

Centre Hospitalier Le Mans

AMO pour étude de faisabilité d'une
centralisation de production de froid sur
le CHM

Rapport d'étude



Affaire Best Energies N°

Maîtrise d'ouvrage	Centre Hospitalier Le Mans
Objet	AMO pour étude de faisabilité d'une centralisation de production de froid sur le CHM
Mission	AMO
Phase	Rapport d'étude

Table des Matières

Objet de la mission	5
1. Etat des lieux de la production existante	6
1.1. Caractéristiques et localisation des productions	6
1.1.1. Fontenoy Radiologie	8
1.1.2. Fontenoy Carrier	9
1.1.3. Alienor	10
1.2. Renouvellement à prévoir	11
1.2.1. Durée de vie prévisionnelle des groupes froids	11
1.2.2. Réglementation fluides frigorigènes	12
1.2.3. Synthèse du renouvellement à prévoir	12
2. Bilan des consommations	13
2.1. Puissance appelée actuelle	13
2.2. Puissance appelée prévisionnelle	14
3. Réseau d'eau glacée	16
3.1. Caractéristiques météorologiques du site	16
3.2. Emplacement de la centralisation	16
3.2.1. Récupération de chaleur à partir des systèmes frigorifiques	17
3.2.2. Comparatif des emplacements étudiés	19
3.2.3. Abaissement des températures de retour réseau chauffage	19
3.2.3.1. Facteurs des températures de retour réseau élevées	19
3.2.3.2. Analyse des schémas de principe chauffage +ecs du CH Mans	20
3.3. Dimensionnement du réseau	21
4. Etat de l'art des technologies de production de froid	25
4.1. Groupes froids à compression	25
4.1.1. Groupes d'eau glacée à condensation par air	26
4.1.2. Groupes d'eau glacée à condensation par eau	26
4.1.3. Comparaison des groupes eau glacée à condensation à air et à eau	26
4.1.4. Fluides frigorigènes	30
4.1.5. Typologies d'aéroréfrigérants pour condenseurs à eau	34
4.1.6. Thermofrigopompes	35
4.2. Groupes à absorption	36
4.3. Stockage de froid	41
4.4. Récapitulatif des solutions de production envisagées pour le CH du MANS	46
5. Scénarios retenus et implantation prévisionnelle	47
5.1. Condenseurs à eau et thermofrigopompe	47
5.2. Condenseurs à air et thermofrigopompe	48

5.3. Scénario 1 : condenseurs eau sans stockage de glace	49
5.3.1. Etagement des puissances (Scénario 1)	49
5.3.2. Implantation prévisionnelle (1)	50
5.4. Scénario 2 : condenseurs eau avec stockage de glace	52
5.4.1. Etagement des puissances (Scénario 2)	52
5.4.2. Implantation prévisionnelle (2)	53
5.5. Scénario 3 : condenseurs air sans stockage glace	54
5.5.1. Etagement des puissances (Scénario 3)	54
5.5.2. Implantation prévisionnelle (3)	55
5.6. Scénario 4 : condenseurs air avec stockage glace	57
5.6.1. Etagement des puissances (Scénario 4)	57
5.6.2. Implantation prévisionnelle (4)	58
5.7. Préconisations pour l'aménagement des locaux techniques abritant les groupes	59
5.7.1. Ventilation	59
5.7.1.1. Recommandations constructeurs	59
5.7.1.2. Rappel réglementaire	59
5.7.1.3. Préconisations d'installation	60
5.7.2. Poids des groupes froids	61
5.7.3. Acoustique	61
6. Bilan énergétique et environnemental de la centralisation	63
6.1. Production de chaleur par la TFP	63
6.2. Consommation électrique des groupes froids	63
6.3. Impact réglementation décret tertiaire	64
6.4. Charge en fluide frigorigène	65
7. Etude financière	66
7.1. Investissements	66
7.2. Certificats d'Economie d'Energie (CEE).....	67
7.3. Fond chaleur	68
7.4. Coûts d'exploitation prévisionnels.....	69
8. Etude comparative des différents montages contractuels possibles.....	72
8.1. Conservation de la maîtrise d'ouvrage par le Centre Hospitalier du Mans.....	72
8.2. Délégation de la maîtrise d'ouvrage par le Centre Hospitalier du Mans à un opérateur privé	75
8.3. Bilan comparatif.....	76
9. Conclusion	77

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation des productions	7
Figure 2 : Monotone de froid existant du CHM	13
Figure 3 : Monotone de froid prévisionnelle du CHM.....	15
Figure 4 : Montage récupération de chaleur totale sur groupe air-eau.....	17
Figure 5 : Montage récupération sur groupe air-eau avec cascade PAC	17
Figure 6 : Scénarios de valorisation de chaleur fatale	18
Figure 7 : Schéma de principe sous-station Claude Monet	20
Figure 8 : Epuisement des retours ECS sur le primaire chauffage	21
Figure 9 : Tracé du réseau d'eau glacée.....	23
Figure 10 : Diamètres des canalisations du réseau EG.....	24
Figure 11 : Exemple de circuit d'eau glacée alimentant des ventilo-convecteurs.....	25
Figure 12 : Conditions de fonctionnement standard Thermeco2	32
Figure 13 : Centrale CO2 transcritique HK REFRIGERATION.....	32
Figure 14 : Types de tours de refroidissement.....	34
Figure 15 : Pompe à chaleur eau/eau haute efficacité (gauche) / TER de la thermofrigopompe en fonction des besoins froid et chaud (droite).....	35
Figure 16 : Modes de fonctionnement possibles des machines à absorption	37
Figure 17 : Groupe à absorption YORK version Chiller	37
Figure 18 : Gamme WFC fabricant YAZAKI	38
Figure 19 : Caractéristiques de la gamme adsorption MAYEKAWA AdRef-Noa	38
Figure 20 : Profil de charge de refroidissement typique d'un hôpital	42
Figure 21 : Procédé glace sur tubes à fonte externe	43
Figure 22 : Procédé glace sur tubes à fonte interne	43
Figure 23 : Profil été couverture besoins froids avec stockage de glace	44
Figure 24 : Données techniques Icebat UWH 306/7/26HP.....	45
Figure 25 : gain économique estimé grâce au stockage de glace	45
Figure 26 : Monotone de production étagée sans stockage glace - scénario 1	49
Figure 27 : Monotone de production étagée en secours partiel - scénario 1.....	50
Figure 28 : Implantation local cogénération et extension extérieure - scénario 1.....	51
Figure 29 : Distances constructeur à respecter pour la maintenance d'un groupe de 1500kW froid	51
Figure 30 : Implantation aérorefroidisseurs en toiture - scénario 1.....	51
Figure 31 : Etagement des puissances avec stockage glace - scénario 2	53
Figure 32 : Implantation local cogénération et extension extérieure - scénario 2.....	53
Figure 33 : Implantation aérorefroidisseurs en toiture - scénario 2	54
Figure 34 : Implantation stockage glace en chaufferie échelle 1/50	54
Figure 35 : Etagement des puissances avec condenseurs air - scénario 3	55
Figure 36 : Implantation local cogénération et extérieur - scénario 3	56
Figure 37 : Etagement des puissances avec condenseurs air et stockage glace - scénario 4	57
Figure 38 : Implantation local cogénération et extérieur - scénario 4	58
Figure 39 : Calendrier de mise en oeuvre	71
Figure 40 : Schéma contractuel en cas de marchés publics de droit commun	73
Figure 41 : Schéma contractuel en cas de marché global de performance sans paiement différé	74
Tableau 1 : Caractéristiques des productions existantes	6
Tableau 2 : Durée de vie prévisionnelle des groupes froids existants	11
Tableau 3 : Bilan de puissance froid avec les éléments du SDI à ce jour	14
Tableau 4 : Données techniques fabricant Daikin.....	27
Tableau 5 : Données techniques fabricant Trane	28
Tableau 6 : Indicateurs de performance de la thermofrigopompe	36
Tableau 7 : Comparatif des solutions de production de froid envisagées	46
Tableau 8 : Investissements par scénario.....	66
Tableau 9 : Estimation des CEE valorisables	68
Tableau 10 : Coûts d'exploitation prévisionnels par scénario	70
Tableau 11 : Synthèse de l'étude par scénario	78

Objet de la mission

Le Centre Hospitalier du Mans (CHM) a mandaté BEST ENERGIES pour étudier la faisabilité technique d'une centralisation de sa production de froid.

Ce projet s'inscrit dans une démarche de maîtrise énergétique du site, et en lien avec les évolutions architecturales du CHM prévues dans son Schéma Directeur Immobilier (SDI) en cours d'élaboration.

Les enjeux du projet sont les suivants :

- Projets d'évolutions immobilières en lien avec le SDI, avec une augmentation probable des besoins en « froid » du site ;
- Objectifs de réductions des consommations énergétiques à horizon 2030 en lien avec le décret tertiaire ;
- Impact de la réglementation sur les fluides frigorigènes (F-Gaz) sur le renouvellement des productions d'eau glacée à venir ;
- Projet en cours de consultation pour la création d'un 2^{ème} réseau de chaleur urbain par LE MANS METROPOLE à horizon 2026 ;
- Maîtrise énergétique du site en maintenant une qualité de service.

1. Etat des lieux de la production existante

1.1. Caractéristiques et localisation des productions

La majorité des usages froids du site sont aujourd'hui couverts par des centrales de productions d'eau glacée. Seules les chambres froides (froid négatif) et quelques climatisations locales ne sont pas alimentées par une boucle d'eau glacée, et ne seront pas considérés dans le périmètre de la centralisation.

Les caractéristiques et emplacements des productions d'eau glacée existantes sont détaillés dans les tableaux et figure suivants :

1/2 - Fontenoy	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo (kg)	Année	Puissance (kW)
GEG Daikin 1	Fontenoy IRM	R1234ZE	73	2019	490
GEG Daikin 2	Fontenoy IRM	R1234ZE	73	2019	490
GEG Carrier 1 (2 compresseurs)	Fontenoy Monet Reilly	R134A	134	2011	733
GEG Carrier 2 (2 compresseurs)	Fontenoy Monet Reilly	R134A	134	2011	733
GEG Carrier 3 (2 compresseurs)	Fontenoy Monet Reilly	R134A	134	2011	733
3 - Aliénor	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG Trane 1 (2 circuits)	Aliénor Bres Plantagenet	R134A	440	2010	647
GEG Trane 2 (2 circuits)	Aliénor Bres Plantagenet	R134A	330	2010	647
GEG Trane 3 (2 circuits)	Aliénor Bres Plantagenet	R134A	164	2019	842
4 - Laboratoire	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG Trane (2 circuits)	Laboratoire + EFS	R1234ze	78	2019	385
5 - EFS	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG Carrier 1	EFS	R407C	52	2015	102
GEG Carrier 2	EFS	R407C	52	2015	102
6 - Pharmacie	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG Carrier	Pharmacie	R410A	12,6	2019	220
7 - Pablo Picasso	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG Daikin	Pablo Picasso	R410A	15,2	2016	42
8 - Léonard de Vinci	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG CIAT	Léonard de Vinci	R407C	9,2	2004	38
9 - Michel Ange	Bâtiment	Réfrigérant	charge frigo	Année	Puissance
GEG CIAT	Michel Ange	R407C	3,9	2004	20

TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES PRODUCTIONS EXISTANTES

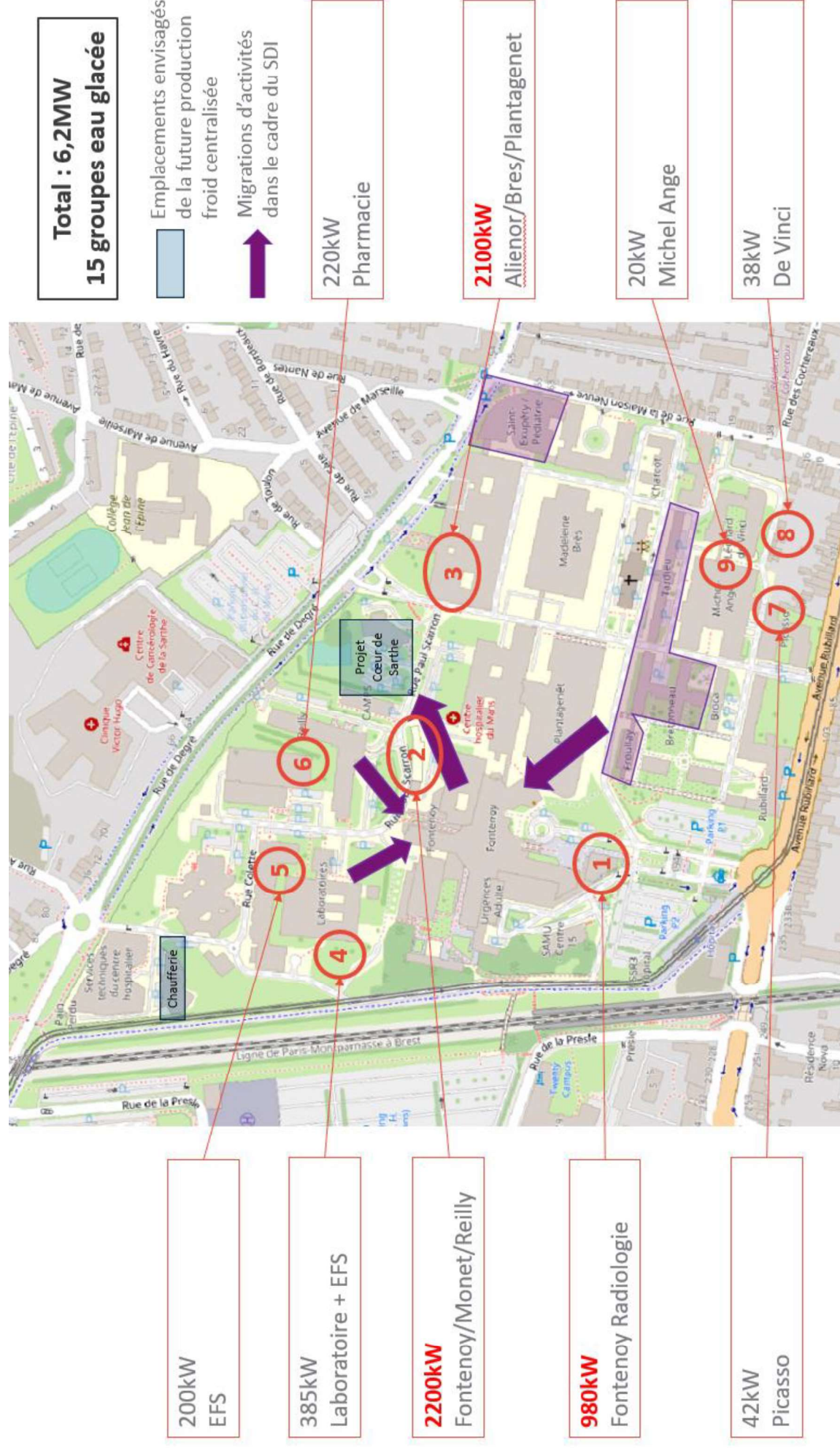


FIGURE 1 : LOCALISATION DES PRODUCTIONS

Les caractéristiques des principales centrales en termes de puissance installée sont présentées ci-dessous :

1.1.1. Fontenoy Radiologie



Puissance	2x490kW soit 980kW
Technologie	Groupes à compression air-eau
Régime d'eau glacée	6°C/11°C
Année	2019
Fluide frigorigène	R1234ze

1.1.2. Fontenoy Carrier

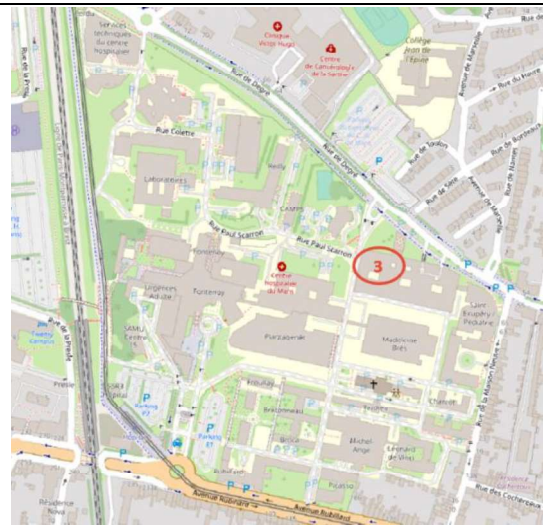


Puissance	3x733kW soit 2199kW
Technologie	Groupes à compression air-eau
Régime d'eau glacée	6°C/11°C
Année	2011
Fluide frigorigène	R134A

1.1.3. Alienor



Aéroréfrigérateurs en terrasse



Puissance	2x647kW et 842kW soit 2136kW
Technologie	Groupes à compression eau-eau
Régime d'eau glacée	6°C/12°C
Année	2010 – 2019
Fluide frigorigène	R134A

1.2. Renouvellement à prévoir

1.2.1. Durée de vie prévisionnelle des groupes froids

Sur les préconisations des différents constructeurs, la durée de vie prévisionnelle des productions de froid est d'environ 20 ans.

Selon cette hypothèse le calendrier de renouvellement prévisionnel des productions est présenté ci-dessous :

Centrale	Puissance (kW)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
GEG FONTENOY Daikin 1	490																X	
GEG FONTENOY Daikin 2	490																X	
GEG FONTENOY Carrier 1	733								X									
GEG FONTENOY Carrier 2	733								X									
GEG FONTENOY Carrier 3	733								X									
GEG ALIENOR Trane 1	647							X										
GEG ALIENOR Trane 2	647							X										
GEG ALIENOR Trane 3	842																X	
GEG LABO Trane	385																X	
GEG EFS Carrier 1	102												X					
GEG EFS Carrier 2	102												X					
GEG PHARMA Carrier	220																X	
GEG PICASSO Daikin	42													X				
GEG VINCI CIAT	38		X															
GEG M ANGE CIAT	20	X																

TABLEAU 2 : DUREE DE VIE PREVISIONNELLE DES GROUPES FROIDS EXISTANTS

1.2.2. Règlementation fluides frigorigènes

La réglementation F-gas relative à la vente et l'utilisation des fluides frigorigènes impose des restrictions liées au pouvoir de réchauffement global (PRG) des fluides frigorigènes, c'est-à-dire leur contribution au réchauffement climatique par comparaison avec un gaz à effet de serre de référence (CO2).

Les objectifs fixés par réglementation européenne conduisent à un abandon progressif des fluides à fort PRG type HFC au profit d'alternatives avec un impact environnemental moindre, tels que les HFO (dont le R1234ze fait partie).

⇒ **2027 : Interdiction de mise sur le marché des systèmes de climatisation >12kW utilisant un fluide de PRG >750**

La majorité des machines existantes utilisant actuellement des fluides impactés par cette évolution de la réglementation, une problématique de **difficulté d'approvisionnement** en fluide frigorigène et de **hausse du prix des fluides** est à prévoir dans les prochaines années.

Les machines concernées sont les suivantes :

- Fontenoy Carrier
- Alienor (3 groupes)
- EFS
- Pharmacie
- Picasso
- De Vinci
- Michel Ange

1.2.3. Synthèse du renouvellement à prévoir

Au vu de l'âge des installations existantes et des évolutions réglementaires à venir, le renouvellement à révoir concerne donc :

- **7 groupes pour 3550kW** installés à renouveler d'ici 2030 en raison de leur vétusté
- **12 groupes pour 4860kW** installés impactés d'ici 2027 par l'évolution de la réglementation sur les fluides frigorigènes

2. Bilan des consommations

2.1. Puissance appelée actuelle

Afin d’identifier une potentielle réserve de puissance sur les productions actuelles, les enregistrements de charge des groupes froids ont été transmis sur la période représentative de fin mars à fin juin 2024 pour les productions Fontenoy Daikin (1), Fontenoy Carrier (2), Alienor Trane (3).

Pour les autres productions dont les charges n’étaient pas remontées sur la GTB du site, les hypothèses suivantes ont été prises après échange avec l’exploitant et le maître d’ouvrage :

Production	Hypothèse de fonctionnement
Labo Trane	Groupe à pleine charge en période estivale
EFS Carrier	Fonctionnement estival pour soulager le groupe du labo
Pharma Carrier	Pas de remontée d’informations sur la GTB, hypothèse de pleine charge en période estivale
Picasso Daikin	Fonctionnement estival pour le plan prévention canicule
Vinci CIAT	Fonctionnement estival pour le plan prévention canicule

Les charges ont été mises en relation avec les données météo 2024 de la période concernée, et extrapolées par corrélation avec les températures de l’année 2023. Les charges de chaque production ont été empilées pour obtenir l’appel de puissance global avec foisonnement (en annexe), et la monotone annuelle ci-dessous.

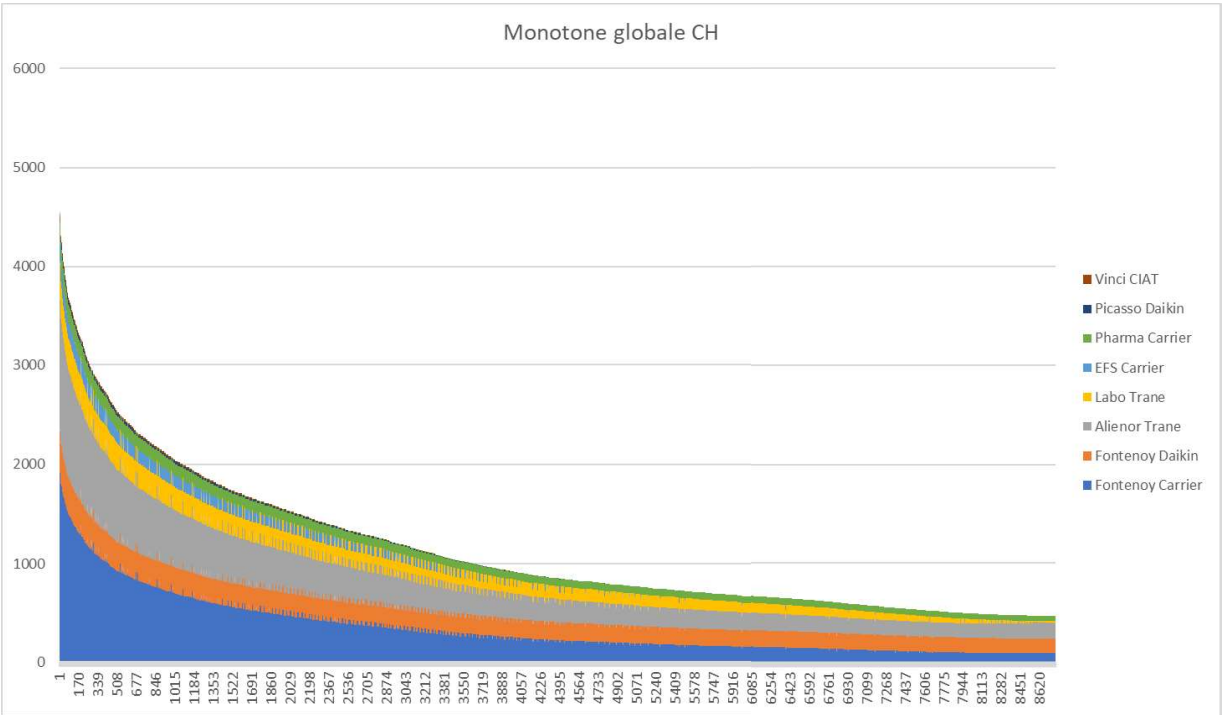


FIGURE 2 : MONOTONE DE FROID EXISTANT DU CHM

- La puissance maximale appelée est de **4,8MW** sur les 6,2MW installés, avec un talon de consommation autour de **470kW**.
- De plus, la puissance appelée est inférieure à 1,5MW environ 80% de l’année.

En effet, l’essentiel des besoins en froid sont dédiés à la climatisation ou au rafraîchissement des locaux, avec une part de froid process minoritaire liée notamment à l’imagerie médicale.

2.2. Puissance appelée prévisionnelle

Le dimensionnement des canalisations du futur réseau d'eau glacée a été basé sur les besoins en froid du site, en considérant :

- L'appel de puissance actuel ;
- Les migrations d'activités pressenties dans le cadre du SDI vers le bâtiment Monet Nord à construire ;
- Les besoins en froid du futur bâtiment, pour une puissance de 2000 kW en première approximation basée sur la surface et les orientations fonctionnelles pressenties ;
- Une réserve de puissance de 10%, suite au constat de l'augmentation régulière des besoins en froid ces dernières années et des projets d'extension du CHM.

