UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN - MOHAMMED BOUDIAF		
Faculté de Génie électrique	**Département d'électronique**	**L2 S4**
Génie Biomédical	**TD n°2**	**Capteurs de Grandeurs Physiques**

Exercice 1 :

Le capteur de température AD590 d'Analog Devices fournit un signal de 1mA/°K. Sa gamme de mesure s'étend de −55°C à +150°C. On place deux capteurs AD590 dans une cuve remplie d'eau pure portée à ébullition. Un relevé des indications T_1 et T_2 fournies par chacun des capteurs a donné le tableau suivant :

***t* en minutes**	3	10	12	20	28	30	35	41	44	50
T_1 en °K	371	371	370	371	371	370	370	371	371	371
T_2 en °K	372	375	371	369	373	373	372	372	374	370

1. Remplir le tableau :

	Justesse	Fidélité	Exactitude absolue	Exactitude relative
Capteur 1				
Capteur 2				
Comparaison des deux capteurs (commentaire)				

Exercice 2 :

Un capteur de température possède une gamme de mesure allant de -50°C à 200°C. Son signal de sortie varie de 4 à 20 mA et son exactitude est de ± 1,5 % EM.

1. Calculer la sensibilité du capteur.
2. Quelle est la valeur affichée à la sortie si la température réelle est de 77°C ? Quelle est la valeur de la réponse électrique correspondante ?
3. Quelle est la température pour une valeur de sortie du capteur de 14,5 mA ?

Exercice 3 :

Dans un laboratoire de mesure, on désire étalonner un thermocouple pour l'utiliser dans une expérience importante. On sait que la relation entre la sortie du capteur u et son entrée T s'écrit :

$u = \beta T^{\gamma}$, où β et γ sont deux constantes.

Pour cela, on utilise un bain thermostaté et on relève la valeur de la tension pour 10 valeurs constantes de la température. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

T(°C)	20	25	30	35	40	45	50	60	70	75
U(mV)	1,38	2,38	3,10	3,65	3,95	4,65	5,56	7,25	8,25	9,35

1. Déterminer les valeurs des constantes β et γ.

Exercice 4 :

La mesure du débit du sang dans un vaisseau sanguin peut se faire grâce au montage de la figure. Dans ce montage on mesure le décalage du temps entre la transmission des ondes à ultrasons des capteurs T1 vers T2 (temps t_1) et de T2 vers T1 (temps t_2). Les deux capteurs sont distants de L. On démontre que la relation entre la vitesse du fluide ν et l'écart de temps $\Delta t = t_2 - t_1$ peut s'écrire :

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2 \times L \times \nu \times \cos\theta}{c^2}$$

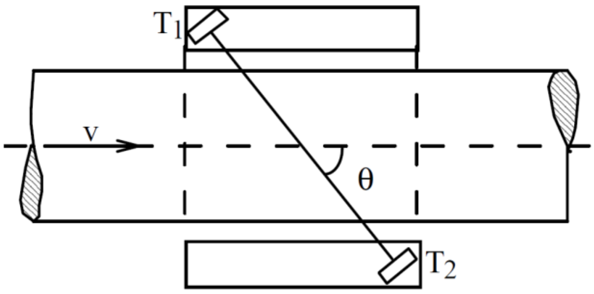


Figure. Principe de fonctionnement d'un débitmètre à ultrasons.

■ Dans une expérience, les temps enregistrés par le débitmètre à ultrasons sont les suivants :

$t_1 = 1{,}04 \pm 0{,}03$ µs et $t_2 = 4{,}34 \pm 0{,}02$ µs.

Les autres paramètres mesurés sont : $\theta = 45°$; $L = 2$ cm et c = 1000 m/s

Les erreurs effectuées durant la mesure sont les suivantes :

- sur l'angle θ est $\Delta\theta = 0{,}01°$;
- sur la longueur L est $\Delta L = 0{,}1$ mm.

1. Calculer la valeur de la vitesse du sang dans le vaisseau
2. Quelle est l'erreur sur la différence de temps Δt ?
3. En déduire l'erreur sur la vitesse.

■ Dans une expérience, nous avons fait varier l'angle θ et nous avons relevé les temps enregistrés par le débitmètre t_1 et t_2. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

θ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_1 (µs)	3,8	4,6	5,3	2,7	4,6	5,7	3,4	4,4	5,61	3,42
t_2 (µs)	5,12	5,81	6,42	3,76	5,49	6,46	4,07	4,79	5,84	3,43

Tableau. Résultats de mesure avec un débitmètre à ultrasons.

4. Tracer sur du papier millimétré ou à l'aide d'Excel la courbe $\Delta t = f(\cos\theta)$,
5. En utilisant la méthode de la régression linéaire (moindres carrés), déterminer la vitesse du sang dans le vaisseau.
6. Quelle est l'erreur systématique réalisée ? Déterminer sa valeur.

