

Examen SSI 2011 – Caractéristiques d'un fil chaud

Dans ce travail nous allons représenter de manière simplifiée un anémomètre à fil chaud. Voici l'introduction de l'article de la revue les « Techniques de l'ingénieur » présentant ce type de système de mesure:

« Les appareils qui sont traditionnellement désignés comme anémomètres à fil chaud forment en fait une classe plus large que l'on pourrait appeler anémomètres thermiques. Le principe de ces appareils est de chauffer, par effet Joule, un élément (fil ou film) dont la résistance dépend de la température. Cet élément, placé dans un écoulement de fluide, est refroidi par convection, sa température, donc sa résistance, est alors liée en premier lieu à la vitesse du fluide, mais aussi à sa température et aux caractéristiques physiques de ce fluide régissant le transfert thermique entre l'élément et le milieu environnant. Les anémomètres à fil ou film chaud vont donc permettre de déterminer les caractéristiques de vitesse locale d'un fluide. »

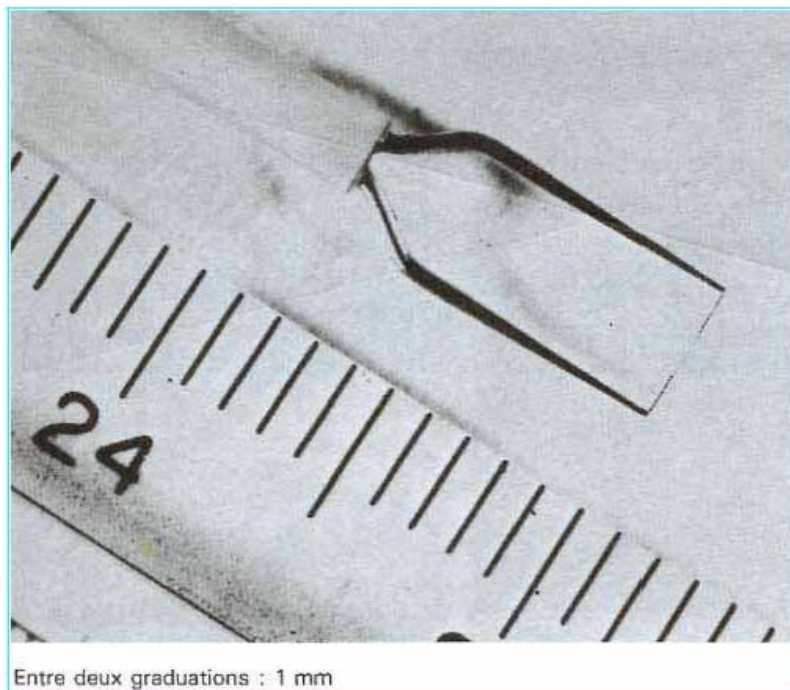
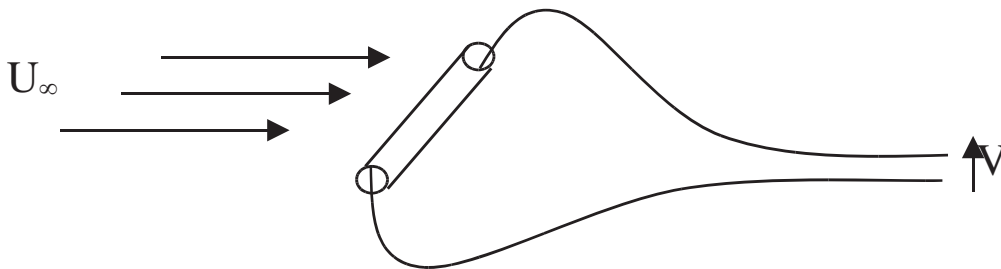


Illustration 1: Sonde à fil chaud droit, extrait de l'article TI - R2272

I. Caractéristiques et hypothèses d'étude

Pour toutes les parties de ce sujet on considèrera les caractéristiques et hypothèses suivantes.

Le fil chaud sera assimilé à un cylindre en platine, de faible diamètre, de longueur $l = 1\text{cm}$.

Les propriétés du platine seront prises constantes (fonction avec sous-modèle **THSD02**, valeurs en annexes).

Le fil chaud mesure la vitesse dans un écoulement d'air à la température $T_{\text{air}} = 50^\circ\text{C}$ et à la pression atmosphérique.

On considèrera que la température du fil est totalement uniforme dans tout le fil et donc que le système est thermiquement mince.

Nous ferons l'hypothèse que la conduction thermique aux bornes du fil est nulle.

