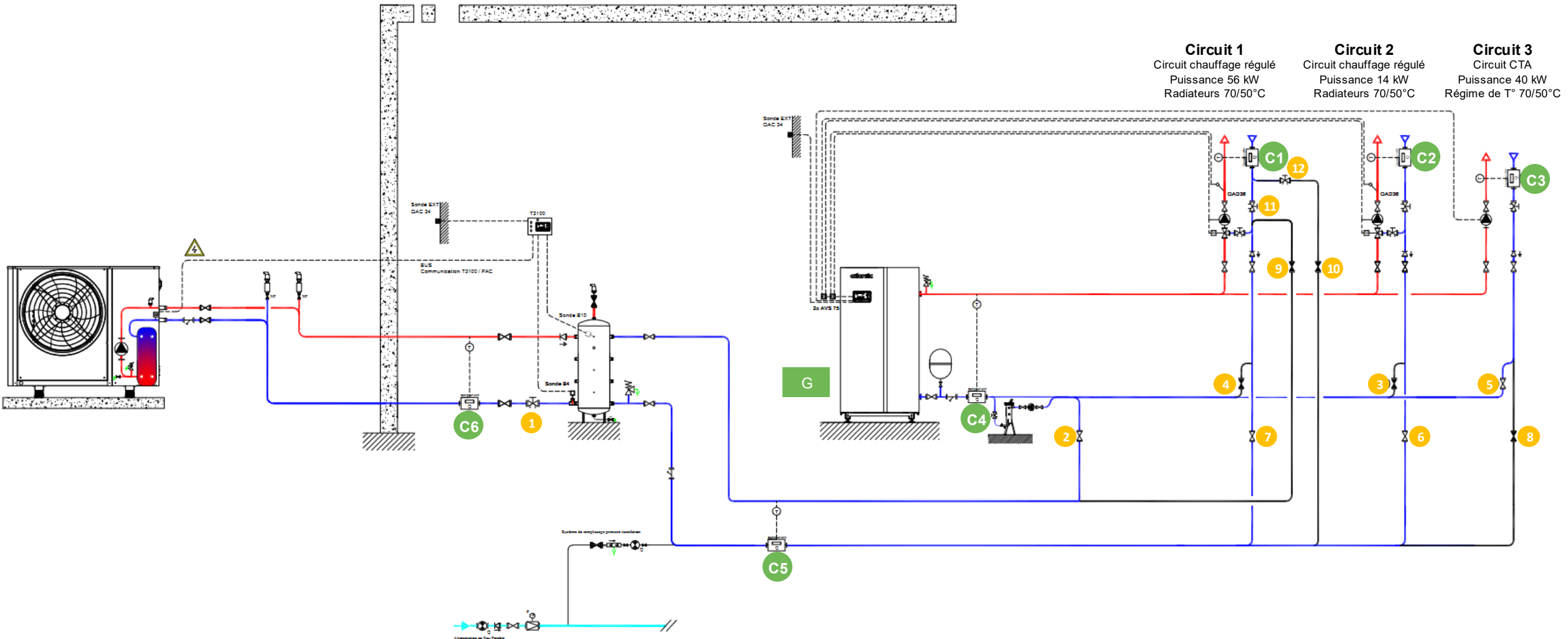
Hydraulique et plan de comptage de l'installation



- Site : école primaire située à Toulon (H3)
- Besoins : chauffage seul – puissance max appelée estimée : 110 kW
- Surface : 1870 m²
- Périodes d'inoccupation (vacances, weekends, mercredi)
- Particularité : chaufferie rénovée avec 3 circuits de chauffage :
 - Circuit n°1 radiateurs : 56 kW
 - Circuit n°2 radiateurs : 14 kW
 - CTA : 40 kW / *Uniquement le matin, 4j/semaine*
- Hybridation
 - PAC 26 kW (7/35), 21kW (0/50) soit 20% de la puissance appelée
 - Chaudière 180 kW

Hybridation partielle ou totale (Ecole Toulon)