Les éléments du SDI connus à ce jour sur les migrations de services ont permis de réaliser le bilan de puissance provisoire suivant, par bâtiment :

En rouge : augmentation capacitaire et surfaces

Production froid	PMA actuelle (kW)	PMA future (kW)	Services sortants	Services entrants
Fontenoy IRM	431	431		
Fontenoy Carrier	2065	1511	Fontenoy vers Monet Nord : SAU	Labo/EFS/anapath vers Fontenoy : bâtiment entier
			Fontenoy vers Monet Nord : UHCD	Bretonneau/Widal vers Fontenoy : service social
			Fontenoy vers Monet Nord : Imagerie d'urgence	Widal vers Fontenoy : EPSM/EMPP/PASSPsy
			Fontenoy vers Monet Nord : Coordination prélèvements multi-organes	B/W/D/S-E vers Fontenoy : UMJ pédiatrique
			Fontenoy vers Monet Nord : bloc op + SSPI	Duperrat vers Fontenoy : médecine travail, maison médicale de garde
			Fontenoy vers Monet Nord : stérilisation	Tardieu vers Fontenoy : DIM, SRV, Formation, CESU, CAP'Sim
			Fontenoy vers Monet Nord : bureaux médicaux	St Exupery vers Fontenoy : UMJ pédiatrique, prestataire ménage
			Fontenoy vers Monet Nord : réanimation USC	
			Monet vers Monet Nord : bloc op + SSPI	
			Monet vers Monet Nord : lavage endoscopes	
			Monet vers ? : direction qualité, affaires juridiques, cellule hygiène	
Alienor	1415	1415		
Laboratoire_EFS	373		Labo/EFS/anapath vers Fontenoy : bâtiment entier	
EFS	204			
Pharmacie	220	220		
Picasso	42	42		
Michel Ange	20	20		
De Vinci	38	38		
Projet Cœur de Sarthe		2000		
	4808	5677		

TABLEAU 3 : BILAN DE PUISSANCE FROID AVEC LES ELEMENTS DU SDI A CE JOUR

La puissance retenue à installer pour la production de froid centralisée est donc de 6,3 MW.

En l'absence d'informations précises sur les températures de consigne, présence d'équipements, orientation etc du bâtiment Cœur de Sarthe et des services amenés à être déplacés, cette proposition ne constitue qu'un prédimensionnement, et le bilan de puissance réel devra être confirmé par la maîtrise d'œuvre de l'opération.

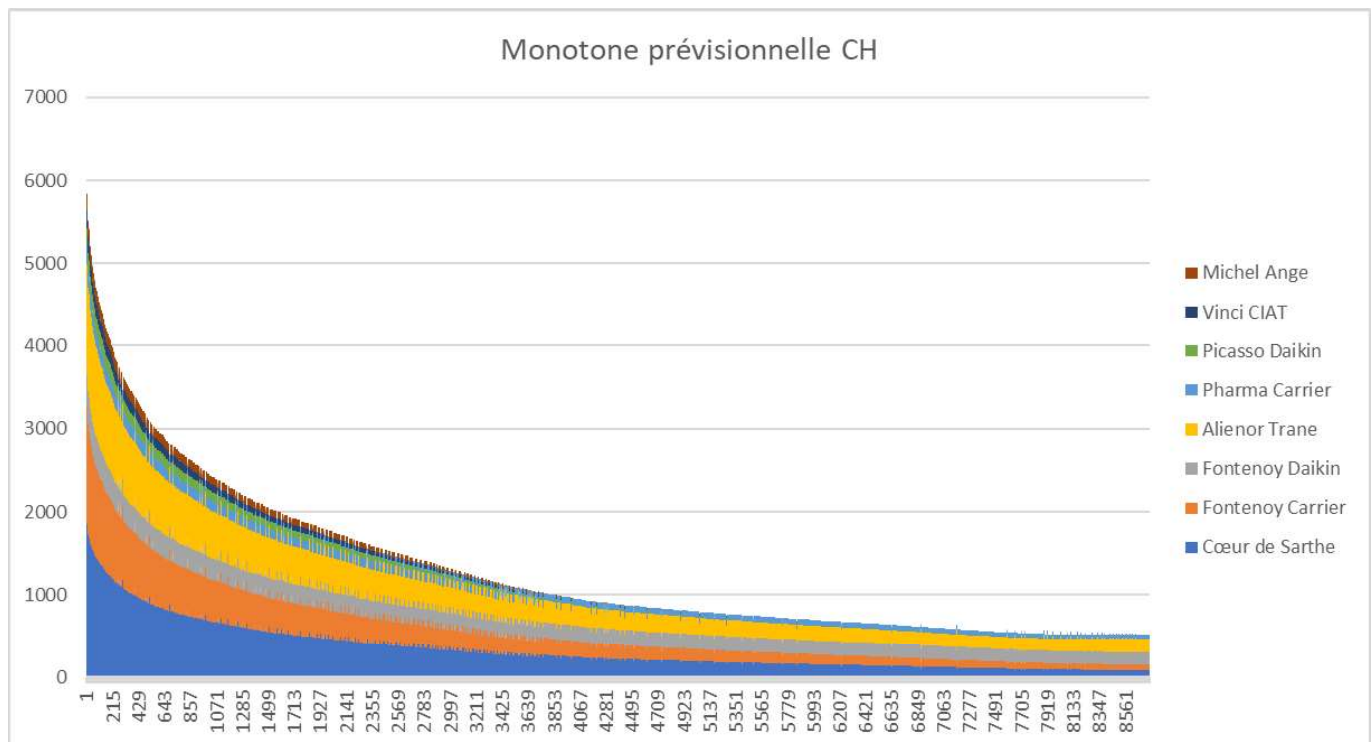


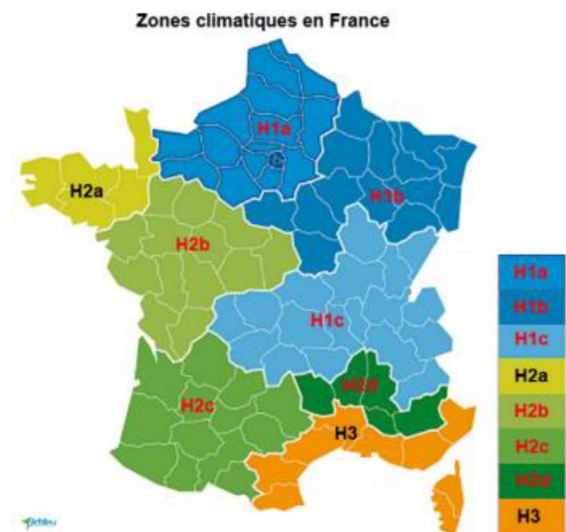
FIGURE 3 : MONOTONE DE FROID PREVISIONNELLE DU CHM

3. Réseau d'eau glacée

3.1. Caractéristiques météorologiques du site

Le site du centre hospitalier est situé en zone climatique H2, la station météorologique la plus proche est celle du Mans. Les DJU -Degré Jour Unifié – en climatisation sur la période des trois dernières années sont présentés ci-dessous :

	DJU (station MANS)	climatisation météo du
2023	522	
2022	571	
2021	323	



3.2. Emplacement de la centralisation

Les scénarios envisagés pour l'implantation sont :

- En extérieur
- Dans un local technique existant
- Dans un local technique à créer dans un bâtiment existant
- Dans un bâtiment à construire et dédié à la production de froid
- Dans un bâtiment qui serait construit dans le cadre du SDI

Au vu des contraintes du site (surface extérieure disponible limitée, contraintes acoustiques, nombreux projets d'aménagements en cours ou à venir qui rendent incertaine l'utilisation possible de bâtiment existants), les emplacements étudiés sont :

- Local cogénération (échéance du contrat en 2024, démantèlement prévu et libération du local)
- Local technique à créer dans le bâtiment à construire dans le cadre du SDI

Selon l'emplacement, le mode de valorisation de la chaleur récupérée sur les groupes froids diffère.

3.2.1. Récupération de chaleur à partir des systèmes frigorifiques

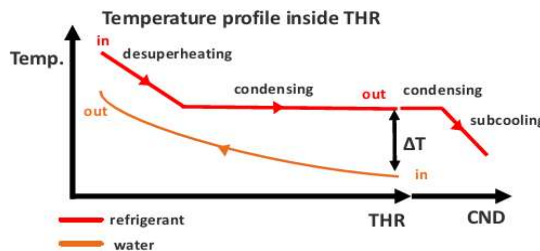
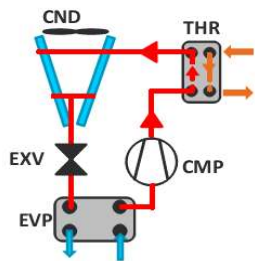
Des solutions de récupération de chaleur sont envisageables soit sur machine air-eau, via des échangeurs de récupération sur le fluide, soit sur machine eau/eau directement.

Il est possible de récupérer la chaleur rejetée au niveau des condenseurs soit :

- En récupération totale : 85% de la puissance récupérée avec des niveaux de température autour des 45°C. Il sera nécessaire d'investir dans une PAC pour relever le niveau thermique à 60°C par exemple pour valoriser la chaleur récupérée.
- En récupération partielle : 15% de la puissance récupérée à un niveau de température plus élevé avoisinant 60°C.

RECUPERATION DE CHALEUR TOTALE

Avec l'option de récupération de chaleur totale (OPT- 01), l'unité est équipée d'échangeurs à plaques (1 par circuit frigorifique) entre le refoulement des compresseurs et les batteries de condenseurs à air. Cette option permet de récupérer la majeure partie de la chaleur des phases de desurchauffe et de condensation.



Avantage du montage en série d'échangeurs à plaque :

Possible de récupérer 80 à 85% de la chaleur rejetée

Modulation de la récupération de chaleur disponible par rapport au besoin calorifique, contrairement à un montage en parallèle

Récupération de chaleur sur condenseurs à air

FIGURE 4 : MONTAGE RECUPERATION DE CHALEUR TOTALE SUR GROUPE AIR-EAU

Pour la récupération d'énergie à haute température, il est possible d'utiliser une PAC qui relève le niveau thermique de la chaleur issue du condenseur de la machine frigorifique. Ces systèmes de récupération de chaleur en cascade présentent l'avantage de n'utiliser qu'une partie de la chaleur issue du condenseur sans en altérer les caractéristiques.

En effet diminuer les régimes de température au condenseur permet d'améliorer le rendement global de l'installation en optimisant l'efficacité de la machine frigorifique.

Il est indispensable néanmoins d'utiliser toute l'énergie dont le niveau de température a été augmenté dans la PAC. Il serait en effet préjudiciable au COP d'élever le niveau thermique d'une partie de l'énergie pour ensuite l'évacuer au milieu ambiant.

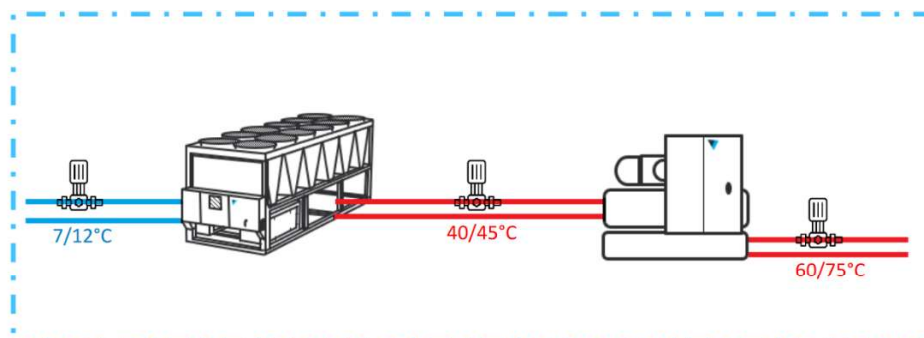


FIGURE 5 : MONTAGE RECUPERATION SUR GROUPE AIR-EAU AVEC CASCADE PAC

Il est possible de valoriser cette chaleur soit sur les retours du réseau primaire chauffage/ECS, soit en préchauffage voire production ECS (si la température est suffisamment élevée).

L'architecture actuelle du réseau chauffage/ECS est telle que le réseau primaire au départ de la chaufferie centrale alimente chacun des bâtiments via un réseau de chaleur, avec présence en sous-station d'un échangeur chauffage et un préparateur ECS¹. La production ECS est donc délocalisée dans chaque bâtiment.

- Pour valoriser la chaleur des groupes froids en production ECS, il serait donc nécessaire de prévoir une PAC pour rehausser les niveaux de température, et de créer un réseau de distribution depuis la production de froid centralisée vers les bâtiments ayant des besoins ECS importants à proximité.

⇒ **Talon annuel de 400kW à proximité de la centralisation envisagée d'après les données transmises**

- Pour valoriser la chaleur fatale sur les retours du réseau primaire, il serait également nécessaire de prévoir une PAC. Des modifications en sous station dans le but d'abaisser les températures de retour permettraient également d'optimiser cette valorisation (suppression des points de recyclage et/ou situations de débit constant).

⇒ **500kW de talon de consommation chauffage+ECS d'après les monotones transmises des 5 dernières années**

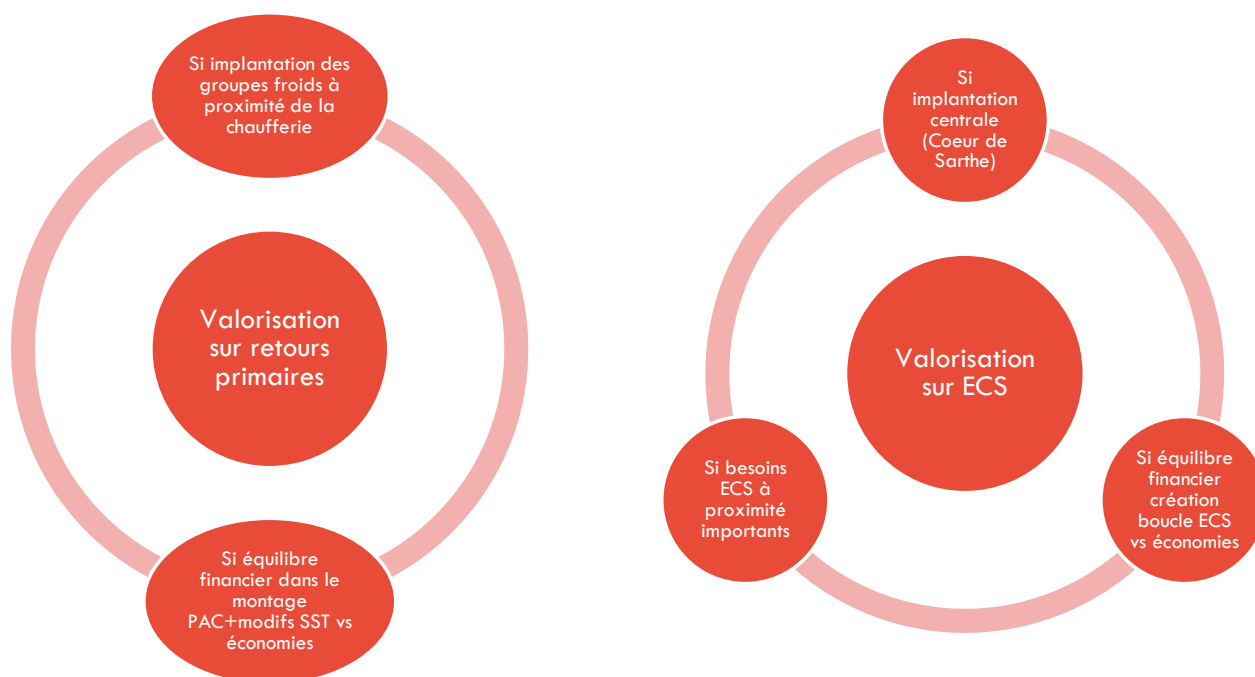


FIGURE 6 : SCENARIOS DE VALORISATION DE CHALEUR FATALE

¹ sauf l'EFS – pas d'ECS et la pharmacie – ballon électrique.

3.2.2. Comparatif des emplacements étudiés

	LOCAL COGENERATION	INTEGRE AU PROJET CŒUR DE SARTHE
Longueur de réseau	1573 m	1143 m
Coût de création réseau		
Coût génie civil création de local	Local existant, éventuels renforts structure à prévoir	
Mode de valorisation chaleur fatale envisageable	Réchauffage des retours réseau haute température du site ⇒ Economie estimée : 4100 MWh/an soit 20% de la consommation de chaleur du site Chaleur valorisée sous condition d'un débit suffisant toute l'année	Préchauffage/préparation ECS ⇒ Economie estimée : 2100 MWh/an soit 10% de la consommation de chaleur du site Chaleur valorisée sous condition de besoins ECS à proximité simultanément aux besoins froids

Dans le cas d'une centralisation dans le nouveau bâtiment à construire, la valorisation de chaleur fatale nécessiterait la création d'un local et d'un réseau de distribution ECS depuis l'emplacement de la centralisation vers les bâtiments à desservir. Cette contrainte limite la quantité de chaleur valorisable aux besoins ECS des bâtiments à proximité.

La centralisation en chaufferie permettrait d'optimiser la valorisation de chaleur fatale, notamment si des modifications sont adoptées pour diminuer les températures de retour en sous station.

3.2.3. Abaissement des températures de retour réseau chauffage

3.2.3.1. Facteurs des températures de retour réseau élevées

Les températures de retour trop élevées sur les réseaux constituent un problème fréquemment rencontré dans la gestion des réseaux de chaleur. Elles sont souvent liées à des débits excessifs dans certaines SST, dues à des erreurs de dimensionnement, de régulation, de montage, de supervision et plus globalement de gestion des installations techniques. Ces erreurs se retrouvent à l'interface primaire-secondaire, au niveau de la distribution de chauffage, de la production d'ECS. (Quiquerez, 2017).

Localisation	Interface primaire-secondaire	Distribution de chauffage	Production d'ECS
Facteurs de la hausse des températures de retour réseaux	un échangeur primaire sous-dimensionné ; un mauvais fonctionnement ou l'absence d'une vanne de contrôle du débit primaire ; une mauvaise régulation de la température de départ du secondaire la présence d'un by-pass sur le secondaire, historiquement utilisé pour éviter la corrosion dans les chaudières ; la présence d'une pompe de circulation sur le collecteur du secondaire	une courbe de chauffe mal adaptée ; des sondes de température défectueuses ; l'absence de vannes thermostatiques sur les corps de chauffe ; un mauvais équilibrage hydraulique du circuit de distribution ; la présence de pompes de circulation surdimensionnées sans variateurs de vitesse.	des sondes de température mal situées ; des surfaces d'échange sous-dimensionnées ; un entartrage des échangeurs ; l'absence de contrôle des débits.

3.2.3.2. Analyse des schémas de principe chauffage +ecs du CH Mans

Les sites disposant d'échangeurs de chaleur et d'ECS sont : Fontenoy, Madeleine Bres, Plantagenet, Claude Monet, Alienor, Administration, Samu, Laboratoire ; Reilly ; Néphrologie ; Services techniques ; Urgence ; Froulay Michel Ange ; Pablo picasso ; Leonard de Vinci ; Internat.

Leur configuration est similaire à la figure ci-dessous et correspond à une solution de SST optimisée avec des besoins ECS et chauffage. L'interface réseau/abonné est faite par deux échangeurs. Les circuits de chauffage sont raccordés en direct (sans découplage) sur l'échangeur chauffage du réseau. La production d'ECS est de type non instantanée (avec stockage en ECS) raccordée directement au primaire du réseau.

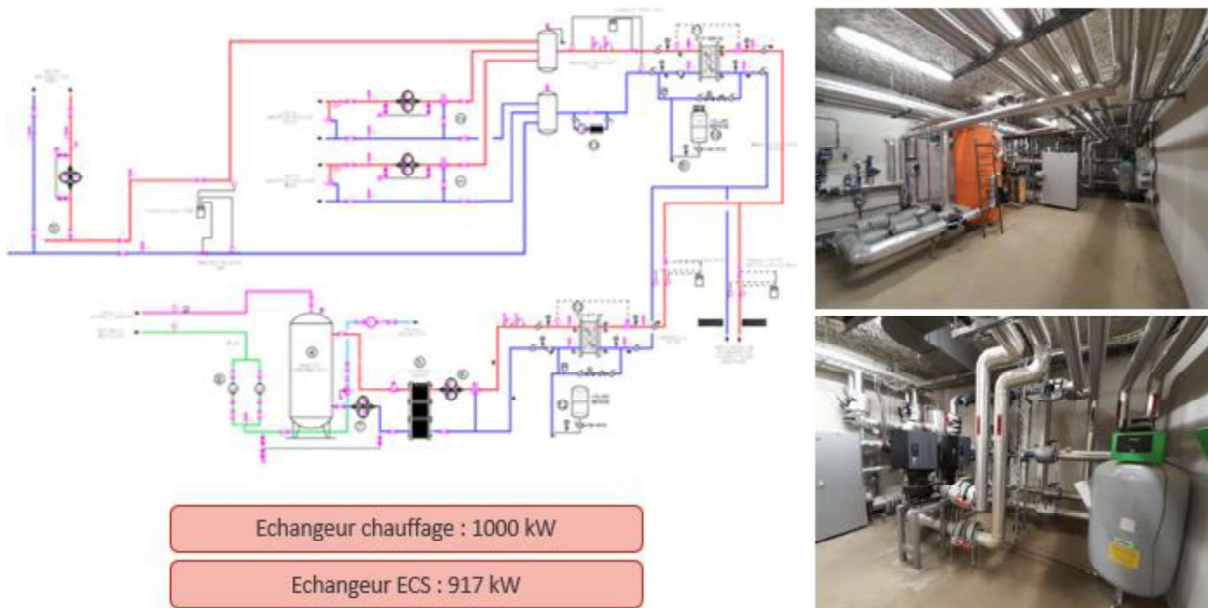


FIGURE 7 : SCHEMA DE PRINCIPE SOUS-STATION CLAUDE MONET

Proposition d'amélioration :

Afin d'améliorer cette configuration, il est possible d'équiper la sous-station d'un système d'épuisement des retours ECS sur le chauffage côté primaire via 2 vannes régulées en tout ou rien lorsque les températures de retour primaire ECS sont plus élevées que la consigne de départ.

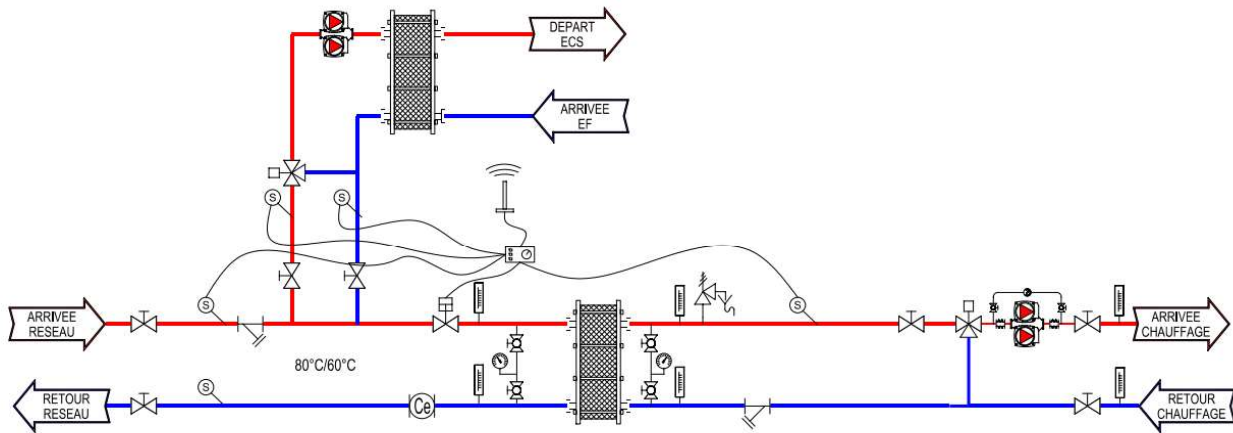


FIGURE 8 : EPUISMENT DES RETOURS ECS SUR LE PRIMAIRE CHAUFFAGE

3.3. Dimensionnement du réseau

Les tronçons du futur réseau ont été dimensionnés suivant les critères ci-dessous :

- Température départ,
- Température retour,
- Puissance en sous station,
- Débit minimum de circulation du fluide (0,2 m/s)

Les étapes du dimensionnement du réseau sont les suivantes :

- Positionnement des sous stations sur la carte
- Tracé du réseau de distribution
- Dénomination des tronçons et mesure des longueurs de canalisation à mettre en œuvre

- Détermination des diamètres de canalisation : $D = \sqrt{4 * \frac{qv}{v} * \pi}$

Avec vitesse max 2,5 m/s et perte de charge max 15 mmCE/mL (mCE : mètre de colonne d'eau)

D : diamètre de la canalisation

qv : débit volumique traversant la canalisation en m^3/s

v : vitesse du fluide circulant dans la canalisation en m/s

- Calcul des débits suivant puissances en sous station et régime de température : $P = 1,16 * qv * dT$

Avec régime de température réseau 6°C/12°C

dT : delta température départ/retour réseau

- Calcul des déperditions thermiques des canalisations de réseau (MWh) : Permet d'affiner l'estimation des puissances à mettre en œuvre en sous-stations : environ 3% de la puissance appelée.