Nous considérerons que le transfert thermique entre le fil et l'air se réalise uniquement par convection forcée sur les surfaces latérales de celui-ci et nous négligerons les transferts radiatifs.

Sur la page html dédiée au sujet vous pourrez télécharger le fichier caractéristique de l'air ainsi que le fichier amesim pour démarrer le travail.

Vous trouverez en annexes, en fin de sujet, les relations utiles principales relatives aux nombres adimensionnels.

À la fin du temps imparti pour l'épreuve, n'oubliez pas de sauvegarder vos fichiers et de les purger (il peut y avoir des problèmes de transferts pour les gros fichiers...).

II. Détermination de la puissance électrique

Dans cette partie nous considérerons que le fil à un diamètre de $D=0,08\text{ mm}$ et qu'il est placé dans un écoulement d'air normal à l'axe du fil, à la vitesse de $V=10\text{ m/s}$. Nous réaliserons des calculs en régime stationnaire.

Travail à réaliser:

1. Télécharger le fichier nommé **fil_chaud.ame**, disponible sur la page html ouvrez-le. Attention les fonctions des signaux d'entrées délivrent une valeur égale à 1 par défaut.
2. Associez le fichier relatif aux propriétés de l'air à la fonction adéquate (**TFFD3**).
3. Déterminez le nombre de Reynolds caractéristique de l'écoulement

$$Re = 34,2$$

4. En déduire l'équation liant les nombres adimensionnel

$$Nu = f(Re; Pr) = 0,911 * Re^{0,385} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

Même si n'est pas exact, par souci de simplification on supposera que cette équation est toujours vraie quel que soit le nombre de Reynolds dans la suite du travail.

5. En construisant le système adéquat, déterminez la puissance électrique de chauffage à apporter au fil chaud pour que sa température soit de $T_{fil} = 60^\circ\text{ C}$ dans l'écoulement d'air

$$Puissance = 0,0304\text{ W}$$

6. Donnez dans ces conditions le coefficient de convection entre l'air et le fil

$$h = 1210,9\text{ W.m}^{-2} . \text{K}^{-1}$$

7. Enregistrez votre modélisation sous le nom « **nom_de_famille_fil_chaud_1** » avec votre propre nom de famille.
8. Enregistrez votre fichier sous le nom « **nom_de_famille_fil_chaud_2** » .
9. Déterminez la température du fil si on lui fournit une puissance de $P=0,05\text{ Watt}$, modifiez le circuit si nécessaire. Donnez aussi le coefficient de convection dans ce cas.

$$T_{fil} = 66,4^\circ\text{ C}$$

$$h = 1212,85\text{ W.m}^{-2} . \text{K}^{-1}$$

10. Sauvegardez votre travail .

Dans la partie suivante du sujet nous allons évaluer l'impact du diamètre sur le temps de réponse du système de mesure. Nous allons donc, dans la fin de cette partie, préparer notre système afin de changer les paramètres liés au diamètre du fil rapidement. Pour cela nous allons créer une variable globale égale au diamètre et rendre dépendant tous les paramètres liés.

11. Enregistrez votre fichier sous le nom « **nom_de_famille_fil_chaud_3** »
12. Créer un paramètre global que vous nommerez « **diam** » (voir animation sur page html) représentant le diamètre du fil et attribuez lui la valeur $D=0,08\text{ mm}$.
13. Liez tous les paramètres qui sont dépendants du diamètre à cette variable globale. Lancez un calcul et vérifiez que vous trouvez bien les mêmes résultats.

14. En conservant la puissance de $P=0,05 \text{ Watt}$, réalisez un calcul avec un diamètre égal à $\text{diametre}=0,01 \text{ mm}$, donnez le coefficient de convection et la température du fil en régime stationnaire.

$$h=4375,27$$

$$T_{\text{fil}}=86,38^\circ \text{C}$$

15. Modifiez le système de manière à avoir une puissance de chauffe, par unité de masse, du fil chaud égale à $P_{\text{massique adaptée}} = \frac{0,1}{\text{diam}^{1,4}} \text{ W/kg}$. Dans ces conditions, donnez la température stabilisée du fil chaud lorsque son diamètre fait $D=0,01 \text{ mm}$.

$$T_{\text{fil}}=62,32^\circ \text{C}$$

16. Sauvegardez votre travail .

III. Détermination du diamètre en fonction du temps de réponse

Nous allons maintenant déterminer le diamètre de fil permettant d'obtenir un temps de réponse de l'ordre de $t=5.10^{-4} \text{ s}$, donnant ainsi la possibilité d'appréhender les phénomènes de turbulence au cours desquels la vitesse fluctue très rapidement. Nous effectuerons donc des calculs transitoires dans lesquels nous considérerons que l'évolution du phénomène convectif est instantanée par rapport à l'évolution de la vitesse mais pas le changement de température du fil. Nous allons donc réaliser un calcul avec un changement brusque de vitesse et nous considérerons le temps de montée en vitesse du fil chaud comme caractéristique du temps de mesure.

