

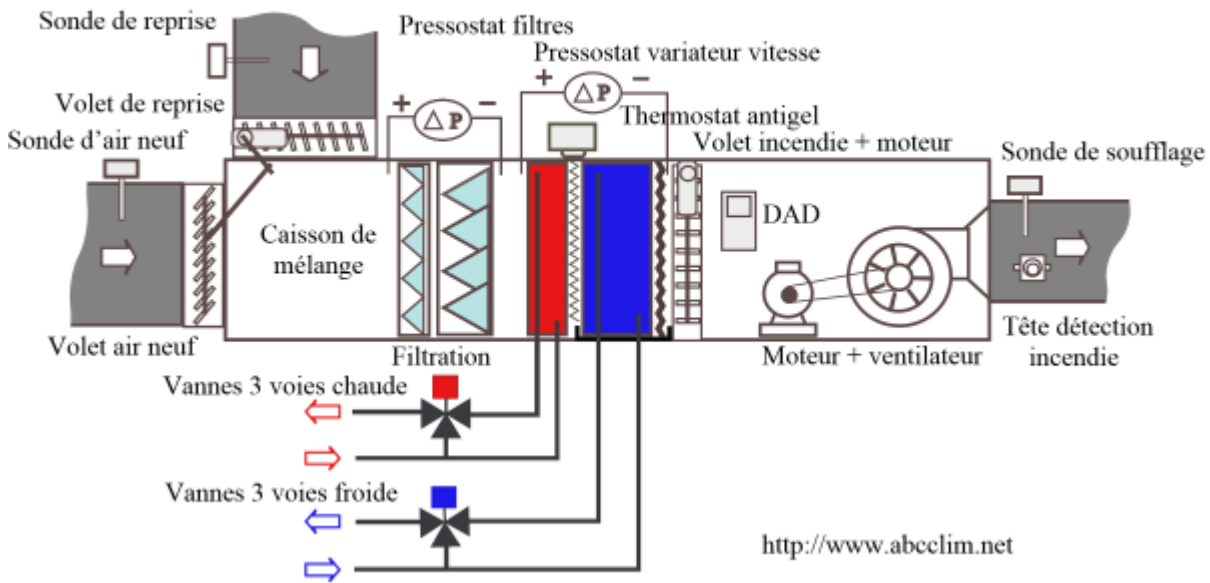
BTS FED 2016 : Physique et Chimie

Option : Froid et conditionnement d'air

Centrale en Traitement d'Air (CTA)

Une équipe de techniciens réalise l'installation d'une centrale de traitement de l'air et d'une chaudière à gaz dans un bâtiment situé sur la commune de Villard au sud-est de Saint-Etienne. Ce bâtiment peut accueillir deux commerces et abrite aussi des bureaux et des services de restauration.

Schéma de principe d'une CTA



La centrale de traitement de l'air assure les fonctions suivantes :

- préparation et distribution de l'air à des caractéristiques thermiques et aérodynamiques bien définies,
- distribution de l'air traité dans les locaux à climatiser par l'intermédiaire de conduits et d'appareils terminaux.

L'étude de ce système comporte quatre parties :

- la mesure du débit volumique du système de ventilation,
- la commande du moteur asynchrone,
- la mesure de la capacité calorifique du propylène-glycol,
- la régulation de température.

Les quatre parties sont indépendantes.

A - Mesure du débit volumique du système de ventilation

Le ventilateur est un appareil terminal : l'air repris est filtré puis traverse une ou deux batteries à eau ou électrique avant d'être envoyé dans les pièces à l'aide de canaux. La mesure du débit volumique d'air de la CTA est indispensable à la régulation de la vitesse du moteur.

On se propose d'étudier le principe de fonctionnement de la sonde dans le cas d'un écoulement d'air. On supposera que l'air est incompressible et que l'écoulement est permanent dans une canalisation horizontale.

Des relations pouvant être utiles sont rappelées en annexe.

1. Proposer une stratégie expérimentale pour mesurer le débit volumique d'air. On utilisera le matériel proposé ci-dessous et les informations du document 1.