Deux options de tracé ont été étudiées selon la localisation de la centralisation :

1. Local cogénération
2. Sur le terrain d'implantation du bâtiment à construire

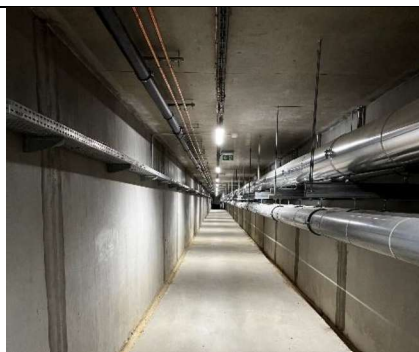
Longueur de réseau (m)	Tracé cogénération	Tracé Cœur de Sarthe
à créer en galerie	640	576
à créer hors galerie	684	350
existant	249	217
Total hors existant	1324	926
Total réseau	1573	1143
DN100	119	212
DN125	195	109
DN150	372	511
DN200	99	175
DN250	225	136
DN300	19	
DN350	544	
Total réseau	1573	1143

Ci-dessous sont présentées les cartes du réseau avec la configuration retenue d'une production centralisée dans le local cogénération. Quelques commentaires sur le tracé du réseau :

- Certaines liaisons existantes entre les bâtiments ont été conservées :
 - Depuis Alienor vers les bâtiments Bres et Plantagenet.
 - Depuis le pôle Fontenoy Carrier vers les bâtiments Fontenoy, Claude Monet et Reilly.

Des travaux sont prévus dans le cadre d'un projet de cour logistique au niveau de ce pôle. Des dévoiements de réseau seront nécessaires, mais ne sont pas inclus dans le projet à ce stade en l'absence d'informations sur le projet final.

- Le réseau suit le tracé de la galerie technique du site dans la mesure du possible, sauf pour le tronçon au niveau du bâtiment Claude Monet. En effet à ce niveau la galerie technique est trop encombrée pour accueillir les canalisations du réseau d'eau glacée. **Un passage sera donc réalisé en vide sanitaire sous le bâtiment Claude Monet**, pour rejoindre la galerie technique du côté des bâtiments Aliénor et Bres.



Portion de galerie technique récente



Portion de galerie technique encombrée

- Des vannes pourront être installées dans l'attente de futurs raccordements au réseau, notamment pour le **centre de cancérologie et de futurs besoins froids vers les bâtiments Saint-Exupéry/Pédiatrie.**

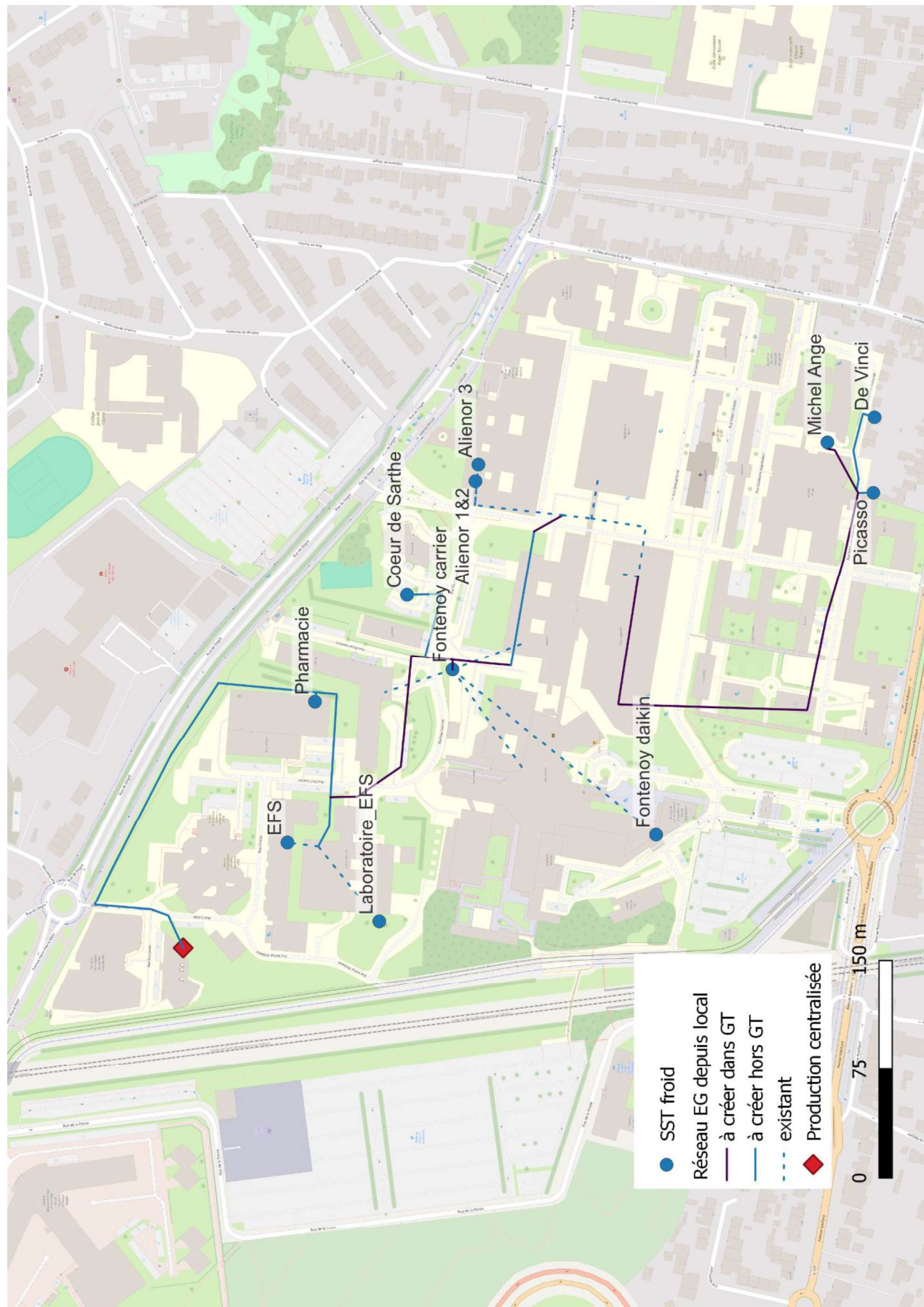


FIGURE 9 : TRACE DU RESEAU D'EAU GLACEE

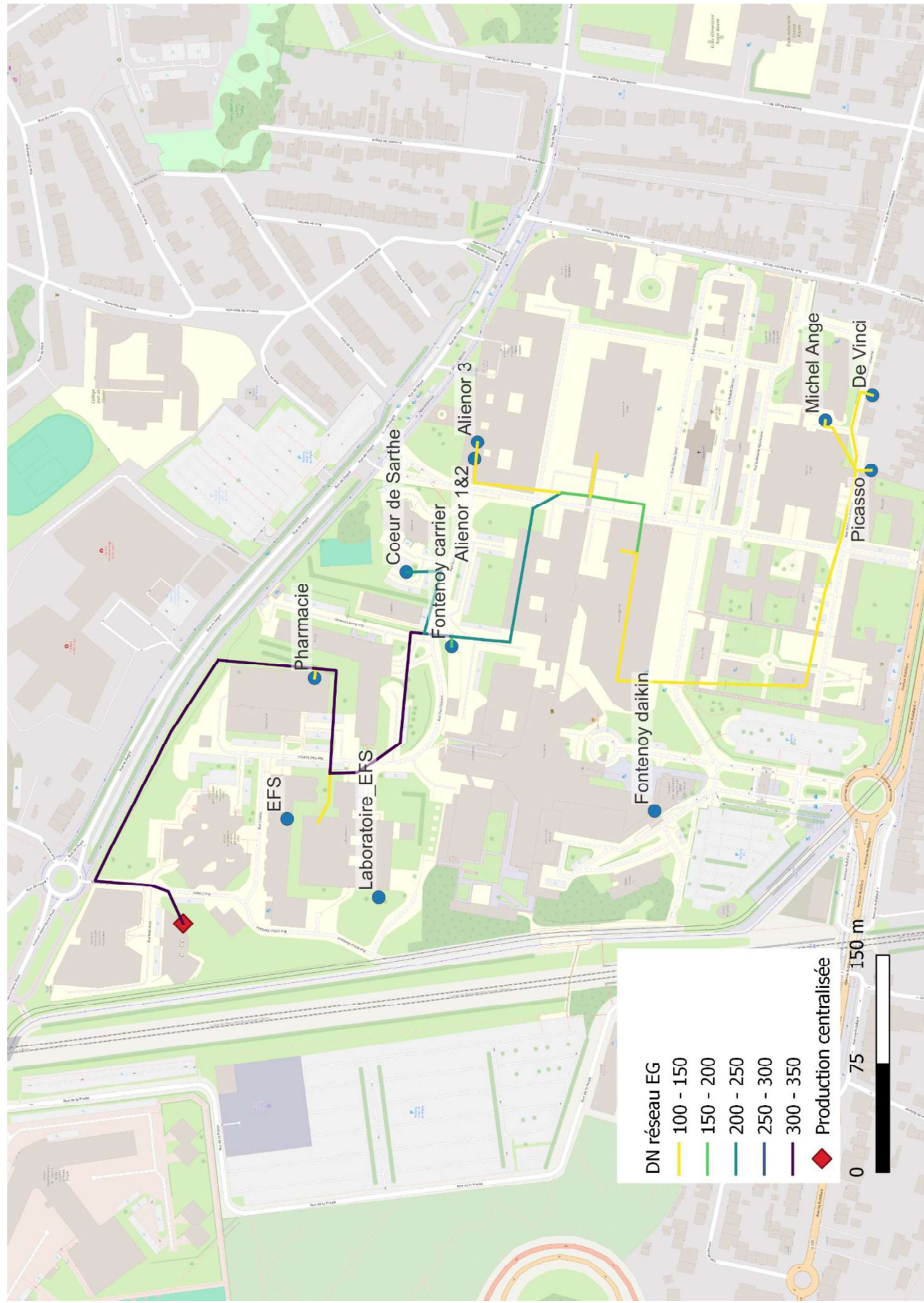
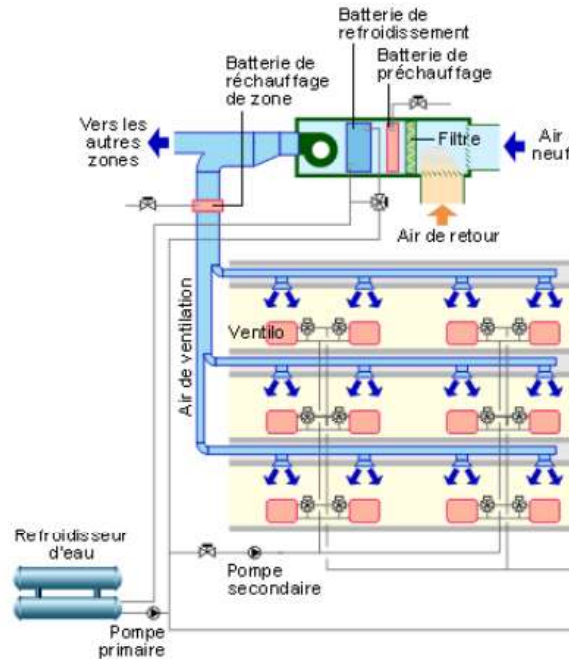


FIGURE 10 : DIAMETRES DES CANALISATIONS DU RESEAU EG

4. Etat de l'art des technologies de production de froid

Dans un système de climatisation par boucle à eau glacée, la production distribuée de l'eau froide à 6°C qui alimentera la batterie de refroidissement du caisson de traitement d'air. Cet air froid compensera les apports de chaleur du soleil, des équipements électroniques, des occupants, de telle sorte que le bilan chaud-froid soit à l'équilibre et que la température de consigne soit maintenue dans les locaux.



Circuit d'eau glacée pour l'air neuf et les ventilo-convecteurs.

FIGURE 11 : EXEMPLE DE CIRCUIT D'EAU GLACÉE ALIMENTANT DES VENTIL-CONVECTEURS

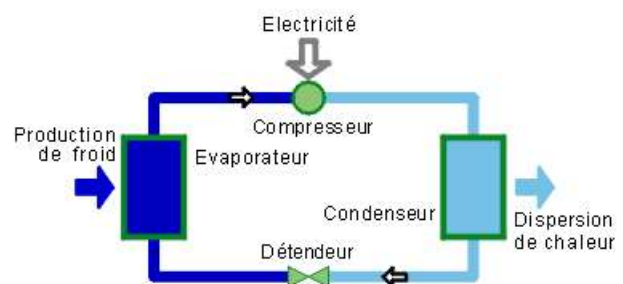
Produire du froid implique d'évacuer de la chaleur. Aussi, à l'extérieur du bâtiment et souvent en toiture, un équipement est chargé de refroidir le fluide frigorigène.

Différentes technologies de production de froid ont été étudiées et sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.1. Groupes froids à compression

Dans un système classique de production de froid à compression, le fluide frigorigène passe successivement par un évaporateur, compresseur, condenseur et détendeur. La consommation électrique du groupe froid est liée à la compression mécanique du fluide par le compresseur. Le froid est produit au niveau de l'évaporateur, où le fluide frigorigène absorbe la chaleur du milieu à refroidir pour son évaporation à basse température.

La chaleur est évacuée au niveau du condenseur, échangeur thermique entre le fluide frigorigène et un fluide de refroidissement. On distingue deux familles suivant le fluide de refroidissement utilisé : les condenseurs à eau et les condenseurs à air.



Machine frigo traditionnelle.

4.1.1. Groupes d'eau glacée à condensation par air

L'évacuation de la chaleur du circuit frigorifique est assurée par la circulation d'air à travers le condenseur. L'air extérieur est utilisé dans ces installations.

Les condenseurs à air utilisent l'air extérieur, un fluide gratuit et disponible en abondance, ce qui est un avantage majeur. L'entretien de ces échangeurs est simple et réduit. Il n'y a aucun risque de gel en hiver.

Cependant, ils ont un coefficient d'échange global relativement faible, nécessitant des surfaces d'échange plus grandes, ce qui les rend plus imposants et plus lourds. De plus, les ventilateurs nécessaires pour la circulation de l'air consomment de l'électricité et génèrent du bruit, et l'efficacité des condenseurs diminue avec l'altitude. Les performances sont affectées par les températures extérieures :

- En effet, en hiver, les températures de condensation sont basses, entraînant une diminution de la pression de condensation. Or le débit des détendeurs dépend directement de la différence de pression entre l'entrée et la sortie. Cette situation peut mener à un approvisionnement insuffisant en fluide frigorigène pour l'évaporateur.
- Les températures de condensation élevées en été entraînent une réduction des performances de la machine frigorifique.



4.1.2. Groupes d'eau glacée à condensation par eau

Les condenseurs à eau sont avantageux en raison de leurs excellents coefficients d'échange thermique, leur compacité (à puissance égale par rapport aux condenseurs à air), et la stabilité des températures de condensation qu'ils offrent.

Dans les condenseurs à eau perdue, l'eau de refroidissement est évacuée après passage dans le condenseur. Lorsque l'eau réchauffée dans le condenseur est envoyée dans un dispositif où elle se refroidit, on a une installation à eau recyclée. Ces derniers, bien qu'économiques en termes de consommation d'eau, nécessitent des dispositifs plus importants qui augmentent l'encombrement, le coût et le bruit. Un entretien régulier est également nécessaire pour traiter l'eau et prévenir le tartre.



4.1.3. Comparaison des groupes eau glacée à condensation à air et à eau

Les principaux fabricants de groupes froids à compression sont :

- Carrier
- Trane
- Daikin

Leur gamme de produit comprend des machines air-eau allant jusqu'à 1500kW environ et des machines eau-eau pouvant aller jusqu'à 9-10MW pour des technologies centrifuge.

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques d'équipements envisagés pour notre étude, pour des puissances froides allant de 1MW à 2MW, en technologie condensation air et condensation eau :

	Mode froid		Mode récupération d'énergie totale
Modèle	Condenseur à air EWAHH10TZXR2_@+35°C	Condenseur à eau EWWHC11VZXSA2	Condenseur à air EWAHH10TZXR2_@+35°C
Compresseur	Compresseur monovis semihermétique à vitesse variable	Compresseur monovis inverter et VVR	Compresseur monovis semihermétique à vitesse variable
Performances			
Puissance frigorifique (evap)	1032 kW	1007 kW	977 kW
Puissance de récupération (cond)	Sans recup	Sans recup	1006 kW
Puissance absorbée	327 kW	188 kW	411 kW
Efficacité frigorifique	EER 3,154	5,364	TEER 4,832
Puissance / Pression sonore		107 dBA / 88 dBA à 1m	94 dBA / 61 dBA à 10m (Très bas niveau sonore)
Entrée/sortie d'eau évapo	12°C/6°C	12°C/6°C	12°C/6°C
Entrée sortie d'eau cond		27°C/32°C	45°C/50°C
Réfrigérant	R1234ze	R1234ze	R1234ze
Charge réfrigérant	150	270	150
Données physiques			
Longueur	11,26	4,5	11,26
Largeur	2,24	1,58	2,24
Hauteur	2,55	2,3	2,55
Poids en fonctionnement	10,39 t	7,13t	10,39 t
Données financières			
Prix unitaire HT (fourniture hors pose)			

TABLEAU 4 : DONNEES TECHNIQUES FABRICANT DAIKIN

		AIR/EAU			EAU/EAU SUR DRYCOOLER (DRY NON CHIFFRE)		
Modèle	GVAF 420 XSE	RTAF 470 HSE	RTAF 470 HSE THR	GVWF 160 G	RTWF 420 HSE	GVWF 540 XSE	RTHF 780 HSE
Compresseur	Paliers magnétiques	Compresseur à vis	Compresseur à vis	Palier magnétiques	Compresseur à vis	Paliers magnétiques	Compresseur à vis
Performances							
Puissance frigorifique (evap)	1366 kW	1540 kW	1518 kW	514 kW	1146 kW	1932 kW	2200 kW
Puissance de récupération (cond)	sans recup	sans recup	1947 kW	656 kW	1509 kW	2346 kW	2912 kW
Puissance absorbée	417 kW	543 kW	436 kW	147 kW	365 kW	421 kW	713 kW
Efficacité frigorifique	EER 3,25	EER 2,81	TER 7,95	EER 3,48	EER 3,14	EER 4,59	EER 3,08
Puissance / Pression sonore	99 dBA / 66 dBA à 10m	101 dBA / 68 dBA à 10m	101 dBA / 68 dBA à 10m	85 dBA / 68 dBA à 10m	98 dBA / 66 dBA à 10m	102 dBA / 82 dBA à 10m	109 dBA / 77 dBA à 10m
Entrée/sortie d'eau évapo	11°C/6°C	11°C/6°C	11°C/6°C	11°C/6°C	11°C/6°C	12°C/7°C	11°C/6°C
Entrée sortie d'eau cond			25°C/32°C	42°C/47°C	45°C/50°C	27°C/32°C	42°C/47°C
Réfrigérant	R1234ze	R1234ze	R1234ze	R1234ze	R1234ze	R1234ze	R1234ze
Charge réfrigérant	320	222	222	130	290	260	570
Données physiques							
Longueur	13,5m	13,5m	13,5m	2,98m	4,77m	5,44m	5,52m
Largeur	2,2m	2,2m	2,2m	1,12m	1,82m	2,14m	2,08m
Hauteur	2,53m	2,55m	2,55m	1,92m	2,13m	2,31m	2,46m
Poids en fonctionnement	7,8t	10,6t	11,8t	2,3t	7,6t	8,1t	13,9t
Données financières							
Prix unitaire HT (fourniture hors pose)							

TABLEAU 5 : DONNEES TECHNIQUES FABRICANT TRANE

Spécificités du compresseur monovis

Les compresseurs monovis ont remplacé les compresseurs à pistons qui nécessitent de plus grands volumes d'air sous haute pression. Ils sont couramment utilisés dans les groupes d'eau glacée générant une charge frigorifique moyenne à réduite, généralement jusqu'à 2 100 kW.

Avantages	Description	Inconvénients
Fiabilité et durabilité	Durée de vie jusqu'à 10 000 heures supérieure.	
Réduction du risque de défaillance	Seulement trois composants mobiles.	
Coûts de fonctionnement bas	Nombre limité de composants mobiles.	
Efficacité énergétique	Intégration de technologies comme le VVR et l'Inverter.	
Silencieux et propre	Fonctionnement silencieux et propre.	
Efficacité sous charge partielle	Efficacité élevée sous charge partielle.	
		Temps de refroidissement nécessaire

VVR (Volume de Réfrigérant Variable) : Ajuste le débit de réfrigérant selon les besoins thermiques, optimisant la gestion thermique et l'économie d'énergie.

Inverter : Régule la vitesse du compresseur pour un fonctionnement en continu, atteignant plus rapidement la température souhaitée et limitant la dépense énergétique.

Spécificités du compresseur à paliers magnétiques

Le compresseur à sustentation magnétiques repose sur le principe de paliers magnétiques sans huile. Un palier magnétique est un dispositif qui fait léviter l'axe par le biais d'un champ magnétique, assurant ainsi un fonctionnement sans contact. L'absence de contraintes mécaniques a pour effet d'améliorer le rendement du compresseur. La puissance électrique absorbée diminue fortement, ce qui contribue à l'amélioration de la performance énergétique du chiller.

Avantages	Description	Inconvénients
Performances constantes et durables	Usure mécanique de l'axe évitée, conserve les performances du compresseur sur sa durée de vie	
Fiabilité optimisée	Fonctionnement sans huile qui élimine le risque de fuite	
Maintenance facilitée	Plus de contrôle du circuit d'huile, pas de problématique recyclage d'huile usagée	
Fonctionnement plus silencieux	Bruit de roulement et vibrations diminué	
Empreinte carbone améliorée	Evite le risque de pollution par fuite d'huile, et recyclage de fluide usagé.	
		Investissement plus conséquent

Les conclusions qui ressortent de ce comparatif sont les suivantes :

- ⇒ Diminuer la température de condensation améliore l'efficacité de la machine frigorifique.
- ⇒ Les groupes eau-eau présentent une efficacité frigorifique supérieure aux groupes air-eau à puissance équivalente. Cependant leur EER devient équivalent quand on y intègre la consommation des tours de refroidissement pour les condenseurs eau-eau.
- ⇒ Les compresseurs à paliers magnétiques présentent une efficacité frigorifique supérieure aux compresseurs à vis.
- ⇒ Les machines air-eau sont beaucoup plus encombrantes que les machines eau-eau (11 à 13m de long contre 4 à 5m de long)
- ⇒ Les machines air-eau sont plus lourdes que les machines eau-eau (10t contre 7t en fonctionnement).
- ⇒ Les machines air-eau étant placées en extérieur sont plus sensibles aux dégradations liées aux intempéries.

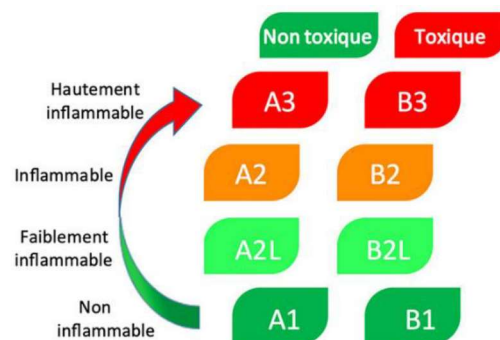
4.1.4. Fluides frigorigènes

Les différents fabricants nous ont tous orientés vers des machines fonctionnant au R1234ze. Ce fluide est utilisé dans une large gamme d'applications, notamment les systèmes de refroidissement industriels et commerciaux, les unités de climatisation pour les bâtiments résidentiels, tertiaires et industriels, les pompes à chaleur, et les installations de refroidissement de data centers.

D'autres alternatives existent à ce fluide qui respectent également les exigences de la réglementation en matière de fluides frigorigènes. Cependant ces fluides présentent d'autres contraintes : toxicité, inflammabilité, encombrement des machines...

La classification ASHRAE évalue le caractère toxique inflammable des fluides selon l'échelle suivante :

A noter que le remplacement d'un fluide frigorigène au sein d'installations existantes se limite à la même classe de protection.



Ci-dessous un comparatif des caractéristiques de différents fluides frigorigènes.

Existant	PRG	Avantages	Inconvénients	
R134A	1430			Concernés par projet de loi sur l'interdiction des PFAS
R410A	2100		GWP>750	
R407C	1800		Augmentation du coût à prévoir en raison d'une baisse de la disponibilité du fluide	
R1234ZE	7	Faible PRG Non toxique non inflammable dans les conditions d'utilisation courantes	Puissance frigorifique plus faible que R134A Inflammabilité forte en cas d'incendie ou de chaleur excessive	

Autres alternatives			
CO2 (R744)	1	Puissance frigorifique volumétrique élevée Fluide naturel largement disponible Non toxique non corrosif Faible PRG	Machines volumineuses dû à une pression de fonctionnement élevée (80, 100 bar voire plus) Nécessite des équipements de circuit et de sécurité performants liés à la pression, donc des coûts importants Mise en œuvre encore peu maîtrisée, proposé par peu de fabricants
Ammoniac (R717)	0	Energie d'évaporation spécifique élevée Faible PRG	Toxicité et inflammabilité : contraintes d'exploitation Sécurité des installations Principalement utilisé dans des installations industrielles pour du froid négatif
Propane (R290)	3	Bonne propriétés thermodynamiques Faible PRG	Hautement inflammable

L'ammoniac et le propane ont été écartés de l'étude pour leurs contraintes d'exploitation liées à la sécurité des installations, mais le CO2 apparait comme une alternative intéressante à étudier.

