

BTS FED 2018 : Physique et Chimie

Option : Froid et Conditionnement de l'Air (FCA)

Maintenance d'une Tour AéroRéfrigérante (TAR)

Le technicien de l'entreprise FRIGI+, société de stockage de produits surgelés dans le sud-ouest de la France, doit réaliser une maintenance annuelle sur une tour aérorefrigérante d'une installation frigorifique.

L'installation est une cascade CO_2/NH_3 avec distribution par un fluide caloporteur, le MEG 33 %, pour le froid positif et le CO_2 liquide pour le froid négatif. La condensation de la partie HP du circuit ammoniac est assurée par une tour aérorefrigérante, notée TAR.

Le schéma global de l'installation est donné en annexe 1.

L'ensemble du sujet porte sur les opérations de maintenance de la tour uniquement.

Tour AéroRéfrigérante



A - Traitement de l'eau

I - Analyse du pH

1. D'après l'analyse réalisée par le technicien, dont le compte rendu est donné en annexe 2, indiquer si l'échantillon traité par l'analyseur 3D TRASAR TECHNOLOGY est acide ou basique. Justifier la réponse.

2. Calculer la concentration molaire C en ion oxonium H_3O^+ de l'échantillon.

II - Traitement du calcaire

Le compte rendu de service de l'annexe 2 indique un entartrage de la tour. Une analyse du système permet d'estimer la masse de tartre à la valeur de 1,0 tonne.

Il est décidé de détartrer à l'aide d'acide chlorhydrique concentré lors du prochain arrêt de l'installation.

Les caractéristiques sur l'acide chlorhydrique sont données sur l'annexe 3.

L'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$, $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) réagit avec le tartre ($\text{CaCO}_{3(\text{s})}$) pour donner du dichlorure de calcium ($\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}$, $2\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$), du dioxyde de carbone et de l'eau.

1. Ecrire l'équation de la réaction.
2. Citer les risques de ce procédé pour le personnel et l'installation.
3. Afin de préparer l'opération, l'entreprise commande un volume de 2100 litres d'acide chlorhydrique. Vérifier que la quantité d'acide est suffisante pour éliminer l'ensemble du tartre de l'installation.

III - Analyse du titre hydrotimétrique

Cette partie sera traitée en s'aidant des annexes 2 et 4.

1. Expliquer l'utilité de la mesure du titre hydrotimétrique, TH.
2. L'analyse de l'eau adoucie permet de mesurer la teneur de l'eau en espèces ioniques minérales exprimée en mg.L^{-1} . Les résultats sont donnés ci-dessous :

Calcium : 104	Magnésium : 10	Sodium : 9,2	Potassium : 2,5
Sulfate : 853	Hydrogénocarbonate : 240	Chlorure : 10	Nitrate : 2,9

Afin d'ajuster le réglage de l'adoucisseur, montrer que la dureté de l'eau est de 30 °f en sortie de celui-ci.

Données : Masses molaires : $M(\text{Ca}) = 40,1 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Mg}) = 24,3 \text{ g.mol}^{-1}$

3. La valeur du titre hydrotimétrique de l'eau d'appoint est de 30 °f alors que l'eau circulant dans la tour aéroréfrigérante a un titre hydrotimétrique de 45,2 °f .

Expliquer cette différence de valeurs du titre hydrotimétrique.

B - Pompe de circulation du réseau d'eau

Lors du fonctionnement on constate une baisse de performance de la TAR. Le technicien soupçonne la pompe de circulation d'être à l'origine de cette baisse. Afin de vérifier son hypothèse, il réalise des relevés sur celle-ci.

I - Etude électrique

1. En utilisant les relevés électriques fournis, en annexe 5, calculer la puissance réelle P de la pompe.
2. Interpréter la différence avec la puissance théorique de la plaque signalétique.
3. La protection thermique du moteur est réglée à la valeur de 2,7 A .

Afin de valider ce réglage, il faut tenir compte de la précision de l'appareil de mesure.

A partir de la notice, donnée en annexe 6, de la pince ampèremétrique utilisée pour la mesure, déterminer la valeur maximale I_{max} et la valeur minimale I_{min} de l'intensité réelle mesurée et expliquer si la protection thermique du moteur risque de se déclencher.