Une panoplie hydraulique qui permet de tester différentes configurations



Hybridation partielle

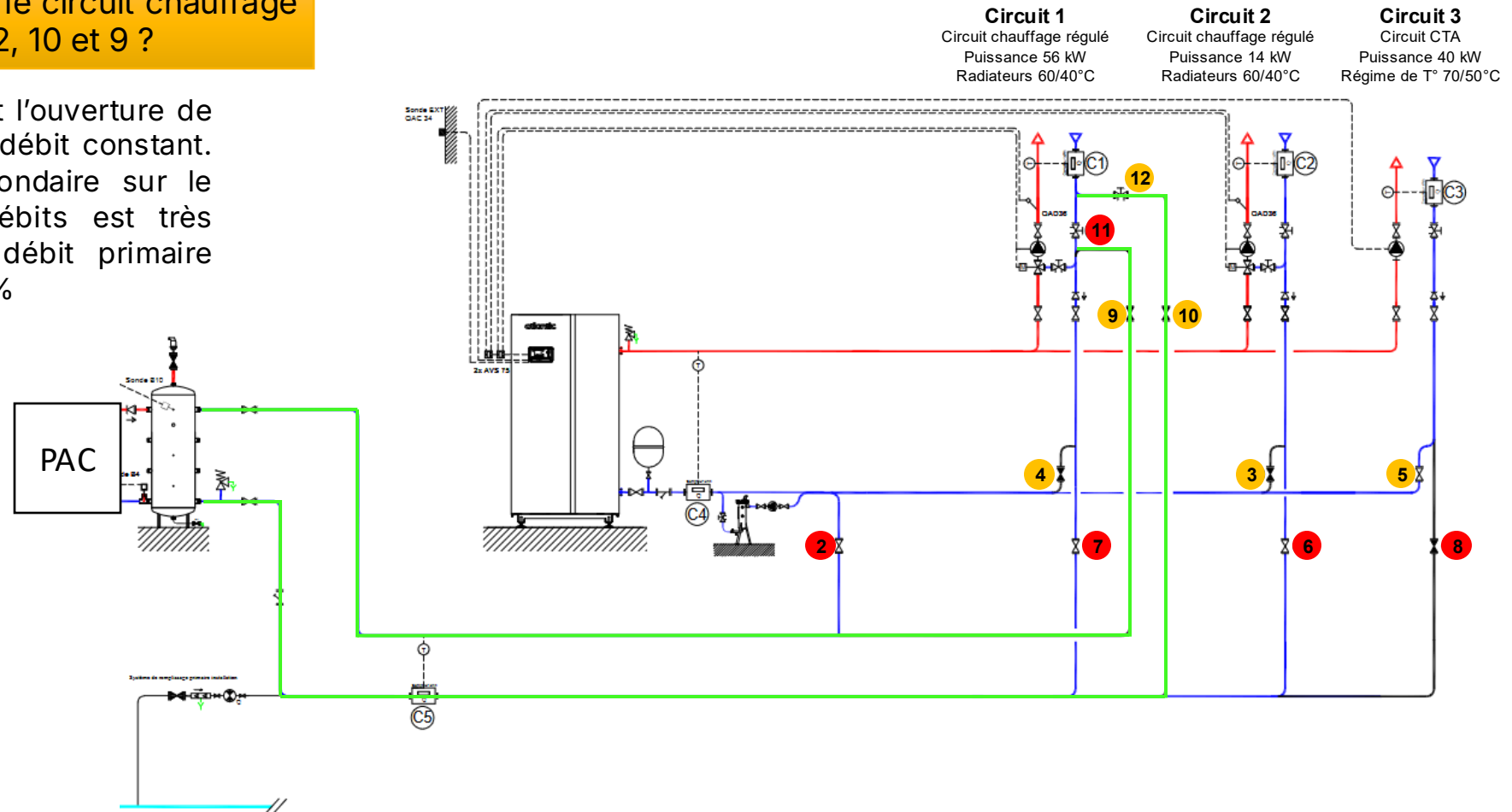
Quel est l'intérêt d'hybrider seulement le circuit chauffage 1 comme représenté avec les vannes 12, 10 et 9 ?

Grâce à la coupure de la vanne 11 et 7 et l'ouverture de 12, 10 et 9, on réalise une hybridation à débit constant. On cherche un débit constant au secondaire sur le tampon de la PAC. L'équilibre des débits est très important. Il est conseillé d'avoir un débit primaire supérieur au débit secondaire d'environ 5%.

Ai-je un intérêt d'hybrider chaque circuit de chauffage (1 PAC par circuit) ?

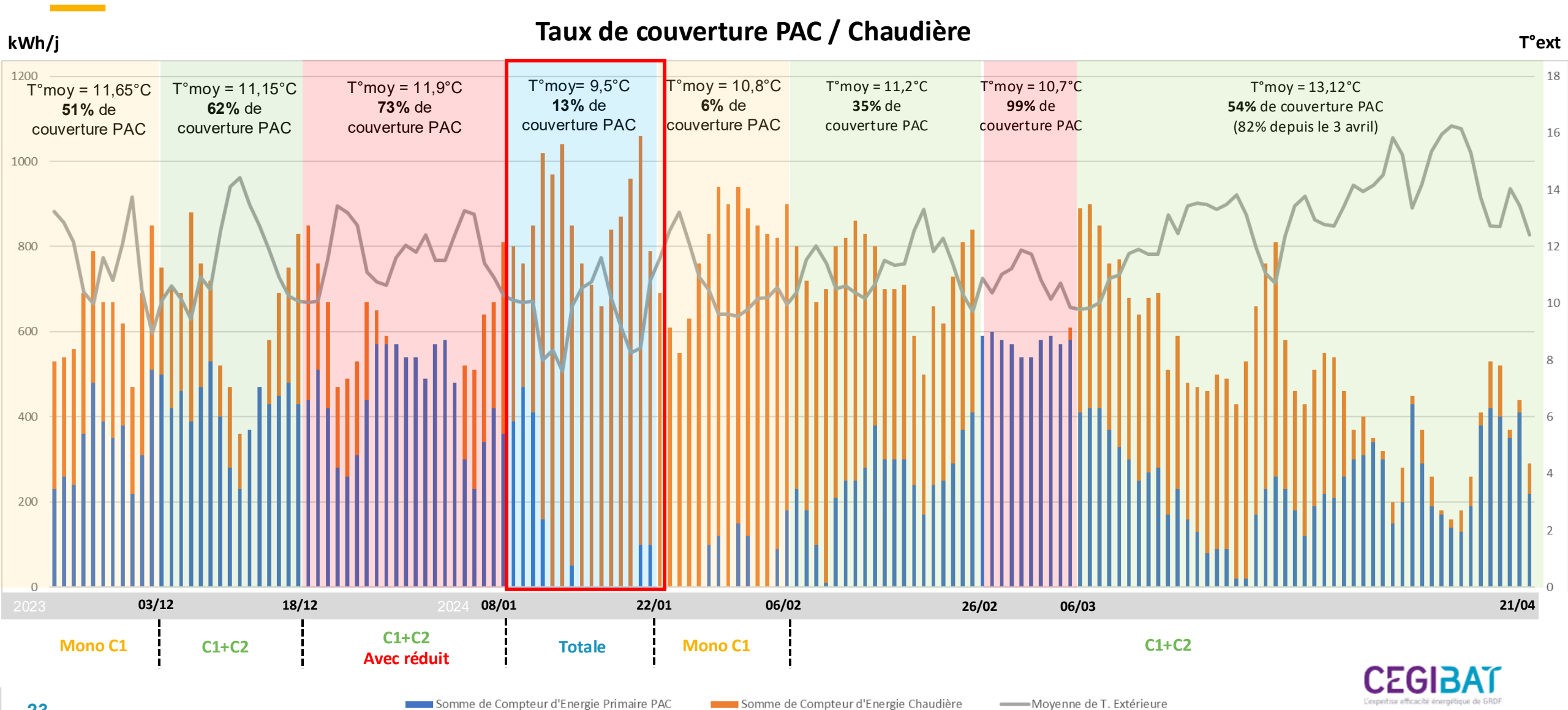
Oui, mais cela va dépendre de la puissance de chaque réseau. Le circuit de chauffage 2 n'est pas assez puissant, l'hybridation seule de ce réseau présente peu d'intérêt.