Le **R744 (ou CO2)** est un fluide non toxique non corrosif et ayant un faible impact environnemental. En revanche les pressions de service de ces machines sont très élevées, ce qui induit un encombrement des machines, et des coûts importants liés aux équipements de sécurité.

Trane par exemple ne propose aujourd'hui pas de groupes fonctionnant au CO2.

Carrier propose des produits à détente directe qui alimentent des évaporateurs terminaux aux CO2 et ne produisent pas d'eau glacée.

Engie commercialise la gamme Thermeco2 de pompes à chaleur CO2/eau, pour des puissances allant de 130 à 1000kW. Ces pompes à chaleurs sont adaptées pour des utilisations dans le tertiaire, pour les réseaux de chaleur et de froid, et dans des process industriels. Leur solution a par exemple été mise en place pour l'hôpital de Francfort, pour de la production simultanée de chaleur et de froid :

- 50kW de production d'eau chaude à 80/40°C
- 33kW de production d'eau glacée à 6/12°C
- COP chauffage et froid combiné de 5,2

Dans le cadre d'une centralisation du froid, cette solution serait donc intéressante pour la configuration actuelle de l'hôpital du Mans, qui dispose de sa chaufferie centrale et d'un réseau de chauffage à 95°/60° en hiver et 80°/60° en été.

Le futur réseau de chaleur du Mans Nord prévoit les conditions de fonctionnement suivantes :

- Fluide primaire (en amont de l'échangeur) :
 - Maximum : 105° C pour les conditions extérieures de base, soit - 7°C ;
 - Minimum : 65°C.

- Fluide secondaire (en aval de l'échangeur) :
 - Chauffage - Maximum : 90° C pour les conditions extérieures de base, soit - 7° C ;
 - Température retour secondaire : **inférieur à 62°C**

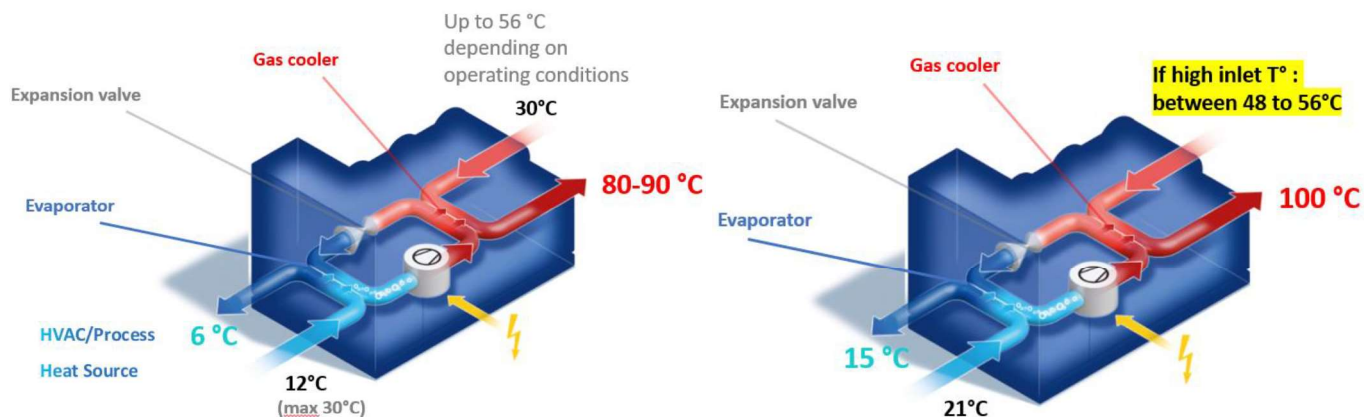


FIGURE 12 : CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT STANDARD THERMECO2

Une production d'eau glacée à 6/12°C n'est donc pas compatible avec un raccordement au réseau de chaleur, dont le souhait est d'abaisser au maximum les températures retour pour une valeur maximale à priori de 62°C.

D'autre part si la température d'entrée au condenseur est élevée comme c'est le cas pour les retours de réseau chauffage (48 à 56°C), le seul régime de fonctionnement compatible à l'évaporateur est de 15/21°C, trop élevé pour la production d'eau glacée envisagée.

HK Refrigeration commercialise des centrales CO2 transcritiques pour des gammes de puissance allant de 12kW à 1000kW pour de la moyenne température, et 7kW à 120kW pour de la basse température.



FIGURE 13 : CENTRALE CO2 TRANSCRITIQUE HK REFRIGERATION

Ci-dessous le comparatif d'une production au CO2 et au R1234ze, pour une puissance froide de 1MW :

	CO2		R1234ze	
Puissance froid	1000	kW	1000	kW
COP refroidissement	2,22		2,86	
Conso élec groupe	450	kW	365	kW
P à évacuer	1406	kW	1365	kW
Nb heures fonctio	3148	h	3148	h
Prod froid	3148	MWh annuel	3148	MWh annuel (1MW)
Conso élec	1493	MWh élec annuel groupe + tours	1280	MWh élec annuel groupe + tour

Caractéristiques techniques

	Groupe CO2 2x500kWf	Groupe R1234ze à vis 1,2MWf	
Poids	2x 3,4 = 6,8t	7,6	t
Longueur	2x 7,4	4,8	m
Largeur	2x 1	1,8	m
Hauteur	2,4	2,1	m
Tours de refroidissement			
Nombre	2	1	unités
Longueur	9	12,4	m
Largeur	1,2	3	m

- ⇒ L'emprise des groupes seuls est d'environ 30m² pour du CO2 contre 9m² pour du R1234ze.
- ⇒ Les tours de refroidissement associées occupent 22m² pour le CO2 contre 37m² pour le R1234ze.

Bilan enviro			
Elec	64	gCO2e/kWh	
CO2		R1234ze	
Electricité	96	82	teq CO2
Fluide frigo	-	2	teq CO2
Total	96	84	teq CO2

- ⇒ Les émissions liées à la consommation d'électricité des groupes froids sont supérieures dans le cas de la centrale au CO2 en raison d'une puissance électrique supérieure.

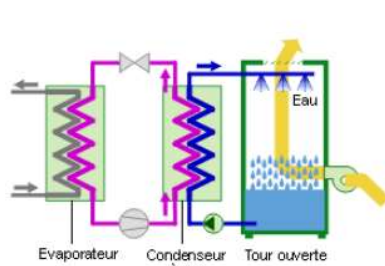
Bilan financier en coût global		Pour 1MW froid	
	CO2	R1234ze	
P1 Electricité (150e du MWh)			
P2 Entretien			
P3 MRE (1% coût install)			
Coût groupe (dont pose)			
Coût tour de refroidissement adiabatique (dont pose)			
Total			
Invest prod amorti sur 20 ans			
Total HT			
Total TTC			

- ⇒ Le bilan énergétique et financier est en faveur du R1234ze, c'est donc le fluide qui sera retenu pour la suite de l'étude.

4.1.5. Typologies d'aéroréfrigérants pour condenseurs à eau

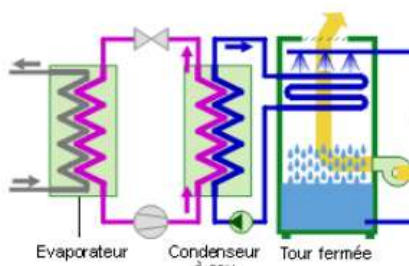
Les tours de refroidissement sont conçues pour économiser l'eau utilisée dans les condenseurs. Elles fonctionnent en exposant l'eau chaude à un courant d'air, provoquant l'évaporation d'une partie de l'eau et le refroidissement de la fraction restante. Cette eau refroidie est ensuite réutilisée dans le condenseur. Il existe deux types principaux : les tours à circuit ouvert et les tours à circuit fermé. Les tours à circuit fermé évitent la pollution de l'eau et les problèmes de corrosion, mais elles entraînent une température de condensation plus élevée et une consommation énergétique accrue.

Enfin, le dry-cooler est similaire à un condenseur à air, mais s'en différencie car il fait circuler de l'eau glycolée à travers des tubes ailetés au lieu du fluide frigorigène. Cet échangeur eau/air est efficace toute l'année, notamment grâce à l'ajout d'un antigel. Il est avantageux pour refroidir à distance le condenseur d'une installation frigorifique, tout en évitant la consommation d'eau et en maintenant le circuit hydraulique propre.



Tour ouverte

- eau traversant le condenseur pulvérisée devant un ventilateur



Tour fermée

- l'eau venant du condenseur reste dans un circuit tubulaire mais est arrosée par un jet d'eau de refroidissement



Dry cooler

- eau directement refroidie par l'air

FIGURE 14 : TYPES DE TOURS DE REFROIDISSEMENT

Ci-dessous les données techniques d'un modèle d'aéroréfrigérant et d'une tour de refroidissement adiabatique à puissance évacuée équivalente :

Technologie	Aéroréfrigérant à haut rendement	Aéroréfrigérant sec avec pré-refroidisseur adiabatique
Modèle	JQ4C 2A90.6 / 2	TRF 1038E-C80EQ77E
Fabricant	TRANE	Baltimore Aircoil Company
Performances		
Puissance évacuée	1526 kW	1195 kW
Puissance élec nominale	56,4 kW	57 kW
Pression sonore Lp	61 dBA à 10m	63 dBA à 15m
Température d'entrée de l'air	35.0°C	38.0°C (température au bulbe sec)
Type de fluide	Ethylène glycol 30%	30% EG
Température d'entrée fluide	47°C	33,5°C
Température sortie fluide	42°C	28,5°C
Données physiques		
Longueur	12,5m	12,4m
Largeur	2,3m	2,9m
Hauteur	2,9m	2,9m
Poids	7,5t (à vide)	9,1t (à vide) 11,5t (en opération)
Données financières		
Prix unitaire HT (fourniture hors pose)		

Les aéroréfrigérants secs présentent plusieurs avantages :

- ⇒ Ils sont moins encombrants que les tours de refroidissement adiabatiques (dimensions équivalentes pour une puissance évacuée supérieure)
- ⇒ Ils sont également moins lourds (7,5t à vide contre 9t)
- ⇒ Leur coût d'investissement est moins élevé.

Cependant les tours adiabatiques présentent des avantages opérationnels sur les aéro sec en particulier en période estivale :

- ⇒ La température de sortie d'eau d'un dry cooler en période caniculaire entraîne un rendement du groupe froid fortement dégradé
- ⇒ Les dry-coolers génèrent en outre des îlots de chaleur en été car l'air qu'ils rejettent est à une température très supérieure à celle de l'air ambiant.

4.1.6. Thermofrigopompes

La thermofrigopompe peut fonctionner selon trois modes de fonctionnement : chauffage seul, refroidissement, ou simultané.

La particularité par rapport à une pompe à chaleur est donc la possibilité de production simultanée en froid et en chaud, qui la rend particulièrement adaptée pour des immeubles d'habitation, bâtiments tertiaires ou industrie ayant des besoins de chauffage et refroidissement toute l'année. Les installations sont simplifiées, et l'espace technique nécessaire est réduit.

L'efficacité du système est d'autant meilleure que l'écart de température entre les sources est grand. Il existe des technologies capables de s'adapter à des charges variables, et l'efficacité maximale du système est atteinte avec des charges simultanées. Ce système permet d'atteindre des performances supérieures à celles d'une pompe à chaleur à écart de température égal, en particulier en matière de froid. Le Total Efficiency Ratio (TER, somme des puissances chauffage et refroidissement rapportées à la puissance électrique absorbée) atteint des valeurs supérieures à 7 quand les charges sont équilibrées.

Ci-dessous une illustration de la gamme Integra (CLIMAVENETA - Mitsubishi electric), capable de fonctionner pour des charge variables côté froid et côté chaud, et présentant donc une grande flexibilité opérationnelle, pour des installations complexes ayant des besoins en chaud et en froid simultanés.

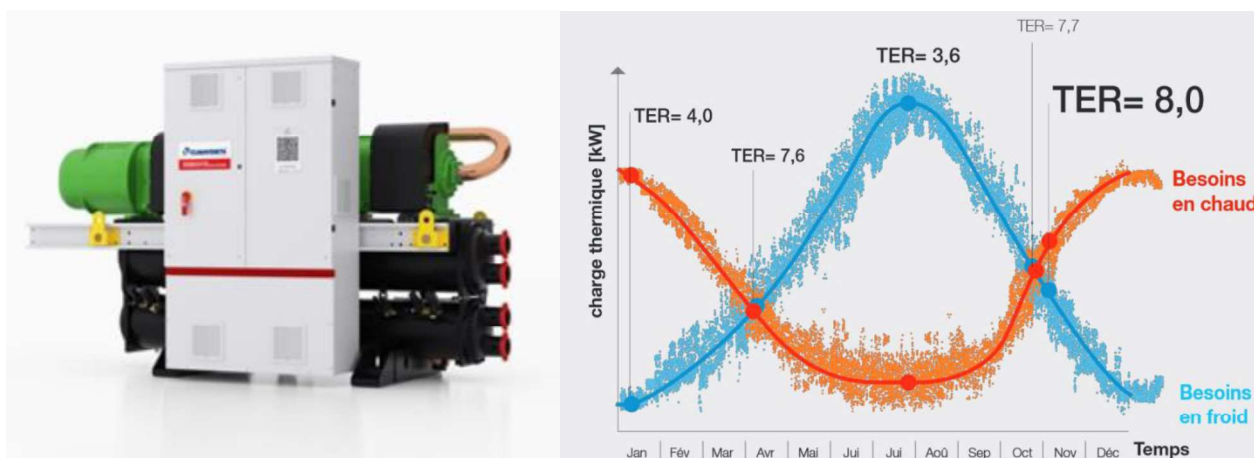


FIGURE 15 : POMPE A CHALEUR EAU/EAU HAUTE EFFICACITE (GAUCHE) / TER DE LA THERMOFRIGOPOMPE EN FONCTION DES BESOINS FROID ET CHAUD (DROITE)

Pour maximiser le temps de fonctionnement de la machine, le critère dimensionnant est le talon de consommation froid en hiver (470kW). Pour des retours chauffage à 55°C et 50°C (en entrée condenseur), les performances attendues sont les suivantes :

	Retours à 55°C	Retours à 50°C
Production de froid annuelle	2795 MWh	2980 MWh +6,6%
Production de chaleur annuelle	4050 MWh	4150 MWh +2,5%
Couverture de la consommation de chaleur annuelle	19,7%	20,1%
Consommation électrique	1395 MWh	1295 MWh -7,2%
TER (Total Efficiency Ratio)	5,44	6,14 +12,9%

Hypothèses de fonctionnement : 8760h annuelles, 90% de disponibilité, 90% de foisonnement

TABLEAU 6 : INDICATEURS DE PERFORMANCE DE LA THERMOFRIGOPOMPE

Il est donc très intéressant d'abaisser les températures côté condenseur pour optimiser l'efficacité de la machine.

NOTA : Il conviendra d'ajouter les éléments de régulation externes nécessaires pour ne pas envoyer de l'eau trop chaude au condenseur (supérieure à 65°C), précaution importante pour protéger la machine.

- ⇒ **Dans le cadre de notre étude, une TFP dimensionnée à 420kW froid permettrait donc de couvrir le talon d'appel de puissance froid toute l'année à hauteur de 420kW, tout en fournissant environ 4GWh chaud (20% des besoins en chaleur du site) sans consommation énergétique supplémentaire.**

4.2. Groupes à absorption

La particularité des machines frigorifiques à absorption est de consommer essentiellement de l'énergie calorifique et non de l'énergie mécanique. D'emblée cette machine se révèle intéressante lorsque l'on dispose de chaleur gratuite rejetée par une installation thermique ou un processus industriel, à la condition que cette chaleur perdue ait un niveau de température suffisamment élevé, supérieur à 80 degrés minimum voir 90°C.

Le couple de fluide principalement utilisé (eau/bromure de lithium) ne pose aucun problème de toxicité ; le couple eau/ammoniac étant généralement utilisé pour des applications de froid négatif. Les machines sont silencieuses et n'engendrent que peu de vibrations. En revanche le COP est bien inférieur à celui des machines frigorifiques à compression mécanique. Les puissances thermiques à évacuer vers l'extérieur sont importantes, le refroidissement direct n'est pas envisageable (tours de refroidissement nécessaires avec ce type de machines). Elles présentent un type de panne spécifique : la cristallisation, en cas de conditions de fonctionnement anormales, entraînant un taux de bromure de lithium trop élevé dans la machine. Pour limiter ce risque il est nécessaire :

- De limiter la température du local accueillant la machine absorption à 40°C
- De mettre en place une régulation adaptée pour éviter une température d'eau de refroidissement trop basse ou une température de source chaude trop élevée. Eventuellement ajout d'un groupe électrogène (10-20kW) pour sécuriser le groupe en permettant de faire une mise à l'arrêt standard.

- D'assurer une maintenance régulière.

D'autre part les machines à absorption supportent mal les variations de charge, et leur performance est directement liée à la température de la source chaude.

Enfin une machine à absorption nécessite environ 30min lors de sa mise en route pour atteindre sa pleine capacité, les groupes à compression sont donc à privilégier si besoin de réactivité.

Quelques fabricants sont aujourd'hui présents en France :

- YAZAKI
- YORK
- BROAD
- THERMAX

Les machines à absorption peuvent fonctionner en mode froid, pompe à chaleur ou thermofrigopompe :

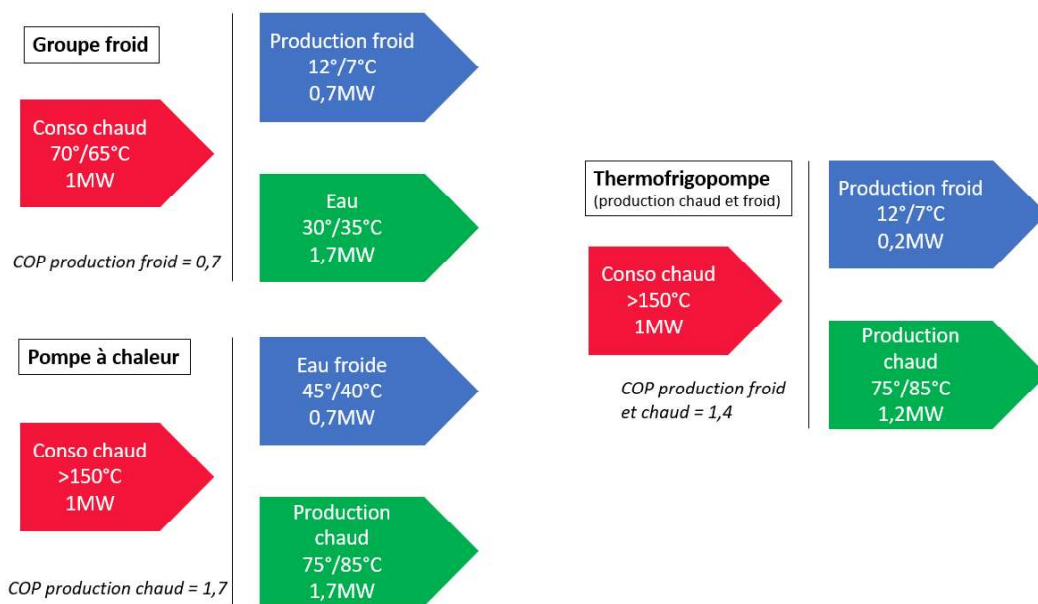


FIGURE 16 : MODES DE FONCTIONNEMENT POSSIBLES DES MACHINES A ABSORPTION

YORK propose des machines à absorption en mode chiller ou pompe à chaleur, avec une gamme allant de 400kW à 7000kW. Ils ne proposent aujourd'hui pas de machine en fonctionnement thermofrigopompe. De plus la production de chaleur par absorption nécessite la disponibilité d'une source de chaleur à environ 150°C, ce qui n'est pas le cas dans notre étude. En fonctionnement chiller pour une production à 7°/12°C, les coefficients de performance atteignables sont d'environ 0,7 pour une source chaude à 105°C, et 0,5 pour une source à 53°C. Il faut donc 1,4MW à 105°C pour produire 1MW de froid.



FIGURE 17 : GROUPE A ABSORPTION YORK VERSION CHILLER

YAZAKI propose des groupes de production d'eau glacée à absorption pouvant fonctionner en thermofrigopompe, pour des capacités frigorifiques allant de 20kW à 350kW (gamme WFC indirect eau chaude). Cependant les températures de réjection de chaleur (35°C) ne sont pas adaptées à une valorisation telle qu'envisagée pour le CH Mans.

Modèle	Capacité de refroidissement	Source de chaleur primaire (eau chaude)	Réjection de chaleur
WFC SC 5	17.6 kW	25 kW	42.7 kW
WFC SC 10	35 kW	50 kW	85.4 kW
WFC SC 20	70 kW	100 kW	170.8 kW
WFC SC 30	105 kW	151 kW	256.2 kW
WFC SC 50	176 kW	251 kW	427 kW
WFC M 100	352 kW	502 kW	855 kW

FIGURE 18 : GAMME WFC FABRICANT YAZAKI

MAYEKAWA propose des machines à adsorption sur zéolite en mode chiller compatibles avec des sources de chaleur de l'ordre de 68°C, pour des puissances frigorifiques de 92 à 370kW. En revanche l'eau glacée est produite à un régime de température 9°C/15°C, supérieure à la solution retenue pour le réseau de froid du CH Mans.

TYPE			ADR-Z3515	ADR-Z3525	ADR-Z6025
Chilled water	Capacity	kW	92,0	184,0	369,0
	Inlet	°C	15,6		
	Outlet	°C	9,0		
	Flow rate	m³/h	12,0	24,0	48,0
	Fluid	-	Normal water ¹⁾		
Heat source water	Capacity	kW	200,0	400,0	801,0
	Inlet	°C	75,0		
	Outlet	°C	66,9		
	Flow rate	m³/h	21,3	42,6	85,3
	Fluid	-	Normal water ¹⁾		
Cooling water	Capacity	kW	301,0	602,0	1205,0
	Inlet	°C	29,0		
	Outlet	°C	34,2		
	Flow rate	m³/h	49,5	99,0	198,0
	Fluid	-	Normal water		
Refrigerant Pump		kW	0,40	0,55	1,10
Vacuum Pump		kW	0,40	0,40	0,75

FIGURE 19 : CARACTERISTIQUES DE LA GAMME ADSORPTION MAYEKAWA AdREF-NOA

Après consultation d'un constructeur (YORK) et au vu des caractéristiques du projet (températures du futur RCU Le Mans nord réduites en été, profil d'appel de puissance froid annuel), la solution cascade avec absorption suggérée serait :

- Un groupe à absorption chiller de 1MW à simple effet, qui fonctionnerait en talon de puissance appelée (**talon de charge partielle de la machine : 30%**).

Au vu de la monotone de froid du site, ce groupe fonctionnerait environ 3400h sur l'année.

- Complété par un groupe à compression à eau à paliers magnétiques de 500 kW (Rappel : besoin froid < 1,5MW 80% du temps), pour maximiser le temps de fonctionnement et amortir l'investissement d'une technologie à paliers ;
- Des groupes à compression à vis classiques, pour répondre aux appels de puissance maximaux en pointe.

Pour évaluer l'intérêt de cette solution il faut mettre en regard :

- La consommation électrique par rapport à la production de froid, en comparaison d'une solution groupe à compression classique (technologie eau-eau, compresseur à vis) ;
- La consommation de chaleur induite pour la production de froid par absorption ;
- Le bilan environnemental de chaque solution, selon le mix énergétique du RCU, le contenu carbone moyen de l'électricité produite en France et l'impact environnemental du fluide frigorigène pour la solution à compression ;
- Le surcoût d'investissement puis les économies en coûts d'exploitation sur 20 ans ;
- L'emprise au sol et le poids des machines (à puissance égale, un groupe à absorption est environ deux fois plus gros qu'une PAC électrique et quatre fois plus lourd).
- La puissance à évacuer aux tours de refroidissement dans les deux cas : prix, emprise et poids des refroidisseurs.