II - Glissement

Pour vérifier si le moteur de la pompe n'est pas trop usé, il est possible, en contrôlant le glissement d'un moteur électrique asynchrone, de vérifier son état d'usure.

Le glissement g ne doit pas dépasser 0,1 ou 10 %. Afin de réaliser ce contrôle, le technicien mesure la vitesse réelle de rotation du moteur à l'aide d'un stroboscope : elle est de $2800 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

En s'appuyant sur la définition du glissement fournie en annexe 5, calculer la valeur réelle du glissement g .

III - Synthèse

Rédiger une note de synthèse à l'attention du chef de service dans laquelle le technicien justifiera si la raison de la surconsommation électrique du moteur est plutôt liée à l'usure du moteur ou à un problème de débit hydraulique.

C - Performances thermiques de la tour aéroréfrigérante

Afin d'évaluer le bon fonctionnement de l'ensemble de son installation, le technicien vérifie les besoins de son installation frigorifique. Il faut donc contrôler le bon fonctionnement du circuit haute-pression HP d'ammoniac ainsi que celui de la tour aéroréfrigérante. Le technicien contrôle le rendement de la partie ammoniac et le flux thermique dans l'échangeur de la tour aéroréfrigérante.

Les données thermodynamiques mesurées sur l'installation sont fournies en annexe 6.

I - Rendement du cycle frigorifique

1. Tracer le cycle frigorifique de l'ammoniac sur le document réponse 1.

2. Les parties haute pression HP et basse pression BP sont considérées isobares. La détente est isenthalpique et la compression est adiabatique. Le fluide à l'entrée du détendeur est à l'état liquide saturé. Le fluide à l'entrée du compresseur est à l'état gazeux saturé.

2.1. Calculer le coefficient de performance de Carnot COP_C de cette installation.

2.2. Le coefficient de performance théorique de l'installation COP_{th} est égal à 7,66.

Exprimer le rendement η_{ex} de l'installation dans ces conditions en fonction des coefficients COP_C et COP_{th} . Faire l'application numérique et commenter le résultat.

II - Effet du tartre sur l'échangeur

1. Citer les différents types d'échanges thermiques qui se produisent dans l'échangeur.

2. C'est au début de l'échangeur que la paroi se charge le plus en calcaire à l'arrivée de l'eau et là où la température est la plus importante. Une mesure radiographique permet au technicien d'estimer l'épaisseur de calcaire dans l'échangeur (schéma annexe 7 : coupe de la paroi d'entrée de l'échangeur).

En utilisant l'annexe 9, montrer que le flux thermique Φ à travers la paroi au début de l'échangeur, là où se trouvent les vapeurs d'ammoniac surchauffées à la sortie du compresseur à la température de $63,6^\circ\text{C}$ et l'eau à la température de 15°C , est égal à $62,3 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

3. Calculer le rapport du flux thermique avec calcaire Φ sur le flux thermique théorique sans calcaire. Commenter ce résultat.

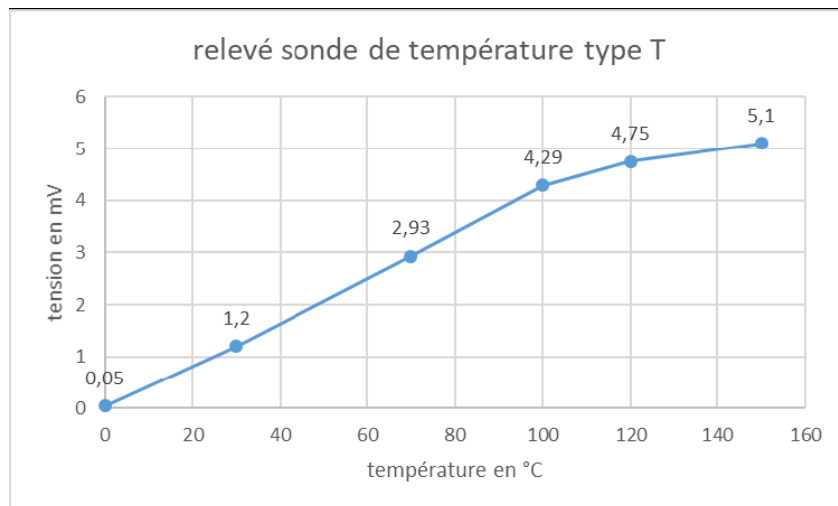
Donnée : $\Phi_{\text{paroi seule}} = 607,5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

III - Qualité des mesures de température

La plupart des mesures permettant la régulation et l'optimisation de la tour aéroréfrigérante sont réalisées à l'aide de sondes de température.

