



TRANSFERT ET MODIFICATIONS DE LA SOUFFLERIE S3 DU CENTRE ONERA DE MEUDON (CM) VERS LE CENTRE ONERA DE PALAISEAU (CP)

ANNEXE 03-03

ETUDE APS SYSTEME DE REFROIDISSEMENT DE LA SOUFFLERIE S3

	Rédacteur	Vérificateurs		Approbateur
Fonction		Responsable AQ étude		Responsable de l'étude
Nom	Nicolas Cortes			
Visa				

GEN-F24-3 (GEN-SCI-003)

SOMMAIRE

1	DESCRIPTION.....	3
1.1	CHOIX DU FLUIDE EN CIRCULATION.....	3
1.1.1	Nature du produit.....	3
1.1.2	Point de cristallisation.....	3
1.1.3	Transfert thermique	3
1.2	BESOINS THERMIQUES.....	3
2	DIMENSIONNEMENT	4
2.1	CALCULS PRELIMINAIRES.....	4
2.2	CONCEPTION DES POMPES.....	4
2.3	POMPES DE CIRCULATION	4
2.3.1	Implantation	4
2.3.2	Pompes P700A/B	4
2.4	CUVE FT T701.....	5
2.5	POMPE DE REMPLISSAGE P701	5
2.6	GROUPE FROID (GF)	5
2.7	ECHANGEUR AIR/ FT HE700.....	6
2.7.1	Pression de service HE 700.....	6
2.8	ESTIMATION DU COEFFICIENT D'ECHANGE DE L'ECHANGEUR AIR/FT.....	7
3	HISTORIQUE DES TEMPERATURES.....	7
4	FICHE TECHNIQUE GF CARRIER	8

1 DESCRIPTION

1.1 CHOIX DU FLUIDE EN CIRCULATION

1.1.1 Nature du produit

Le produit doit être un produit moins nocif pour l'environnement en cas de fuite que d'autre glycols (comme l'éthylène glycol), de plus la toxicité orale de PEG est nettement plus faible que celle de l'éthylène glycol.

Donc le propylène glycol est choisi comme FT. Ce produit est utilisé en solution à 30% w/w.

Le produit serait un produit moins nocif pour l'environnement en cas de fuite que d'autre glycols (comme l'éthylène glycol) ; la toxicité orale de PEG est nettement plus faible que celle de l'éthylène glycol.

1.1.2 Point de cristallisation

Un historique des températures à proximité de Palaiseau (Station de Villacoublay – site Terre-Net) se trouve au chapitre 3 de la présente annexe. Il en résulte que :

- La température la plus basse est de $-7,9^{\circ}\text{C}$.
- La moyenne des températures les plus basses est de $-4,2^{\circ}\text{C}$.
- La température moyenne minimale la plus basse par jour est de -2°C .
- La moyenne des températures moyenne minimale par jour est de $-1,2^{\circ}\text{C}$.

La température du site minimale considérée dans l'étude (pour les calculs) est de -2°C .

Le point cristallisation du PEG à 30% (w/w) est de $-13,3^{\circ}\text{C}$; un écart minimal de $\sim 5,5^{\circ}\text{C}$ (10°F) est au minimum recommandé entre le point de congélation du FT et la température minimale extrême du site. Si l'on prend une température moyenne extrême de $-4,9^{\circ}\text{C}$, l'écart est suffisant par rapport à la concentration du PEG. L'écart serait plus juste mais encore acceptable si l'on se basait sur la température minimale de $-7,9^{\circ}\text{C}$ (différence de $5,4^{\circ}\text{C}$).

1.1.3 Transfert thermique

La boucle de circulation actuelle sur le site de Meudon est à l'eau, ce qui impose soit du traçage soit une vidange lorsque l'installation est non-opérante, les jours de froid. Afin de remédier aux conditions de site en hiver, le PEG à 30% w/w a été sélectionné. Il faut cependant souligner que ce produit en solution aqueuse à 30% possède une moins bonne chaleur spécifique C_p (kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$) et une moins bonne conductivité thermique k (en kcal/h.m 2 . $^{\circ}\text{C}/(^{\circ}\text{C}/\text{m})$) et une viscosité supérieure (cPo) ce qui entraîne une diminution du transfert thermique.

Ces caractéristiques affectent l'échangeur AIR/FT mais également les performances des évaporateurs des GF de Carrier limitant leur puissance thermique (cf. Chapitre 4). Une autre marque peut être choisie pour des études futures, mais dans ce cas, les caractéristiques techniques des équipements devront être vérifiées, notamment pour confirmer qu'il n'est pas nécessaire de reprendre les bilans thermiques ou le dimensionnement des équipements associés au GF (pompes, tuyauteries, implantation... etc.).