Ci-dessous les caractéristiques des deux types de production comparées, pour une puissance froide de 1MW :

Sélection	Absorption		Compression	
Puissance froid	1000	kW	1000	kW
COP refroidissement	0,75	pour une source chaude à 85°C	2,86	compresseur à vis
Régime evap	30-35°C		45-50°C	
Conso élec groupe	9,7	kW	365	kW
P source chaude	1333	kW		
P à évacuer	2333	kW	1365	kW
Performance	Absorption		Compression	
Nb heures de fonctio	3400	h	3400	H
Prod froid	3400	MWh annuel	3400	MWh annuel
Conso élec	421	MWh élec annuel groupe + tours	1383	MWh élec annuel groupe + tour
Conso chaleur	4 857	MWh annuel (hypothèse EER moyen 0,7)		

Caractéristiques techniques

	Groupe absorption 1MWf	Groupe compression à vis eau-eau 1,2MWf	
Poids en fonctionnement	33,2 (emergency weight)	7,6	t
Longueur	5,7	4,8	m
Largeur	2,35	1,8	m
Hauteur	3,2	2,1	m
Tours de refroidissement adiabatiques			
Nombre	2	1	unités
Longueur	12,4		m
Largeur	3		m

⇒ Le poids du groupe à absorption si les tubes perçent peut nécessiter le renfort de la dalle béton du sol du local technique. L'emprise au sol est légèrement plus élevée pour le groupe à absorption.

Bilan environnemental²

Biomasse (84%)	24	gCO ₂ e/kWh énergie finale	
UVED (12%)	0	gCO ₂ e/kWh énergie finale	
Biogaz (4%)	227	gCO ₂ e/kWh énergie finale	
RCU Le Mans Nord	29,2	gCO ₂ e/kWh énergie finale	
Electricité produite en France	64	gCO ₂ e/kWh énergie finale	
Absorption		Compression	
Chaleur RCU	142	0	teq CO ₂
Electricité	27	88	teq CO ₂
Fluide frigo (R1234ze)	-	2	teq CO ₂
Total	169	91	teq CO ₂

⇒ L'équivalence en tonne CO₂ émise est défavorable pour la solution absorption, car malgré le faible contenu carbone du mix de production du RCU, la consommation énergétique de chaleur est nettement supérieure à la consommation électrique d'un groupe à compression pour la même production de froid. De plus, l'électricité produite en France est relativement décarbonée.

Bilan financier en coût global*Pour 1MW froid*

	Absorption	Compression à vis	
P1 Electricité (150€ du MWh)			HT
R1 chaleur RCU (37€ du MWh)			HT
P2 Entretien			HT
Surcoût abonnement R2 (85€ du kW) <i>Dont abattement 10%³</i>			HT
P3 MRE (1% coût install)			HT
Coût groupe (dont pose)			HT
Coût tour de refroidissement adiabatique (dont pose)			HT
Total			HT
Amortissement production sur 20 ans <i>Hors frais de financement éventuels</i>			HT
Total HT			
Total TTC			

NOTA : Le RCU prévoit deux tarifications, une de décembre 2025 à décembre 2026, et une à partir de décembre 2026. Les montants R1/R2 présentés ci-dessus prennent en compte la tarification à partir de 2027.

² Arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire

³ Le CH Mans ayant à priori une puissance souscrite supérieure à 10MW, il bénéficie d'un abattement de 10% sur son abonnement R2.

- ⇒ Le niveau de température du RCU en période estivale sera minimal, desservant uniquement les abonnés pour la production d'ECS (régime 80/60°C voir 70/60°C).
- ⇒ La performance du groupe à absorption est dégradée du fait de cette basse température de source chaude, au moment où les besoins en froid sont les plus élevés.
- ⇒ En conséquence, la quantité d'énergie finale consommée (chaleur + électricité) pour le fonctionnement du groupe à absorption est nettement plus élevée que celle d'une solution à compression, d'où un bilan énergétique, environnemental et financier défavorable pour la solution à absorption.
- ⇒ **C'est pourquoi cette solution ne sera pas retenue dans la suite de l'étude.**

4.3. Stockage de froid

La glace est le matériau idéal de stockage pour le froid, étant donné sa disponibilité, et sa chaleur de changement d'état. En effet 1kg de glace cède en changeant d'état l'équivalent de la chaleur nécessaire pour réchauffer 1L d'eau de 0°C à 80°C.

Les avantages d'un stockage de froid sont les suivants :

- Moins de puissance électrique souscrite
- Moins de puissance frigorifique installée
- Moins de fluide frigorigène et rejets associés
- Moins de tours de refroidissement, de condenseurs, et moins de nuisances associées
- Réduction des coûts d'exploitation (gestion des tarifications, amélioration du rendement des compresseurs).

La principale contrainte étant la surface occupée par les systèmes de stockage. A titre d'exemple, les surfaces nécessaires en litres d'eau glacée par m² de bâtiment climatisé sont présentées dans le tableau suivant :

Type de stockage	Volume d'eau glacée (L/m ²)
Saisonnier	10 000
Hebdomadaire	500
Journalier total	100
Journalier partiel	50

Les trois premiers types de stockage ne permettent pas de diminution de la puissance frigorifique installée, et les économies d'exploitation compensent difficilement les coûts de mise en œuvre. De plus les pertes thermiques sont augmentées avec la durée de stockage.

Aujourd'hui le stockage journalier partiel est la solution privilégiée, consistant à stocker environ la moitié de l'énergie journalière. En période d'inoccupation des locaux les compresseurs chargent le stockage, et pendant la journée ils alimentent directement les locaux, le complément de puissance étant prélevé sur le stockage. La durée de fonctionnement à pleine charge des compresseurs est augmentée, ce qui améliore le rendement de l'installation.

L'exploitation de chaleur latente (stockage de glace) permet de stocker une quantité d'énergie frigorifique beaucoup plus grande que sous forme de chaleur sensible (eau glacée) :

Stockage journalier partiel	
Type de stockage	Volume de la cuve de stockage (L/m ² de plancher climatisé)
Eau glacée	50
Glace	10

Ainsi les volumes de stockage sont considérablement réduits. En revanche la production de glace requiert plus d'énergie que celle d'eau glacée ; cette pénalité de rendement n'est pas si forte, car la glace est généralement fabriquée de nuit lorsque les températures de condensation sont plus basses.

La plupart des applications de climatisation utilisent un profil de charge journalier pour déterminer la quantité de glace à stocker :

- Pour les systèmes de climatisation conventionnels, les groupes froids sont sélectionnés pour la charge de pointe.
- Pour les systèmes de stockage de glace, les groupes froids sont sélectionnés en fonction d'une capacité totale en kWh de refroidissement requis et d'une stratégie de fonctionnement définie.

Les systèmes de stockage de glace offrent une grande flexibilité d'exploitation et permettent de varier les stratégies de fonctionnement tant qu'on ne dépasse pas le nombre de kWh total pour lequel ils ont été sélectionnés. C'est pour cette raison que le profil de charge doit être bien précisé lors de la conception d'un système de stockage de glace.

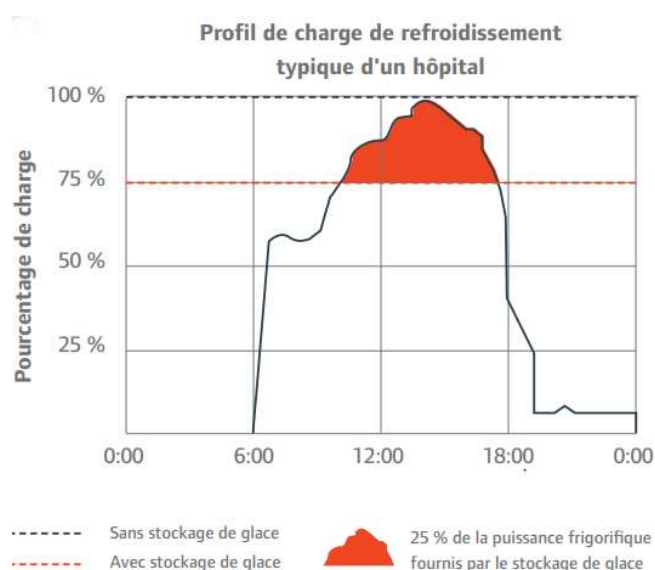
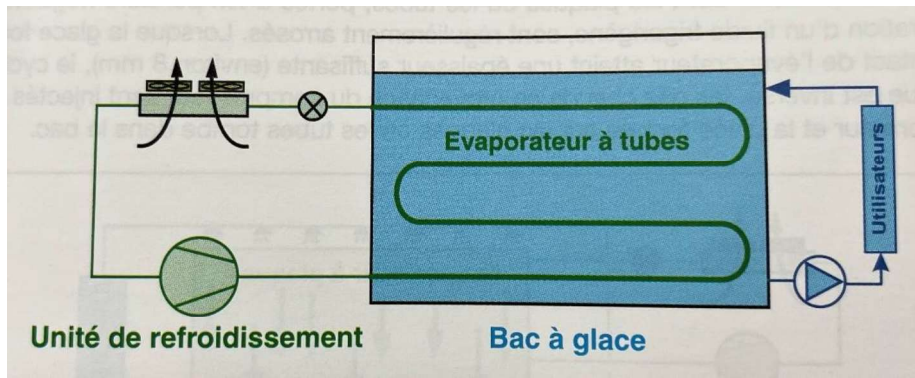


FIGURE 20 : PROFIL DE CHARGE DE REFROIDISSEMENT TYPIQUE D'UN HOPITAL⁴

On distingue les modes de stockage :

- Dynamique (glace sur tubes à fonte externe, glace moissonnée, boue de glace) : L'eau servant à fabriquer la glace est mise en circulation vers les utilisateurs. L'eau est en contact direct avec la glace stockée, ce qui permet d'obtenir des puissances de déstockage très importantes. En revanche étant des systèmes ouverts ils entraînent des contraintes d'exploitation importantes, et sont généralement privilégiés par les industriels pour qui des puissances importantes sous des faibles écarts de températures sont déterminantes.

⁴ TRANE : Solutions de CVC durables pour le secteur de la santé. Optimiser le refroidissement et la production d'eau chaude sanitaire

FIGURE 21 : PROCEDE GLACE SUR TUBES A FONTE EXTERNE⁵

- Statique (glace sur tubes à fonte interne, glace encapsulée) : L'eau servant à fabriquer la glace reste en permanence dans le réservoir de stockage. Un fluide spécifique intermédiaire (eau + antigel) permet de transférer l'énergie frigorifique depuis l'unité de refroidissement vers le réservoir de stockage, puis jusqu'aux utilisateurs. Ce procédé s'est imposé dans la plupart des domaines d'utilisation en particulier la climatisation, car ce sont des systèmes fermés dont la maintenance est quasi nulle et le contrôle simplifié.

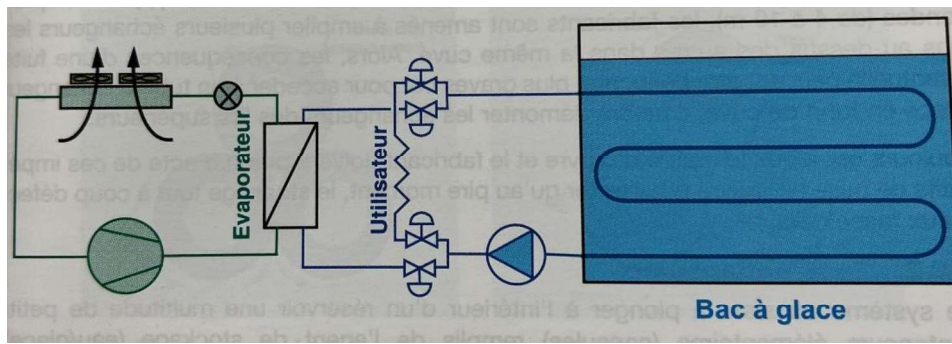


FIGURE 22 : PROCEDE GLACE SUR TUBES A FONTE INTERNE

Quelle que soit la technologie de stockage, il est indispensable de l'isoler afin de limiter les pertes thermiques par les parois. Le matériau mis en œuvre doit être un bon isolant thermique et un pare-vapeur efficace lorsqu'il est placé sur la paroi externe de la cuve, pour éviter la détérioration rapide du calorifuge. Le matériau peut ainsi être du type « verre cellulaire » ou « polyuréthane ». Le calorifuge des cuves soumises à la pression de service du réseau doit être placé à l'extérieur de celle-ci, tandis que les cuves non soumises à la pression du réseau peuvent être calorifugées par l'extérieur ou l'intérieur, avec étanchéité en EPDM ou polyuréthane recouvrant complètement le calorifuge.

Fabricant accumulateur de glace FAFCO

Fafco commercialise des systèmes d'accumulateurs de glace, dits à fonte interne.



L'accumulateur de glace stocke le froid produit par les machines frigorifiques sous forme de glace. Il est constitué d'une grande cuve isolée et étanche contenant de l'eau de ville ou industrielle, dans laquelle baignent des échangeurs de chaleur. Ces échangeurs sont traversés par un fluide caloporteur, souvent de l'eau mélangée à un antigel, qui transporte la chaleur ou le froid entre le site client, les machines frigorifiques et l'accumulateur. L'eau est alors successivement gelée et la glace fondue pour stocker et restituer le froid.

L'accumulateur FAFCO est constitué d'un bac en acier étanche, parallélépipédique. L'accumulateur est protégé et isolé en partie supérieure par des capots en panneaux sandwich composés de 40 mm de mousse dure en

⁵ Le stockage de froid, Jean Patry

polyuréthane et de tôle galvanisée de 0,55 mm d'épaisseur. Ces panneaux sont équipés d'une trappe de visite pour permettre les contrôles visuels.

A partir des profils de charge journalier des besoins de climatisation en été et en hiver du CH Mans, FAFCO préconise pour couvrir les besoins froids du site : 3 groupes froids de 1200 kW @ 6/12°C et deux groupes froids de 500 kW glycolé pouvant produire de la glace la nuit avec un régime de @-5/-1.5°C et fonctionnant en journée sur un régime de 4°C/10°C. Ce montage assure une capacité de stockage de 9,5 MWh.

Ce stockage devrait permettre de réduire de 32% la puissance des groupes froids installée en comparaison d'une solution sans stockage.

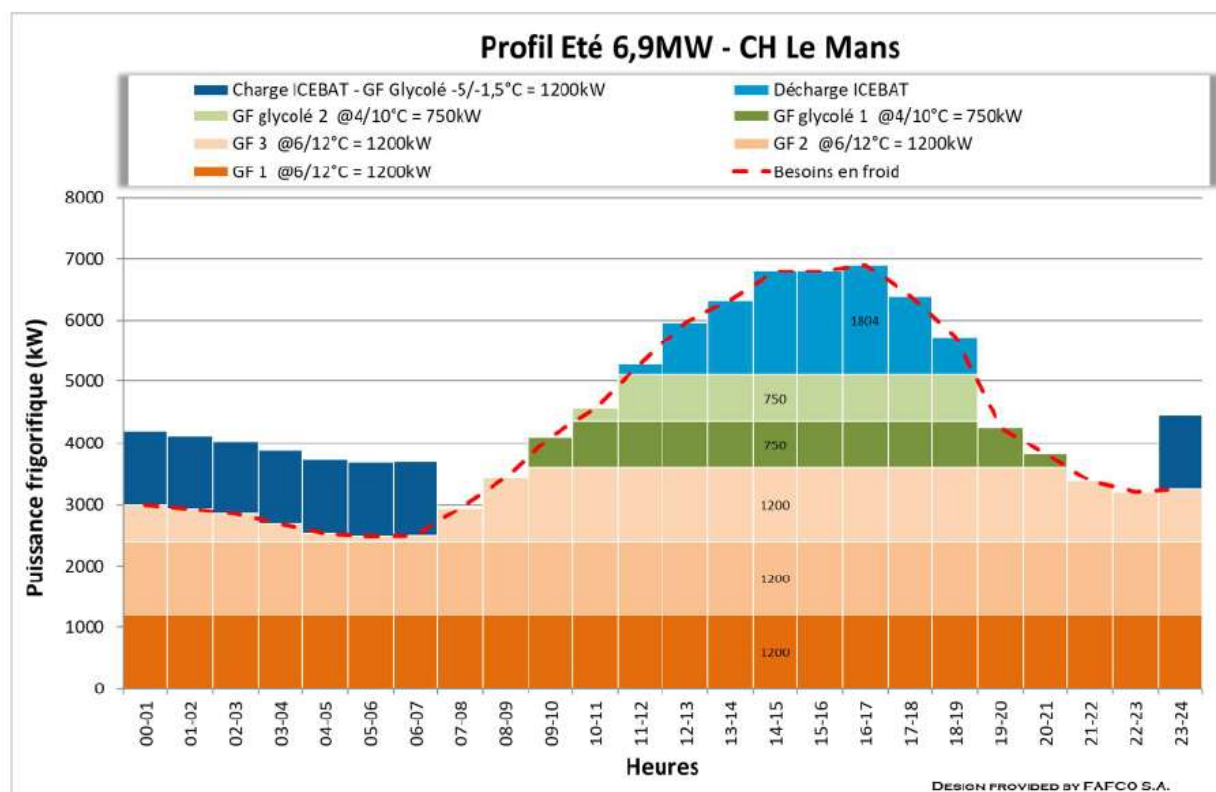


FIGURE 23 : PROFIL ETE COUVERTURE BESOINS FROIDS AVEC STOCKAGE DE GLACE

Le bac en acier assurant ce stockage de glace est l'ICEBAT UWH 306/7/26 de capacité latente 9,5 MWh monté sur site pour un emplacement à l'intérieur de la chaufferie (ex-emprise chaudières vapeur) avec une emprise au sol de 55 m².

Données techniques pour ICEBAT UWH 306/7/26HP		1 ICEBAT
Capacité totale	kwh	9 996
Capacité latente	kwh	9 642
Capacité sensible (0 à 4°C)	kwh	354
Température Max. de service	°C	40
Pression Max. de service	bars	3
Volume total d'eau	Litre	142 360
Volume d'eau/glace	Litre	103 650
Volume d'eau glycolée	Litre	5 660
Poids vide	kg	11 510
Poids plein	kg	159 870
Surface au sol	m2	55

FIGURE 24 : DONNEES TECHNIQUES ICEBAT UWH 306/7/26HP

Il est à noter qu'une fois le bac plein (160 tonnes), son poids élevé représente une force au m² importante. C'est pourquoi des études préalables seraient nécessaires pour déterminer la nécessité de renforts de dalles.

COP estimé	2,88
Transfert élec en kWh HP-> HC	1 033 527
Coût moyen élec du MWh en € HT	150
Nombre d'heures creuses	8
Nombre d'heures pleines	14
Hypothèse prix HC en € HT	100
Hypothèse prix HP en € HT	200
Prix moyen recalculé	150
Gains électricité estimé en € HT /an	- 103 353

FIGURE 25 : GAIN ECONOMIQUE ESTIME GRACE AU STOCKAGE DE GLACE

4.4. Récapitulatif des solutions de production envisagées pour le CH du MANS

Technologie	Avantages	Inconvénients	
Condenseurs à Air	Air extérieur gratuit et abondant. Entretien simple et peu coûteux. Pas de risque de gel.	Coefficient d'échange faible. Nécessite de grandes surfaces d'échange. Plus imposants et lourds. Consommation électrique et bruit des ventilateurs. Efficacité réduite en été. Problèmes de pression en hiver.	Envisagé
Condenseurs à Eau	Excellents coefficients d'échange thermique. Compacts. Températures de condensation stables Gestion des nuisances sonores des groupes plus facile à travers le traitement d'un local	Emprise au sol plus importante et nécessité de locaux techniques pour abriter les groupes Entretien légèrement plus important que condenseurs à air.	Envisagé
Condenseurs à Eau – fluide frigorigène CO2	Fluide non toxique et disponible, faible pouvoir de réchauffement global Puissance volumétrique élevée	Pression de fonctionnement élevée, machines volumineuses et coûteuses Proposé par peu de fabricants, mise en œuvre peu maîtrisée	Non envisagé après étude énergétique et financière comparative en faveur du R1234ze
<i>Tours de Refroidissement</i>			
- Circuit ouvert	Économie d'eau.	Pollution potentielle de l'eau.	A étudier
- Circuit fermé	Pas de pollution de l'eau. Pas de corrosion.	Température de condensation plus élevée. Consommation énergétique accrue.	A étudier
- Dry-Cooler	Efficace toute l'année avec antigel. Pas de consommation d'eau. Circuit hydraulique propre. Placement flexible.		Envisagé
Machines à Absorption	Utilise la chaleur rejetée. Pas de toxicité. Silencieuses et peu de vibrations.	Supporte mal les variations de charge. Vigilance nécessaire sur la température de dimensionnement dans le cas d'un réseau de chaleur avec une température variable. COP inférieur aux machines à compression. Puissances thermiques importantes à évacuer. Cristallisation comme panne spécifique.	Non envisagé car pas de chaleur fatale > 90°C sur site ; présence du réseau de chaleur mais non gratuit et température été réduite pour production ECS seulement
Thermofrigopompes	Haute efficacité pour les besoins simultanés en chauffage et refroidissement Trois modes de fonctionnement possibles	Nécessité d'une simultanéité des besoins froid et chaud Nécessite une vigilance et rigueur dans la conduite de l'installation.	Envisagé
Stockage de glace	Réduction de la puissance frigorifique installée Réduction de la puissance électrique souscrite Réduction de la charge en fluide frigorigène	Emprise nécessaire au stockage de glace	A étudier

TABLEAU 7 : COMPARATIF DES SOLUTIONS DE PRODUCTION DE FROID ENVISAGEES

5. Scénarios retenus et implantation prévisionnelle

Les futurs besoins en puissance frigorifique sont estimés à 6,3 MW. Par ailleurs, 80% du temps ces besoins comme indiqués sur la monotone de froid (cf Figure 2) varient entre un talon d'appel de puissance l'hiver de 470 kW et une puissance de 1,5 MW. En outre, le besoin de redondance des systèmes dans un milieu hospitalier implique que la puissance totale soit répartie sur plusieurs machines. Par conséquent, des machines à condensation à air et/ou à eau de puissance 1 MW à 1,5 MW avec respectivement des minimums de fonctionnement de 200 kW à 300 kW (condensation à air) et 100 kW à 150 kW (condensation à eau) seront à même de garantir les spécificités énoncées précédemment.



Dans la partie suivante sont présentées plusieurs technologies sélectionnées pour répondre aux besoins identifiés, afin d'étudier la pertinence de la centralisation de production de froid et des différentes technologies envisagées. L'ensemble des équipements sont dimensionnés pour une **température extérieure de 35°C** et une production d'eau glacée à un **régime de température 6°C/12°C**.



5.1. Condenseurs à eau et thermofrigopompe

Pour cette solution la production de froid est assurée par :

- 5 groupes à eau glacée à condensation eau de 1,2MW chacun ; les groupes sont existants en compression à vis ou à paliers magnétiques ;
- 5 à 6 refroidisseurs associés, en refroidissement à air sec ou tour adiabatique ;
- 1 thermofrigopompe de 400kW froid.

Les caractéristiques des équipements sont présentées ci-dessous :

GROUPES A EAU GLACEE		
	COMPRESSEUR A VIS 1,2MWf EER 3.32	Longueur 4.8m Largeur 1.8m
	COMPRESSEUR A PALIERS MAGNETIQUES 1,2MWf EER 3.93	Hauteur 2.1m Poids en fonctionnement 7.6t pour compresseur à vis, 5.5t pour paliers magnétiques
REFROIDISSEURS		
	DRYCOOLER 1,5MW Température fluide 47°C/42°C (35° ext)	Longueur 12.5m Largeur 2.3m Hauteur 2.9m Poids en fonctionnement 7.5t

	AEROREFRIGERANT SEC AVEC PRE REFROIDISSEUR ADIABATIQUE 1,2MW Température fluide 33.5°C /28.5°C (38° ext)	Longueur 12.4m Largeur 3m Hauteur 3m Poids en fonctionnement 11.5t
THERMOFRIGOPOMPE		
	Pompe à chaleur eau/eau haute efficacité, avec réversibilité hydraulique, 400kWf EER 2.22 COP 3.6 TER 6.14	Longueur 3.6m Largeur 1.6m Hauteur 2.1m Poids en fonctionnement 5t

L'emprise nécessaire en local technique pour accueillir les groupes à eau glacée, thermofrigopompe et auxiliaires est de l'ordre de **120m²**.

- ⇒ La surface du local cogénération est à priori suffisante pour accueillir ces équipements : environ **150m²** (arrêt de la cogénération prévu et local libéré d'ici la centralisation)

L'emprise en terrasse nécessaire pour les refroidisseurs est de l'ordre de **250m²** pour des drycooler ; **280m²** pour des tours adiabatiques.


- ⇒ La surface en toiture du local cogénération seule n'est pas suffisante pour accueillir l'ensemble des équipements.

5.2. Condenseurs à air et thermofrigopompe

Pour cette solution la production de froid est assurée par :

- 4 groupes à eau glacée à condensation air de 1,5MW chacun ; les groupes sont existants en compression à vis ou à paliers magnétiques ;
- 1 thermofrigopompe de 400kW froid (identique au paragraphe précédent).

Les dimensions des équipements sont présentées ci-dessous :

GROUPES A EAU GLACEE		
	COMPRESSEUR A VIS 1,5MWf EER 2.84 COMPRESSEUR A PALIERS MAGNETIQUE 1,4MWf EER 3.28	Longueur 13.5m Largeur 2.2m Hauteur 2.5m Poids en fonctionnement 10.6t pour compresseur à vis, 7.8t pour compresseur à paliers magnétiques

L'emprise nécessaire en local technique pour accueillir la thermofrigopompe et auxiliaires est de l'ordre de **10m²**.