Lors de sa visite de maintenance, le technicien repère une sonde de température qui lui semble abîmée.

Il décide donc de la contrôler en effectuant des relevés. Il obtient la courbe ci-dessous.



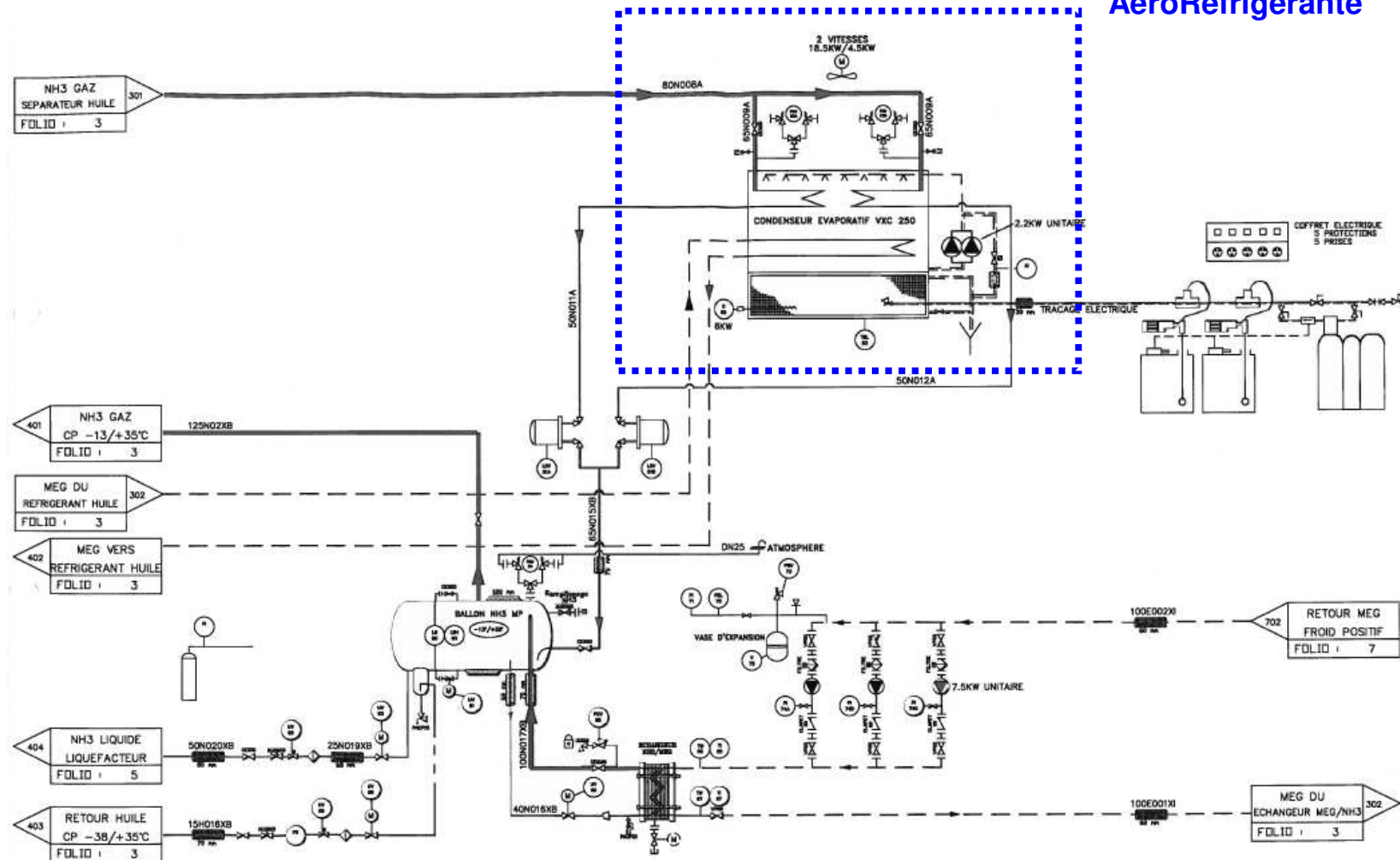
1. Décrire le protocole expérimental qui a permis au technicien d'obtenir cette courbe.