Matériel :

Manomètre à eau

Sonde de Pitot

Tube en PVC de diamètre $d_t = 45,0$ cm et de longueur $L = 2,00$ m .

Ventilateur connecté au réseau triphasé

2. On note ρ_a la masse volumique de l'air et v_T la vitesse de l'air au point T. Montrer que :

$$p_S = \frac{1}{2} \rho_a v_T^2 + p_T$$

3. En appliquant la loi de l'hydrostatique au niveau du manomètre à eau, montrer que la vitesse de l'air v_a

vérifie : $v_a = \sqrt{\frac{2 \rho g h}{\rho_a}}$ avec ρ masse volumique de l'eau.

4. Dans ces conditions, dans les conduites de distribution de l'air, on lit sur le manomètre la hauteur $h = 1,70$ cm .

4.1. Calculer la vitesse de l'air v_a .

Données : $g = 9,81$ m.s⁻² ; $\rho_a = 1,29$ kg.m⁻³ ; $\rho = 1,00 \times 10^3$ kg.m⁻³ .

4.2. Montrer que le débit volumique q_v est environ égal à $9,20 \times 10^3$ m³ .h⁻¹ .

5. Un moteur de puissance nominale de 11,0 kW a été livré pour le système de conditionnement d'air. En se référant au document 2, rédiger une note de service argumentée à l'intention du chef de chantier pour montrer que ce moteur ne convient pas et proposer un moteur adapté au ventilateur.

B - Régulation de la vitesse moteur

I. Moteur asynchrone

Le moteur utilisé est un moteur asynchrone triphasé, dont les enroulements du stator sont couplés en étoile.

Les conditions nominales de fonctionnement du moteur asynchrone triphasé sont indiquées sur la plaque signalétique :

$\cos \varphi = 0,79$	50 Hz
Δ 230 V	15,2 A / 8,8 A
Y 400 V	740 tr.min ⁻¹

Le moteur asynchrone triphasé est alimenté par un réseau triphasé 230 V / 400 V – 50 Hz .

1. Justifier le couplage étoile des enroulements du moteur.

2. La puissance nominale P_a absorbée par le moteur est égale à 4,8 kW .

Calculer la puissance utile P_u fournie à l'arbre moteur sachant que le rendement est égal à 83 %. Vérifier que la valeur est cohérente avec le choix précédent du technicien.

3. Compléter le document réponse en ajoutant les appareils nécessaires pour mesurer la puissance consommée par le moteur ainsi que la tension composée.

II. Alimentation du moteur de la CTA

On alimente le moteur de la CTA à l'aide d'un variateur constitué entre autres d'un onduleur.

1. Indiquer le type de conversion réalisée par l'onduleur.
2. Expliquer l'influence de l'onduleur sur la vitesse du moteur et donc sur le débit d'air de la CTA.

C - Capacité calorifique massique du propylène glycol

Afin d'éviter les nuisances dues au froid, on utilise de l'eau glycolée pour alimenter le circuit de la batterie froide de la centrale. L'eau glycolée est un mélange d'eau et d'éthylène glycol ou de propylène glycol. L'eau glycolée à base de propylène glycol est plus onéreuse que l'eau glycolée à base d'éthylène glycol, mais présente moins de risque pour l'utilisateur et l'environnement.

On souhaite évaluer l'effet de l'ajout de propylène glycol dans le circuit d'eau sur les transferts de chaleur.

On utilise le dispositif expérimental représenté dans le document 3.

