

PHASE ÉTUDES

Réhabilitation de la Production d'Eau Glacée

CHU DE LA RÉUNION – SITE FÉLIX GUYON

Appel à PROJET – Systèmes performants de production de froid en outre-mer

<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/catalogue/aap/systemes-performants-de-production-de-froid-en-outre-mer-et-corse>



CONTEXTE & PÉRIMÈTRE DE LA MISSION



Étude de réhabilitation de 14 groupes d'eau glacée (GEG) répartis sur le site hospitalier de Félix Guyon, représentant une superficie totale desservie de 110 000 m².

Production
Centrale

5 GEG

95 000 m²

Production
BSC

2 GEG

15 000 m²

Productions
Dédiées

7 GEG

EF5 · IRM · TEP

Objectifs clés

- Optimiser la production de froid : performance énergétique, fiabilité et continuité de service
- Assurer la conformité F-GAZ (solutions à faible ou nul PRG / GWP)
- Évaluer l'impact économique et énergétique des solutions (CAPEX + OPEX)



MÉTHODOLOGIE – 6 PHASES D'INTERVENTION



1

Démarrage & Recueil

Réunion de lancement, collecte des docs techniques, factures énergie, plans, DOE, historiques exploitation

2

Visite de site

Inspection des 14 GEG et armoires électriques, évaluation des conditions opératoires et usages

3

Instrumentation

Capteurs Ewattch (LoRaWan) 3 mois en saison chaude, pas de 2 min : T°, débits, intensités, cos phi



4

Simulation thermique (STD)

Modélisation 3D (ClimaWin / EnergyPlus) – 12 niveaux, 20-30 zones/niveau – besoins sensibles & latents

5

Optimisation & Solutions

Comparatif techno (compresseurs, gaz F-GAZ, stockage latent, récup. chaleur, PV solaire, boucle hydraulique)

6

Rapport & Restitution

Rapport complet, plans, synoptiques, estimation budgétaire, tableau comparatif des scénarios et planning

Instrumentation – Production frigorifique à eau glacée

GROUPES D'EAU GLACÉE – Instrumentation hydraulique

- Production centralisée avec réseau de distribution en eau glacée
- Technologies
 - Compresseur à piston
 - Compresseur à vis
 - Compresseur centrifuge à palier magnétique
- Détermination instrumentée du COP / EER
- Mesures effectuées
 - Débit d'eau (débitmètre à ultrason)
 - Température d'eau glacée (aller/retour)
 - Intensité absorbée

Puissance froide (kWf)

Puissance électrique (kWé)

$$\text{COP} = \frac{\text{énergie restituée}}{\text{énergie payante absorbée}}$$

Période de mesure:

De préférence en saison chaude

Durée: minimum 3 mois; plus la période sera longue et plus précis seront les résultats

Pas de temps: 2 minutes



Instrumentation – Energie produite

Mesure de débit avec un débitmètre à ultrason:

- si débit fixe, mesure ponctuelle
- Si débit variable, enregistrement des données sur un enregistreur d'impulsion
- Portions droites (sans singularités amont/ aval)

Mesure de débit :

- Départ ou retour Groupe d'eau glacée
- Départ ou retour Départs secondaires

Important de distinguer Energie primaire et énergie effectivement distribuée

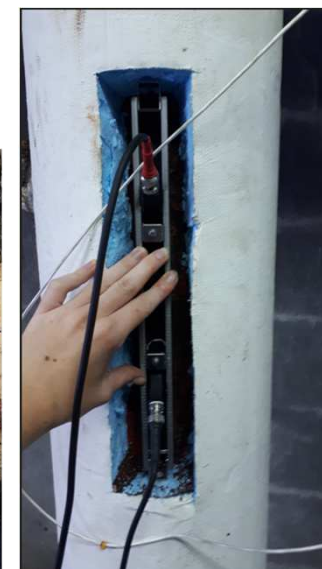
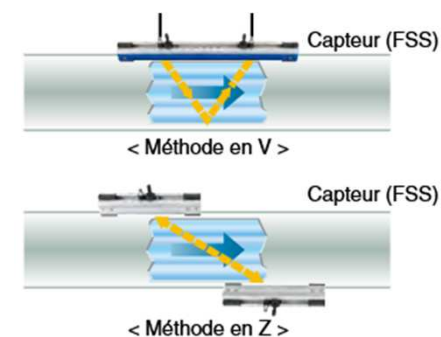
$$Q = m c (T2 - T1)$$

soit Q la chaleur sensible (J) ;

m la masse du corps (kg) ;

c la chaleur massique de ce corps (J.kg⁻¹.K⁻¹) ;