2. Expliquer si le thermocouple correspond aux caractéristiques techniques normales sur l'ensemble de sa mesure en justifiant la réponse.

La fiche technique du thermocouple est donnée en annexe 8.

ANNEXE 1

Tour AéroRéfrigérante



ANNEXE 2

CONTROLE

Company

M Martin
06 06 06 06 06
ZAC du bon test

98120 RACK

VISITE DE SERVICE

CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT

Le 27 Novembre 2016



G Mickael

ZI chemin Long

33555 BERNA

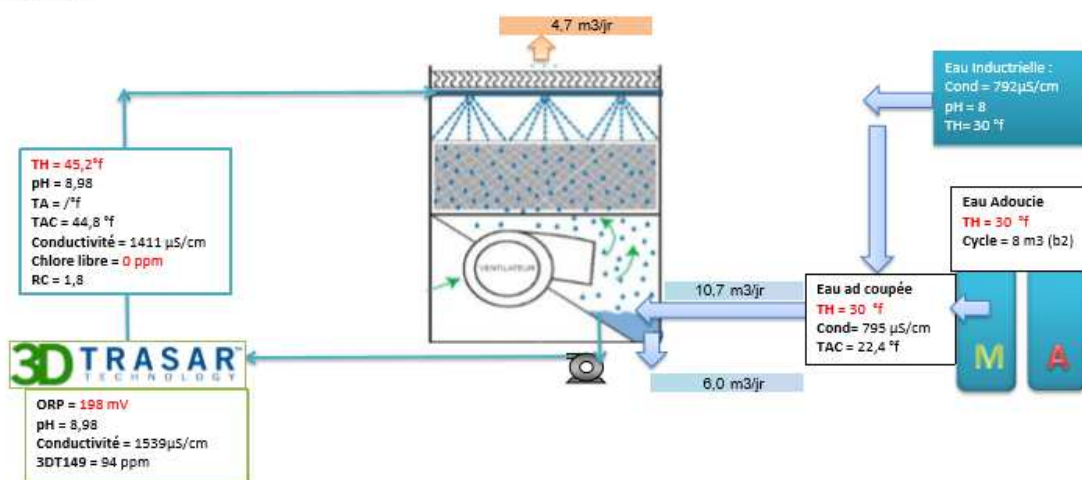
Eau d'appoint : eau adoucie coupée:

TH de l'eau à 30 °f en alimentation de la tour. Pas de sel dans le bac de l'adoucisseur => **Entartrage de la tour**
Lancement d'une régénération forcée de l'adoucisseur.
Faire un suivi du TH régulier.

Eau du circuit:

Titres chimiques notamment TH en limite supérieur des préconisations.
La taux de concentration de la tour est correct < 2 pour une entrée en eau dur afin de limiter l'entartrage.
Cependant ceci implique une plus forte consommation d'eau de ville et de produit de traitement.
ST40: **Pas d'injection et produit dans le porta feed dilué.** Changement du clapet d'injection ce jour avec clapet anti-retour.
Finir le porta feed de ST40 jusqu'à niveau zéro et faire le changement sur un bidon le temps de la prochaine recharge de porta feed. **Nalco préconise un choc de 2510 à 200 g/m3 en fermant la vanne de purge**

Bilan du jour :



Source :



ANNEXE 3 - Caractéristiques de l'acide chlorhydrique

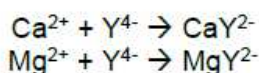
Caractéristiques	Valeurs
Aspect	Liquide, incolore à légèrement jaune, fumant à l'air
Odeur	Piquante, âcre et irritante
Seuil olfactif	1 - 5 ppm
Poids moléculaire du chlorure d'hydrogène pur	36,5 g/mol
pH	<1
Point de fusion	-39 °C
Point d'ébullition	78 °C mais augmente avec le temps d'ébullition jusqu'à atteindre 108,6 °C
Point éclair	Non applicable
Température de décomposition	Non déterminé
Auto-inflammation	Non déterminé
Danger d'explosion	Le produit n'est pas explosif.
Pression de la vapeur à 20°C	50 hPa ou 20 mbar
Densité relative du produit dilué à 33 % à 20 °C	1,17 g/cm ³
Concentration molaire	10,58 mol/L
Solubilité dans/miscibilité avec l'eau	Entièrement miscible
Viscosité à 15°C	Dynamique : 1,9 mPa.s