Exercice 1 :

$T_K = T_C + 273{,}15$	Moy	Fidélité	Justesse	Exactitude absolue	Exactitude relative
Capteur 1	370,7 °K	biais = $\overline{m} - m_v$ =-2,45 °K	Ecart-type = 0,48 °K	$e_e = \sqrt{e_j^2 + e_f^2}$=±2,49 °K	e_e (% EM)= e_e/EM avec EM = 205°K =±1,21 % EM
Capteur 2	372,1 °K	-1,05 °K	1,79 °K	±2,08 °K	±1,01 % EM
Comparaison des deux capteurs (commentaire)		C2 plus fidèle	C1 plus juste	C2 plus exact	C2 plus exact

Exercice 2 :

1. S = (20-4)/(200- (-50))=0,064 mA/°C
2. e_{ex} (absolue) = ± 1,5% EM x EM = ±1,5 x 250 = ± 3,75 °C
   Valeur affichée = 77 + 3,75 = 80,75 °C ou 77 - 3,75 = 73,25 °C
   Sortie électrique = 12,37 mA (11,88mA) en remplaçant 80,75°C (73,25°C) dans l'équation d'étalonnage : s(mA)=0,064(mA/°C).e(°C)+7,2(mA)
3. pour 14,5 mA , s = 114,06 °C. (en remplaçant dans l'éq d'étalonnage)

Exercice 3:

1. D'abords, l'équation d'étalonnage doit être linéarisée afin de pouvoir l'identifier à l'équation de la droite de régression :

En appliquant le logarithme à l'équation d'étalonnage et avec un changement de variable on aura :

$$\ln(u) = \ln(\beta) + \gamma \ln(T)$$

avec $y = \ln(u)$; $b = \ln(\beta)$ et $x = \ln(T)$

L'équation devient : $y = \gamma x + b$

On obtient ainsi le tableau suivant :

$x = \ln(T)$	3	3,22	3,4	3,56	3,69	3,81	3,91	4,09	4,25	4,32
$y = \ln(u)$	0,32	0,87	1,13	1,29	1,37	1,54	1,72	1,98	2,11	2,24

A partir de la méthode de la régression linéaire appliquée aux points du tableau précédent, on a :

γ =1,345 et b= -3,555 $\Rightarrow \beta = e^{-3{,}555}$=0,03

Ainsi l'équation devient : $u(\mathrm{mV}) = 0{,}03 T(°\mathrm{C})^{1{,}345}$

Exercice 4 :

$$1.\ \nu = \frac{c^2 \times \Delta t}{2 \times L \times \cos\theta} = \frac{1000^2 \times (4.34 - 1.04)\ 10^{-6}}{2 \times 2\ \ 10^{-2} \times \cos 45} = 116{,}67\,\mathrm{m.s^{-1}}$$

$$2\ \ \Delta t = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2} = \sqrt{0{,}03^2 + 0{,}02^2} = 3{,}6\ \ 10^{-8}\,\mathrm{s}$$

3.

$$\nu = \frac{c^2 \times \Delta t}{2 \times L \times \cos\theta}$$

$$\mathrm{Ln}\nu = \mathrm{Ln}c^2 + \mathrm{Ln}\Delta t - \mathrm{Ln}2 - \mathrm{Ln}L - \mathrm{Ln}\cos\theta$$

$$\frac{d\nu}{\nu} = \frac{d\Delta t}{\Delta t} - \frac{dL}{L} - \frac{\sin\theta}{\cos\theta} d\theta$$

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta\Delta t}{\Delta t} + \frac{\Delta L}{L} + \mathrm{tg}\theta.\Delta\theta$$

AN

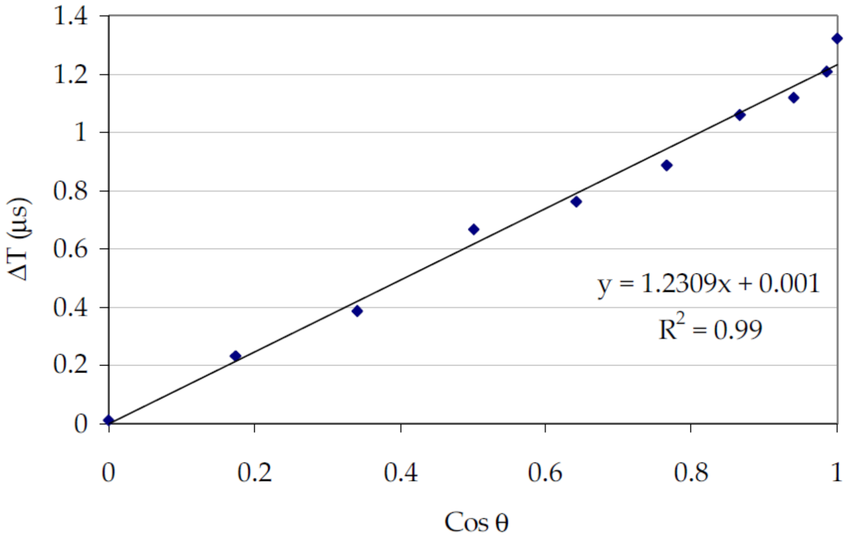
$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{3{,}6\ \ 10^{-8}}{3{,}3\ \ 10^{-6}} + \frac{0{,}1\ \ 10^{-3}}{2\ \ 10^{-2}} + 1.0{,}01 \times \frac{\pi}{180} = 0{,}016 = 1{,}6\%$$

$\Delta\nu = 1{,}87\ \mathrm{m.s^{-1}}$

$\ln(f)$	$\frac{f'}{f}$	en tout réel où f est dérivable et strictement positive
$\cos(f)$	$-f'\sin(f)$	en tout réel où f est dérivable

4.

cosθ	1	0,9848	0,9397	0,866	0,766	0,6428	0,5	0,342	0,1736	6E-17
Δ*t* (μs)	1,32	1,21	1,12	1,06	0,89	0,76	0,67	0,39	0,23	0,01



5.

2. D'après la méthode de la régression linéaire, nous avons : m = 1, 2309

$$\frac{2\ \ L\ \ v}{c^2} = 1{,}2309 \rightarrow\ v = \frac{1{,}2309 \times c^2}{L} = \frac{1{,}2309 \times 1000^2}{L} = 6{,}15\ \ 10^7\,\mathrm{m.s^{-1}}$$

6.

4. L'erreur systématique est l'écart par rapport à Zéro (Zero drift) = b = 0,001 μs.