- ⓧ Vanne ouverte
- ⓧ Vanne fermée



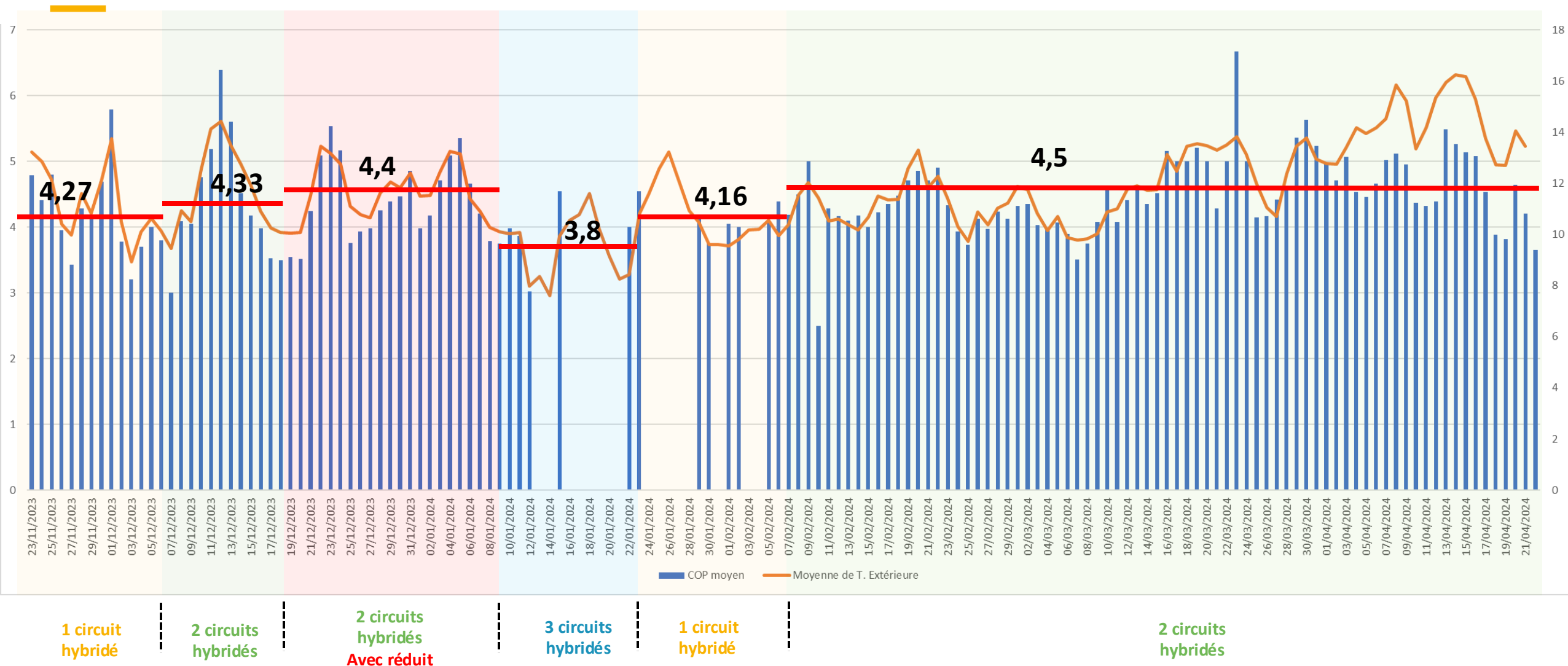
Hybridation partielle ou totale

Une instrumentation pour plusieurs configurations hydrauliques possibles



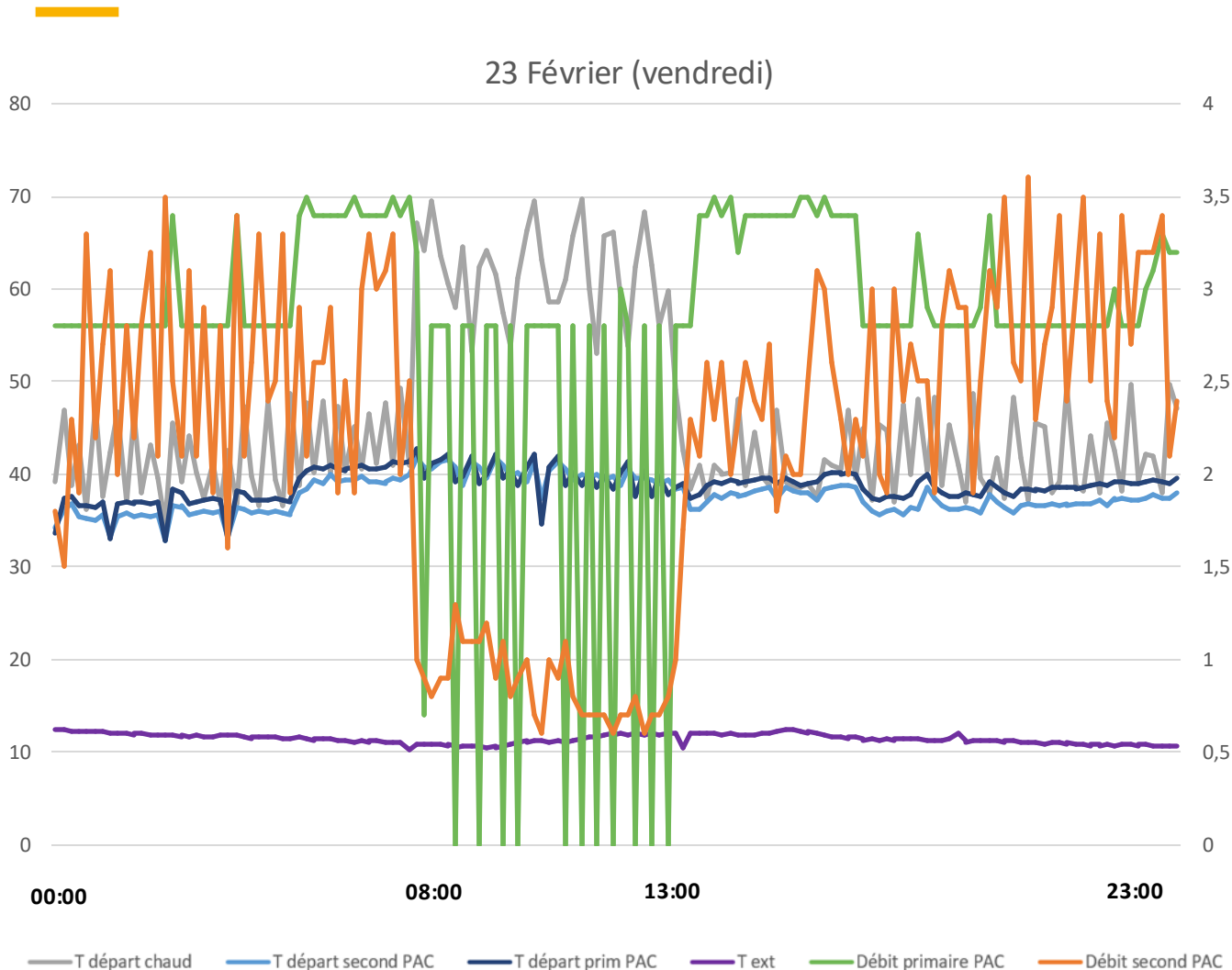
Hybridation partielle ou totale

Un bon COP ne signifie pas un bon taux de couverture



Hybridation partielle ou totale

Une CTA qui perturbe les débits



Tous les matins (sauf mercredi et week-end) le cuisinier déclenche la CTA cuisine. Celle-ci a un talon bas de consigne de 60°C

Température trop élevée pour les départs régulés, qui vont recycler sur leurs vannes 3 voies respectives.

Il n'y a plus de débit dans le retour secondaire vers la PAC.
Recyclage entre haut et bas de ballon qui va augmenter la T° retour PAC, arrêt de celle-ci

Consigne d'abaisser le talon de la CTA à 50°C

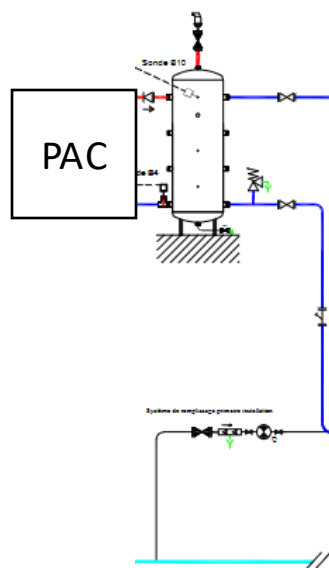
Hybridation totale

Quel est l'avantage de ce type d'hybridation ?

