

TP N°1 : MESURES DE GRANDEURS PERIODIQUES

I) BUT :

- Mesurer les valeurs moyennes, moyennes redressées et efficaces,
- « les amplitudes avec l'oscilloscope,
- « les facteurs de forme des différents signaux : sinusoïdal, carré et triangulaire avec ou sans redressement,
- Utiliser les voltmètres magnétoélectrique, ferromagnétique, électronique et numérique.

II) MATERIEL UTILISE :

- Générateur de fonctions,
- Oscilloscope,
- Condensateur 15.5 μ F,
- 5 diodes au Si,
- 1 voltmètre numérique,
- 1 " électronique,
- 1 " ferromagnétique,
- 3 " magnétoélectriques.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La valeur moyenne d'un courant alternatif sur une durée T est égale à la valeur du courant continu qui pendant la même durée T aurait transporté la même quantité d'électricité.

$$I_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

Cette valeur peut être mesurée par un appareil magnétoélectrique sans redressement (appareil magnétoélectrique utilisé en continu).

La valeur efficace d'un courant alternatif de période T est la valeur du courant continu qui dissiperait la même énergie pendant la durée T.

$$RI_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T R i^2 dt \quad \Rightarrow \quad I_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$$

Cette valeur peut être mesurée par les appareils ferromagnétique, électrodynamique, magnétoélectrique à thermocouple, électronique et numérique. L'appareil magnétoélectrique à redresseur à diodes affiche la valeur moyenne redressée multipliée par 1,11. Il indique la valeur efficace vraie uniquement lorsque le signal est sinusoïdal. Pour les autres signaux, on doit tenir compte du facteur de forme. F= (valeur efficace)/(valeur moyenne redressée).

La valeur de crête ou amplitude peut être mesurée par un oscilloscope ou par un voltmètre continu précédé d'une diode et d'une capacité qui se charge rapidement à travers la diode et se décharge très lentement dans la résistance du voltmètre. Comme celle ci est très grande, le condensateur ne se décharge pratiquement pas et conserve la valeur maximale (figure I.1).

IV.4) Appliquer les mêmes tensions redressées double alternance à l'aide d'un pont au Si comme le montre la figure I.4. Relever les indications des appareils et les reporter sur le tableau I.3.

Tableau I.3 : Mesures de tensions sinusoidale, triangulaire et carrée redressées double alternance.

	Y_A	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5 DC	V_5 RMS	V_6	Y_B
Sinus									
Triang									
Carré									

5) Relever les caractéristiques des appareils selon le tableau I.5.

Tableau I.5 : Caractéristiques des appareils.

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	GBF	Oscillo
Classe							
Calibres utilisés							
Nbre divisions							
Minimum mesurable							
Etendue (plage) de mesure							
Résistance interne							
Autres							

V) COMPTE-RENDU :

V.1) Compléter le tableau I.6.

Tableau I.6 : Différentes valeurs des signaux utilisés.

	Valeur moyenne théorique	Valeur moyenne pratique	Valeur efficace théorique	Valeur efficace pratique	Facteur de forme théorique	Facteur de forme pratique
sinus						
triangle						
carré						

- V.2) Comparer les indications lors du redressement mono alternance et double alternance.
- V.3) Comparer l'indication du voltmètre de crête V6 à l'amplitude appliquée et à celle mesurée par l'oscilloscope (YB).
- V.4) Que mesure chacun de ces voltmètres ?

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

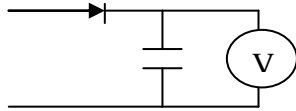


Fig.I.1: Mesure de la valeur de crête

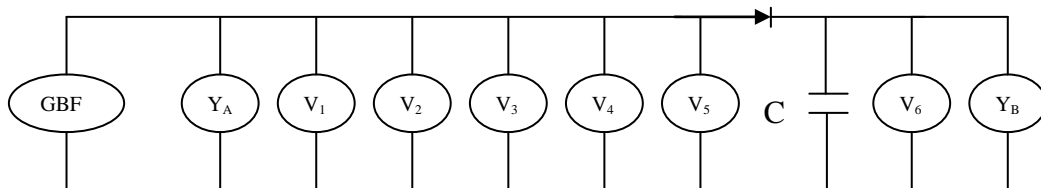


Fig I.2 : Montage de mesure des tensions sinusoidale, triangulaire et carrée

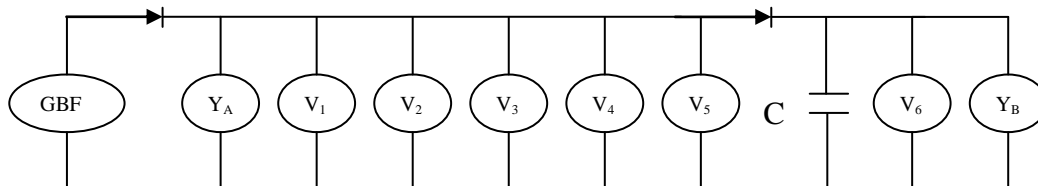


Fig I.3 : Montage de mesure des tensions sinusoidale, triangulaire et carrée redressées mono-alternance

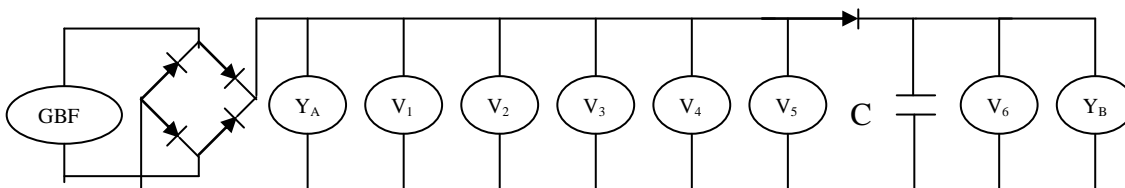


Fig I.4 : Montage de mesure des tensions sinusoidale, triangulaire et carrée redressées double alternance.

Tableau I.3 : Mesures de tensions sinusoidale, triangulaire et carrée redressées double alternance.

	Y _A	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅ DC	V ₅ RMS	V ₆	Y _B
Sinus									
Triang									
Carré									

COMPTE RENDU :

Tableau I.6 : Différentes valeurs des signaux utilisés.