Pictogramme	 Danger
Phrases de Risque	H290 : Peut-être corrosif pour les métaux. H314 : Provoque de graves brûlures et des lésions oculaires. H335 : Peut irriter les voies respiratoires.
Conseils de Sécurité	P102 : Tenir hors de portée des enfants. P260 : Ne pas respirer les poussières/fumées/gaz/brouillards/vapeurs/aérosols. P280 : Porter des gants de protection/des vêtements de protection/un équipement de protection des yeux/du visage. P303+P361+P353 : EN CAS DE CONTACT AVEC LA PEAU (ou les cheveux) : enlever immédiatement les vêtements contaminés. Rincer la peau à l'eau/se doucher. P305+P351+P338 : EN CAS DE CONTACT AVEC LES YEUX : rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes. Enlever les lentilles de contact si la victime en porte et si elles peuvent être facilement enlevées. Continuer à rincer. P304+P340 : EN CAS D'INHALATION : transporter la victime à l'extérieur et la maintenir au repos dans une position où elle peut confortablement respirer. P301+P330+P331 : EN CAS D'INGESTION : rincer la bouche. NE PAS faire vomir. P403+P233 : Stocker dans un endroit bien ventilé. Maintenir le récipient fermé de manière étanche. P501 : Éliminer le contenu/récipient conformément à la réglementation locale/ régionale/nationale/internationale.

Source 

ANNEXE 4

La dureté totale d'une eau dépend de la concentration molaire C , exprimée en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . On note généralement $C = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$
Le titre hydrotimétrique français est donné par la relation: $TH = 10 \times C$
Pour le dosage des cations cités ci-dessus, on utilise comme solution titrante d'EDTA (notée Y^{4-}) en présence de noir ériochrome T (NET) qui sert d'indicateur coloré en milieu proche de pH égal à 10.
L'EDTA réagit avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} selon les réactions d'équations respectives :



Le **Noir ériochrome T (NET)** est un indicateur coloré utilisé lors des titrages d'ions métalliques en solution par complexation, par exemple pour déterminer la dureté de l'eau.

Dans sa forme protonée, cet indicateur est bleu. Il passe au rouge quand il forme un complexe avec le calcium, le magnésium ou d'autres ions métalliques.

Plage de valeurs du titre hydrotimétrique :

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	très douce	eau douce	plutôt dure	dure	très dure

ANNEXE 5

Document 1 : caractéristiques de la pompe.



Fiche moteur	Référence : F0020110A TAR N°1	Technicien : G. Mickael
	Nombre de paires de pôles : 1	

Document 2 : Extrait de la fiche maintenance électrique

	Relevé	Appareil de mesure	Commentaire
Intensité (courant primaire)	2,6 A	Chauvin Arnoux MN08	RAS
Tension	235 V	Fluke 28 II	RAS
Fréquence	49,99 Hz	Fluke 28 II	RAS

Source :



Document 3 : Définition du glissement

Le glissement g est généralement exprimé en pourcentage de la vitesse de synchronisme n_0 :

$$g = (n_0 - n_m) / n_0$$

La vitesse de synchronisme, quant à elle, est fonction de la fréquence du réseau et du nombre de paires de pôles. Elle s'exprime par la relation :

$$n_0 = (f \times 60) / p$$

Avec n_0 : vitesse du champ tournant en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

f : fréquence du réseau (en général 50 Hz).

p : nombre de paires de pôles.

n_m : vitesse nominale en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

ANNEXE 6

Document 1 :