Dans cette partie nous conserverons la définition de puissance de chauffe fournie dans la dernière question de la partie précédente.

Travail à réaliser:

- Dans un nouveau fichier que vous nommerez « **nom_de_famille_fil_chaud_4** », complétez le système de manière à calculer le nombre de Nusselt, ainsi que le coefficient de convection entre l'air et le fil, avec des fonctions de la bibliothèque **signal, control**. Ajoutez dans votre fichier des annotations indiquant où sont calculées ces valeurs.
- Changez la fonction fournissant le signal de vitesse de manière à ce que ce signal soit un échelon de vitesse commençant à $v_{\text{init}}=10 \text{ m/s}$ puis passant instantanément à $v_{\text{echelon}}=12 \text{ m/s}$ (vous choisirez l'instant de changement de vitesse). Remarquez qu'avec la vitesse le nombre de Reynolds change, entraînant des variations du nombre de Nusselt et du coefficient de convection.
- Modifier le système de manière à utiliser le coefficient de convection calculé avec les fonctions de la bibliothèque **signal, control** dans le calcul de transferts convectif. Il paraît logique dans ce cas d'utiliser la fonction **piloted convective exchange (THCV2 $\frac{W}{m^2}$)**. N'oubliez pas que dans ce type de fonction, le paramètre **upper limit for signal input** constitue la valeur seuil pour le signal rentrant au port 1, il convient donc de changer la valeur par défaut.
- Pour un fil de diamètre $D=0,01 \text{ mm}$, déterminez le temps de stabilisation de la température à l'échelon de vitesse. Pour ça on estimera que c'est le temps que, suite à l'échelon de vitesse, le fil met à arriver à sa nouvelle température d'équilibre (à $0,01^\circ \text{C}$ près). Il semble logique de réaliser un calcul instationnaire à partir d'un état d'équilibre (option **Stabilizing+Dynamic**).

$$\text{temps de stabilisation} \simeq 6,5.10^{-3}$$

5. Déterminez, à $0,5 \mu \text{m}$ près, le diamètre du fil qui permet d'obtenir un temps de réponse de $t=5.10^{-4} \text{ s}$. Un calcul en **batch** semble adéquat pour répondre à cette question.

$$\text{diam} \simeq 2.10^{-6} \text{ m}$$

6. Sauvegardez votre travail, n'oubliez pas de purger vos fichiers.

IV. Annexes

IV.1. Propriétés du platine

- Masse volumique: 21450 kg.m^{-3}

- capacité calorifique: $130 J.kg^{-1}.K^{-1}$
- conductivité thermique: $71,6 W.m^{-1}.K^{-1}$

IV.2.Symboles

Voici le détail de la notation utilisée:

- L_c : longueur caractéristique
- V : vitesse caractéristique du fluide
- k : conductivité thermique du fluide
- h : coefficient de convection
- μ : viscosité dynamique
- ν : viscosité cinématique
- α : diffusivité thermique
- Nu : nombre de Nusselt
- Re : nombre de Reynolds
- Pr : nombre de Prandtl

IV.3.Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{h * L_c}{k}$$

IV.4.Nombre de Prandtl

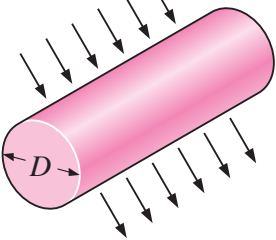
$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu * Cp}{k}$$

IV.5.Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{V * L_c}{\nu} = \frac{\rho * V * L_c}{\mu}$$

IV.6.Relation entre nombres adimensionnels en convection forcée

Relations empiriques permettant de déterminer le nombre de Nusselt pour un écoulement en convection forcée autour d'un cylindre. La dimension caractéristique pour cette corrélation est le diamètre du cylindre.

Cross-section of the cylinder	Fluid	Range of Re	Nusselt number
Circle 	Gas or liquid	0.4–4	$Nu = 0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$
		4–40	$Nu = 0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$
		40–4000	$Nu = 0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$
		4000–40,000	$Nu = 0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$
		40,000–400,000	$Nu = 0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$