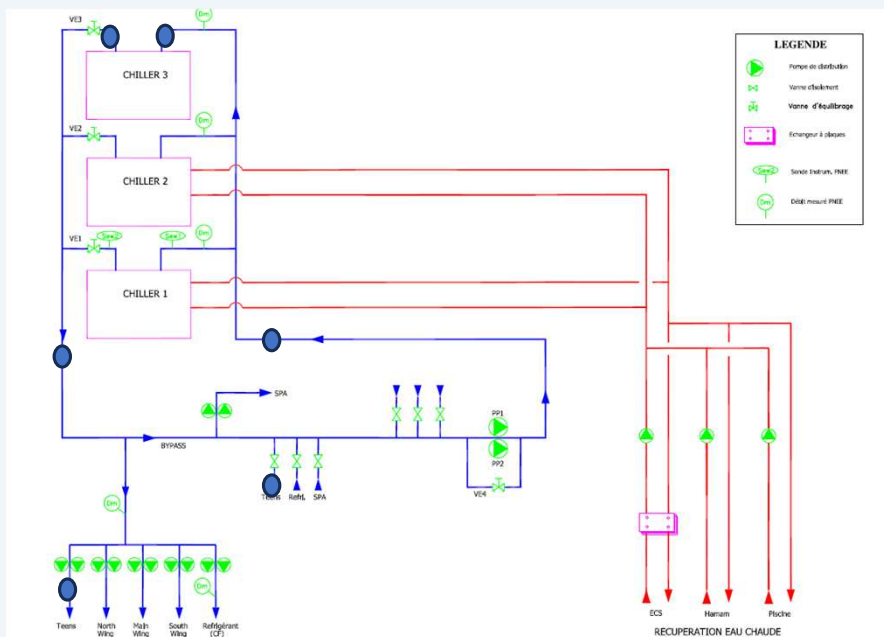
T1 et T2 les températures initiales et finales du corps (K).



Instrumentation – Energie produite

Mesure de températures Aller/ retour (matériel Ewattch ou autre),

Données rapatriées en temps réel sur le cloud grâce aux enregistreurs communicants en LoRaWAN et à la box (IP ou GSM data)



- Mesures primaire et secondaire → mise en évidence de dysfonctionnements hydrauliques
- Mesurer les températures au plus proche des mesures de débit
Sondes de contact (de type K – thermocouple) moins précises que sondes pour doigt de gant (de type PT 1000 – à résistance)
Mode de pose
- Mesures de la température / hygrométrie extérieure (sonde d'ambiance)

Instrumentation – Puissances absorbées

Mesures effectuées: meures d'intensité

- Puissances absorbées des GEG
- Puissances absorbées des pompes primaires, secondaires (auxiliaire)

Pincès ampèremétriques

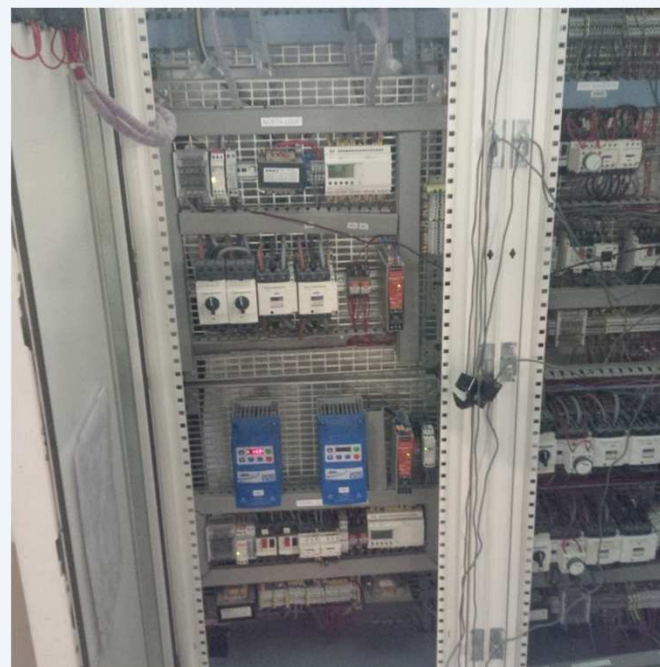
- Habilitations électriques nécessaires
- Puissances absorbées
- Si possible mesure du cos phi

$$P_W = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

=> Puissance électrique (kWé)