Pinces ampèremétriques pour courant AC Modèles MN08 et MN09

Série MN

Courant	200 A AC
Rapport	1000/1
Sortie	1 mA/A

■ Caractéristiques électriques

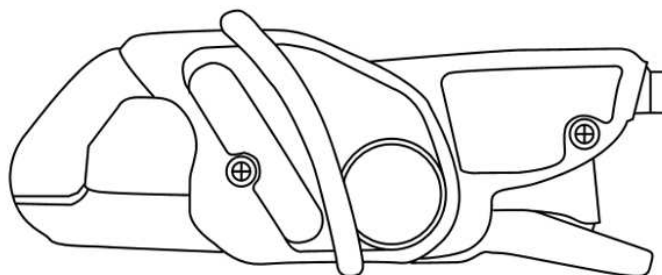
Calibre de courant :
0,5 A AC ... 240 A AC

Rapport de transformation :
1000/1

Signal de sortie :
1 mA AC/A AC

Précision et déphasage ⁽¹⁾ :

Courant primaire	0,5 A ... 10 A	10 A ... 40 A	40 A ... 100 A	100 A ... 240 A
Précision en % du signal de sortie	$\leq 3 \% + 0,5 \text{ mA}$	$\leq 2,5 \% + 0,5 \text{ mA}$	$\leq 2 \% + 0,5 \text{ mA}$	$\leq 1 \% + 0,5 \text{ mA}$
Déphasage	non spécifié	$\leq 5^\circ$	$\leq 3^\circ$	$\leq 2,5^\circ$



Source :

Document 2 : Données thermodynamiques

Extrait de la fiche de relevés de l'installation.

Relevés thermiques									
Évaporation		Condensation		Compresseur		Détendeur		Ambiance	
θ_0	p_0	θ_k	p_k	$\theta_{asp.}$	$\theta_{ref.}$	$\theta_{entrée}$	θ_{bulbe}	$\theta_{int.}$	$\theta_{ext.}$
-8,3 °C	3,1 bar	+24 °C	9,85 bar	-8,3 °C	+63,6 °C	NC	NC	+20,5 °C	+3,0 °C

Les pressions sont des pressions absolues.

θ_0 : température d'évaporation

θ_k : température de condensation

$\theta_{asp.}$: température d'aspiration

$\theta_{entrée}$: température entrée détendeur

$\theta_{int.}$: température intérieure

p_0 : pression d'évaporation

p_k : pression de condensation

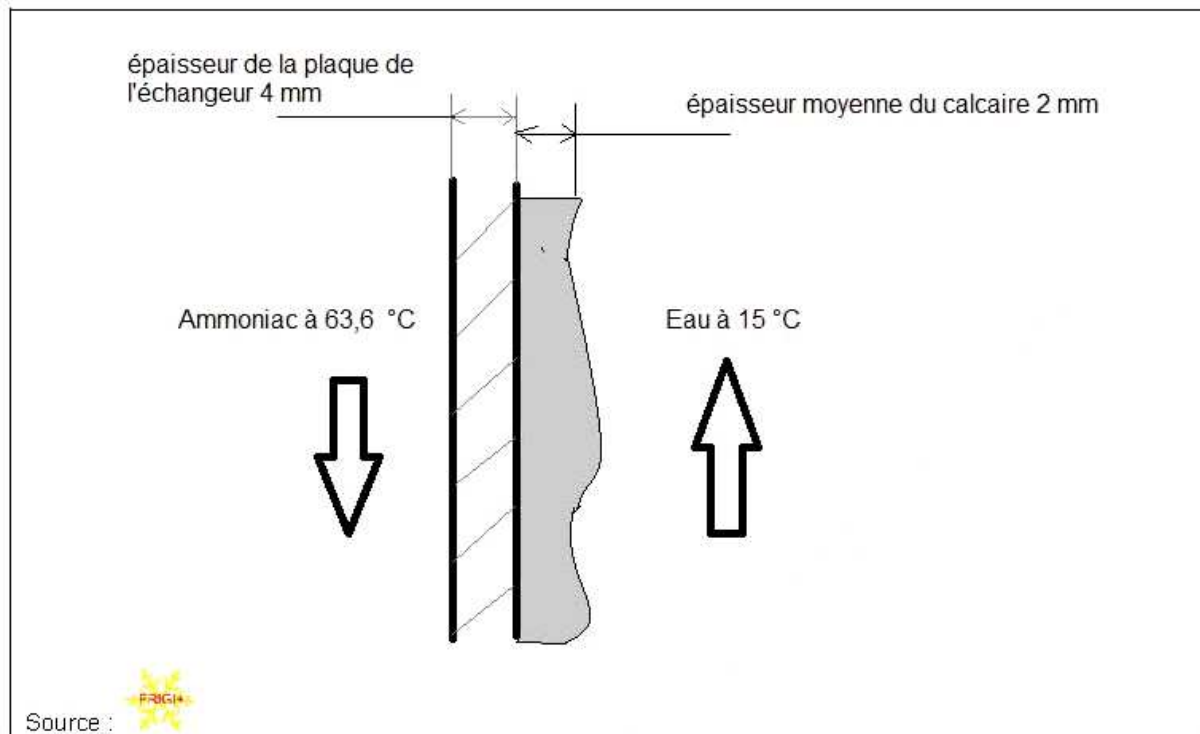
$\theta_{ref.}$: température de refoulement