Une première expérience a permis de déterminer la capacité thermique du calorimètre :

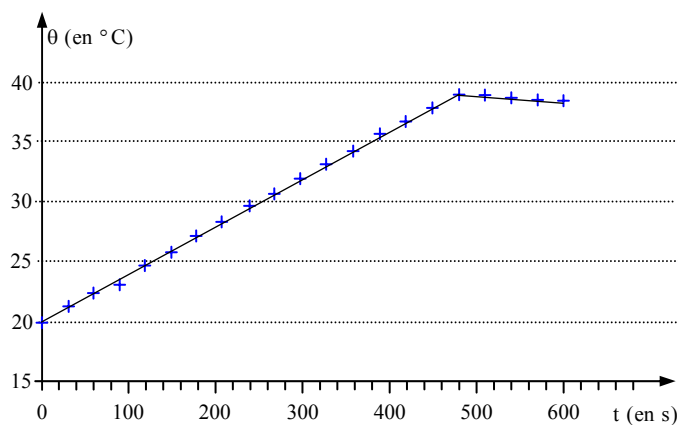
$$C_{\text{cal}} = 64 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}.$$

L'énergie dissipée par la résistance R parcourue par le courant d'intensité I pendant le durée Δt , est égale à $R I^2 \Delta t$.

Stratégie expérimentale :

On transfère une quantité de chaleur que l'on peut déterminer, à une masse $m = 200 \text{ g}$ de propylène glycol pris à la température ambiante de $20,0^\circ\text{C}$ pendant une durée de huit minutes et on relève la température du liquide toutes les 30 s et ce pendant neuf minutes.

1. Ecrire le protocole expérimental à suivre pour réaliser l'expérience avec le dispositif représenté dans le document 3.
2. Résultat : On obtient la courbe de variation de la température représentée ci-dessous :



- 2.1. Comment peut-on expliquer la décroissance de la température pour $t > 480 \text{ s}$?
- 2.2. On note D, la durée du chauffage et $\Delta\theta$ l'élévation de température de la masse m de propylène glycol. A partir d'un bilan d'énergie, montrer que la capacité calorifique massique du propylène glycol est :

$$C_{\text{pg}} = \frac{R I^2 \Delta t}{m \Delta\theta} - \frac{C_{\text{cal}}}{m}$$

3. Validation du résultat

On obtient expérimentalement $C_{\text{pg}} \cong 2,49 \text{ kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$.

Le tableau représenté sur le document 4 donne les valeurs de C_{pg} en fonction de la température.

- 3.1. Le résultat obtenu est-il cohérent avec la valeur théorique ?

3.2. Critiquer la stratégie expérimentale mise en oeuvre.

4. La capacité calorifique massique de l'eau est égale à $C_m = 4185 \text{ J.kg.K}^{-1}$.

Expliquer comment sont modifiés les transferts de chaleur lorsque l'on ajoute du propylène glycol dans le circuit d'eau de la batterie froide.

D - Régulation de la température

Afin de contrôler le fonctionnement de la CTA, des sondes de température d'ambiance sont installées dans les locaux. Le capteur de température de ces sondes est une PT100, c'est une résistance dont la valeur varie avec la température.

On souhaite élaborer la caractéristique de transfert de ce capteur pour un intervalle de température $[0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}]$.

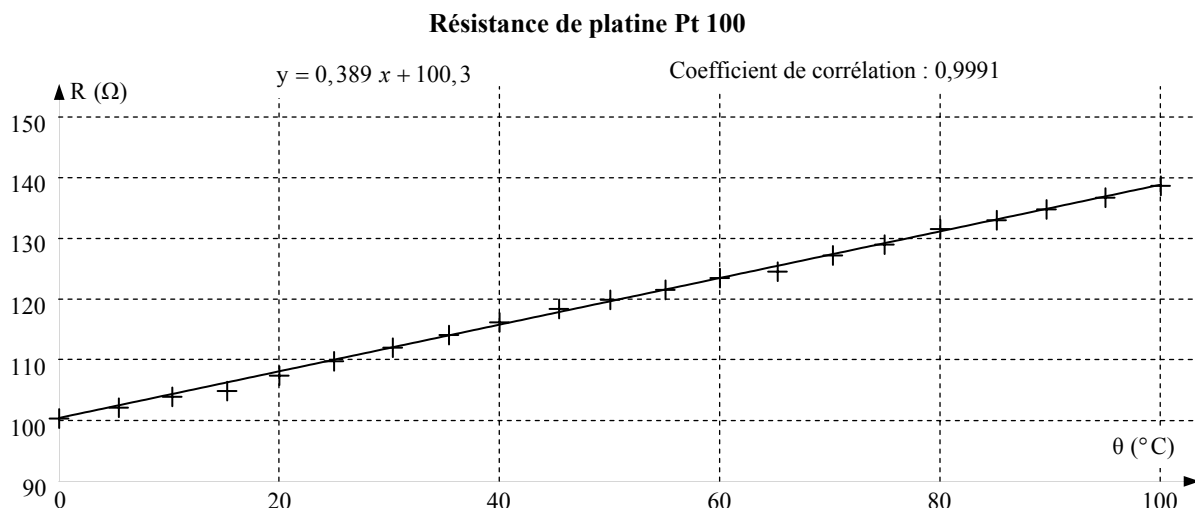
1. Caractéristique de transfert du capteur PT100.