Hypothèses Tension et cos phi

Puissance (kW)	Intensité mesurée (A)	Tension (V)	cos phi	Commentaires
93,53	150	400	0,9	avec batterie condensateurs
88,33	150	400	0,85	
83,14	150	400	0,8	Ecart de 11%/ valeur cos phi 0,9



Instrumentation – Matériel

Choix du mode d'enregistrement des données

- Autonome: enregistrement en local
- Connecté: enregistrement sur le cloud en temps réel

Autonome: enregistrement en local sur les enregistreurs

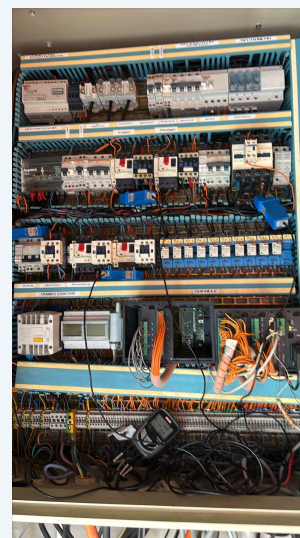
- Avantages: pose plus aisée, surtout en cas d'équipements distants les uns des autres)
- Inconvénients: pas de possibilité de vérification d'enregistrement des données, pas d'alerte.

Connecté: enregistrement sur le cloud en temps réel

- Avantages: Alertes par mail, lecture et enregistrement des données en temps réel
- Inconvénients: installation de matériel supplémentaire (antennes, box), pertes de connexion.

=> Rapport d'instrumentation V0 en début de phase de mesure

L'instrumentation peut rester à demeure pour un suivi énergétique (décret BACS, ...)



ANALYSE DES DONNEES



Températures

PERIODE D'INSTRUMENTATION: 15 jours à 3 mois (en période estivale ou demi-saison)

RESULTATS D'INSTRUMENTATION GROUPES D'EAU GLACEE

- Production de froid
- Consommations électriques des GEG, pompes, CTA
- Consommations spécifiques tels que locaux Serveurs éventuellement

RESULTATS D'INSTRUMENTATION RESEAUX SECONDAIRES DISTRIBUTION

- Energie distribuée
- Consommations électriques pompes de distribution

Températures A/R GEG (vert et orange) inférieures de 2°C/ 3°C aux températures réseau secondaire (noir et bleu)