	Valeur moyenne théorique	Valeur moyenne pratique	Valeur efficace théorique	Valeur efficace pratique	Facteur de forme théorique	Facteur de forme pratique
sinus						
triangle						
carré						

CONCLUSION :

TP N°2: MESURES A L'OSCILLOSCOPE

I) BUT:

- Maîtriser l'emploi de l'oscilloscope (stabiliser l'image, mesurer l'amplitude et la période d'un signal).
- Mesurer le déphasage directement et par l'ellipse.
- Mesurer la fréquence avec un fréquencemètre, avec l'oscilloscope (figures de Lissajous) et avec le pont de Wien-Robinson.

II) MATERIEL UTILISE :

- Oscilloscope double trace,
- Deux générateurs de fonctions,
- Voltmètre,
- Millivoltmètre,
- Fréquencemètre,
- 2 capacités x 0,1 μ F,
- 2 résistances à décades x 1000 Ω ,
- 2 résistances multidécades (x1 , x10 , x100 , x1000 Ω).

III) PREPARATION THEORIQUE:

L'oscilloscope est composé principalement du tube cathodique pour la génération, l'acheminement et la visualisation du faisceau électronique, de deux entrées Y_A et Y_B munies de plusieurs calibres, d'un générateur de dents de scie (appelé base de temps) piloté par un circuit de synchronisation (figure II.1). L'oscilloscope double trace sert à visualiser un ou deux signaux en fonction du temps. On peut mesurer une tension (amplitude) ou un temps (déphasage, période, fréquence).

III-1) Principe :

L'application d'une tension U_x sur l'entrée X (Y_B) de l'oscilloscope provoque une déviation horizontale $x = \sigma_x U_x$ où σ_x est la sensibilité (en cm/V) de l'oscilloscope sur l'entrée X.

L'application d'une tension U_y sur l'entrée Y (Y_A) de l'oscilloscope provoque une déviation verticale $y = \sigma_y U_y$ où σ_y est la sensibilité (en cm/V) de l'oscilloscope sur l'entrée Y.

En mode XY, le spot a pour coordonnées x et y. Lorsqu'on utilise la base de temps interne de l'oscilloscope, on peut visualiser, en fonction du temps :

soit un seul signal appliqué sur Y_A ou Y_B ,

ou deux signaux : l'un sur Y_A et l'autre sur Y_B en mode ALT (alternés),

ou deux signaux : l'un sur Y_A et l'autre sur Y_B en mode CHOP (découpés).

Pour que la trace sur l'écran soit stable, il faut utiliser la base de temps déclenchée par le signal à visualiser (Y_A ou Y_B) et régler le niveau de déclenchement (level).

III-2) Mesure de déphasage:

a) Méthode directe: Les 2 signaux de même fréquence et déphasés de φ sont appliqués sur les 2 entrées Y_A et Y_B et visualisés en mode ALT (alternés) ou SHOP (hachés). Le déphasage est obtenu par (figure II.2):

$$\varphi = 2\pi \tau / T$$

Question 1:

Calculer le déphasage théorique entre les tensions U et U_r du montage de la figure II.3 en fonction de R et C .

b) **Méthode de l'ellipse:** Les 2 signaux $x = a \sin \omega t$ et $y = b \sin(\omega t + \varphi)$ sont appliqués sur les 2 entrées en mode XY. La base de temps se trouve éliminée. La trace sera une ellipse d'équation (figure II.4):

$$x^2/a^2 - 2xy \cos\varphi / ab + y^2/b^2 = \sin^2 \varphi$$

Question 2: Montrer qu'on peut déduire le déphasage par:

$$\varphi = \text{Arcsin} (I / L)$$

III-3) Mesure de fréquence:

a) **Fréquence-mètre :** A l'aide d'un fréquence-mètre numérique on mesure directement la fréquence. La précision dépend du temps de mesure (ouverture du Gate).

b) **Oscilloscope :** A l'aide de l'oscilloscope on mesure la période T et on calcule la fréquence $f = 1/T$.

c) **Figures de Lissajous:** Pour mesurer une fréquence inconnue, on utilise un générateur de fréquence réglable connue. Les 2 signaux $x = a \sin(\omega_1 t)$ et $y = b \sin(\omega_2 t + \varphi)$ sont appliqués sur les 2 entrées de l'oscilloscope en mode XY comme le montre la figure II.5. La trace sera:

$$y = b \sin (\omega_2/\omega_1 \text{ Arcsin} (x/a) + \varphi)$$

On ajuste la fréquence réglable jusqu'à stabiliser l'image.

On peut toujours trouver 2 entiers m et n tels que $mT_1 = nT_2 = t_0$.

Pendant ce temps t_0 le spot fait $2m$ intersections avec l'axe des Y ($x(t)$ s'annule $2m$ fois) et $2n$ intersections avec l'axe des X ($y(t)$ s'annule $2n$ fois). On peut déterminer la fréquence inconnue par le rapport :

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\text{nombre d'intersections avec l'axe des } Y}{\text{nombre d'intersections avec l'axe des } X}$$

d) **Pont de Wien-Robinson:** On cherche l'équilibre du pont de la figure II.6.

Question 3:

Montrer que la condition d'équilibre donne: $R_1 = 2R_2$ et $f_x = 1/(2 \pi RC)$.

IV) MANIPULATIONS:

IV.1) Appliquer une tension continue (DC) sur l'entrée Y_A de l'oscilloscope en mode XY. Fixer la sensibilité à 1 V/cm et relever les déviations pour les tensions indiquées sur le tableau II.1.

Faire la même manipulation sur l'entrée Y_B .

Tableau II.1 : Déviation du spot engendrée par une tension continue .

U (V)	0	1	2	3	4	5
Déviaton Y(cm)						
Déviaton X(cm)						

IV.2) Appliquer une tension sinusoïdale de 5 V , 100 Hz sur l'entrée Y_A après avoir éliminé la base de temps (mode XY). Mesurer l'amplitude (déviaton maximale).

Diminuer la fréquence jusqu'à 0 Hz et observer le mouvement du spot.

IV.3) Visualiser le signal avec la base de temps déclenchée par le signal lui-même Y_A .

Si l'image défile, agir sur le niveau de déclenchement (level) jusqu'à la stabiliser.

Mesurer la période du signal et son amplitude.

IV.4) Réaliser le montage de la figure II.3.

Mesurer le déphasage par la méthode directe puis par la méthode de l'ellipse et compléter le tableau II.2.

Tableau II.2 : Mesure de déphasage.

F (Hz)	R (k Ω)	C (μ F)	φ calculé	τ (s)	T (s)	φ direct	l (cm)	L (cm)	φ ellipse
50	10	1							
100	1	0,5							

IV.5) Réaliser les connexions de la figure II.5.