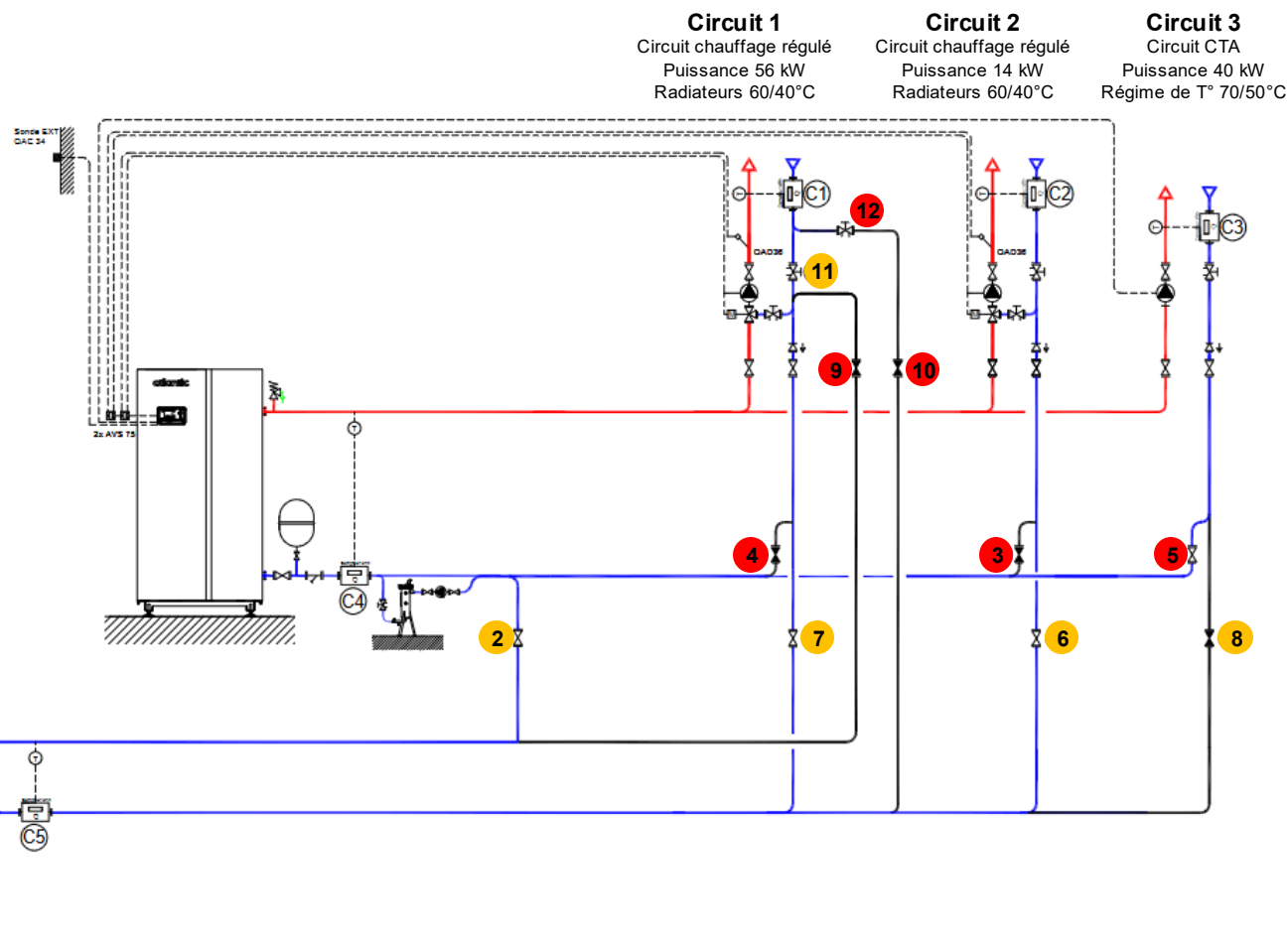
Hybrider davantage de circuit et de besoins (chauffage radiateur ou CTA, ECS) permet d'avoir un taux de couverture plus important et donc une meilleure décarbonation de l'installation.

Quels sont les points d'attention en hybridation totale ?

- 1) Le réseau CTA, qui pourrait être de l'ECS, a un régime de température plus chaud que les radiateurs. En demande, ce circuit vient faire augmenter la T° de retour au secondaire. Risque de dégradation du COP et même d'arrêt de la PAC.
- 2) Avec une T° élevée demandée sur le réseau HT (CTA ou ECS) les circuits de chauffage vont réguler sur leurs V3V respectives. Cela a pour conséquences une chute des débits au retour général du secondaire. Recyclage entre haut et bas de ballon qui va augmenter la T° retour PAC, arrêt de celle-ci



- ⓧ Vanne ouverte
- ⓧ Vanne fermée



Partage de 4 enseignements majeurs

- Taux de couverture : Quel taux de couverture pour quel dimensionnement?
- Modulation de puissance et Influence de la T°C extérieure et la T°C départ sur les performances de la PAC
- Hybridation totale ou partielle : quel réseau hybrider et comment ?
- Cycle de dégivrage PAC : quelles sont les différentes étapes et quel impact sur la performance globale ?