θ_{bulbe} : température du bulbe détendeur

$\theta_{ext.}$: température extérieure

ANNEXE 7

Coupe de la paroi d'entrée de l'échangeur.



Matériaux	Conductivité thermique λ en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Masse volumique ρ en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Acier	50	7 850
Calcaire	2,91	2 600
Eau	0,6	1 000
Ammoniac (vapeur saturée)	0,5	6,7

ANNEXE 8

Sonde de température

Tableau des tensions thermoélectriques pour les thermocouples de type T
(Cu/ Cu_{0.60}Ni_{0.40}) extrait de la norme IEC 60584 :

Température (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
-300							-6,258	-6,248	-6,232	-6,209
-250	-6,180	-6,146	-6,105	-6,059	-6,007	-5,95	-5,888	-5,823	-5,753	-5,68
-200	-5,603	-5,523	-5,439	-5,351	-5,261	-5,167	-5,07	-4,969	-4,865	-4,759
-150	-4,648	-4,535	-4,419	-4,3	-4,177	-4,052	-3,923	-3,791	-3,657	-3,519
-100	-3,379	-3,235	-3,089	-2,94	-2,788	-2,633	-2,476	-2,316	-2,153	-1,987
-50	-1,819	-1,648	-1,475	-1,299	-1,121	-0,94	-0,757	-0,571	-0,383	-0,193
0	0	0,195	0,391	0,589	0,79	0,992	1,196	1,403	1,612	1,823
50	2,036	2,251	2,468	2,687	2,909	3,132	3,358	3,585	3,814	4,046
100	4,279	4,513	4,75	4,988	5,228	5,47	5,714	5,959	6,206	6,454
150	6,704	6,956	7,209	7,463	7,72	7,977	8,237	8,497	8,759	9,023
200	9,288	9,555	9,822	10,092	10,362	10,634	10,907	11,182	11,458	11,735
250	12,013	12,292	12,574	12,856	13,139	13,423	13,709	13,995	14,283	14,572
300	14,862	15,153	15,445	15,738	16,032	16,327	16,624	16,921	17,219	17,518
350	17,819	18,12	18,422	18,725	19,03	19,335	19,641	19,947	20,255	20,563
400	20,872									

Le tableau ci-dessus donne la tension à la sortie des thermocouples (TC) de type T selon ses gammes de températures, par paliers de 5 °C.

La température de référence du thermocouple est de 0 °C.

Les thermocouples de type T sont constitués du couple cuivre/constantan.

Le cuivre est la borne positive du thermocouple.

Les températures sont exprimées en °C et les tensions en mV.

Chaque colonne est une incrémentation de 5 °C des températures de la ligne.

Exemple de lecture :

$$U = 2,687 \text{ mV} \quad \text{et} \quad \theta = 50 \text{ °C} + 15 \text{ °C} = 65 \text{ °C}$$

→ Pour une température de 65 °C on mesure une tension de valeur égale à 2,687 mV

ANNEXE 9

Flux thermique	
$\Phi = (T_2 - T_1) / R$	Avec Φ flux en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ T température en K R résistance thermique en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2$

Résistance thermique	
$R = e/\lambda$	Avec R résistance thermique en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2$ e épaisseur en m λ conductivité thermique en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Document réponse 1 à rendre

Ammoniac (R 717)

(Ammoniac NH_3)