Pour mesurer la résistance, on utilise un ohmmètre dont la précision est suffisante pour l'étude.

1.1. Présenter la stratégie expérimentale à mettre en oeuvre pour tracer la caractéristique de transfert de la sonde PT100.

1.2. Elaborer le protocole expérimental.

2. Le traitement des résultats par un tableur permet d'obtenir la caractéristique représentée ci-dessous :



2.1. Donner la relation mathématique permettant de calculer la résistance R en fonction de la température θ .

2.2. Calculer la valeur de la résistance R_1 pour une température de $21,5^\circ\text{C}$.

3. Temps de réponse

La résistance mesurée varie en fonction de la température de la sonde.

Lors d'une variation brusque de la température extérieure, l'équilibre thermique n'est pas atteint immédiatement.

Pour évaluer le « temps de réponse » du capteur, on le soumet à un échelon de température et on enregistre les variations de sa température θ en fonction du temps t .

Donnée :

Définition : Le temps de réponse à $x\%$ d'un capteur soumis à un échelon du mesurande tel que la réponse de ce capteur passe de S_1 à S_2 est la durée au bout de laquelle la valeur de la grandeur de sortie du capteur ne s'écarte

pas de plus de $x\%$ de l'écart $\Delta S = |S_2 - S_1|$ de la valeur finale S_2 .

Le mesurande est la grandeur que l'on mesure : dans le cas étudié ici, il s'agit d'une température.

3.1. A partir de la courbe expérimentale obtenue, représentée sur la figure 2 du document-réponse, vérifier que le temps de réponse à 5%, $t_{5\%}$, du capteur est voisin de 20 s. On fera apparaître la méthode de détermination sur la courbe.

Proposition de méthode graphique :

Calculer $\Delta S = |S_2 - S_1|$, valeur absolue de l'écart entre les températures finale et initiale

Rajouter 5 % de cet écart à S_2 pour obtenir S_3

Déterminer graphiquement le temps de réponse correspondant à S_3 .

3.2. Cette valeur du temps de réponse est-elle compatible avec l'utilisation de ce capteur pour une sonde de température d'ambiance associée à la CTA ? Justifier la réponse.

Annexe

Conservation de l'énergie dans un fluide s'écoulant entre 2 points 1 et 2	
sans pompe	avec pompe
$\frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h$	$\frac{1}{2} \frac{v_1^2}{g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + H_{MT} = \frac{1}{2} \frac{v_2^2}{g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h$
p : pression statique (en Pa)	H_{MT} : hauteur manométrique fournie par la pompe
ρ : masse volumique du fluide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	(en mCF)
z : altitude (en m)	Δh : pertes de charge entre 1 et 2 (en mCF)
v : vitesse du fluide (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	G : accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