Focus sur les cycles de dégivrage PAC

Fonctionnement et impact sur les performances (Vallon en Sully)



- Site : école maternelle (année 60) située à Vallon en Sully dans l'Allier H1c
- Besoins : chauffage seul déperditions 45 kW
- Surface : 420 m²
- Particularité : rénovation énergétique du bâtiment avec ITE et remplacement des émetteurs

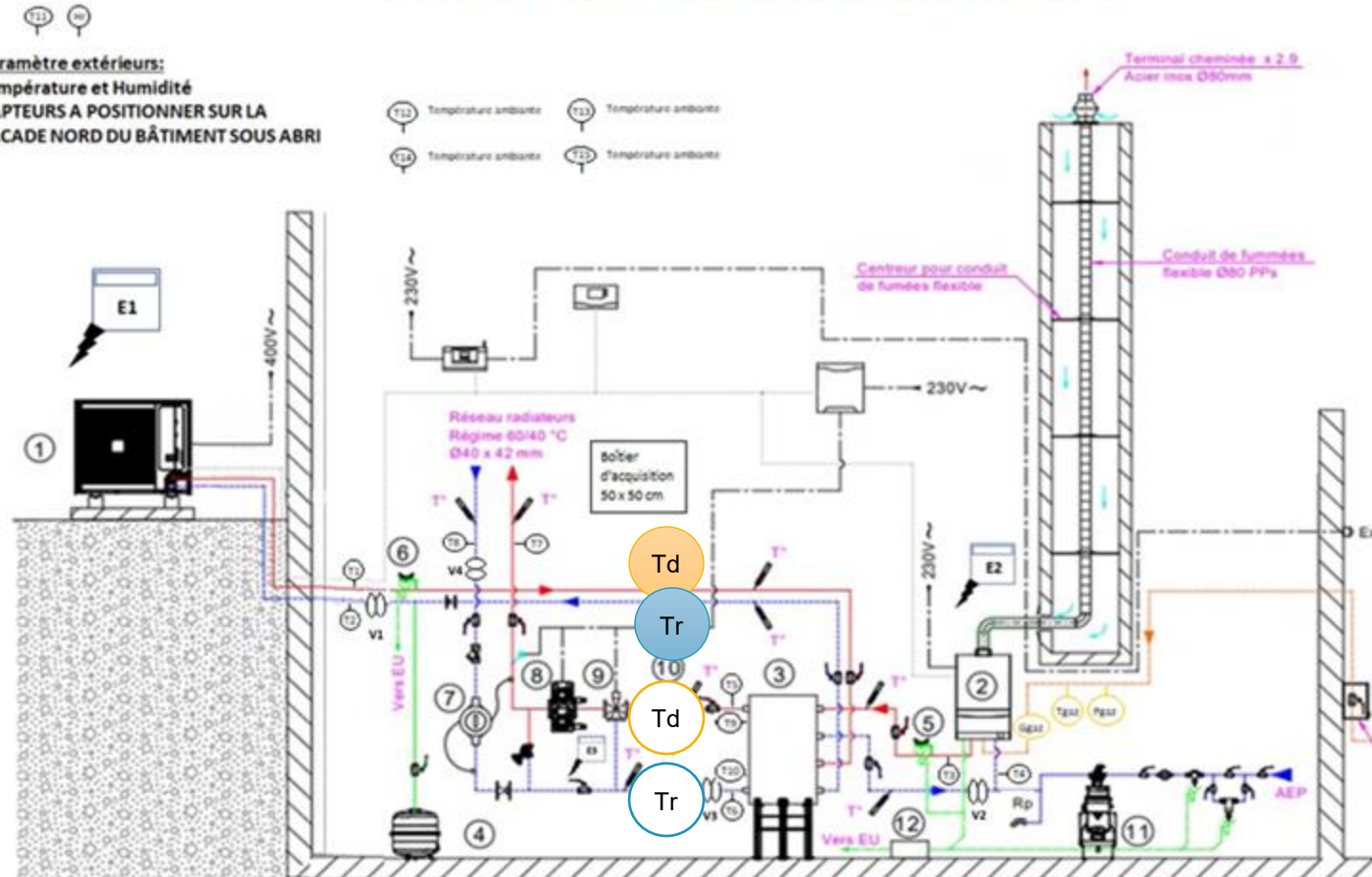
Hybridation 27% (12 kW A0W50)

- PAC R290 14,6 kW (A7W35) inverter
- Chaudière 45 kW
- Ballon 300 L

Une instrumentation fine qui permet de suivre de nombreux paramètres

Paramètre extérieurs:
température et Humidité
CAPTEURS A POSITIONNER SUR LA
FACADE NORD DU BÂTIMENT SOUS ABRI

Test terrain chaufferie hybride Vaillant pour l'école maternelle à Vallon en Sully en production chauffage
SCHEMA DE L'INSTALLATION DES CATEURS ET COMPTEURS