L'emprise en extérieur nécessaire pour les refroidisseurs est de l'ordre de **310m²** pour les groupes à air.

⇒ La surface en toiture du local cogénération seule (**150m²**) n'est pas suffisante pour accueillir l'ensemble des équipements.

5.3. Scénario 1 : condenseurs eau sans stockage de glace

5.3.1. Etagement des puissances (Scénario 1)

Dans ce premier scénario, la puissance totale installée est de 6,9 MW répartie selon la configuration suivante :

- 1x Thermofrigopompe 400kW froid
- 1x Groupe à paliers magnétiques 500kW
- 4x Groupe à vis 1500kW

Equipement	Puissance	Nombre	EER	Dimensions	Poids en fonctio	Charge frigo	Pression sonore
Thermofrigopompe	400kWf	1	2,6 (TER 6,14)	longueur 3,6m Largeur 1,6m Hauteur 2,1m	5t	142 kg	83 dB(A) à 1m
GF paliers magnétiques	500kWf	1	3,48	longueur 3m Largeur 1,1m Hauteur 1,9m	2,3t	130 kg	85 dB(A)
GF vis	1500kWf	4		longueur 5m Largeur 2m	9t		
Dry cooler	1500kW	6 /		longueur 12,5m Largeur 2,3m Hauteur 2,9m	7,5t	eau glycolée	61 dB(A) à 10m
Tour adiabatique	1200kW	7 /		longueur 12,4m Largeur 3m Hauteur 3m	11,5t	eau glycolée	63 dB(A) à 15m

Le fonctionnement des productions est présenté sur le graphique suivant :

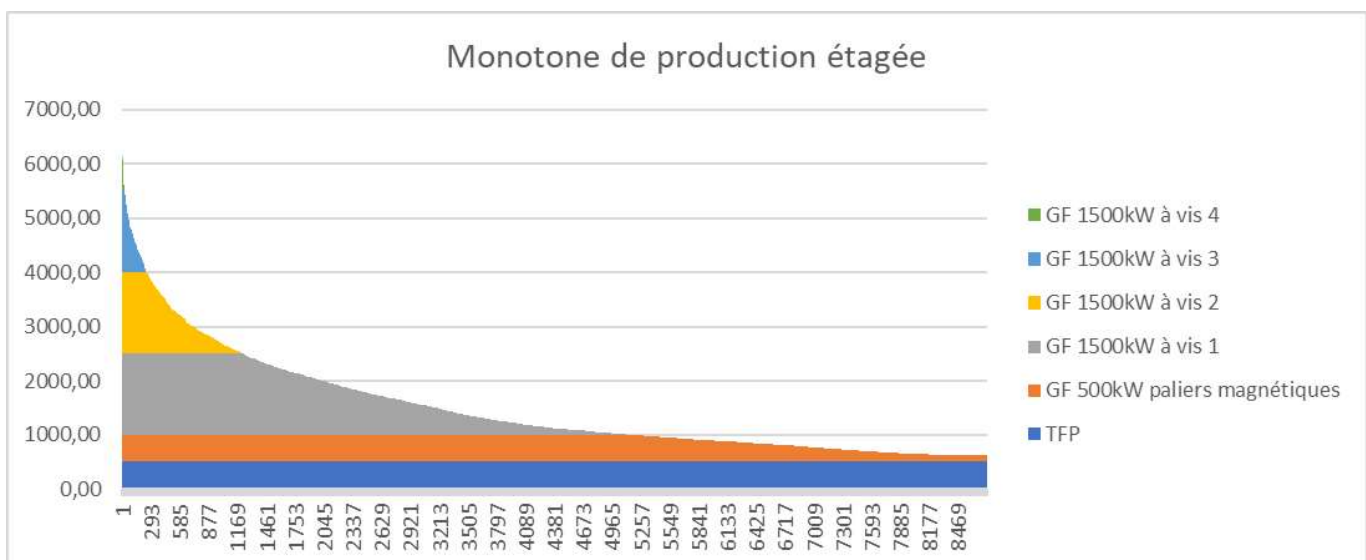


FIGURE 26 : MONOTONE DE PRODUCTION ETAGEE SANS STOCKAGE GLACE - SCENARIO 1

- La thermofrigopompe est le groupe froid à palliers magnétiques sont appelés en priorité afin de maximiser leur temps de fonctionnement sur l'année.
- En cas de panne de la thermofrigopompe et du groupe à palliers magnétiques, les groupes à vis restants sont en capacité de couvrir les besoins froids du site.

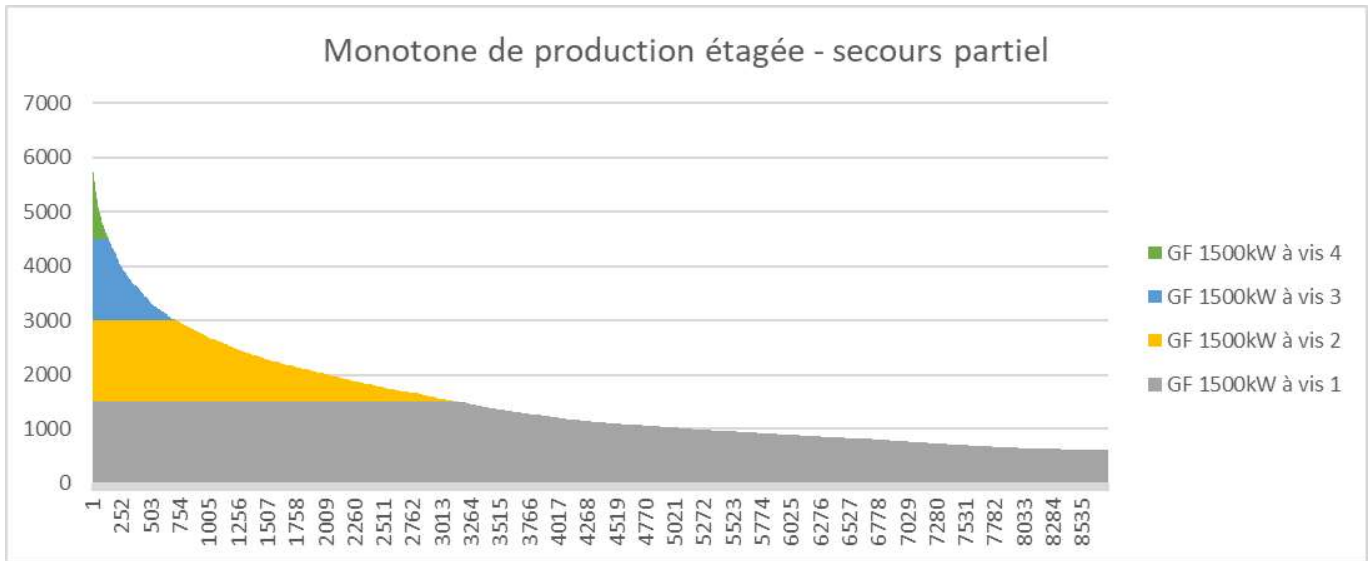


FIGURE 27 : MONOTONE DE PRODUCTION ETAGEE EN SECOURS PARTIEL - SCENARIO 1

5.3.2. Implantation prévisionnelle (1)

Ci-dessous sont représentées les emprises des différentes productions par rapport à la surface disponible. La surface bleue correspond à l'emprise des équipements, et les surfaces grises représentent les marges nécessaires pour l'accessibilité et la maintenance des centrales de production, indiquées par les constructeurs.

Au vu de la surface disponible, la thermofrigopompe et le groupe à palliers magnétiques de 500kW devront être implantés en extérieur à proximité du local cogénération, isolés par un caisson phonique avec accès par l'extérieur. De même, une partie des aérorefroidisseurs seront répartis sur la toiture de cette extension, et en extérieur à proximité de la chaufferie. Les coûts de génie civil associés à cette extension ont été intégrés à l'analyse financière de l'étude. La couverture de la structure doit être adaptée pour pouvoir supporter le poids des aérorefroidisseurs.

Les schémas suivants sont présentés à titre indicatif, l'implantation définitive devra être précisée à partir de plans dwg cotés.



FIGURE 28 : IMPLANTATION LOCAL COGENERATION ET EXTENSION EXTERIEURE - SCENARIO 1

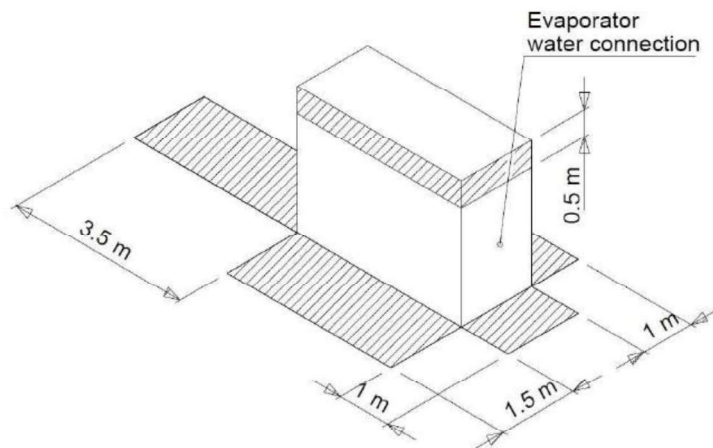
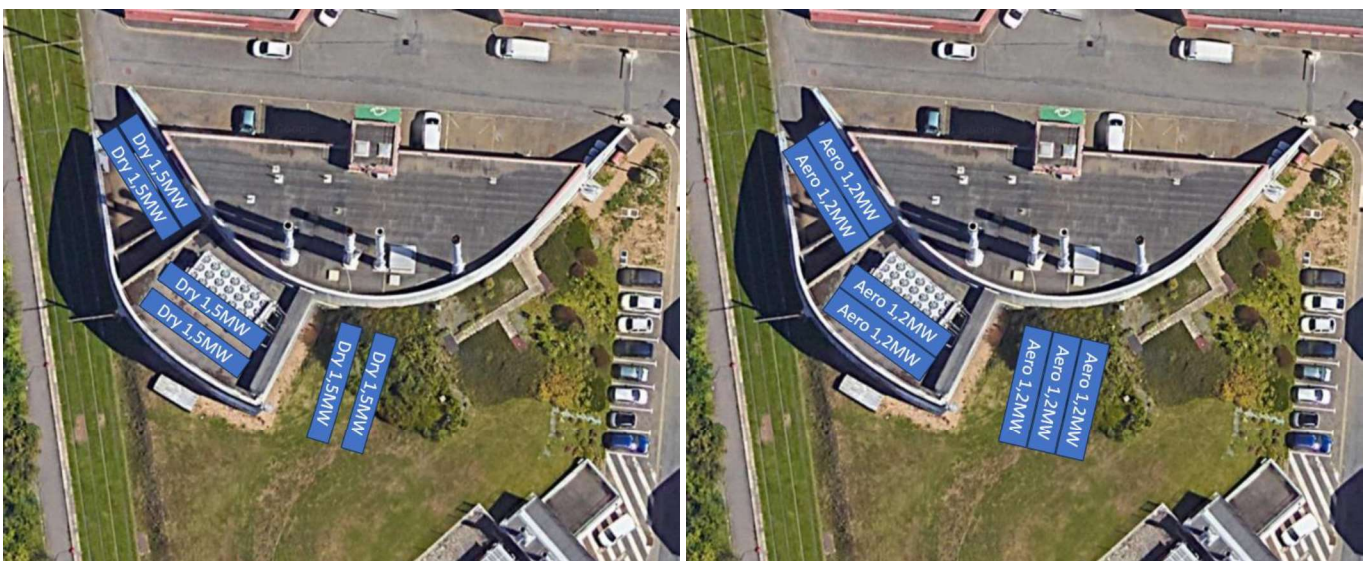


FIGURE 29 : DISTANCES CONSTRUCTEUR A RESPECTER POUR LA MAINTENANCE D'UN GROUPE DE 1500kW FROID



Gauche : version drycooler / Droite : version aérorefroidisseurs adiabatiques

FIGURE 30 : IMPLANTATION AEROREFROIDISSEURS EN TOITURE - SCENARIO 1

5.4. Scénario 2 : condenseurs eau avec stockage de glace

5.4.1. Etagement des puissances (Scénario 2)

Dans le scénario avec stockage, la puissance totale installée est de 6 MW répartie selon la configuration suivante :

- 1x Thermofrigopompe 400kW froid
- 1x Groupe à paliers magnétiques 500kW
- 2x Groupe à vis 750kW (froid négatif)
- 3x Groupe à vis 1200kW (froid positif)

Equipement	Puissance	Nombre	EER	Dimensions	Poids en fonctio	Charge frigo	Pression sonore
Thermofrigopompe	400kWf	1	2,6 (TER 6,14)	longueur 3,6m Largeur 1,6m Hauteur 2,1m	5t	142 kg	83 dB(A) à 1m
GF paliers magnétiques	500kWf	1	3,48	longueur 3m Largeur 1,1m Hauteur 1,9m	2,3t	130 kg	85 dB(A)
GF négatif vis	750kWf	2		longueur 4,2m Largeur 1,4m	6t		
GF positif vis	1200kWf	3	3,33	longueur 4,8m Largeur 1,8m Hauteur 2,1m	7,6t	290 kg	98 dB(A)
Dry cooler	1500kW	5 /		longueur 12,5m Largeur 2,3m Hauteur 2,9m	7,5t	eau glycolée	61 dB(A) à 10m
Tour adiabatique	1200kW	6 /		longueur 12,4m Largeur 3m Hauteur 3m	11,5t	eau glycolée	63 dB(A) à 15m
Stockage glace	9,5MWh	1	2,88	longueur 10,3m Largeur 5,3m Hauteur 4,2m	11,5t vide 160t plein	eau glycolée	

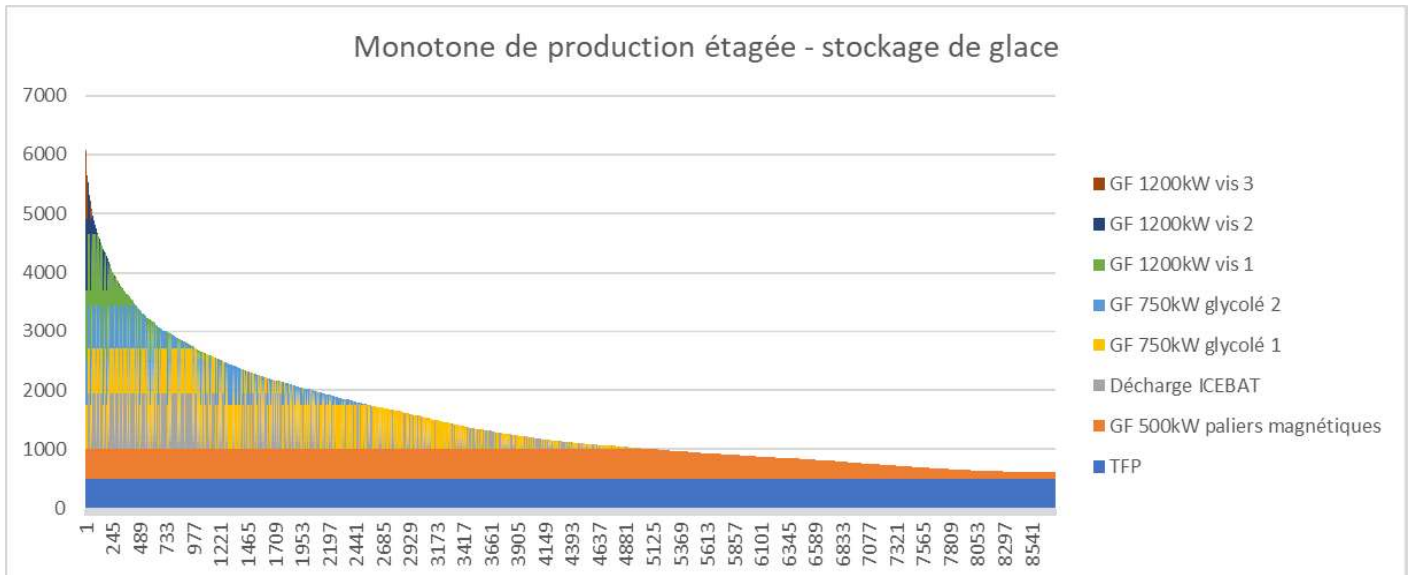


FIGURE 31 : ETAGEMENT DES PUISSANCES AVEC STOCKAGE GLACE - SCENARIO 2

- La thermofrigopompe et le groupe à paliers magnétiques sont également appelés en priorité.
- L'énergie accumulée par le stockage de glace pendant la nuit est restituée en journée, quand le coût de l'électricité et donc de la production de froid est plus élevé.
- Les groupes à vis restants complètent la production et sont appelés lors des pointes de consommation.

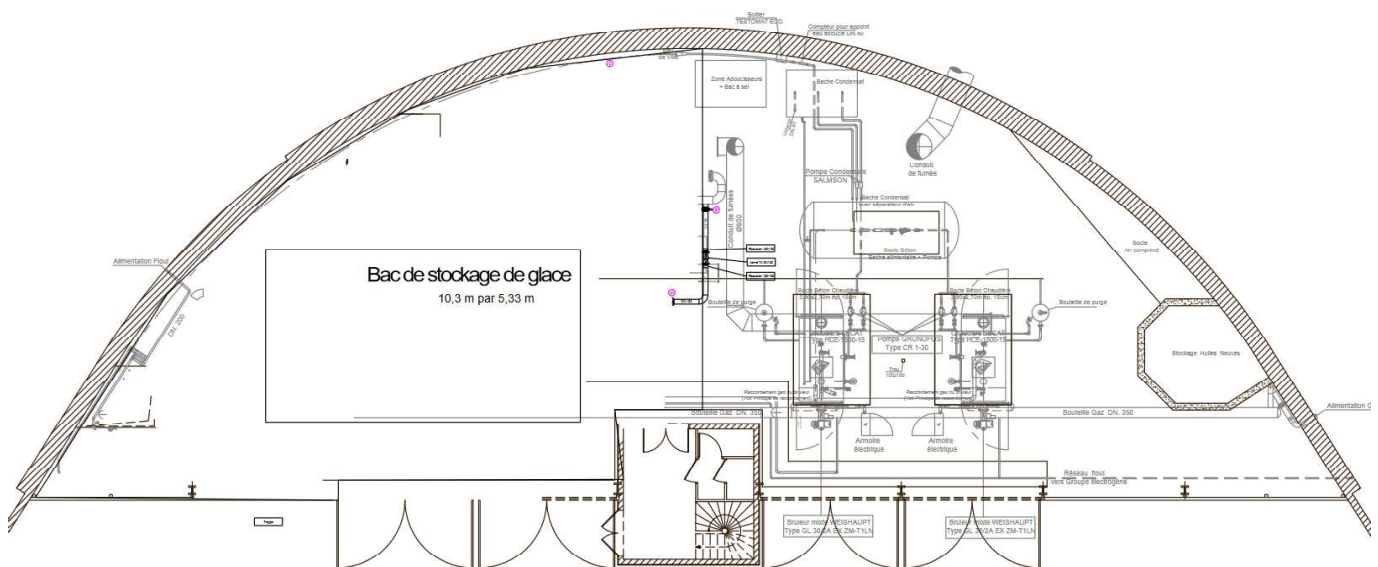
5.4.2. Implantation prévisionnelle (2)

Comme dans le scénario 1, la thermofrigopompe et le groupe à palier magnétiques sont placés en extérieur dans une extension à construire, et les aérorefroidisseurs répartis entre la toiture du local cogénération, de l'extension, et à proximité de la chaufferie.



FIGURE 32 : IMPLANTATION LOCAL COGENERATION ET EXTENSION EXTERIEURE - SCENARIO 2

FIGURE 33 : IMPLANTATION AEROREFROIDISSEURS EN TOITURE - SCENARIO 2



54

Equipement	Puissance	Nombre	EER	Dimensions	Poids en fonctio	Charge frigo	Pression sonore
Thermofrigopompe	400kWf	1	2,6 (TER 6,14)	longueur 3,6m Largeur 1,6m Hauteur 2,1m	5t	142 kg	83 dB(A) à 1m
GF palliers magnétiques (condenseur air)	1400kWf	1	3,25	longueur 13,5m Largeur 2,2m Hauteur 2,5m	7,8t	320 kg	99 dB(A)
GF vis (condenseur air)	1500kWf	3	3,33	longueur 13,5m Largeur 2,2m Hauteur 2,5m	10,6t	222 kg	101 dB(A)

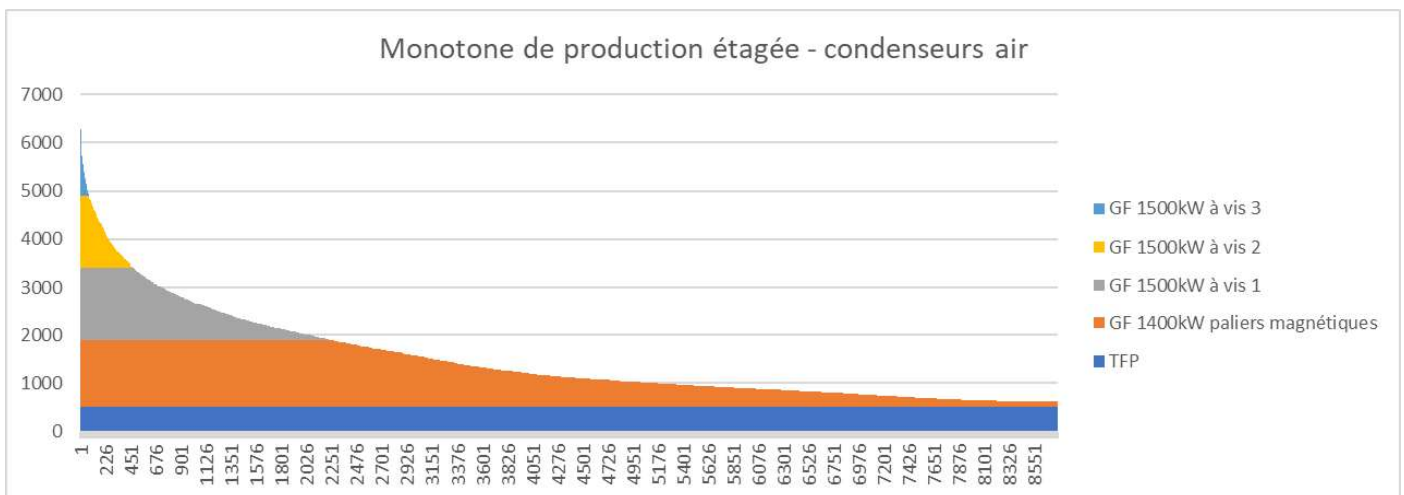
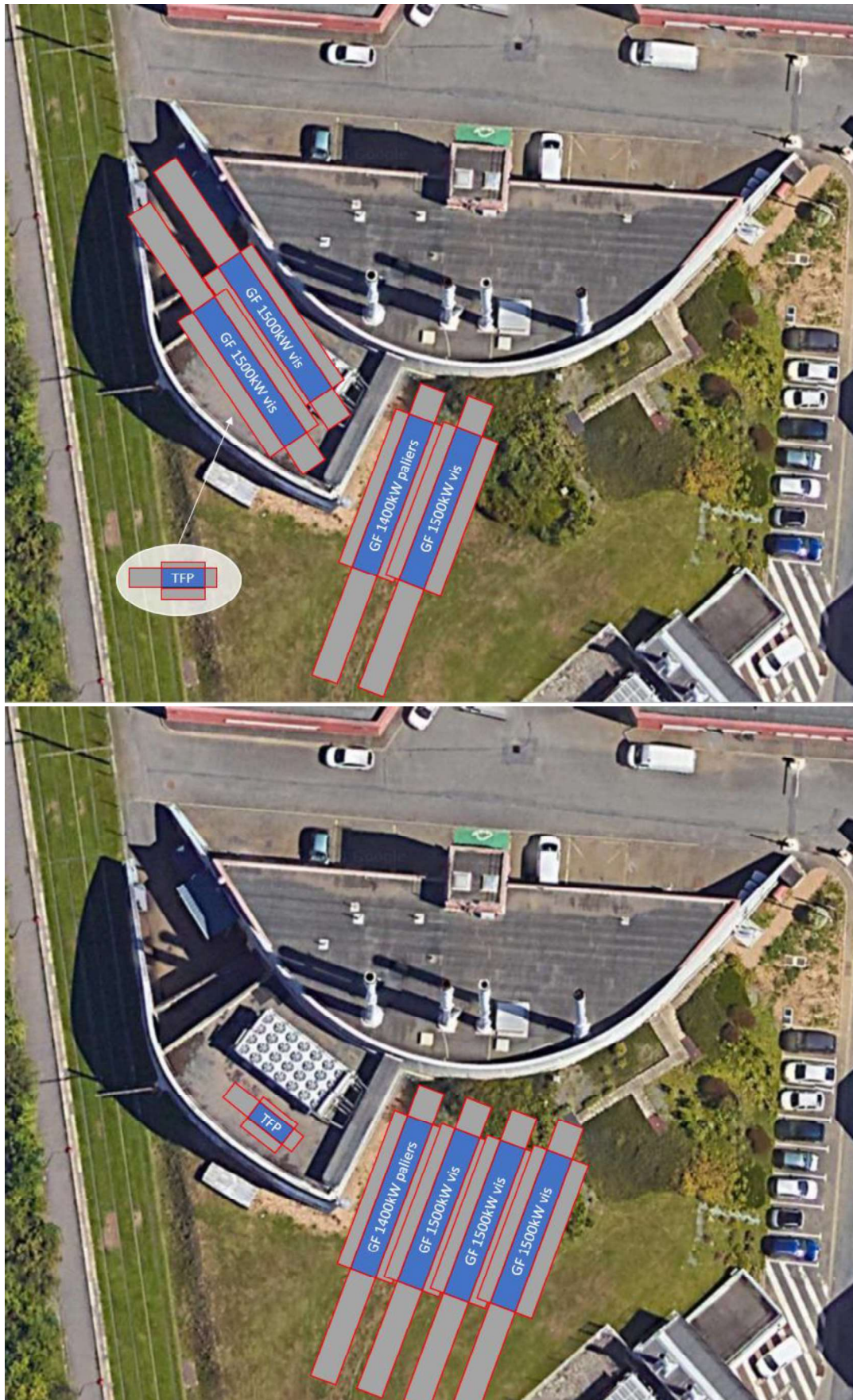


FIGURE 35 : ETAGEMENT DES PUISSANCES AVEC CONDENSEURS AIR - SCENARIO 3

- La thermofrigopompe et le groupe à palliers magnétiques sont également appelés en priorité.
- Les groupes à vis restants complètent la production et sont appelés lors des pointes de consommation.