1.2 BESOINS THERMIQUES

Cette boucle de refroidissement permet l'élimination des calories véhiculées par l'air dans la veine d'essais, calories provenant principalement des pertes du ventilateur de circulation. Le débit d'air circulant dans la veine est de 67700 kg/h (188 kg/s, valeur maximale mesurée en étude APS) et peut atteindre une température de 55°C (mesure en étude APS). Cet air traverse l'échangeur S3 pour refroidissement, avec une température de sortie modulable entre 45 et 37°C en fonction des conditions opératoires nécessaires pour l'essai. Lors de l'étude APS, il a été déterminé que :

- Cette boucle de refroidissement est refroidie par l'intermédiaire des GF (ou chillers) à la place de la tour de refroidissement (comme actuellement utilisée).
- Les chillers et des pompes de circulation sont implantés sur le toit du bâtiment S3.

- La puissance thermique de refroidissement calculée est de ~3,4MW par suite du bilan réalisé sur l'air ($676\,800\text{ (kg/h)} \times 0,24\text{ (kcal/kg}^\circ\text{C)} \times (55^\circ\text{C}-37^\circ\text{C})$).
- Les températures entrées/sortie considérées pour le FT dans l'échangeur pour la puissance calculée (3400 kW) sont respectivement 20 et 30°C. En considérant de l'eau comme FT, un débit volumique de 292 m³/h est calculée. Avec ces conditions, les groupes Carrier de type 30 KAV-ZE-650 développant 3,5 MW avaient été sélectionnés.

L'utilisation de PEG comme FT en remplacement de l'eau limite la puissance des Groupe Carrier 30 KAV-ZE-650 à 3,1 MW. Une puissance de 3,5 MW impose l'utilisation d'un groupe froid de modèle supérieur groupes 30 KAV-ZE-750 de Carrier, équipements plus gros, plus lourds et plus onéreux. Considérant que le design thermique de 3.4 MW pouvait être surestimé, il a été validé par l'ONERA de garder les groupes froids sélectionnés précédemment (30 KAV-ZE-650 de Carrier, Chapitre 4) avec une puissance frigorifique maximale de 3,1 MW.

2 DIMENSIONNEMENT

2.1 CALCULS PRELIMINAIRES

Le schéma présenté en annexe 6.1 est une estimation du lay-out et des chemins de tuyauteries de la boucle de circulation. Les calculs sont réalisés sur cette base et devront être repris suivant les cheminements réels lors de l'étude de détail. Le diamètre de la tuyauterie de la boucle de circulation est pris en DN 250 avec un Schedule 40 (préliminaire).

2.2 CONCEPTION DES POMPES

Le calcul est effectué pour un débit nominal de 282 m³/h et un débit maxi de 310 m³/h (surcapacité = 1.1).

La pression d'aspiration est maintenue constante grâce au vase d'expansion thermique qui fonctionne à une pression légèrement au-dessus de la pression atmosphérique à 1,1 b abs. Ce vase d'expansion est implanté sur le collecteur d'aspiration des pompes au plus près de la distribution sur les deux pompes et assure à l'entrée des pompe une pression légèrement positive.

Les hypothèses suivantes sont intégrées dans les calculs : Le Delta Pressure (DP) des filtres en Y en DN 250 est pris à 0,1 b pour un débit de 300 m³/h.

2.3 POMPES DE CIRCULATION

2.3.1 Implantation

Les pompes actuelles à Meudon sont implantées au même niveau que l'échangeur soit au niveau du sol. Sur le nouveau site, les pompes seront implantées sur le toit du bâtiment (hauteur ~7000 mm) par rapport à l'échangeur qui est implanté au niveau 0. Cette implantation implique une hauteur de liquide sur l'échangeur correspondant à une pression statique supplémentaire par rapport à l'ancienne implantation. Cette pression statique appliquée sur l'échangeur sera de l'ordre de 0,7 bar ($P = \rho \times g \times h = 1024 \times 7 \times 9,81$; avec ρ en kg/m³, g en m/s² et h en m, et P en kg/(m.s²) soit en Pa).