Mesurer la fréquence f_x en variant la fréquence f_e jusqu'à stabiliser l'image et obtenir les courbes de Lissajous avec 2 rapports différents f_x/f_e .

A l'aide de l'oscilloscope, mesurer la période T_x et déduire la fréquence f_x .

IV.6) Mesurer la fréquence f_x à l'aide du fréquencemètre.

IV.7) - Réaliser le montage de la figure II.6 avec $R_1= 2k\Omega$, $R_2= 1k\Omega$, R résistance multidécade et C capacité $0,1 \mu$ F fixée à 1μ F.

- Chercher l'équilibre du pont en agissant sur la résistance. Les 2 résistances R doivent avoir la même valeur à tout instant. Par conséquent leur variation doit être simultanée.

- A l'équilibre, relever les valeurs de R et la tension minimale sur l'indicateur de zéro.

V) COMPTE RENDU:

V.1) Comparer les déphasages obtenus par les différentes méthodes (théorique, directe, ellipse) et déduire la meilleure.

V.2) Comparer les valeurs obtenues pour la fréquence f_x par les différentes méthodes (oscillo, Lissajous, fréquencemètre, pont). Rassembler les résultats dans le tableau II.5.

V) CONCLUSION:

Discuter et commenter les résultats obtenus.

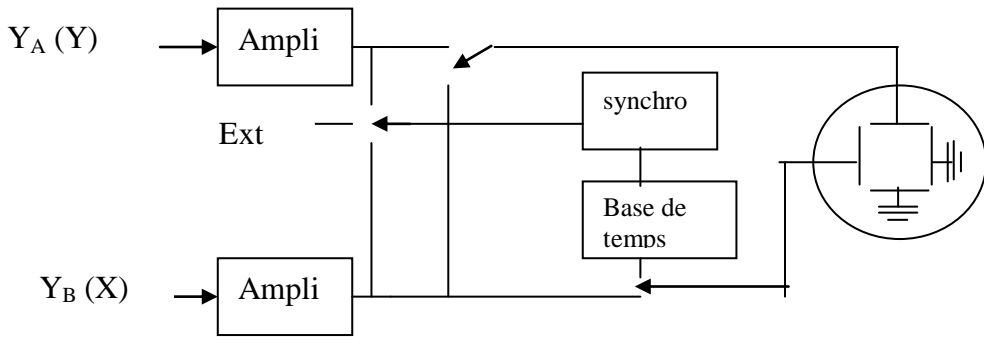


Fig II.1 : Schéma synoptique de l'oscilloscope

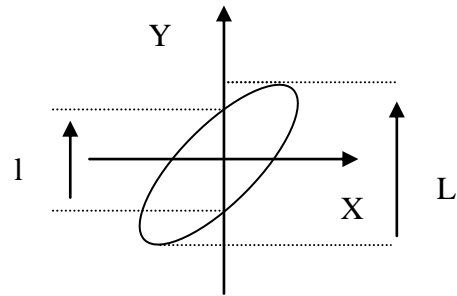
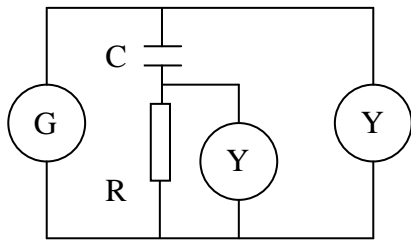


Fig.II.4 : Mesure du déphasage avec l'ellipse

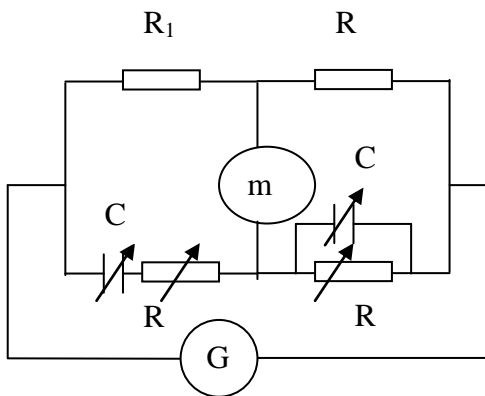


Fig.II.6 : Pont de Wien-Robinson

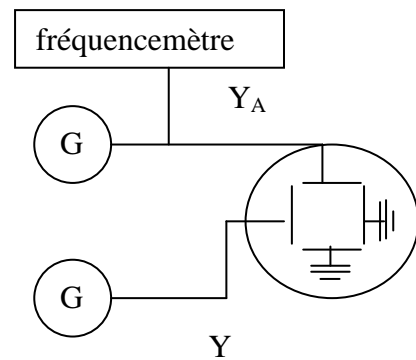


Fig.II.5 : Mesure de fréquence avec les courbes de Lissajous

**TP N°2 : MESURES A L'OSCILLOSCOPE
(feuille à remettre à la fin de la séance)**

Noms et Prénoms :

.....

.....

Groupe :.....

PREPARATION THEORIQUE :

RESULTATS DE MESURES :

Tableau II.2 : Mesure de déphasage.

F (Hz)	R (kΩ)	C (μF)	φ calculé	τ (s)	T (s)	φ direct	l (cm)	L (cm)	φ ellipse
50	10	1							
100	1	0,5							

Tableau II.5 : Comparaison des résultats de mesure de la fréquence f_x

Oscilloscope $f_x = 1/T_x$	Lissajous f_x moyen	fréquencemètre	Pont Wien- Robinson

COMPTE RENDU

CONCLUSION

TP N°3: MESURES D'IMPEDANCES

I) BUT :

- Mesurer une inductance avec la méthode de résonance, le pont de Maxwell et un appareil RLC numérique.
- Mesurer le coefficient de qualité.
- Mesurer une capacité et le coefficient de pertes avec l'appareil RLC numérique.

II) MATERIEL UTILISE :

- Appareil RLC numérique,
- Générateur de fonctions,
- Milliampèremètre,
- Voltmètre,
- Millivoltmètre électronique,
- Trois capacités x 0.01 μ F,
- Résistances multidécades,
- Inductance et capacités à mesurer.

II) PREPARATION THEORIQUE :

III-1) Méthode de résonance :

La self inductance (L_x , R_x) peut être mesurée par la méthode de résonance d'un circuit RLC série (figure IV.1). La valeur efficace du courant qui la traverse est :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R_x^2 + (L_x \omega - 1/C\omega)^2}}$$

La résonance est obtenue lorsque ce courant est maximal :

$$I_{\max} = E / R_x \quad \text{donc} \quad R_x = E / I_{\max} \quad \text{et}$$

$$L_x \omega - 1 / C \omega = 0 \quad \text{donc} \quad L_x = 1 / C \omega^2$$

Question 1 : Montrer que le coefficient de qualité

$$Q_x = \frac{L_x \omega}{R_x}$$

est égal au coefficient de surtension aux bornes de la capacité à la résonance.