Nombreux arrêts/ redémarrage compresseurs



ANALYSE DES DONNEES



Puissances/ Consommations

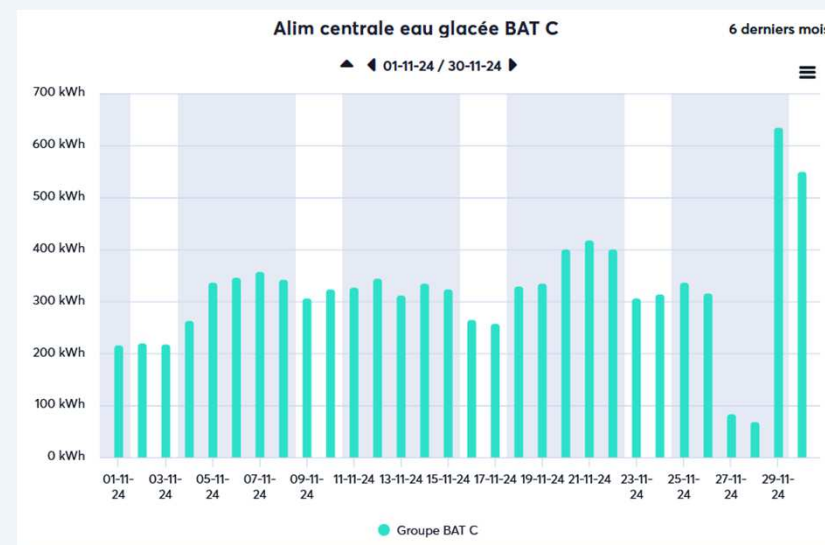
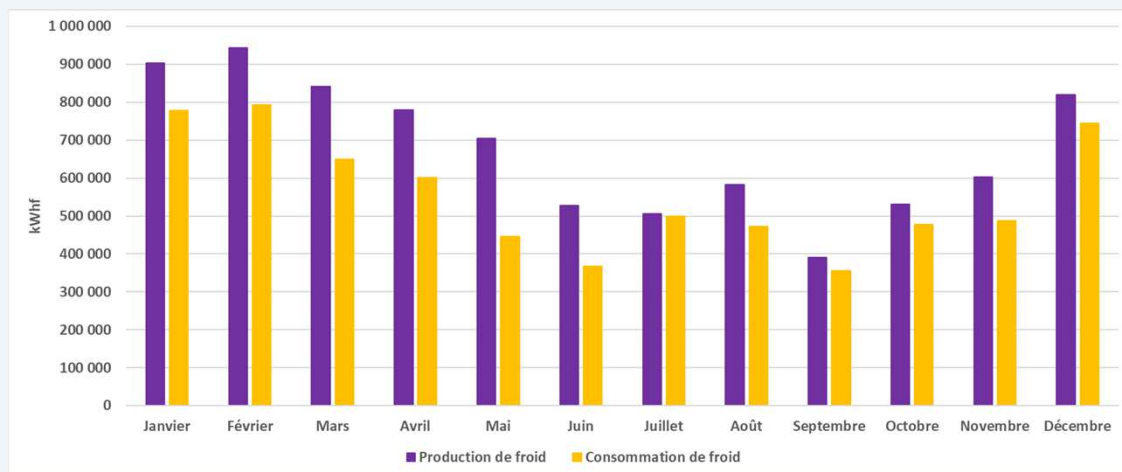
MESURES DE COP au pas de temps sur période d'instrumentation

Mise en évidence de dysfonctionnements (hydrauliques, condensation)

MESURES DES CONSOMMATIONS EN kWf et en kWc

VARIATION DU COP suivant:

- température extérieure
- Température de consigne
- Taux de charge

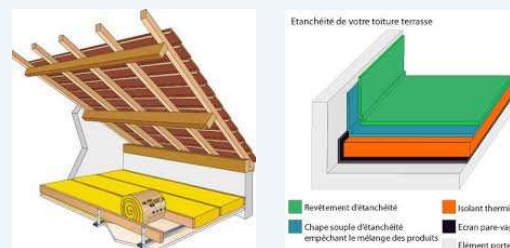


RECOMMANDATIONS— STRATEGIE DE DECARBONATION

Recommandations - Maîtrise d'énergie

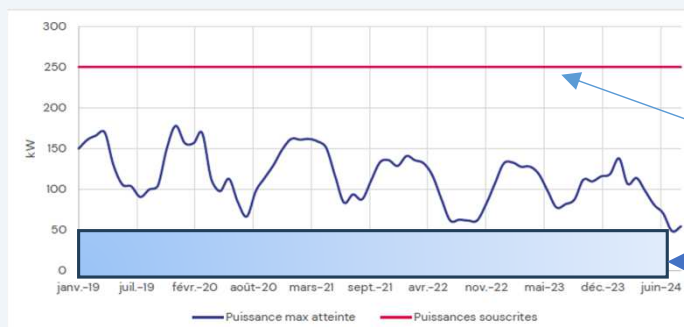
Analyse du bâti

- Protections solaires
- Isolation des parois
- Couleurs



Analyse des factures d'électricité

- Puissance souscrite
- Talons de consommation



Puissance souscrite

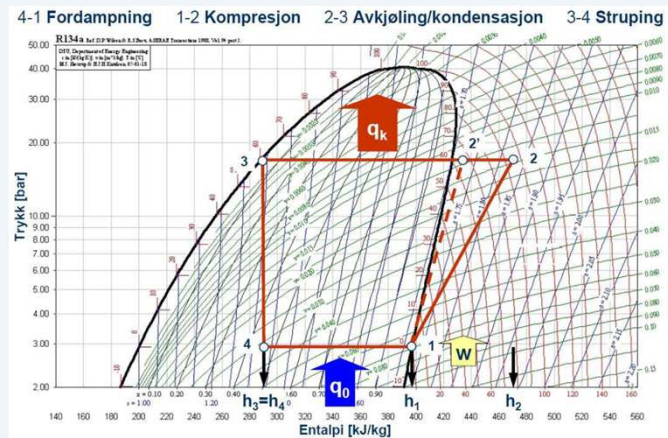
Talon de consommation

Analyse de l'hydraulicité

- Equilibre, boucle
- Ballon tampon
- Répartition des départs secondaires suivant les usages

> OBJECTIFS DE REDUCTION DES CONSOMMATIONS

Recommandations - Maîtrise d'énergie



Le COP froid:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Où:

- $h_1 - h_4$ = puissance frigorifique spécifique (évaporateur) => q_0
- $h_2 - h_1$ = travail spécifique du compresseur => w

- Adapter températures / pressions de régulation

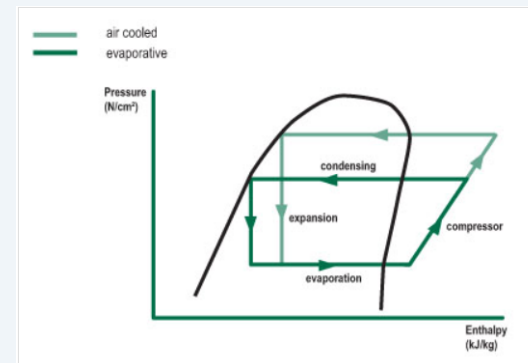
Diminuer le travail du compresseur:

= Diminuer le taux de compression, entre la pression d'évaporation (BP) et la pression de condensation (HP)

→ **diminuer l'écart de température entre évaporateur et condenseur.**

2°C en plus à l'évaporateur,
c'est 10 % de consommation en moins.

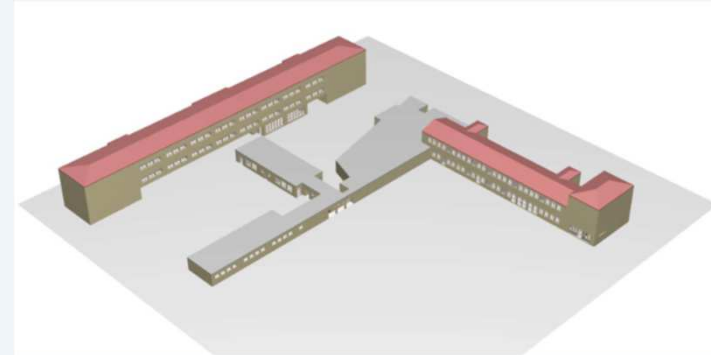
3°C en moins au condenseur,
c'est 10 % de consommation en moins.



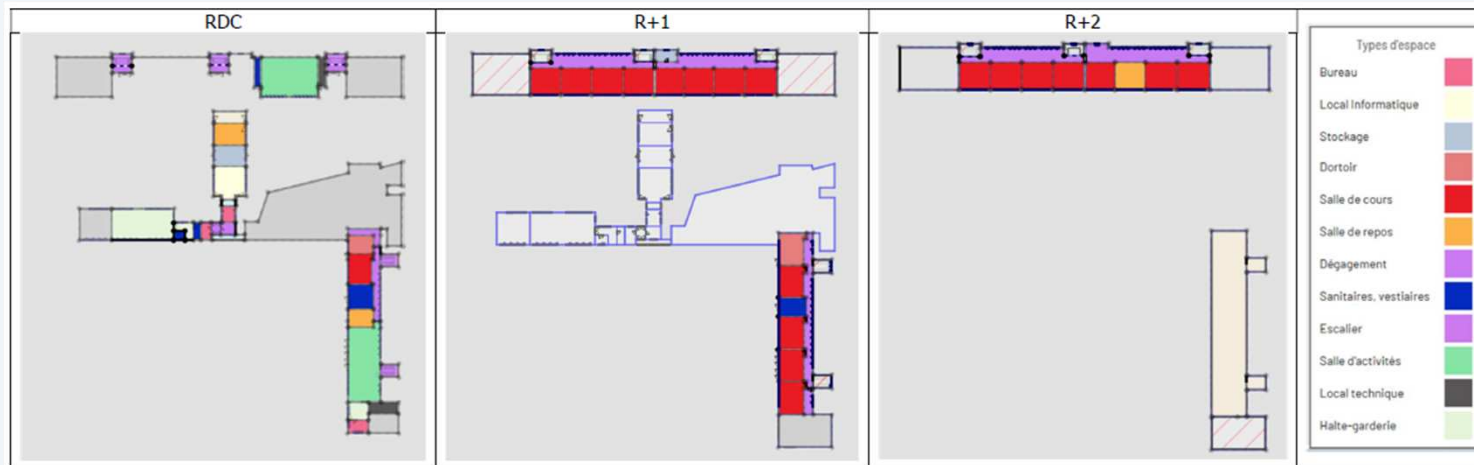
>OBJECTIFS DE REDUCTION DES CONSOMMATIONS