2.3.2 Pompes P700A/B

Le bilan thermique requiert un débit total de circulation de 301 m³/h (cf. § 5.3.2 et DS [11]). Cependant du fait de la réduction de la puissance thermique à 3,1MW limitant le débit de circulation dans les équipements sélectionnés, le débit total de circulation dans la boucle sera pris à 282 m³/h. En prenant une surcapacité de 10%, le débit total sera dimensionné à 310 m³/h. Le débit minimal requis dans une unité de GF est de 10,6 L/s ce qui impose un débit minimal global sur les 4 GF de 152 m³/h. La conception du pompage peut s'effectuer suivant deux options :

1) Soit deux pompes de 310 m³/h (2 x 100 % (100% du débit nominal de fonctionnement, il faut donc une seule pompe pour atteindre les 100% du débit nominal) une en fonctionnement et une en secours) :

- Pour les petites puissances, la pompe se calera à ~160 m³/h (fréquence 25Hz) pour assurer la circulation dans les GF. Pour les faibles refroidissements de l'air, la ligne de by-pass sera utilisée afin de limiter le débit de FT traversant l'échangeur.
- Pour des puissances supérieures, la ligne de by-pass sera fermée et le débit nécessaire à l'échange sera régulé en variation de vitesses (ou de fréquence) sur la pompe (entre 25 et 50Hz).

2) Soit des pompes de circulation ayant un débit unitaire de ~180 m³/h (3 x 50% (50% du débit nominal de fonctionnement, il faut donc deux pompes pour atteindre les 100% du débit nominal) soit une ou deux pompes en fonctionnement et une en secours) :

- Pour les puissances maximales, deux pompes sont mises en circulation avec une régulation de débit jusqu'à une fréquence minimale de 22 Hz (débit total de 160 m³/h).
- Pour les petites puissances ne nécessitant pas un débit > à 180m³/h, une seule pompe assurera la circulation dans les GF. Pour les très faibles refroidissements de l'air, la ligne de by-pass sera utilisée afin de limiter le FT traversant l'échangeur.

Le choix de ce fonctionnement (fonctionnement 1 ou 2) dépend de la fréquence d'utilisation de la boucle pour des puissances faibles : si la fréquence d'essais à faible puissance représente la majorité des cas d'essais, la deuxième solution est plus appropriée. Cette solution reste plus chère (3 pompes au lieu de deux, nécessite plus de place d'implantation, un automatisme plus complexe et une pompe bien sélectionnée (point de fonctionnement avec une courbe de pompe pentue).

Le choix actuel de l'étude se porte sur deux pompes de 310 m³/h (2 x 100%, soit deux pompes pouvant fonctionner à 100% du débit nominal).

2.4 CUVE FT T701

Le volume utile du circuit de refroidissement est estimé ~8 à 9 m³ de FT.

Un réservoir de 12/14 m³ est installé dans le local S3. Il permet de répondre au besoin du procédé dans :

- Les phases de remplissage de l'installation : le remplissage des installations est réalisé par la pompe P701 ;
- Les phases de vidange partielle ou totale de l'installation : la cuve est localisée au plus bas des installations afin de permettre au maximum une vidange gravitaire des tuyauteries.

Afin d'éviter une cuvette de rétention, une cuve double enveloppe est requise. Cette cuve est préconisée en PEHD mais un autre matériau peut être envisagé.

2.5 POMPE DE REMPLISSAGE P701

Une pompe P701 de remplissage en FT est installée à proximité de la cuve T701. Elle possède un débit de 3 m³/h et une hauteur manométrique totale (HMT) de 3 bar environ.

La HMT de la pompe est vérifiée lors de la phase d'exécution en fonction des pertes de charge totales sur le circuit d'eau à partir des isométriques de construction des circuits.

2.6 GROUPE FROID (GF)

L'unité de refroidissement est constituée de 4 groupes froids (GF 700 A, B, C et D), implantés en parallèle.

En utilisant le PEG comme fluide thermique, chaque unité délivre une puissance maximale de 782 kW assurant une puissance frigorifique totale de 3128 kW. Bien que le besoin thermique requis dans les phases d'études antérieure soit de 3,4 MW (cf. § 5.3.2), la puissance maximale requise par le client a été diminuée autour de 3.1 MW, permettant l'utilisation des groupes 30 KAV-ZE-650 de Carrier.

Avec ces équipements, le débit maximal pouvant transiter dans le GF est de 282 m³/h (70.5 m³/h par unité).

Le dossier APD est réalisé à partir des spécifications indiquées pour ces équipements dont une fiche technique est proposée au chapitre 4

Les groupes froids sont demandés avec un gaz frigorigène type « vert » à faible GWP (global warming potential) ou PRG (Potentiel de réchauffement global) comme les fluide HFO (Hydro Fluoro Oléfines) réfrigérants de 4ème génération.