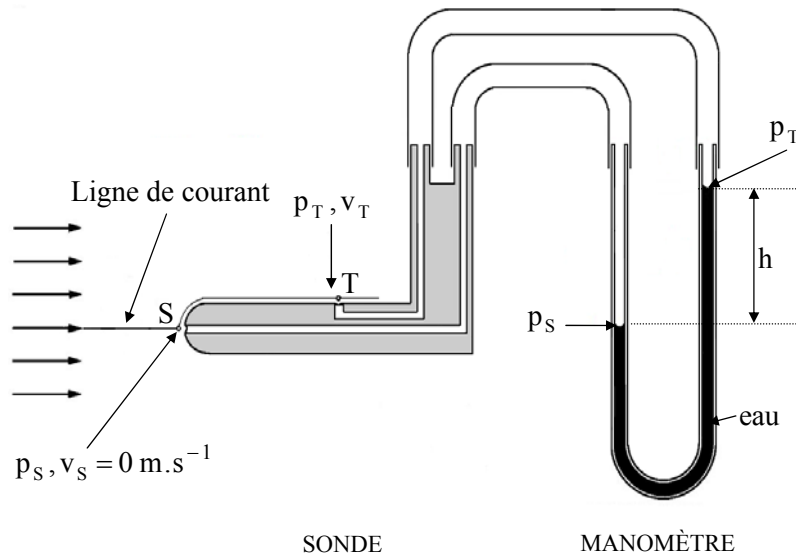
Principe fondamental de la statique des fluides : $\Delta p = \rho g h$

ρ : masse volumique du fluide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Principe d'une sonde Pitot associée au manomètre.

Les capteurs de pression dynamique permettent d'accéder à la vitesse de l'air.

Document 1

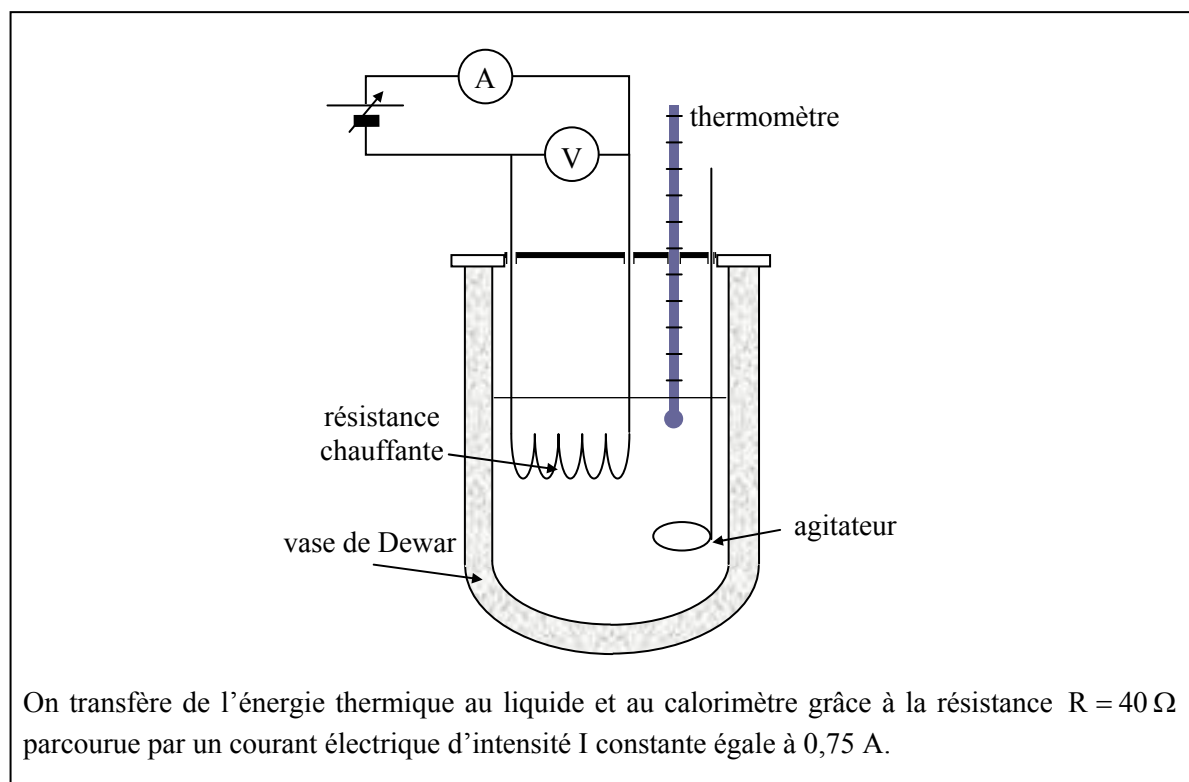
Le manomètre coudé du tube de Pitot, placé dans la conduite constitue un obstacle : la répartition des lignes de courant est modifiée. La vitesse du fluide est nulle au point S ; l'énergie cinétique du fluide au point T est convertie en énergie de pression statique (point T). La mesure de la vitesse par un tube de Pitot est basée sur le théorème de Bernoulli.