5.5.2. Implantation prévisionnelle (3)

Les groupes froids à condensation à air sont placés en extérieur, en toiture du local cogénération et/ou à proximité de la chaufferie. La thermofrigopompe est placée dans le local cogénération.



Cas 1 : Implantation mixte toiture/extérieur -- Cas 2 : Implantation en extérieur

La thermofrigopompe est située à l'intérieur du local cogénération.

FIGURE 36 : IMPLANTATION LOCAL COGENERATION ET EXTERIEUR - SCENARIO 3

5.6. Scénario 4 : condenseurs air avec stockage glace

5.6.1. Etagement des puissances (Scénario 4)

Dans ce scénario, la puissance totale installée est de 5,7 MW répartie selon la configuration suivante :

- 1x Thermofrigopompe 400kW froid
- 1x Groupe à paliers magnétiques 1400kW
- 2x Groupe à vis 750kW (froid négatif)
- 2x Groupe à vis 1200kW (froid positif)

Equipement	Puissance	Nombre	EER	Dimensions	Poids en fonctio	Charge frigo	Pression sonore
Thermofrigopompe	400kWf	1	2,6 (TER 6,14)	longueur 3,6m Largeur 1,6m Hauteur 2,1m	5t	142 kg	83 dB(A) à 1m
GF paliers magnétiques (condenseur air)	1400kWf	1	3,25	longueur 13,5m Largeur 2,2m Hauteur 2,5m	7,8t	320 kg	99 dB(A)
GF négatif vis (condenseur air)	750kWf	2		longueur 10m Largeur 2,2m	10t		
GF vis (condenseur air)	1500kWf	2	3,33	longueur 12,5m Largeur 2,2m Hauteur 2,5m	10,6t	222 kg	101 dB(A)
Stockage glace	9,5MWh	1	2,88	longueur 10,3m Largeur 5,3m Hauteur 4,2m	11,5t vide 160t plein	eau glycolée	

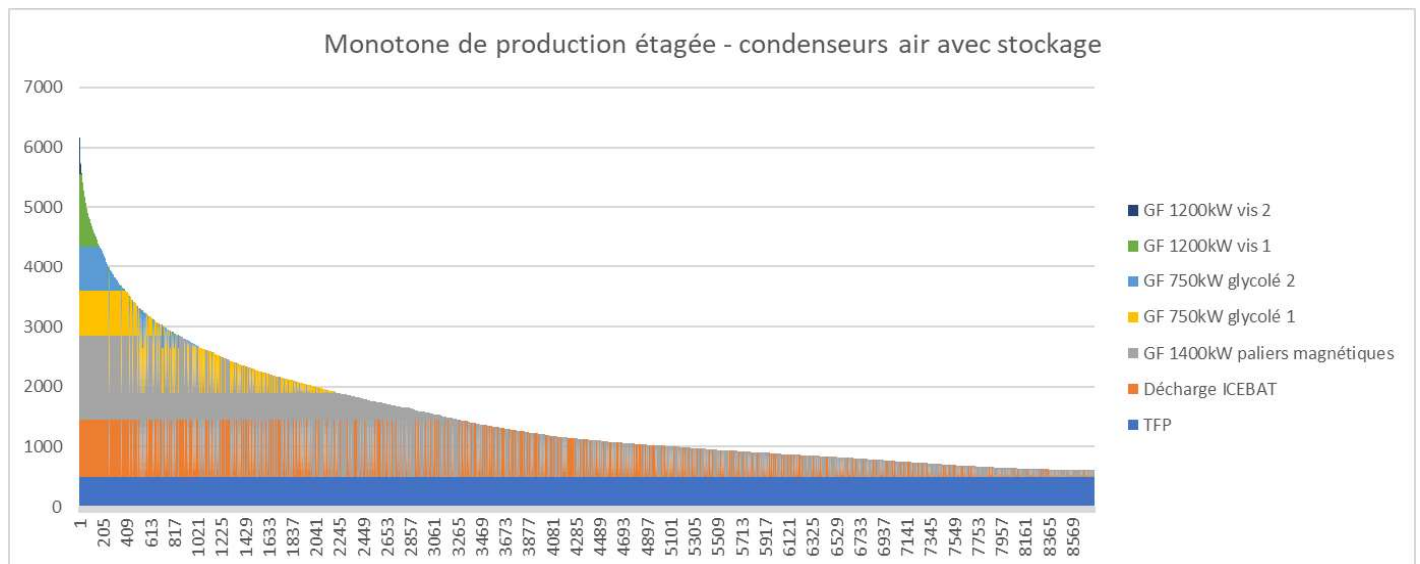


FIGURE 37 : ETAGEMENT DES PUISSANCES AVEC CONDENSEURS AIR ET STOCKAGE GLACE - SCENARIO 4

- La thermofrigopompe est appelée en priorité.
- L'énergie accumulée par le stockage de glace pendant la nuit est restituée en journée, quand le coût de l'électricité et donc de la production de froid est plus élevé.
- Le groupe à paliers magnétiques est ensuite appelé en priorité.
- Les groupes à vis restants complètent la production et sont appelés lors des pointes de consommation.

5.6.2. Implantation prévisionnelle (4)

Les groupes froids à condensation à air sont placés en extérieur, sur la toiture du local cogénération et à proximité de la chaufferie. La thermofrigopompe est placée dans le local cogénération.

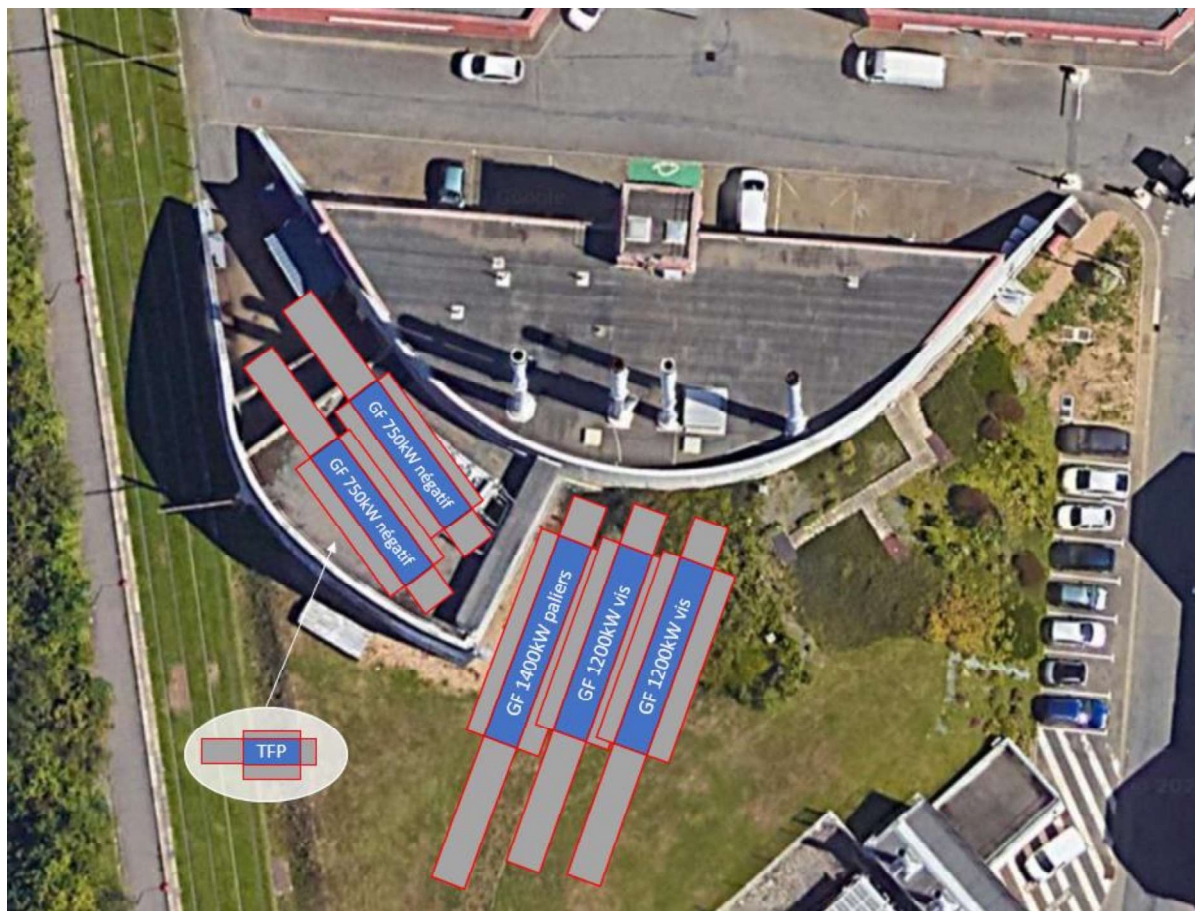


FIGURE 38 : IMPLANTATION LOCAL COGENERATION ET EXTERIEUR - SCENARIO 4

5.7. Préconisations pour l'aménagement des locaux techniques abritant les groupes

5.7.1. Ventilation

5.7.1.1. Recommandations constructeurs

D'après les fiches techniques des constructeurs concernant les groupes froids par condensation à eau, la température du local technique dans lequel ils se trouvent doit être comprise entre 5°C et 42°C, avec une humidité relative maximale de 95%.

5.7.1.2. Rappel réglementaire

Pour la ventilation des locaux techniques avec des groupes froids, la norme applicable est la NF E 35-400. Elle stipule que ces locaux doivent être équipés de systèmes de ventilation naturelle ou mécanique efficaces pour éviter une élévation excessive de la température ambiante et prévenir toute concentration de vapeur en cas de fuite de fluide frigorigène. Elle préconise les calculs suivants :

- En ventilation mécanique : $V = 50 \sqrt[3]{G^2}$ en m³/h
- En ventilation naturelle : $F = 0,14 \sqrt{G}$ en m²

Où **G** est la masse (kg) de fluide frigorigène qui se trouve dans les différentes parties de l'installation montées dans la salle des machines, **V**, le débit d'air (m³/h) et **F** la surface (m²) de la section libre.

	Charge frigorifique	Renouvellement en ventilation mécanique	Surface de la section libre en ventilation naturelle
Local cogé scénario 1	1280kg	5 900 m ³ /h	5m ²
Local cogé scénario 2	1270kg	5 900 m ³ /h	5m ²
Extension en extérieur	272kg	2 100 m ³ /h	2,3m ²
Local cogé scénario 3	142kg	1 400 m ³ /h	1,7m ²
Local cogé scénario 4	542kg	3 400 m ³ /h	3,3m ²

La charge G doit se calculer pour chaque installation. La ventilation de la salle des machines doit pouvoir évacuer la chaleur produite par des moteurs d'entraînement normaux sans que la température ambiante ne dépasse 40°C. Les locaux techniques devraient se situer autant que possible au rez de chaussée avec l'une de ses parois devant être une paroi extérieure.

La norme NF E 35 400 est complétée par la norme EN-378 qui couvre les exigences de sécurité et les méthodes d'essai pour les systèmes de réfrigération et de climatisation.

Le HFO en local technique et ERP (Norme EN-378)



1 Ventilation

- Lors des interventions: **4 Vol/h** suivant EN 378-3 Clause 5.13.2
- Si absence de ventilation: Arrêt machines sur détection de fuite + Alarme

2 Ventilation d'urgence

- **15 Vol/h** suivant EN 378-3 Clause 5.13.4
- **Enclenchement:** Fuite réfrigérant **ou** Ouverture porte > 1 min **ou** Un des contacts déclencheurs activé

kg	10	20	25	50	100	120	150	200	300	400
m³/h	234	372	431	684	1086	1227	1423	1724	2259	2737

Débit d'air en fonction de la charge en fluide du plus gros circuit

3 Ventilateur ATEX

- **Catégorie 3** - EN 378-3 Clause 5.14.2.2

4 Détection HFO

- **Détection automatique** EN 378-3 Clause 9
- **Capteur en partie basse** (HFO + lourd que l'air)

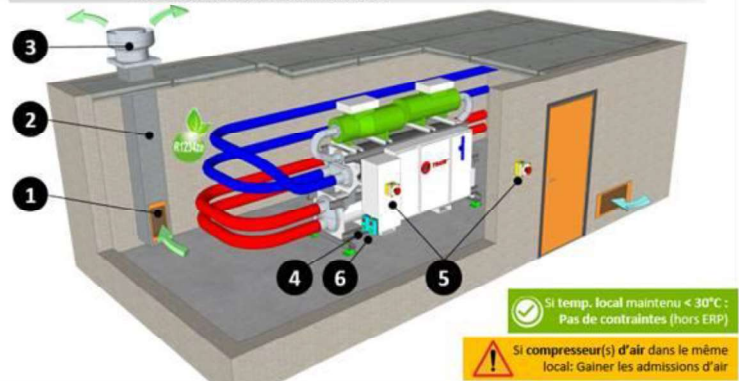
5 Contacts déclencheurs

- **2 x contacts manuels de déclenchement** (dans le local **et** à l'extérieur)

6 Cas des ERP

- **2 x détecteurs + 1 x centrale de détection**
- **Détection de fuite = Arrêt des machines**

Propagation de la flamme et chaleur de combustion



Pour tous locaux :

Selon la norme EN 378-3 Clause 5.14.2.2 : Le ventilateur d'urgence par refoulement doit être :

- a) installé dans le flux d'air, le moteur étant en dehors du flux d'air,
- b) ou assigné à des zones dangereuses, comme requis dans l'EN 378-2:2016, 6.2.14,

Le ventilateur doit être placé de manière à éviter la pressurisation des gaines de refoulement dans la salle des machines.

Le ventilateur **ne doit pas provoquer d'étincelles** s'il entre en contact avec le matériau des conduites.

En complément pour les locaux ERP :

Ce dispositif est de **catégorie 3** (classe la moins contraignante) au sens de la directive 2014/34/UE concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en **atmosphères explosibles**.

En conclusion :

- Un ventilateur anti-étincelle et ATEX ne sont pas éloignés. **Nous préconisons donc un ventilateur ATEX dans tous les cas de figures.**

5.7.1.3. Préconisations d'installation

Une prise d'air extérieur (il en faut au moins une) est positionnée à côté de la porte d'accès.

La grille d'aspiration dans le local est en partie basse (HFO plus lourd que l'air).

Le ventilateur d'extraction (type tourelle) est en bout de réseau afin de garder la gaine en dépression (pas de HFO poussé dans d'autres locaux en cas de gaines non étanches).

5.7.2. Poids des groupes froids

Le poids total des productions est présenté ci-dessous :

Equipement	Puissance	Poids au m ²	Scénario 1 (cond eau sans stock)	Scénario 2 (cond eau avec stock)	Scénario 3 (cond air sans stock)	Scénario 4 (cond air avec stock)
Thermofrigopompe	400kWf	0,87	X	X	X	X
GF eau-eau paliers magnétiques	500kWf	0,70	X	X		
GF air-eau paliers magnétiques	1400kWf	0,26			X	X
GF positif eau-eau vis	1500kWf	0,90	X			
GF positif air-eau vis	1500kWf	0,36			X	
GF négatif eau-eau vis	750kWf	0,85		X		
GF négatif air-eau vis	750kWf	1,70				X
GF positif eau-eau vis	1200kWf	0,88		X		
GF positif air-eau vis	1200kWf	0,39				X
Dry cooler	1500kW	0,26	X	X		
Tour adiabatique	1200kW	0,31	X	X		
Stockage glace	9,5MWh	2,93		X		X

Le stockage de glace en particulier représente une force au m² importante. C'est pourquoi des études préalables seraient nécessaires pour déterminer la nécessité de renforts de dalles.

5.7.3. Acoustique

L'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements de santé⁶ précise les exigences acoustiques applicables à ce jour.

L'isolement acoustique standardisé pondéré exprimé en dB entre les différents locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs indiquées⁷ :

⁶ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000005634432>

⁷ Extrait JO n° 123 du 28/05/2003 page 9104 à 9106

ÉMISSION → RÉCEPTION ↓	LOCAUX d'hébergement et de soins	SALLES D'EXAMENS et de consultations, bureaux médicaux et soignants, salles d'attente	SALLES D'OPÉRATIONS, d'obstétrique et salles de travail	CIRCULATIONS INTERNES	AUTRES LOCAUX
Salles d'opérations, d'obstétrique et salles de travail.	47	47	47	32	47
Locaux d'hébergement et de soins, salles d'examen et de consul- tation, salles d'attente (*), bureaux médicaux et soignants, autres locaux où peuvent être présents des malades.	42	42	47	27	42
(*) Hors salles d'attente des services d'urgence.					

Le niveau de pression acoustique normalisé, LnAT, du bruit engendré dans un local d'hébergement par un équipement du bâtiment extérieur à ce local ne doit pas dépasser 30 dB(A) en général et 35 dB(A) pour les équipements hydrauliques et sanitaires des locaux d'hébergement voisins.

Le niveau de pression acoustique normalisé, LnAT, du bruit transmis par le fonctionnement d'un équipement collectif du bâtiment ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- dans les salles d'examens et de consultations, les bureaux médicaux et soignants, les salles d'attente : 35 dB(A) ;
- dans les locaux de soins : 40 dB(A) ;
- dans les salles d'opérations, d'obstétrique et les salles de travail : 40 dB(A).

En ce qui concerne les bruits d'équipement, le niveau de pression acoustique normalisé, LnAT, est évalué selon la norme NF S 31-057.

Le local cogénération et la chaufferie est situé à 50m des bâtiments médicaux les plus proches (IFSI et EFS). De plus le local est équipé d'un revêtement acoustique en sous face plancher liée à la présence actuelle des moteurs de cogénération. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir d'isolation phonique supplémentaire pour les équipements qui seront situés à l'intérieur du local cogénération.

Pour les équipements en extérieur, un caisson phonique peut être envisagé. A noter que la localisation sur une butte et la présence de végétation constituent une barrière naturelle à l'est du local, tandis que la partie ouest donne sur une ligne ferrovière.

6. Bilan énergétique et environnemental de la centralisation

6.1. Production de chaleur par la TFP

La solution technique présentée pour 400kW froid assure une production calorifique supérieure à 500kW, même pour des régimes de température au condenseur atteignant 55°C/60°C. Les données fabricant retenues sont les suivantes, pour un régime 55°C/60°C au condenseur :

Puissance frigorifique (kW)	Puissance calorifique (kW)	Puissance absorbée (kW)	TER
420	585	164	6,14

Les hypothèses suivantes ont été prises pour le bilan énergétique de la solution TFP :

- Dans le cas d'une valorisation sur les retours en chaufferie : 500kW valorisables (d'après monotone de chaleur)
- Dans le cas d'une valorisation pour la production d'ECS : 300kW valorisables (d'après consommations ECS 2020-2024 des bâtiments Fontenoy, Monet et Alienor, proches du bâtiment à construire pour minimiser le métré du réseau de distribution ECS)
- Un fonctionnement toute l'année avec une disponibilité de la TFP 90% du temps
- Un taux de foisonnement de 90%

Avec ces hypothèses, l'économie sur la consommation annuelle de chaleur du CHM est la suivante :

Conso chaleur annuelle CHM (GWh)			
	Moyenne 2020-2023	Gain énergétique	Gain environnemental*
Valorisation retours primaire	20,6 GWh	4,2 GWh chaleur 20% de la conso annuelle	953 teq CO2 / an
Valorisation production ECS	20,6 GWh	2,1 GWh chaleur 10% de la conso annuelle	477 teq CO2 / an

*Par rapport à une solution gaz naturel

- ⇒ **La mise en place d'une thermofrigopompe pour valoriser la chaleur sur les retours primaire du réseau de chauffage est la solution permettant la meilleure valorisation de chaleur fatale.**

6.2. Consommation électrique des groupes froids

Le renouvellement des productions existantes par des modèles plus récents permet un gain sur la consommation électrique du site, estimé comme suit :

- 20% sur la consommation électrique des groupes de plus de 10 ans
- 10% sur la consommation des groupes de plus de 5 ans
- Pas de gain sur les groupes plus récents.

En l'absence de relevés de consommation électrique spécifiques aux productions d'eau glacée, la consommation en l'état existant est estimée à partir de la production frigorifique annuelle issue des relevés de charge, et des coefficients de performance indiqués par modèle de groupe froid.

Conso élec GF annuelle CHM estimée (MWh)

	Actuelle	Gain énergétique	Gain environnemental*
Remplacement par des condenseurs eau	3311 MWh	387 MWh 12% de la conso actuelle	25 teq CO2 / an
Remplacement par des condenseurs air	3311 MWh	197 MWh 6% de la conso actuelle	13 teq CO2 / an

*Par rapport à la consommation actuelle des groupes froids

- ⇒ **La performance des groupes à condensation à eau est meilleure que celle des groupes à condensation à air. Le comparatif des solutions tout condenseurs eau et tout condenseurs air met en évidence l'intérêt énergétique et environnemental des condenseurs à eau.**

6.3. Impact réglementation décret tertiaire

L'objectif du décret tertiaire est d'accélérer la diminution de la consommation énergétique des parcs tertiaires français par palier d'ici à 2050. Les bâtiments concernés par ce décret tertiaire sont tous les bâtiments à usage tertiaire privés ou publics de plus de 1 000 m² de surface de plancher. Le centre hospitalier du Mans est donc assujéti à ce décret.

Pour répondre à ce décret, les assujettis peuvent opter pour 2 solutions :

- L'atteinte des objectifs en relatifs avec :
 - 40% en 2030,
 - 50% en 2040,
 - 60% en 2050

Ces réductions de consommations sont calculées par rapport aux consommations d'une année de référence (Cref) choisie par le propriétaire entre 2010 et 2019 compris.

- L'atteinte des objectifs en absolu :

Cette méthode consiste, en fonction du bâtiment tertiaire concerné, à définir des seuils de consommations pour 2030, 2040, 2050. Des modulations sont possibles suivants l'usage et la catégorie du bâtiment.

La centralisation de production du froid permettra de réduire la consommation d'énergie finale du centre hospitalier :

- D'une part la consommation électrique, grâce au gain engendré par le remplacement de productions vieillissantes par des technologies plus performantes.

Ce gain a été estimé à environ 6 à 12% de la consommation électrique liée au fonctionnement actuel des groupes froids, ce qui représente 200 à 380MWh annuels.

- D'autre part la consommation de chaleur (aujourd'hui assurée par les chaudières gaz et à horizon 2026 par le réseau de chaleur), grâce à la mise en place d'une thermofrigopompe.

La production de chaleur valorisée sur site est estimée à environ 10 à 20% de la consommation actuelle de chaleur du site, ce qui représente 2100 à 4200 MWh annuels.

6.4. Charge en fluide frigorigène

Rappel des spécificités du fluide frigorigène choisi

R1234ze est utilisé dans une large gamme d'applications, notamment les systèmes de refroidissement industriels et commerciaux, les unités de climatisation pour les bâtiments résidentiels, tertiaires et industriels, les pompes à chaleur, et les installations de refroidissement de data centers.

Son faible pouvoir de réchauffement (PRG=7) ainsi que ses caractéristiques de non toxicité et non inflammabilité en font une alternative pertinente aux fluides frigorigènes majoritairement utilisés aujourd'hui, qui seront impactés par l'évolution de la réglementation F-Gas.