III-2) Pont de Maxwell :

Pour mesurer une inductance à faible coefficient de qualité on utilise le pont de Maxwell de la figure IV.2.

Question 2 : Montrer qu'à l'équilibre on peut déduire les relations :

$$L_x = R_1 R_3 C \quad \text{et} \quad R_x = R_1 R_3 / R$$

III.3) Pont RLC numérique

Il mesure les résistances, inductances et capacités. Il affiche directement la valeur et l'unité de mesure. Le calibre doit être choisi de manière à avoir la meilleure précision.

IV) MANIPULATIONS :

IV-1) Méthode de résonance :

Réaliser le montage de la figure 1 où C est formée de 3 capacités à décade $\times 0,01 \mu\text{F}$ branchées comme sur la figure IV.4. G est un générateur de tension tension sinusoïdale d'amplitude 10 V et de fréquence 1000 Hz.

Attention : Vérifier que la composante continue de l'alimentation est nulle (le voltmètre sur la position DC doit indiquer 0).

Faire varier C jusqu'à avoir la résonance (I_{max}). Déduire R_x et L_x .

Mesurer le coefficient de qualité par la mesure de la surtension aux bornes de la capacité.

IV-2) Pont de Maxwell :

Réaliser le pont de Maxwell de la figure IV.2 avec R_1, R_3 résistances AOIP $\times 10^3 \Omega$, R résistance AOIP multidécades ($\times 10^5, \times 10^4, \times 10^3 \Omega$) et C est la capacité de la figure IV.3. Le pont est alimenté par une tension sinusoïdale d'amplitude 10 V et de fréquence 1000 Hz et le détecteur de zéro est un millivoltmètre électronique.

Equilibrer ce pont en agissant d'abord sur C et puis sur R pour le réglage fin. Pour faciliter la recherche de l'équilibre, il faut choisir R_1 et R_3 de l'ordre de $L_x \omega$ soit 6 k Ω .

Relever les valeurs de R, C et de la tension minimale sur le millivoltmètre.

Déduire L_x, R_x et Q_x .

IV-4) RLC mètre numérique :

- A l'aide du RLC mètre numérique mesurer les capacités de la boîte à décades 0,01; 0,05; 0,1 μF puis les capacités C_x et C_y ainsi que les facteurs de pertes (appuyer sur C+D série avec 1 kHz). Compléter le tableau IV.1.

Tableau IV .1 : Mesures de capacités

Capacité(μF)	0,01	0,05	0,1	C_x	C_y
C mesurée avec RLC numérique					
Tg δ					

- Mesurer aussi l'inductance, sa résistance série et son coefficient de qualité (tableau IV.2).

Tableau IV.2 : Mesure de l'impédance inductive

	RLC numérique
L_x	
R_x	
Q_x	

- Utiliser ce RLC mètre pour mesurer le facteur de pertes d'une capacité de $C = 1 \mu\text{F}$ en série avec la résistance à décades $\times 100 \Omega$. Reporter les résultats sur le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Variation du facteur de pertes en fonction de la résistance.

R (Ω)	0	200	400	600	800	1000
Tg δ mesuré						
Tg $\delta = RC \omega$ calculé						

V) COMPTE RENDU :

V-1) Comparer les valeurs de L_x , R_x et Q_x trouvées par les trois méthodes. Discuter sur la base des erreurs.

Tableau IV-4 : Comparaison entre les méthodes

	Résonance	Maxwell	RLC numérique
L_x			
R_x			
Q_x			

V-3) Comparer les coefficients de pertes théoriques ($Tg \delta = RC \omega$) et pratiques de la manipulation IV-4.

V) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

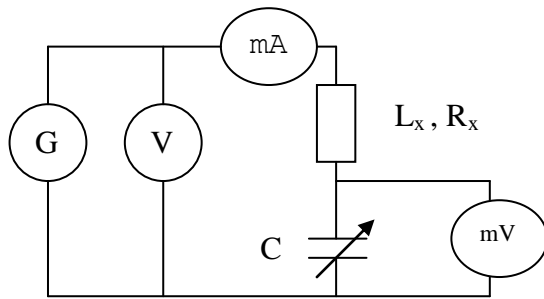


Fig. IV.1 : Méthode de résonance

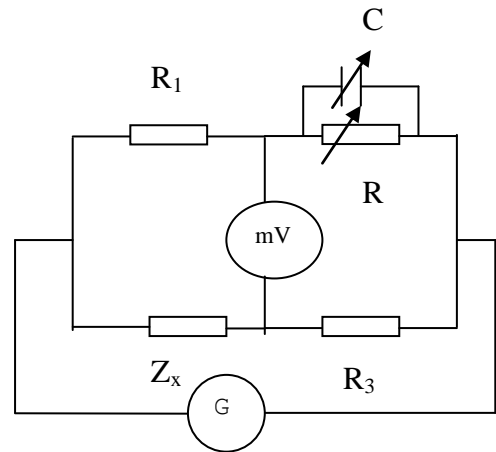


Fig.IV.2 : Pont de Maxwell

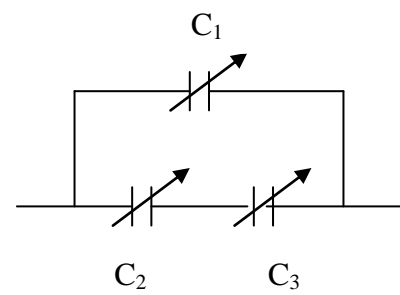


Fig.IV.3 : Branchement de la capacité variable C

**TP N°3 : MESURES D' IMPEDANCES
(feuille à remettre à la fin de la séance)**

Noms et Prénoms :

.....
.....

Groupe :.....

PREPARATION THEORIQUE :

RESULTATS DE MESURES :

Tableau IV .1 : Mesures de capacités

Capacité(μF)	0,01	0,05	0,1	C_x	C_y
C mesurée avec RLC numérique					
Tg δ					

Tableau IV.2 : Mesure de l'impédance inductive

	RLC numérique
L_x	
R_x	
Q_x	

Tableau IV.3 : Variation du facteur de pertes en fonction de la résistance.