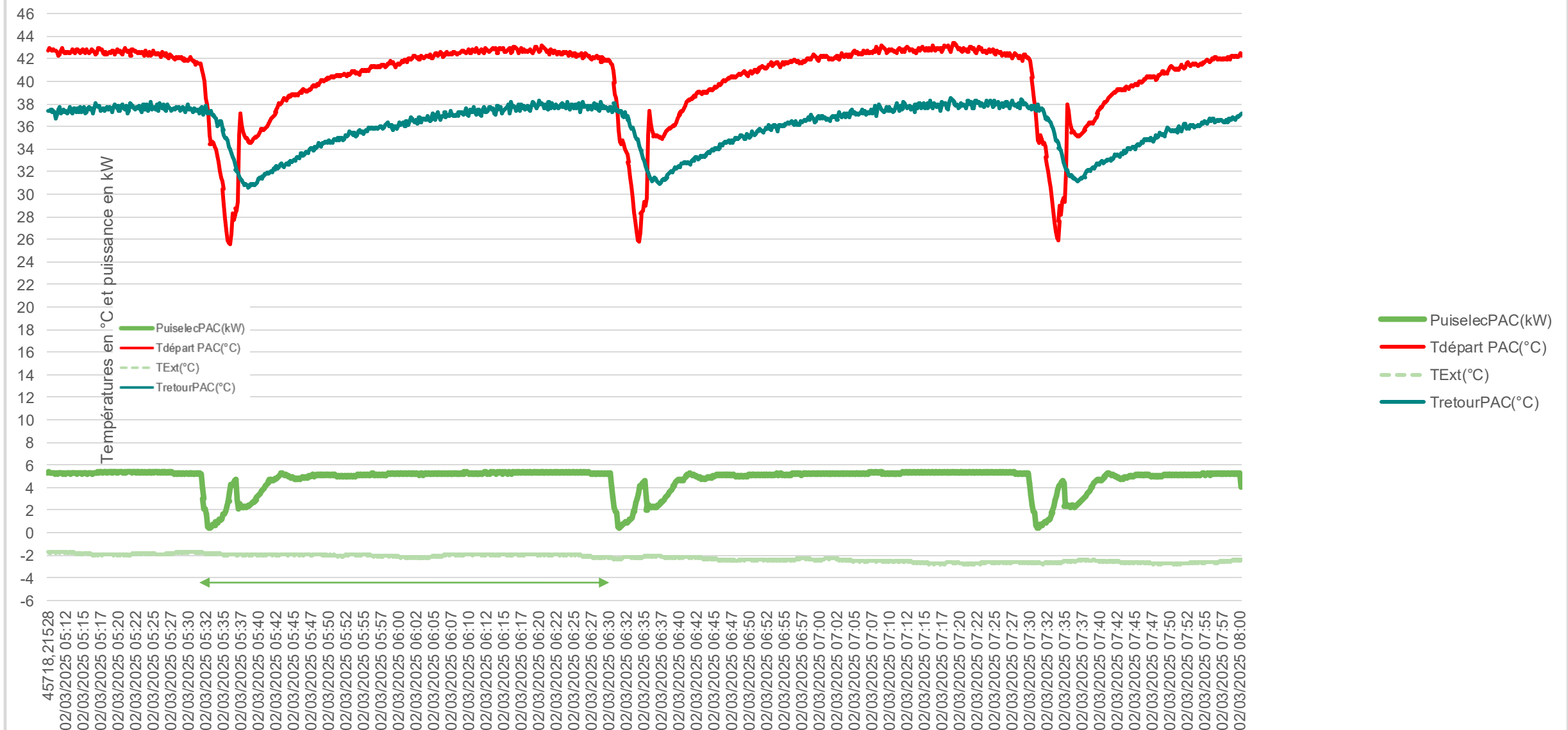
Une instrumentation très complète qui permet de suivre tous les fluides :

- Gaz
- Electricité
- Eau

Aussi bien coté primaire que secondaire

Traitement du givre par la PAC

Fonctionnement de la PAC par journée froide avec dégivrage le 2 mars 2025



Traitement du givre par la PAC

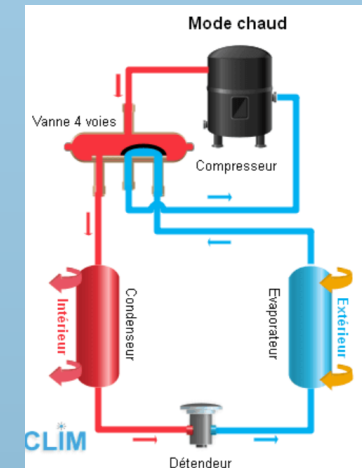
Fonctionnement de la PAC par journée froide avec dégivrage le 2 mars 20



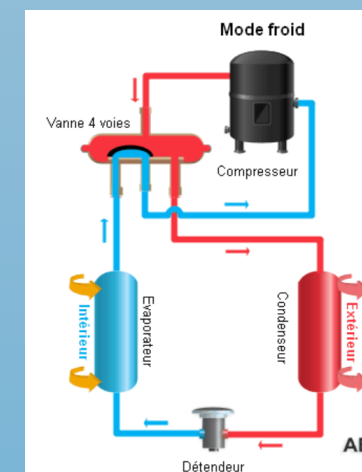
Exemple Text -2°C et PAC en production de chaud
Le givre recouvre l'évaporateur donc
→ Le transfert de chaleur entre l'air extérieur et le fluide frigorigène diminue rapidement puis s'arrête
Début du dégivrage