La puissance minimale délivrée par les groupes froids est de 121 kW satisfaisant à la réquisition du client de 200 kW.

2.7 ECHANGEUR AIR/ FT HE700

L'échangeur AIR /FT HE 700 est récupéré de l'ancienne installation.

2.7.1 Pression de service HE 700

L'échangeur de refroidissement sera conservé et ré-utilisé sur le site de Palaiseau : cet échangeur est une technologie tubulaire avec des ailettes externes jointives augmentant la surface d'échange en contact avec l'air. Le FT transite à l'intérieur des tubes : Cet échangeur possède actuellement une PS intérieur tube de 2,5 b.g et une pression d'épreuve de 4 b.

L'implantation préliminaire des unités sur le site de Palaiseau établit que :

- La pression opératoire en entrée des tubes côté FT de l'échangeur AIR est de 2,9 à 3 b.abs ;
- La pression maximale pouvant être atteinte dans les tubes en cas de débit nul de FT est de ~3,2 à 3,6 b.g.

Ces pressions opératoires ou maximales sont soit proches soit supérieures à la PS réglementaire qui est inscrite sur l'équipement. Cet équipement en l'état ne peut être ré-utilisé sans être re-éprouvé et timbré à une PS supérieure à 4 b g correspondant aux nouvelles conditions opératoires. Cependant, le titulaire pourra proposer une méthode différente de requalification de cet équipement (par calcul notamment).

La DP au travers des évaporateurs (données issues des fiches techniques produits du constructeur Carrier) est prise à 0,15b pour un débit de 282 m³/h.

Aucune donnée client sur la perte de charge de l'échangeur en fonction des débits n'est disponible. La DP dans les tuyauteries de l'échangeur est estimée par calcul : Nous prendrons une DP de 0,3 b pour un débit de 280 m³/h.

Les calculs préliminaires pour les débits considérés donnent :

Cas	HMT calculée (2) (mCL)	HMT prise/spécifiée (mCL)	P shut-off pompe (b abs) (1)	Pression à l'échangeur shut-off pompe (b abs)
Nominal	13,59	17	3,29	4,28
Design	16	19	3,53	4,51

2.8 ESTIMATION DU COEFFICIENT D'ÉCHANGE DE L'ÉCHANGEUR AIR/FT

Le besoin thermique du client autour de cet échangeur se résume par : une surface d'échange d'environ 2200m², une puissance de 3,1 MW et :

Air :

- Débit : 620000 kg/h ;
- Température entrée /sortie : 55°C -> 37°C ;
- Cp =0.24 kcal/kg.°C.
- FT: Débit : 290000 kg/h ;
- Température entrée /sortie : 20°C -> 30°C ;
- *Cp =0.95 kcal/kg.°C.

Avec un LMTD ~20,5°C, on aurait un coefficient nécessaire minimal de 58 kcal/h.m².°C.

Divers calculs thermiques ont été réalisés concernant ces conditions opératoires : certains donnent des estimations plus faibles du coefficient global d'échange de l'ordre de ~35-37 kcal/h.m².°C. Ce faible coefficient global peut s'expliquer par le côté air, côté limitant du transfert thermique avec un coefficient air ~45 kcal/h.m².°C, même alors que les vitesses de passage de l'air dans les ailettes sont de 10 m/s. En cas de limitation du coefficient global d'échange, la puissance totale transférée serait moindre et estimée autour de 2000000 kcal/h (2320 KW) avec les caractéristiques suivantes :

- Air : 620 000 kg/h; température = 55°C -> 41,6°C;
- PEG : 290 000 kg/h; température = 20°C-> 27,9°C;
- LMTD=24.5 °C;
- U global = 36 kcal/h/m².°C.

3 HISTORIQUE DES TEMPERATURES

Historique : Valeurs mesurées à Villacoublay (site Terre-Net) Année	Température minimum extrême (°C)	Température moyenne minimum du jour (°C)
Jan 2015	-2,7	-0,9
Jan 2016	-5,5	-0,5
Jan 2017	-6,4	-2
Fev 2018	-7,9	-4,7
Jan 2019	-4,2	-1,4
Jan 2020	-2,1	1,8
Jan 2021	-4,2	-0,25
Jan 2022	-3,9	-1,7
Moyenne	-4,6	-1,2

4 FICHE TECHNIQUE GF CARRIER

30KAV-ZE 0650

Groupes de refroidissement à condensation par air avec compresseur à vis à vitesse variable

Performances		
Mode		Froid
Puissance frigorifique (1)	kW	783
Rendement énergétique de refroidissement (EER) (1)	kW/kW	3.03
Puissance absorbée de l'unité (1)	kW	258
Niveau de puissance acoustique (LwA) (1)	dBA	97
Niveau de pression acoustique à 10.0 m (LpA) (1)	dBA	64
Puissance minimale (2)	kW	121
Puissance maximale	kW	783

(1) Toutes les performances sont conformes à la norme EN 14511-3:2018. Niveau d'émissions sonores conforme à ISO 9614-1.