R (Ω)	0	200	400	600	800	1000
Tg δ mesuré						
Tg $\delta = RC \omega$						

COMPTE RENDU :

Tableau IV-4 : Comparaison entre les méthodes

	Résonance	Maxwell	RLC numérique
L_x			
R_x			
Q_x			

Conclusion :

TP N°4 : MESURES DE PUISSANCES

I) BUT :

Mesurer les puissances consommées par les charges résistive, inductive et capacitive parcourues par un courant continu ou alternatif à l'aide d'un wattmètre ou d'un voltmètre et d'un ampèremètre.

II) MATERIEL UTILISE :

- Source de tension DC et AC de 60 V,
- 5 wattmètres,
- 4 ampèremètres,
- 3 voltmètres,
- 2 rhéostats de 33Ω et un de 100Ω ,
- Bobine à noyau mobile 0,2 – 1,1 H ; 11Ω ,
- Capacité $28 \mu\text{F}$.

III) PREPARATION THEORIQUE :

En continu la puissance consommée par une charge est :

$$P=U I$$

où U est la tension à ses bornes et I le courant qui la traverse.

En alternatif la puissance moyenne absorbée par une charge est :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

Question 1 : Montrer que lorsque les grandeurs u et i sont sinusoïdales et déphasées de φ :

$$u = U\sqrt{2} \sin \omega t \quad \text{et} \quad i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$$

On trouve : $P = UI \cos \varphi$.

Cette puissance qui fait intervenir la composante du courant en phase avec la tension est appelée puissance active. La composante du courant en quadrature avec la tension contribue à la puissance réactive $Q = UI \sin \varphi$. La puissance maximale que peut fournir un générateur $S=UI$ est la puissance apparente.

La puissance en continu peut être mesurée à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre en montage amont ou aval (figure V.1).

Question 2 : Calculer les erreurs de montage commises lors de ces mesures.

La puissance peut être mesurée par un seul appareil; le wattmètre électrodynamique. Il est constitué d'une bobine courant fixe et d'une bobine tension mobile (figure V.2).

La déviation : $\alpha = k i_1 i_2$ est proportionnelle à la puissance active.

IV) MANIPULATIONS :

IV-1) Réaliser le montage de la figure V.3 avec R rhéostat de 33Ω , R_1 rhéostat de 100Ω , R_2 rhéostat de 33Ω mis au maximum, $C=28 \mu\text{F}$ et L est une inductance à noyau mobile $0,2 - 1,1 \text{ H}$; 11Ω .

IV-2) Appliquer une tension continue $U = 60 \text{ V}$. Faire varier R et R_1 en gardant I inférieur à $2,5 \text{ A}$ et relever les indications des appareils pour 3 valeurs de $I_1 = 1,5$; $1,2$; 1 A . Compléter le tableau V-1.

Tableau V-1 : Mesures de puissance en continu

U (V)	P (W) num	P (W)	I (A)	U_R (V)	P_1 (W)	I_1 (A)	P_2 (W)	I_2 (A)	P_3 (W)	I_3 (A)	U_1 (V)	$P_{R=U_R I}$
60						1,5						
60						1,2						
60						1						

IV-3) Faire varier L et observer son action sur P_3 et P. Expliquer pourquoi.

IV-4) Appliquer une tension sinusoïdale $U_{\text{eff}} = 60 \text{ V}$. Faire varier L et observer son action sur P_3 et P et expliquer la différence avec le continu.

IV-5) Fixer $L = 0,2 \text{ H}$. Relever les indications des appareils pour $I_1 = 1$; $0,8$ et $0,6 \text{ A}$. Compléter le tableau V-2.

NB : Par le réglage des rhéostats R et R_1 , éviter d'avoir une charge globale à dominance résistive où le $\cos \varphi$ reste voisin de 1. Régler de telle sorte que $I_1 < I_3$.

Tableau V-2 : Mesures de puissance en alternatif

U (V)	P num	P (W)	I (A)	U_R (V)	P_1 (W)	I_1 (A)	P_2 (W)	I_2 (A)	P_3 (W)	I_3 (A)	U_1 (V)	$P_{R=U_R I}$
60						1						
60						0,8						
60						0,6						

IV.6) Relever les caractéristiques des appareils utilisés (tableau V-3).

Tableau V-3 : Caractéristiques des appareils

Appareil → Caractéristiques ↓							
Classe Résolution Etendue							

V) COMPTE RENDU :

V.1) Calculer la puissance consommée par la résistance R : $P_R = U_R I$

V.2) Comparer les résultats de mesure directe (wattmètre) et indirecte (voltampèremétrie) pour les 4 puissances P_1 , P_2 , P_3 et P lorsque $I_1 = 1$ A en continu. Compléter le tableau V.4. Vérifier que les différences éventuelles rentrent dans la marge d'erreur de classe :

$$|P_{dir} - P_{indir}| < (\Delta P_{dir} + \Delta P_{indir})_{classe}$$

Tableau V.4 : Comparaison des mesures directes et indirectes

	$P_{directe}$	$P_{indirecte}$	$ P_{dir} - P_{indir} $	ΔP_{dir}	ΔP_{indir}	$\Delta P_{dir} + \Delta P_{indir}$
P_1						
P_2						
P_3						
P						

V.3) Etablir le bilan des puissances $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_R$ et discuter sur la base des erreurs. Compléter le tableau V.5.

Tableau V.5 : Comparaison des bilans de puissance.

	I_1	$P_{mesurée}$	$P_{calculée} = P_1 + P_2 + P_3 + P_R$	$ P_{mes} - P_{calc} $	$(\Delta p_{mes} + \Delta P_{calc})_{classe}$
DC	1,5				
	1,2				
	1				
AC	1				
	0,8				
	0,6				