1. Le compresseur ralenti pour limiter la différence de pression sur la vanne 4 voies

2. Inversion de cycle par la V4V



Mode chauffage :
43°C Td/38°C Tr

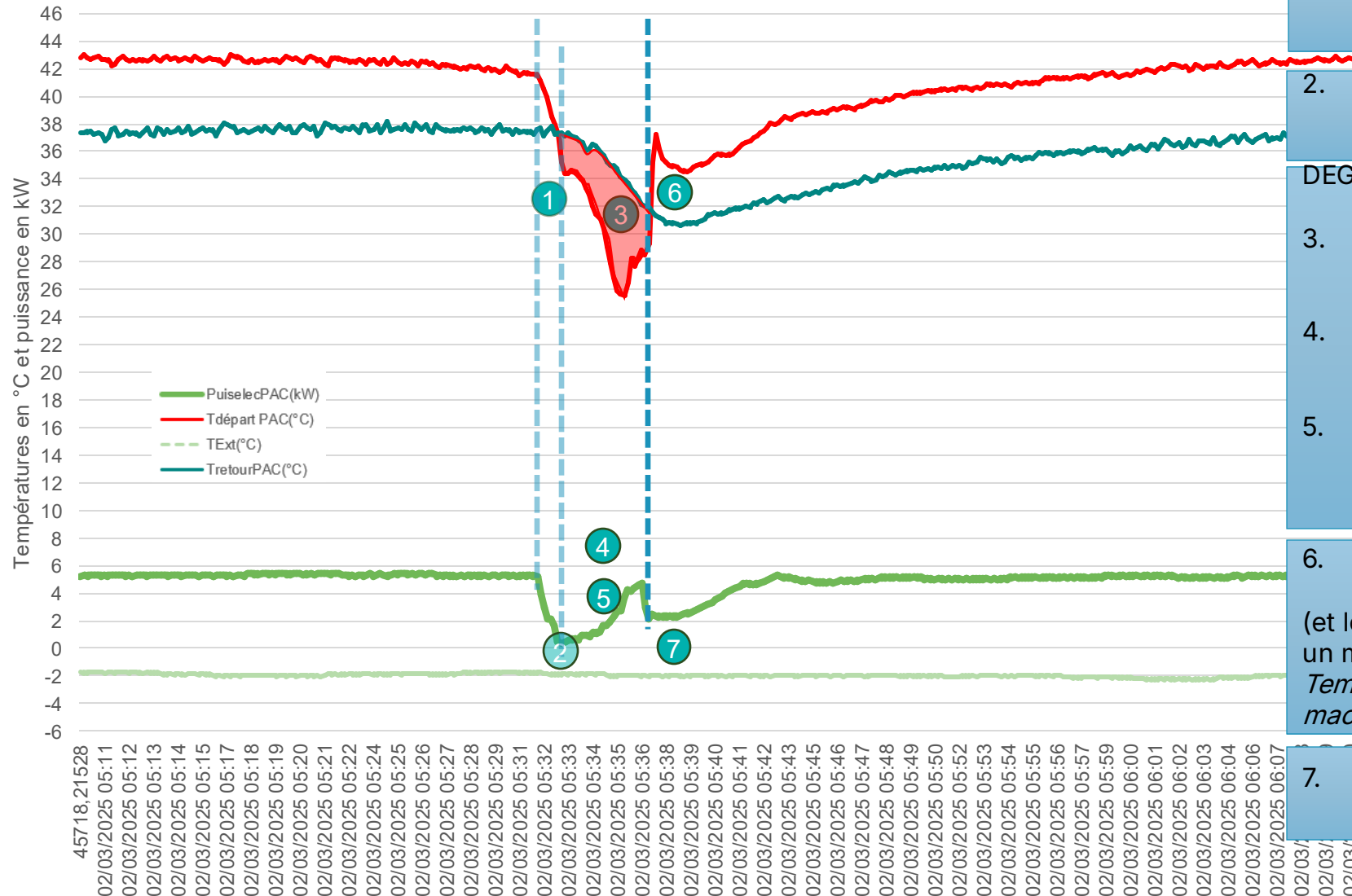


Mode Froid :
Tévapo fluide : -10°C
environ

Traitement du givre par la PAC

Exemple Text -2°C et PAC en production de chaud
Le givre recouvre l'évaporateur donc
→ Le transfert de chaleur entre l'air extérieur et le fluide frigorigène diminue rapidement puis s'arrête
Début du dégivrage

Fonctionnement de la PAC par journée froide avec dégivrage le 2 mars 2025



1. Le compresseur ralenti pour limiter la différence de pression sur la vanne 4 voies

2. Inversion de cycle par la V4V

DEGIVRAGE

3. Le fluide frigo absorbe l'NRJ de l'eau de chauffage qui permet de dégivrer l'évaporateur et pendant ce temps on refroidit le circuit de chauffage

4. le ventilateur s'arrête pour éviter de refroidir davantage l'évaporateur et ne pas réchauffer l'air extérieur.

5. Le circulateur de chauffage continue à tourner pour récupérer l'énergie du circuit de chauffage du ballon tampon ; (si pas suffisamment d'NRJ alors résistance d'appoint)

6. Le dégivrage s'arrête lorsque la température de condensation atteint 35°C
(et lorsque la température à l'entrée de l'évaporateur atteint un minimum)

Temps de l'ordre de quelques minutes en fonction des machines.

7. Le compresseur ralenti de nouveau avant d'inverser la V4V et repart en mode chauffage

Bilan et enseignements

Sur cette période froide entre 5h et 8h du matin, on retrouve 3 cycles de dégivrages

Les cycles de dégivrage vont avoir un impact sur plusieurs facteurs :

- **La performance** : baisse du COP de -11% à -20%
- **La durée de vie des équipements** : usure prématurée des composants tels que le compresseur, le ventilateur ou la V4V
- **La régulation** : En régulation sur prix des énergies ou EP, le calcul se base sur la table de COP qui ne tient pas compte des cycles de dégivrages. Si le dégivrage était intégré, la bascule interviendrait plus tôt.

Selon la zone climatique, la température et l'humidité relative, un fonctionnement bivalent de l'installation peut être mis en place avec une température d'arrêt de la PAC qui permet de s'affranchir du dégivrage.

Tous ces paramètres devront être pris en compte dans les choix de régulation de la PAC hybride

Au moment du dégivrage, l'inversion de cycle vient dégivrer « brusquement » l'unité extérieure créant en fonction de l'HR du jour des panaches de vapeur qui peuvent être importants et faire croire à un problème machine.



CEGIBAT

Rendez-vous sur le site internet
cegibat.grdf.fr