Dans les scénarios présentés précédemment par rapport à la situation actuelle, le bilan en charge frigorigène est le suivant :

	ACTUELLE	SCENARIO 1	SCENARIO 2	SCENARIO 3	SCENARIO 4
<i>R1234ze (PRG < 750)</i>	224 kg	1552 kg	1542 kg	1128 kg	1306 kg
<i>R134a (PRG > 750)</i>	1336 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
<i>R410a (PRG > 750)</i>	28 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
<i>R407c (PRG > 750)</i>	117 kg	0 kg	0 kg	0 kg	0 kg
<i>Total</i>	1705 kg	1552 kg	1542 kg	1128 kg	1306 kg
<i>Réduction de la charge</i>		9%	10%	34%	23%
<i>t eq CO2</i>	2181	11	11	8	9

- ⇒ Le fluide retenu est la solution la plus recommandée par les fabricants.
- ⇒ Son pouvoir de réchauffement global est très proche de celui du CO2 (PRG=1) ou de l'ammoniac (PRG=0), en évitant les contraintes de coût/encombrement et de toxicité liées à l'utilisation de ces fluides.
- ⇒ Les scénarios envisagés permettent une réduction de la charge globale du site en fluide frigorigène de 9 à 34%.

7. Etude financière

7.1. Investissements

Le tableau suivant présente les investissements liés à la production et au réseau de froid avec différentes options :

- Dry cooler en base, option tours adiabatiques pour les scénarios à condensation eau
- Option avec abaissement des températures de retour réseau chauffage pour optimiser les performances de la thermofrigopompe

	Scénario 1 : Cond eau sans stockage	Scénario 2 : Cond eau avec stockage	Scénario 3 : Cond air sans stockage	Scénario 4 : Cond air avec stockage
Production de froid				
Groupes à eau glacée				
Drycooler				
Total production				
<i>Option 1 : aérorefroidisseurs adiabatiques</i>				
Aérorefroidisseurs				
Total production				
Stockage de glace				
Accumulateur de glace				
Génie civil				
Etude structure et renfort de toiture cogé				
Extension local groupe froid dont supportage aérorefroidisseurs				
Dalle béton extérieure et traitement acoustique				
Raccordement électrique				
Transformateur HTBT 1MW x2				
Réseau de froid				
Création réseau et sous-stations eau glacée				
<i>Option 2 : avec abaissement des températures retour réseau</i>				
Création réseau et sous-stations eau glacée				
Maitrise d'oeuvre				
Frais de MOE				
TOTAL				
Base : drycooler				
Option 1 : aérorefroidisseurs adiabatiques				
Option 2 : abaissement températures réseau				

TABLEAU 8 : INVESTISSEMENTS PAR SCENARIO

Les montants liés au génie civil et raccordement électrique sont provisoires et seront à affiner selon le résultat de l'étude structure.

7.2. Certificats d'Economie d'Energie (CEE)

La Loi POPE de programme n°2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique a fixé un objectif national de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Facteur 4). Elle a ainsi instauré un dispositif de Certificats d'Economies d'Energies (CEE) qui soumet notamment les vendeurs d'électricité, de gaz, de chaleur, de froid ou de carburant à des obligations d'économies d'énergie. Ces Obligés peuvent se libérer de leurs obligations, soit en réalisant des économies d'énergies, soit en acquérant des CEE.

Des fiches d'opération standardisées permettent de définir pour un large panel d'actions d'optimisation, les seuils d'économies attendus et les conditions d'éligibilité. Elles sont réparties en 6 secteurs : bâtiments résidentiels, bâtiments tertiaires, industrie, réseaux, transports et agriculture. Les fiches concernées sont les suivantes :

- BAT-TH-145 : Système de régulation sur un groupe de production de froid permettant d'avoir une basse pression flottante (Si régulation externe adaptée)

Application du groupe de production de froid	Montant en kWh cumac par kW		Puissance électrique nominale totale du groupe de production de froid en kW
Réfrigération ou conditionnement d'ambiance hors confort	3 600	X	P
Climatisation de confort d'un local	310		

- BAT-TH-134 : Système de régulation sur un groupe de production de froid permettant d'avoir une haute pression flottante (Si régulation externe adaptée)

Climatisation de confort d'un local (hors datacenter) :

Zone climatique	Montant en kWh cumac par kW			Puissance électrique nominale totale du groupe de production de froid en kW
	Condensation par rapport à l'atmosphère	Condensation à eau seul		
H1	2 000	670	X	P
H2	1 800	480		
H3	1 600	290		

- BAT-TH-112 : Système de variation électronique de vitesse sur moteur asynchrone (Puissance nominale inférieure à 3MW)

Application	Montant en kWh cumac par kW		Puissance nominale du moteur en kW
Chauffage, pompage	9 600	X	P
Ventilation, renouvellement d'air	11 400		
Réfrigération	3 900		
Climatisation	990		
Autres applications	990		

- BAT-TH-139 : Récupération de chaleur sur groupe de production de froid (hors récupération sur groupe de production de secours ou sur une pompe à chaleur)

Montant de certificats (M), en kWh cumac		Durée annuelle d'utilisation de la chaleur récupérée (D), en heures		Facteur multiplicatif		Puissance thermique récupérée en kW
M	=	D	X	9,9	X	P _{récupérée} limitée à (2 x P _{compresseurs}) - P _{déjà récupérée}

Ci-dessous une estimation des montants CEE avec et sans récupération de chaleur sur les groupes froids :

CEE - Pas de récup de chaleur			CEE – Récupération de chaleur		
kWh cumac estimés	5 924 000	kWh cumac	kWh cumac estimés	28 892 000	kWh cumac
Montant CEE 7€/MWh cumac	41 400 €	Zone H2 Puissance élec 1900kW	Montant CEE 7€/MWh cumac	202 200 €	Pour 4000h d'utilisation <i>Justificatif à fournir par l'installateur</i> Avec 580kW de récupération de chaleur sur la TFP <i>Valeur à justifier par une note de dimensionnement</i>

TABLEAU 9 : ESTIMATION DES CEE VALORISABLES

7.3. Fond chaleur

Le Fonds Chaleur accompagne le financement des installations de production de chaleur renouvelable et de récupération de chaleur fatale, ainsi que les réseaux de distribution de chaleur et de froid liés à ces installations.

Les opérations éligibles sont :

- Les réseaux assurant des services publics de distribution de chaleur et/ou de froid (la collectivité est autorité organisatrice) ;
- Les réseaux de chaleur au sens fiscal, c'est-à-dire ayant notamment pour caractéristique d'alimenter plusieurs sites ou bâtiments et de livrer sa chaleur et/ou son froid à au moins un abonné facturé ;
- **Les réseaux dits techniques (réseau distribuant de la chaleur et/ou du froid sans vente à un tiers) ;**
- Les réseaux de distribution avec vente à un seul bâtiment.

Les opérations éligibles pour la distribution de froid sont les réseaux pour lesquels une alimentation globale d'au minimum **50 % d'Energie Renouvelable et de Récupération (EnR&R)** est visée.

Le projet de centralisation n'est donc pas éligible pour cette aide, étant alimenté par des groupes froids et non par une source d'ENR&R.

7.4. Coûts d'exploitation prévisionnels

Les coûts d'exploitation prévisionnels ont été estimés à partir des hypothèses suivantes :

- Coût de l'électricité : 150€HT/MWh
- Coût du gaz : 80€HT/MWh PCS
- Taux de financement à 4% sur 20 ans

PRODUCTION NON CENTRALISEE		
P1 électricité groupes froids		
P2 (Exploitation, maintenance, personnel)		
P3 (Gros entretien, renouvellement)		
Annuité P4 (financement des renouvellements GF)		
TOTAL		

SCENARIO 1 – CONDENSEURS EAU SANS STOCKAGE GLACE		
P1 électricité groupes froids		
P1 chaleur économisé par production TFP*		
P2 (Exploitation, maintenance, personnel)		
P3 (Gros entretien, renouvellement)		
Annuité P4 (financement investissement production + réseau)		
TOTAL		

SCENARIO 2 – CONDENSEURS EAU AVEC STOCKAGE GLACE		
P1 électricité groupes froids		
P1 électricité économisé par le décalage de production HC		
P1 chaleur économisé par production TFP*		
P2 (Exploitation, maintenance, personnel)		
P3 (Gros entretien, renouvellement)		
Annuité P4 (financement investissement production + réseau)		
TOTAL		

SCENARIO 3 - CONDENSEURS AIR SANS STOCKAGE GLACE		
P1 électricité groupes froids		
P1 chaleur économisé par production TFP		
P2 (Exploitation, maintenance, personnel)		
P3 (Gros entretien, renouvellement)		
Annuité P4 (investissement production + réseau)		
TOTAL		

SCENARIO 4 – CONDENSEURS AIR AVEC STOCKAGE GLACE	
P1 électricité groupes froids	
P1 électricité économisé par le décalage de production HC	
P1 chaleur économisé par production TFP*	
P2 (Exploitation, maintenance, personnel)	
P3 (Gros entretien, renouvellement)	
Annuité P4 (financement investissement production + réseau)	
TOTAL	

TABLEAU 10 : COUTS D'EXPLOITATION PREVISIONNELS PAR SCENARIO

*Sur la base des températures de retour actuelles. Les économies générées par la récupération optimisée de chaleur (avec abaissement des températures de retour chauffage) ne permettent pas à priori de compenser les investissements pour réaliser les adaptations nécessaires en sous-stations, comme précisé dans la synthèse de l'étude.

8. Etude comparative des différents montages contractuels possibles

Plusieurs possibilités s'offrent au CHM pour réaliser le projet de centralisation des productions de froid.

8.1. Conservation de la maîtrise d'ouvrage par le Centre Hospitalier du Mans

Dans le cas où le CHM souhaite conserver la maîtrise d'ouvrage de l'ensemble du projet, il est possible de contractualiser sous 2 formes contractuelles :

- Séparation de la conception et de la réalisation en plusieurs marchés distincts (marchés publics de droit commun) :
 - Marché de maîtrise d'œuvre d'une part confiée à un ou plusieurs bureaux d'études. Dans le cas de plusieurs bureaux d'études, ceux-ci devront être associés sous la forme d'un groupement d'entreprise
 - Marché Travaux à l'issue de la réalisation de la mission de maîtrise d'œuvre pour la réalisation du projet. Possibilité d'allotir suivant la pertinence au regard des conclusions de la mission de maîtrise d'œuvre
- Marché Global de Performance regroupant la Conception détaillée, la Réalisation, et l'Exploitation Maintenance des installations avec ou sans tiers financement du projet

Dans tous les cas, des composantes de maîtrise d'œuvre devront être partie prenante de la contractualisation.

Les avantages d'une séparation contractuelle des missions sont :

- Simplicité pour la passation des marchés
- Modalités de passation bien connues et maîtrisées par les équipes du CHM
- Allotissement permettant un accès plus direct des PME au marché (et non en sous-traitance comme pour des marchés globaux)
- Remise en concurrence régulière possible pour les prestations d'exploitation-maintenance associées aux installations réalisées
- Maîtrise des coûts de financement car projet financé via des financements publics
- Souplesse des évolutions en cours de conception et de réalisation

Les inconvénients d'une séparation contractuelle des missions de maîtrise d'œuvre de performance sont :

- Obligation d'allotissement des marchés : Conception / Réalisation / Exploitation Maintenance empêchant une approche en coût global
- Risque de maîtrise d'ouvrage portés par le CHM pour la gestion des interfaces et en cas de défaillance d'entreprise
- Risque plus important de dérive dans les délais de conception/réalisation par la multiplication du nombre d'acteurs
- Possible divergence entre les intérêts des parties prenantes entre maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise Travaux, et exploitant mainteneur
- Pas de possibilité de paiement différé
- Montant non forfaitaire des prestations de conception

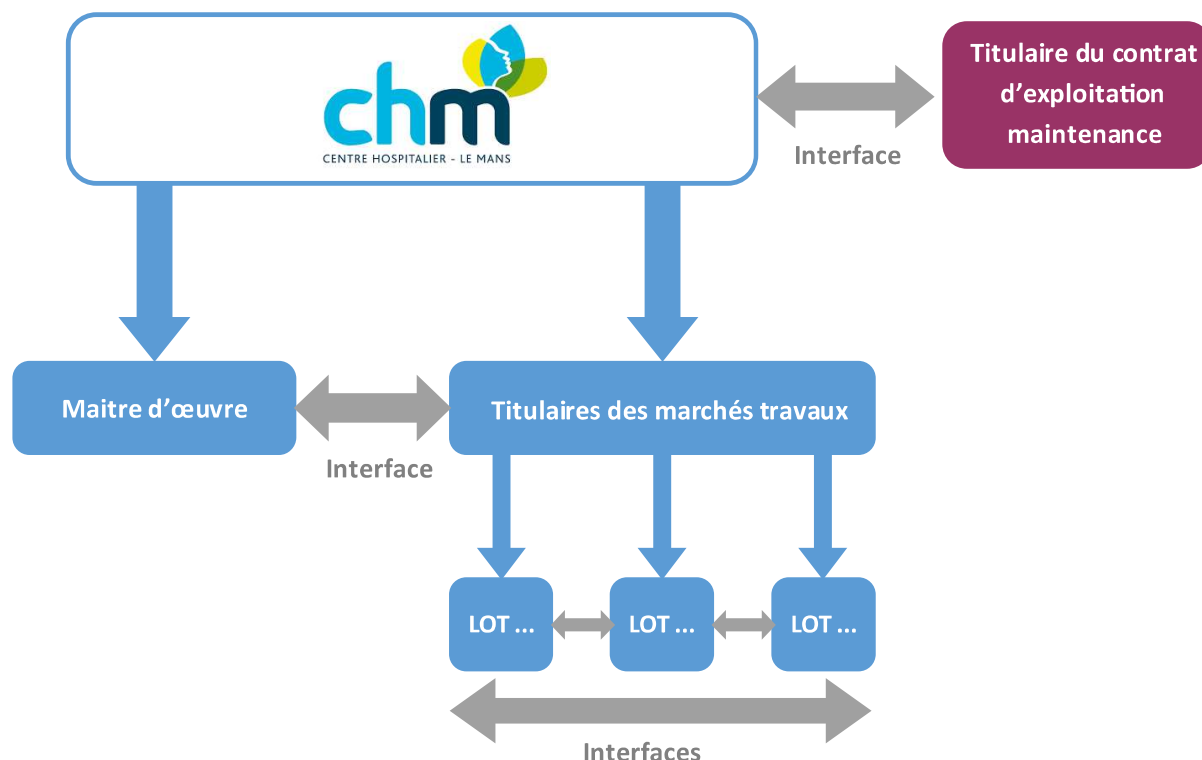


FIGURE 40 : SCHEMA CONTRACTUEL EN CAS DE MARCHES PUBLICS DE DROIT COMMUN

Les avantages d'un marché global de performance sont :

- Réduction des délais de contractualisation : 1 seul marché via une unique procédure d'appel d'offres
- Engagement contractuel du Titulaire sur l'atteinte de critères de performance ; la rémunération du titulaire tient compte de l'atteinte de la performance
- Approche globale du coût et de la performance
- Implication de la composante Exploitation maintenance dans la conception et le suivi de la réalisation permettant d'améliorer la maintenabilité dans la durée
- Réduction du nombre d'interfaces entre le CHM et les entreprises
- Mis en œuvre par un dialogue compétitif, il permet d'optimiser le projet en fonction des besoins du CHM
- Montant forfaitaire des prestations de conception
- Pour le financement :
 - En cas de paiement différé :
 - Présence de financeurs privés assurant une surveillance du projet
 - Paiement à compte de la date effective de mise à disposition => incitation forte pour la tenue des délais de conception/réalisation
 - En l'absence de paiement différé :
 - Financement public potentiellement plus intéressant qu'un financement par un tiers investisseur privé

Les inconvénients d'un marché global de performance sont :

- Besoin d'une durée suffisante pour pouvoir mesurer la performance sur une période représentative d'un fonctionnement en régime établi. La mise en concurrence sur le volet Exploitation Maintenance se fait donc à intervalles moins réguliers
- Interfaces à gérer avec les éventuels contrats déjà en cours sur les installations frigorifiques du CHM
- Construction du dossier de consultation plus longue
- Accès plus limité des PME en direct : possible en sous-traitance
- Le CHM reste le maître d'ouvrage et supporte les risques qui en découlent
- Complexité plus importante du montage contractuel par rapport à la majorité des marchés habituellement lancés par le CHM
- Pour le financement :
 - En cas de paiement différé : coût du financement potentiellement plus élevé qu'un financement public direct
 - En l'absence de paiement différé : paiement des entreprises au fil de l'eau par avances, acompte, et décompte.

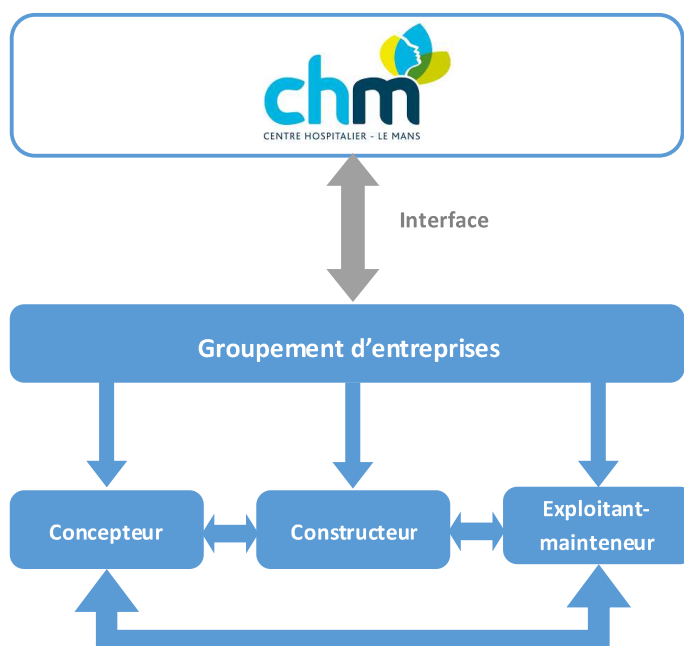


FIGURE 41 : SCHEMA CONTRACTUEL EN CAS DE MARCHE GLOBAL DE PERFORMANCE SANS PAIEMENT DIFFERE

8.2. Délégation de la maîtrise d'ouvrage par le Centre Hospitalier du Mans à un opérateur privé

Une autre possibilité consisterait à déléguer la maîtrise d'ouvrage pour la centrale de production de froid.

Il semble difficile d'élargir le périmètre de délégation de maîtrise d'ouvrage au réseau et sous-stations étant donné les fortes interfaces avec le fonctionnement du site. Par ailleurs, une partie du réseau froid existant est conservé pour la réalisation du futur réseau. Déléguer la maîtrise d'ouvrage de la réalisation du nouveau réseau poserait des questions sur les limites de responsabilités du délégataire sur ces ouvrages.

La délégation de maîtrise d'ouvrage pour la réalisation de la centrale de production peut se réaliser sous plusieurs formes de délégation de service public :

- Contrat de concession
- Contrat d'affermage

La différence entre les 2 modes de délégation de service public réside principalement dans les modalités de financement de l'investissement. Dans le cas d'une concession, le délégataire finance les investissements. Dans le cas d'un affermage, l'autorité publique délégante finance les investissements.

Les avantages d'un montage sous la forme d'une délégation de service public :

- Transfert des risques vers le délégant
- Contrat unique de conception, réalisation, exploitation maintenance et donc simplification des interfaces
- Possibilité de création d'un service public de réseau de froid desservant d'autres usagers que le centre hospitalier ; permettant ainsi de mutualiser la charge d'investissement
- Dans le cas d'une concession : projet potentiellement non-consolidé dans la dette de l'autorité publique concédante (suivant niveau de subvention de l'investissement, étude financière au cas par cas nécessaire)

Les inconvénients d'un montage sous la forme d'une délégation de service public :

- Peu de possibilité de moduler la tarification en cours de contrat
- Complexité plus importante du montage contractuel par rapport à la majorité des marchés habituellement lancés par le CHM
- Dans le cas d'une concession :
 - Financement a priori plus élevé qu'un financement public
 - Durée de contrat très longue pour permettre le lissage des redevances de financement

Ce type de montage présenterait un avantage décisif dans le cas où la centrale de production de froid alimenterait d'autres sites que ceux du centre hospitalier. Dans ce cas, un réseau de froid pourrait être ainsi constitué.

Les avantages d'un réseau de froid seraient :

- Une fiscalité plus attractive avec un taux réduit de TVA sur les postes fixes de dépenses (abonnement)
- Mutualisation de l'investissement de la centrale de production entre plusieurs acteurs
- Accès aux dispositifs de subventions ADEME sous réserve du respect d'un taux ENR > 50% suivant les modalités de calcul fixées dans le règlement délégué de la Commission européenne

8.3. Bilan comparatif

Les montages délégrant le financement des installations permettraient au centre hospitalier de libérer de la capacité à investir sur d'autres projets.

Toutefois, le coût de financement devrait être comparé aux modalités d'un financement interne au Centre Hospitalier.

Ensuite, les différents montages contractuels doivent être appréciés en fonction :

- Des ressources du Centre Hospitalier mobilisables pour monter le ou les marchés : volumes et compétences
- Des interfaces éventuelles et conflits de calendrier avec les contrats d'exploitation maintenance en cours
- Du souhait du Centre Hospitalier de simplifier le suivi et de déléguer une partie des risques liés au projet
- Du planning prévisionnel du projet

9. Conclusion

La centralisation de production de froid permet d'optimiser le fonctionnement des productions en fonction du foisonnement de la demande. Ainsi, la puissance froid installée passerait à 6,9MW contre 6,2MW aujourd'hui, en considérant les évolutions prévisionnelles de besoins en froid de l'hôpital, ainsi que le projet de nouveau bâtiment du SDI.

La mise en place d'un stockage permettrait d'écarter davantage cette puissance pour atteindre 6MW installés.

Le coût global annuel diminue lui aussi de 30% à 41% selon le scénario, notamment grâce aux économies liées à la maintenance simplifiée des groupes froids, et au décalage de consommation électrique dans le cas du stockage de glace.

D'un point de vue énergétique, le remplacement par des productions plus performantes permettra un gain sur la consommation électrique de l'ordre de 6% à 12% de la consommation actuelle des groupes froids. La mise en place d'une thermofrigopompe permettrait de couvrir environ 20% de la consommation globale en chaleur du site. Cette récupération de chaleur peut être optimisée par la réalisation de travaux pour l'abaissement des températures retour du réseau de chauffage actuel. Cependant les économies supplémentaires générées sur la consommation de chaleur ne permettent pas de compenser les investissements nécessaires pour réaliser les adaptations en sous-station.

Ces réductions de consommations électriques et la consommation de gaz ainsi évitée permettraient une réduction des émissions de tonnes équivalent CO2 liées à la production de froid de l'hôpital de 20%.

Par la suite, il sera nécessaire d'enclencher des études plus détaillées pour affiner les résultats de cette étude de faisabilité, notamment concernant les travaux de génie civil et de raccordement électrique.

Indicateurs	Scénarii et gains				
	Production non centralisée	Production centralisée avec valorisation de chaleur (TFP)			
		S1		S2	
	Référence : Renouvellement GF	Condenseurs eau sans stockage glace	Avec abaissement températures retour chauffage	Condenseurs eau et stockage de glace	Avec abaissement températures retour chauffage
Puissance installée	6,3 MW (avec secours)	6,9 MW avec 10% de réserve		6 MW	
OPEX					
Investissement					
Coût de financement annuel					
Coût global annuel					
Temps de retour brut* (dont CEE)					
Consommation électrique	3311 MWhélec	2925 MWhélec -12%		2925 MWhélec -12%	
Diminution de consommation de chaleur annuelle		-4 GWh -19,5%	-4,2 GWh -20%	-4 GWh -19,5%	-4,2 GWh -20%
Teq CO2 évitées		-931 t -19%	-978 t -20%	-931 t -19%	-978 t -20%

* calculé d'après la définition de l'ADEME

Indicateurs	Scénarii et gains			
	Production non centralisée	Production centralisée avec valorisation de chaleur (TFP)		
		S3	S4	
		Avec abaissement températures retour chauffage	Condenseurs air et stockage de glace	Avec abaissement températures retour chauffage
Puissance installée	Référence : Renouvellement GF 6,3 MW (avec secours)	Condenseurs air sans stockage glace 6,3 MW	Condenseurs air et stockage de glace 5,7 MW	
OPEX				
Investissement				
Coût de financement annuel				
Coût global annuel				
Temps de retour brut* (dont CEE)				
Consommation électrique	3311 MWhélec	3114 MWhélec -6%	3114 MWhélec -6%	
Diminution de consommation de chaleur annuelle		-4 GWh -19,5%	-4 GWh -19,5%	-4,2 GWh -20%
Teq CO2 évitées		-921 t -19%	-921 t -19%	-966 t -20%

* calculé d'après la définition de l'ADEME

TABEAU 11 : SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE PAR SCÉNARIO