(2) En raison du débit minimum admissible, il peut être nécessaire de spécifier une température d'entrée d'eau inférieure pour atteindre ces performances.

Conditions de fonctionnement		
Élément du système		Froid
Évaporateur	Type de fluide	30 % de propylène glycol
	Taux d'encrassement (sqm-K)/kW	0
	Température de sortie °C	20.0
	Température à l'entrée °C	30.0
	Débit de fluide l/s	19.6
	Perte de charge totale kPa	12.0
Condenseur	Température de l'air à l'entrée °C	40.0
	Altitude m	0

La configuration possible du groupe.		
149	BACnet/IP	
15	Bas niveau sonore	
159	Contact pour Détection des fuites de fluide frigorigène	
17	Moteur EC	
23A	Panneaux d'habillage	
266	Kit manchettes raccordement évap. à souder	
284	Prise électrique 230 V	
41A	Protection antigel évaporateur	



Image non contractuelle

Rendement saisonnier (3)		
Applications approuvées pour le marquage CE :		
Refroidissement de confort : T ≥ 2 °C*	SEER 127 °C η _{pfroid}	5.28 208
Refroidissement de confort : T ≥ 13 °C*	SEER 2218 °C η _{pfroid}	6.14 242
Processus de refroidissement à haute température: T ≥ 2 °C*	SEPR 127 °C	6.51

* Conforme ECODESIGN selon (EU) N° 2016/2281

(3) Toutes les données associées à l'efficacité saisonnière sont données pour les unités standard et les options principales (eau glycolée, pompe, efficacité énergétique...).

Informations sur l'unité		
Source		Montluel
Type de fluide frigorigène		R1234ze
Masse de réfrigérant	kg	166
Tonnes équivalent CO2	Tonnes	1.16
Nombre de circuits frigorifiques		2
Nombre de passes		2
Nombre de compresseurs		2
Nombre de ventilateurs		12
Masse en fonctionnement/expédition	kg	6736/6661
Dimensions de l'unité (L×P×H)	mm	7963x2262x2324

Informations sur les circuits électriques		
Tension	V-Ph-Hz	400-3-50
Puissance abs. régulation	kW	0.430
Facteur de puissance		0.920
Circuit 1		
Intensité maximale	A	499
Intensité de démarrage	A	<RLA
Intensité aux conditions Eurovent	A	336

Documentations		
	PSD	
	IOM	
	Dessin technique	
	Fichier Revit	



Rapport de rendement

Projet: ONERA

Étiquette: 30KAV-ZE0650 GLYCOL

Date: 12/16/21 17:49

Préparé par : Ralph LOTTIER

Ligne de charge					
Performance de l'unité		(1)			
Pourcentage de la capacité max.	%	<i>Max</i>	70.0	50.0	20.0
Puissance frigorifique	kW	<i>783</i>	556	397	159
Pourcentage de la puissance max.	%	<i>100.0</i>	58.0	41.3	15.9
Puissance absorbée de l'unité	kW	<i>258</i>	150	107	41.1
Rendement énergétique de refroidissement (EER)	kW/kW	<i>3.03</i>	3.72	3.72	3.86
Puissance sonore (pondération A)	dBA	<i>92</i>	92	92	86
Données évaporateur					
Température du fluide en entrée	°C	<i>30.0</i>	30.0	29.3	26.1
Température de sortie du fluide	°C	<i>20.0</i>	20.0	20.0	20.0
Débit de fluide	l/s	<i>19.6</i>	13.7	10.6	10.6
Données condenseur					
Température de l'air à l'entrée	°C	<i>40.0</i>	40.0	40.0	40.0

Les valeurs données sont interpolées et ne sont pas directement mesurables dans des conditions de laboratoire
 Les valeurs en italiques expriment la puissance maximale.

(1) Un cyclage du compresseur est attendu. Les performances annoncées sont des moyennes.