STD – Simulation Thermique Dynamique

Modélisation en 3D du bâtiment



Zonage thermique

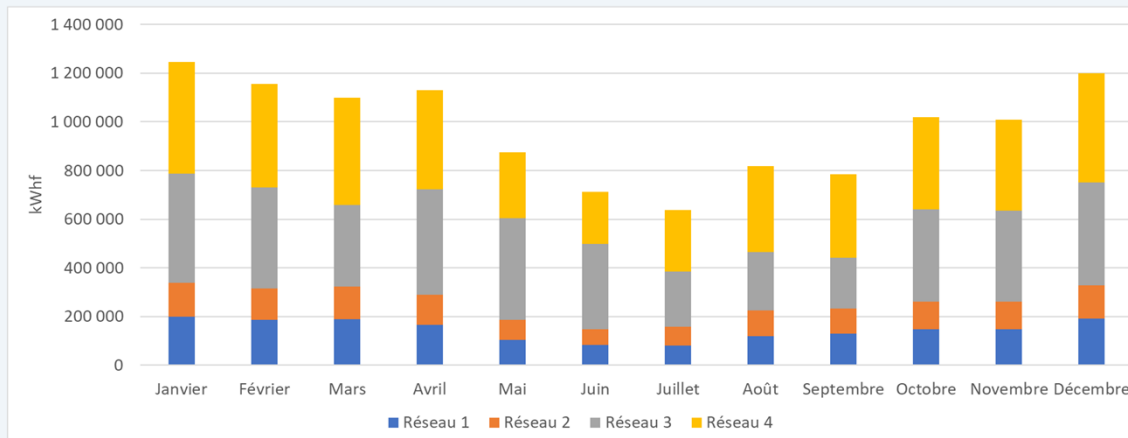
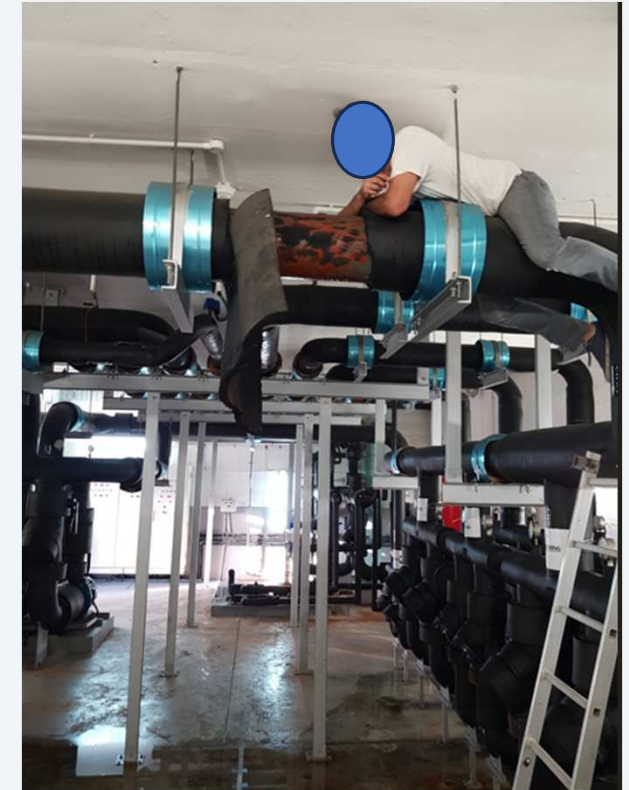