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

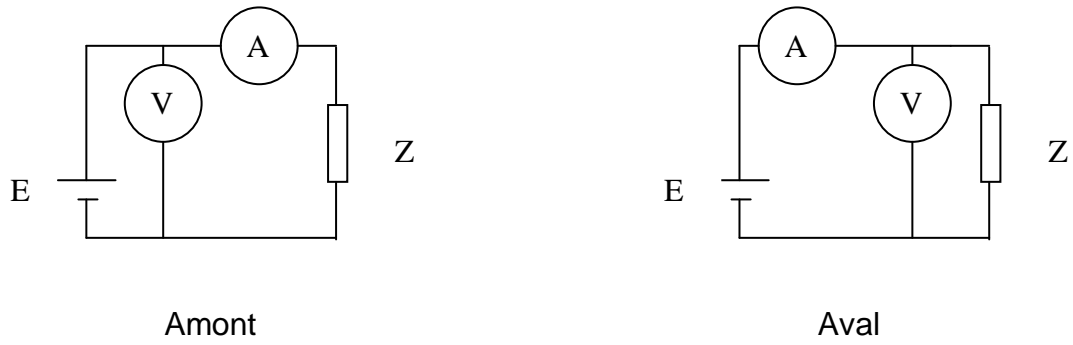


Fig. V.1 : Montage voltampèremétrique pour la mesure de la puissance en continu

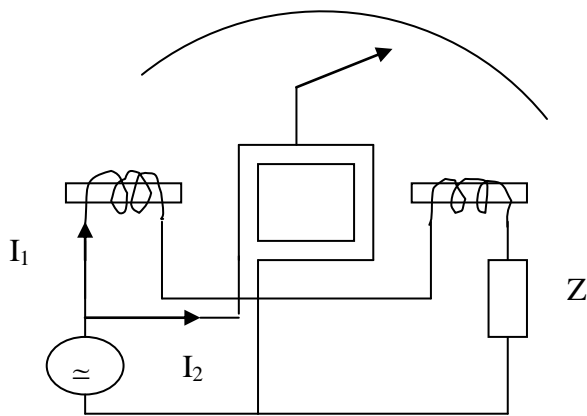


Fig.V.2 : Principe du wattmètre

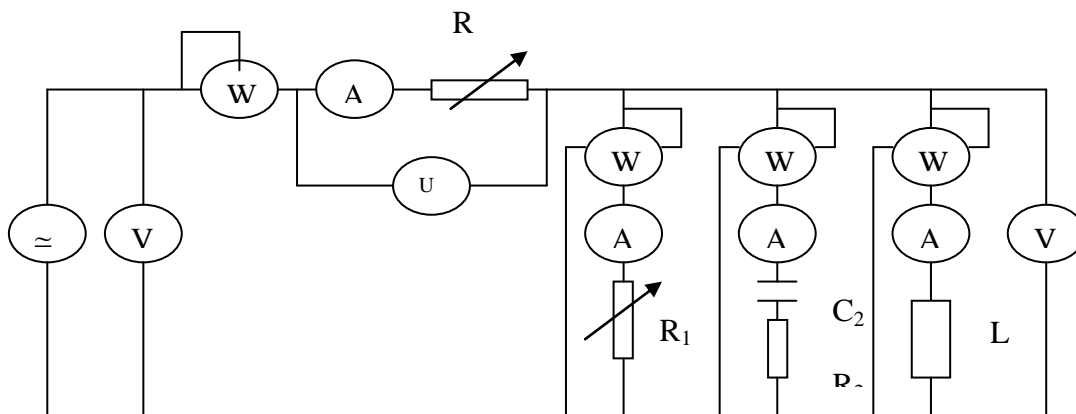


Fig. V.3 : Montage de mesure de la puissance en continu et en alternatif

TP N°4 : MESURES DE PUISSANCES
(feuille à remettre à la fin de la séance)

Noms et Prénoms :

.....

Groupe :.....

PREPARATION THEORIQUE :

RESULTATS DE MESURES :

Tableau V-1 : Mesures de puissance en continu

U (V)	P (W)	I (A)	U _R (V)	P ₁ (W)	I ₁ (A)	P ₂ (W)	I ₂ (A)	P ₃ (W)	I ₃ (A)	U ₁ (V)	P _R = U _R I
60					1,5						
60					1,2						
60					1						

Tableau V-2 : Mesures de puissance en alternatif

U (V)	P (W)	I (A)	U _R (V)	P ₁ (W)	I ₁ (A)	P ₂ (W)	I ₂ (A)	P ₃ (W)	I ₃ (A)	U ₁ (V)	P _R = U _R I
60					1						
60					0,8						
60					0,6						

COMPTE RENDU

Tableau V.4 : Comparaison des mesures directes et indirectes

	P_{directe}	$P_{\text{indirecte}}$	$ P_{\text{dir}} - P_{\text{indir}} $	ΔP_{dir}	ΔP_{indir}	$\Delta P_{\text{dir}} + \Delta P_{\text{indir}}$
P_1						
P_2						
P_3						
P						

Tableau V.5 : Comparaison des bilans de puissance.

	I_1	$P_{\text{mesurée}}$	$P_{\text{calculée}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_R$	$ P_{\text{mes}} - P_{\text{calc}} $	$(\Delta p_{\text{mes}} + \Delta P_{\text{calc}})_{\text{classe}}$
DC	1,5				
	1,2				
	1				
AC	1				
	0,8				
	0,6				

CONCLUSION

TP N°5: MESURE D'ENERGIE

I) BUT :

- Mesurer l'énergie active consommée par un circuit monophasé résistif, inductif et capacitif à l'aide d'un compteur à induction.
- Vérifier la constante d'étalonnage du compteur,
- Mesurer l'énergie réactive.

II) MATERIEL UTILISE :

- Deux sources de tension 0 – 220 V,
- Compteur à induction avec $K_{nom} = 2,6$ Wh par tour,
- Voltmètre,
- Millivoltmètre,
- Transformateur d'intensité TI,
- Wattmètre,
- Shunt 0.1 V, 50 A,
- Chronomètre numérique,
- 4 ampèremètres,
- 2 rhéostats de 100 Ω ,
- 1 capacité de 28 μF ,
- 1 bobine à noyau mobile,
- 3 interrupteurs.

III) PREPARATION THEORIQUE :

Lorsqu'une charge absorbe une puissance instantanée $P(t)$, l'énergie mise en jeu pendant un temps t_1 est :

$$W = \int_0^{t_1} P(t) dt$$

Elle s'exprime en Joules ou en Wattheures. Pour la mesurer, on utilise un élément moteur à induction. Le principe est basé sur l'action de deux flux d'induction magnétique alternatifs, l'un proportionnel au courant, l'autre à la tension, sur un disque conducteur susceptible de tourner autour de son axe parallèle aux flux. Ces flux induisent des courants de Foucault dans le disque. L'action de chaque flux sur les courants induits par l'autre crée un couple moteur résultant faisant tourner le disque (figure VI.1).

Question 1 : Montrer que ce couple moteur est proportionnel à la puissance active.

Le mouvement du disque dans les 2 flux crée des courants induits qui freinent le disque proportionnellement à la vitesse de rotation Ω .

Pour pouvoir régler le couple de freinage, on rajoute un aimant permanent.