Document 2**Tableau 3 :**

Rendement utile global d'un exemple de groupe moto-ventilateur en fonction du débit-volume du ventilateur.

Débit-volume m^3/h	Puissance nominale P du moteur kW	Rendement du moteur η_M	Rendement de transmission η_T	Puissance P_w sur l'arbre du ventilateur kW	Rendement du ventilateur	Rendement utile global η_N
1000	0,55	71 %	88 %	0,41	68 %	42,5 %
10000	4,00	83 %	89 %	3,35	83 %	61,3 %
20000	7,50	84 %	90 %	6,61	84 %	63,5 %
30000	11,00	88 %	92 %	9,80	85 %	68,8 %
40000	15,00	89 %	93 %	13,07	85 %	70,3 %
50000	18,50	89 %	93 %	16,34	85 %	70,3 %
60000	22,00	91 %	94 %	20,60	81 %	69,1 %
70000	30,00	91 %	95 %	23,15	84 %	72,6 %
80000	30,00	92 %	95 %	26,14	85 %	74,3 %
90000	37,00	92 %	95 %	29,41	85 %	74,3 %
100000	37,00	92 %	95 %	32,68	85 %	74,3 %

D'après « Pratique des ventilateurs à l'usage des techniciens et des installateurs » de Joseph Lexis,
Les Éditions Parisiennes.

Document-réponse à rendre avec la copie**Document 3****Document 4**

T (en K)	θ (en $^{\circ}\text{C}$)	c_p (en $\text{J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	c_p (en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
213,15	-80	152970	2010
229	-27,15	160031	2103
237	-19,15	163592	2150
246	-11,15	167599	2202
254	-3,15	171161	2249
262	5,85	174722	2296
270	13,85	178284	2343
279	21,85	182291	2396
287	29,85	185852	2442
295	38,85	189414	2489
303	46,85	192976	2536
312	54,85	196982	2589
320	62,85	200544	2635
328	62,85	204106	2682
336	62,85	207667	2729

Document-réponse à rendre avec la copie

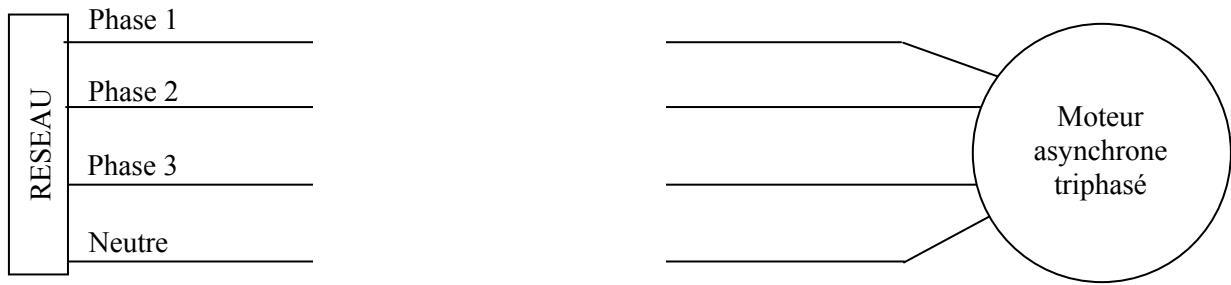


Figure 1