>> Recalage de la STD en fonction des données de l'instrumentation, suivant données météo (Météo France)

Extrapolation des données – Cumul

RESULTATS D'INSTRUMENTATION GROUPES D'EAU GLACEE

- Consommations de froid mensuelles par réseau
- Production de froid max/ mini
- Consommations mensuelles, journalières



Proposition techniques:

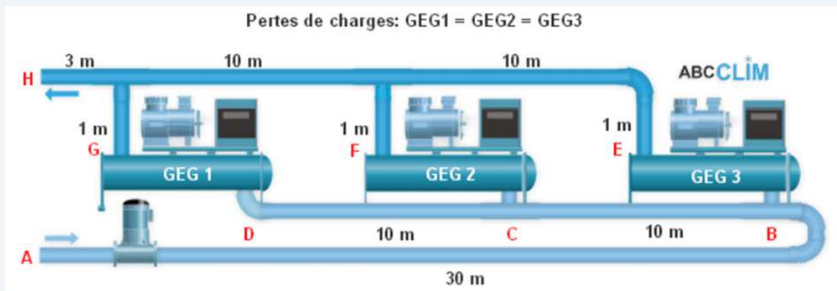
OPTIMISATION

Dimensionnement Production (suivant monotone si possible)

- GEG à variation pour faible puissance (exemple $P=250\text{kW}$), 90% du temps pour la nuit et période fraîche ou de faible occupation
- GEG centrifuge ou palier magnétique pour les besoins forte puissance

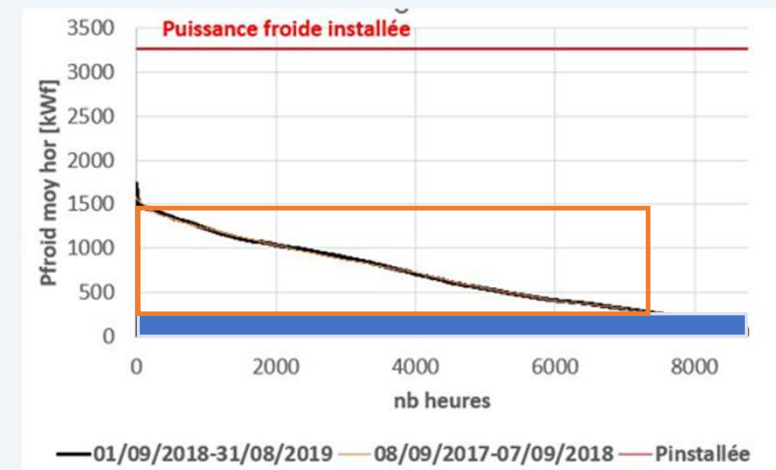
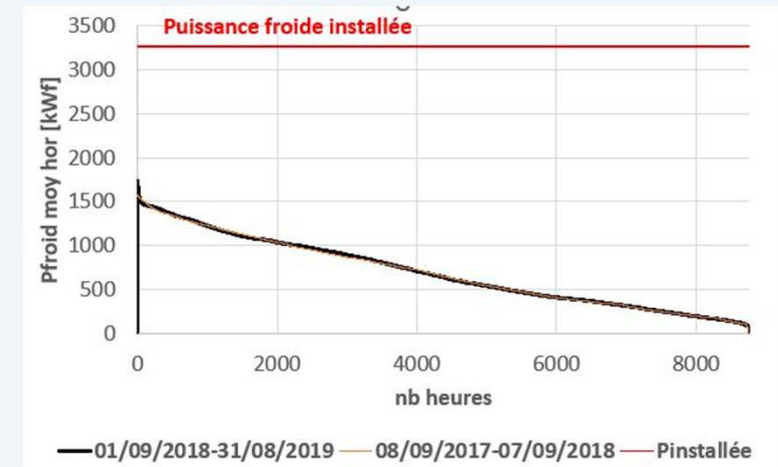
Dimensionnement Hydraulique:

- ballon tampon (qui crée de l'INERTIE)
- Boucle de Tichelmann (équilibre des pertes de charge)