Le couple de freinage total est: $\Gamma_f = C \Omega$

Lorsqu'on applique une puissance constante P le couple moteur $\Gamma_m = K P$ accélère le disque, la vitesse augmente, le couple de freinage augmente jusqu'à égaler le couple moteur. La vitesse reste ainsi constante et l'équilibre dynamique est établi.

$$K P = C \Omega$$

En intégrant entre t_0 et t_1 on obtient :

$$K \int_{t_0}^{t_1} P dt = C \int_{t_0}^{t_1} \Omega dt \quad \text{soit} \quad K W = C \cdot 2\pi N \quad \text{ou encore} \quad W = K_c N$$

Où N est le nombre de tours effectués durant le temps $t_1 - t_0$ et K_c est la constante du compteur.

Question 2 : Calculer les déphasages introduits par les différentes charges correspondant au tableau VI-3 (lorsque $Z = R + jX$ le déphasage φ est tel que $\text{tg}\varphi = X/R$).

IV) MANIPULATIONS :

IV-1)- Réaliser le montage de la figure VI.2 avec : $R = 50 \Omega$ (2 rhéostats de 100Ω en parallèle), L bobine à noyau mobile $0,12 \text{ H}$; 11Ω , C capacité de $28 \mu\text{F}$,
 TI transformateur d'intensité de rapport $N_s/N_p = 5/25 = 1/5$ soit $I_2 = 5 \times I_1$ et l'ampèremètre ferromagnétique.

IV-2)- Appliquer une tension de 220 V . Vérifier qu'en absence de courant (interrupteurs 1, 2 et 3 ouverts) le compteur ne tourne pas.

IV-3)- Appliquer une charge active pure (interrupteur 1 fermé, 2 et 3 ouverts) donc $\varphi = 0$.
 - Maintenir la tension constante égale à 220 V .

Varié le courant et compléter le tableau VI-1.

Tableau VI-1 : Mesures en fonction du courant avec $U = 220 \text{ V}$

I_2 (A)	P (W)	N (tours)	t (s)	$W = P t$	$K_c = W/3600N$	$\xi_1 = (K_c - K_{\text{nom}})/K_{\text{nom}}$
2		5				
4		5				
6		5				
8		10				
10		10				

IV-4)- Garder la charge active pure (interrupteurs 1 fermé, 2 et 3 ouverts) et fixer le courant $I_2 = 8 \text{ A}$. Varié la tension et compléter le tableau VI-2.

Tableau VI-2 : Mesures en fonction de la tension avec $I_2 = 8 \text{ A}$

U (V)	P (W)	N (tours)	t (s)	$W = P t$	$K_c = W/3600N$	$\xi_2 = (K_c - K_{\text{nom}})/K_{\text{nom}}$
70		5				
100		5				
130		5				
160		10				
190		10				
220		10				

IV-5)- Fixer la tension à 220 V et le courant $I_2 = 8, 6$ ou 4 A comme sur le tableau VI-3.

Faire varier le déphasage et compléter le tableau VI-3.

Tableau VI-3 : Mesures en fonction du déphasage avec U=220V

I_2 (A)	I_R (A)	I_L (A)	I_C (A)	φ (°)	P (W)	N tours	t (s)	$W=P$ t	$K_c=W/3600N$	$\xi_3=(K_c-K_{nom})/K_{nom}$
8		0	0							
8		I_{Lmax}	0							
8	0	I_{Lmax}	0							
6	0	I_{Lmax}	I_{Cmax}							
8		0	I_{Cmax}							
4	0	0	I_{Cmax}							

Remarques :

- 1) La valeur 0 du courant signifie que l'interrupteur de la branche est ouvert.
- 2) I_{Lmax} correspond à L minimale soit 0,12 H.
- 3) I_{Cmax} correspond à C maximale soit 28 μ F.
- 4) Avant de fermer l'interrupteur, réduire le courant I_2

IV.6) Relever les caractéristiques des appareils utilisés (tableau VI.4).

Tableau VI-4 : Caractéristiques des appareils

Appareil → Caractérist ↓							
Classe Résolution Etendue .							

V) COMPTE RENDU :

V.1) Tracer l'écart relatif ξ_1 en fonction de I_2 à partir du tableau VI-1.

V.2) Tracer $\xi_2 = f(U)$ à partir du tableau VI-2.

V.3) Tracer $\xi_3 = f(\varphi)$ à partir du tableau VI-3.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