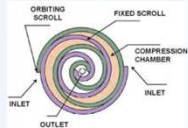






Régime de température et répartition des départs secondaires:

- En adéquation avec les besoins: suivant usages et pas nécessairement suivant zonage bâtiment
- Déshumidification avec des basses température d'eau glacée
- Plages horaires



Proposition techniques: technologie compresseurs

Technologie	Description	Illustration	Avantages	Inconvénients	Gaz réfrigérant	EER	SEER
Compresseur volumétrique hermétique spiro-orbital (Scroll)	Puissance de 2 à 60kW, multiplié 20 à 500kWf 		Robustesse Faible consommation Prix réduit Faible niveau sonore Moins de pièces en mvt	Inaccessibilité des organes du compresseur	R32 R410a (P<40kW)	3 à 3,8 Avec variation: 3,5 à 4,2	4,5 à 5,8 Avec variation: 5,5 à 7
Compresseur volumétrique à vis	Puissances à partir de 100kW		Peu de pièces en mvt. Taux de compression élevé (x20) Régulation de puissance de 10 à 100%	Coût relativement élevé Plus énergivores qu'autres types de compresseurs Groupe moto-compresseur bruyant (sifflement)	HFO R1234ze R134a R513a	3,2 à 4,5 Avec variation: 3,8 à 5	5 à 7 Avec variation: 6 à 8,5
Compresseur centrifuge	Système Eau/eau Fortes puissances > 1000kW		Encombrement réduit Pas d'huile dans le circuit frigo car circuits fluide frigo et huile séparés. Variation de puissance de 20 à 100% Excellente qualité de fabrication Coût plus faible que comp. à vis	Taux de compression faibles --> multi-étagé Moins de souplesse d'adaptation aux régimes de marche et fluides frigo Fortes puissances uniquement	HFO R1234ze R134a R513a	5,5 à 7	7,5 à 10
Turbocompresseurs à paliers magnétiques	Fortes puissances, à partir de 400kW		Bon rendement Quasi zéro frottements donc usure	Nombreux systèmes de secours (batteries de secours sur moteurs...) susceptibles d'être défaillants	HFO R1234ze R134a R513a	6,5 à 8,5	10 à 14

Proposition techniques:

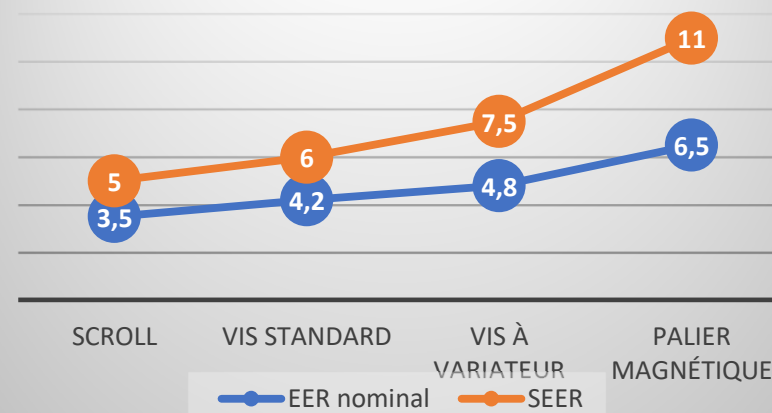
Choix de la technologie

- Groupe performant (analyse coûts exploitation, maintenance, cycle de vie)
- Groupe pour faibles charges (à vis par exemple ou variation sur compresseurs) + GEG autres technologies
- Stockage latent, avec ou sans couplage PV
- SWAC
- Boucle unique (redondance, foisonnement)

Choix du gaz réfrigérant (F-Gas), suivant technologies:

Fluide	Famille	GWP (AR4*)	Classe sécurité ISO 817	PFAS / composé fluoré	Production potentielle de TFA
R134a	HFC	1 430	A1	Oui	Très faible
R513A	HFO/HFC	573	A1	Oui	Oui
R1234ze(E)	HFO	≈ 1	A2L	Oui	Oui
R32	HFC	675	A2L	Oui	Oui

Performances refroidisseurs



Accompagnement, suivi énergétique

- GTB (Décret BACS, etc), suivi par un bureau d'étude externe ou un homme/femme ;) - énergie formée et dédiée (heures dédiées)