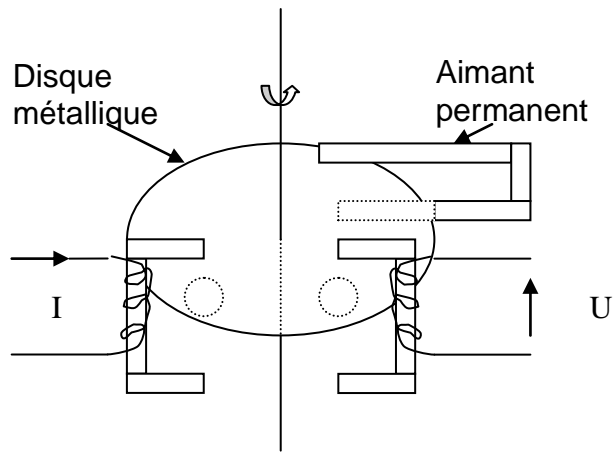


Fig.VI.1 : Principe du compteur à induction

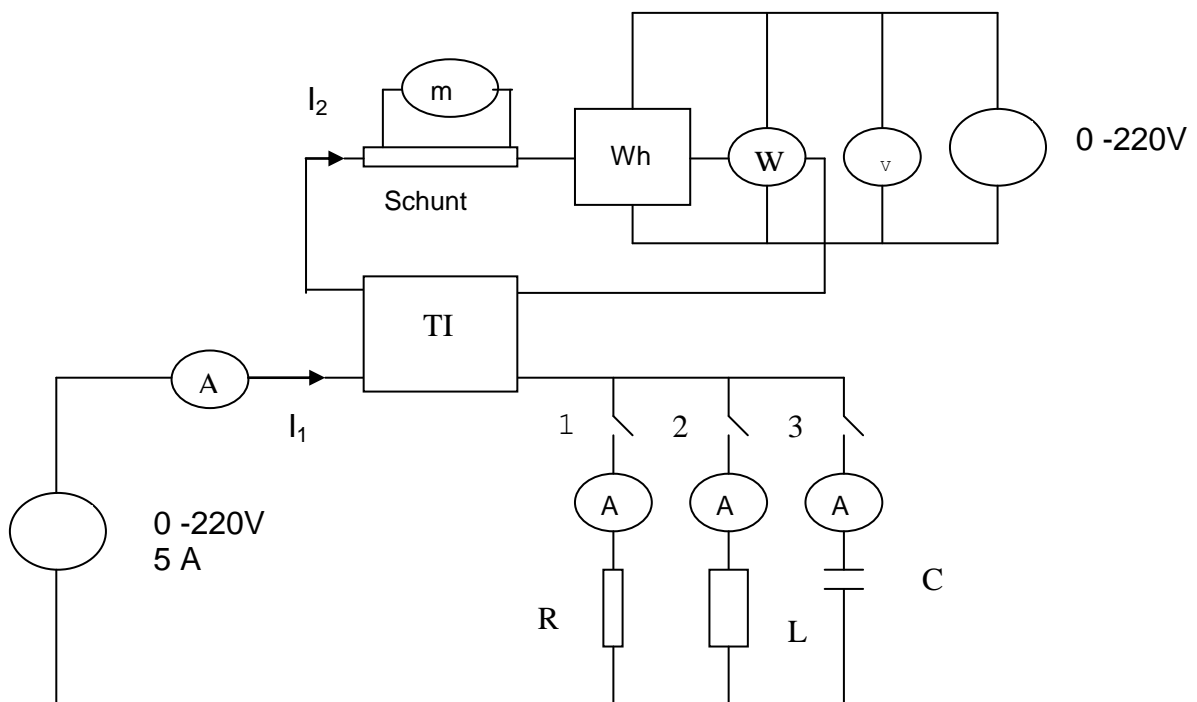


Fig.VI.2 : Montage de mesure de l'énergie

TP N°5 : MESURES D'ENERGIE
(feuille à remettre à la fin de la séance)

Noms et Prénoms :

.....

.....

Groupe :.....

PREPARATION THEORIQUE :

RESULTATS DE MESURES :

Tableau VI-1 : Mesures en fonction du courant avec U = 220V

I_2 (A)	P (W)	N (tours)	t (s)	$W = P t$	$K_c = W/3600N$	$\xi_1 = (K_c - K_{nom})/K_{nom}$
2		5				
4		5				
6		5				
8		10				
10		10				

Tableau VI-2 : Mesures en fonction de la tension avec $I_2 = 8$ A

U (V)	P (W)	N (tours)	t (s)	$W = P t$	$K_c = W/3600N$	$\xi_2 = (K_c - K_{nom})/K_{nom}$
70		5				
100		5				
130		5				
160		10				
190		10				
220		10				

Tableau VI-3 : Mesures en fonction du déphasage avec U=220V

I_2 (A)	I_R (A)	I_L (A)	I_C (A)	φ (°)	P (W)	N tours	t (s)	W=P t	$K_c=W/3600N$	$\xi_3=(K_c-K_{nom})/K_{nom}$
8		0	0							
8		I_{Lmax}	0							
8	0	I_{Lmax}	0							
6	0	I_{Lmax}	I_{Cmax}							
8		0	I_{Cmax}							
4	0	0	I_{Cmax}							

COMPTE RENDU

CONCLUSION

TP N° 6 : MESURE DE LA VITESSE DE ROTATION

I) BUT :

- Mesure de la vitesse de rotation d'un moteur en utilisant 4 méthodes,
- Vérification de la distribution des mesures selon la loi de Gauss.

II) MATERIEL UTILISE :

- Banc d'essai comprenant : moteur électrique, génératrice tachymétrique, tachymètre à courant de Foucault, dispositif de détection photoélectrique.
- Alimentation du moteur réglable,
- Moteur avec réducteur,
- Barrière photoélectrique,
- Compteur digital,
- Alimentation stabilisée,
- Deux (02) voltmètres,
- Stroboscope.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La mesure de vitesse de rotation de machines tournantes est nécessaire pour pouvoir les surveiller et les réguler. On utilise 4 méthodes différentes :

III) 1 : Génératrice tachymétrique à courant continu :

C'est une méthode électromagnétique analogique dont le principe est le fonctionnement inverse d'un moteur à courant continu. La rotation du moteur qui tourne avec la vitesse à mesurer induit une tension continue recueillie au collecteur par une paire de balais. Aux bornes de chaque conducteur j du rotor est induite une tension :

$$e_j = - d \phi / dt$$

Cette conversion de la vitesse en tension électrique est très pratique pour effectuer la régulation de vitesse de moteur à courant continu.

Question 1:

Montrer que cette tension est proportionnelle à la vitesse de rotation si on néglige la réaction d'induit.

III) 2 : Méthode stroboscopique.

Le stroboscope est un appareil qui émet des éclairs lumineux à intervalles réguliers et réglables à l'aide d'un flash électronique de grande intensité. On observe l'objet tournant muni d'une marque réfléchissante et éclairé par le stroboscope. Lorsque la fréquence des éclairs est voisine de la fréquence de rotation de l'objet, le mouvement apparaît fortement ralenti. Lorsque ces 2 fréquences sont égales l'objet paraît immobile. Cette illusion est due au fait que l'objet est illuminé au même endroit à des intervalles très courts (chaque période). Il reçoit un éclair à chaque tour.

III) 3 : Méthode photoélectrique :

Une barrière photoélectrique, constituée d'une cellule émettrice de rayonnement (LED) face à une cellule réceptrice (phototransistor), est associée à un compteur digital. Une partie du corps en rotation coupe le faisceau ce qui engendre une impulsion électrique qui déclenche le comptage (Figure VII.1). Lorsque le faisceau est coupé une deuxième fois, l'impulsion créée arrête le comptage. L'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs représente la période de rotation. Le compteur peut être aussi utilisé pour mesurer la fréquence en comptant le nombre d'impulsions reçues en une seconde.

Cette méthode, qui est sans contact, est la plus précise.

Question 2 :

Expliquer, par un schéma , comment fonctionne le compteur en périodemètre et en fréquencemètre (voir principe de l'appareil à affichage numérique).

III-4) Tachymètre à courants de Foucault :

Un aimant permanent tourne à la vitesse à mesurer en face d'un disque métallique. Des courants de Foucault sont induits dans le disque lui procurant un couple moteur :

$$\Gamma_m = k \Omega$$

Un couple de rappel est appliqué par un ressort en spirale :

$$\Gamma_r = C \alpha$$

A l'équilibre la déviation $\alpha = k\Omega / C$ indique directement la vitesse Ω en tours/minute.

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) Réaliser le montage de la figure VII.2

IV.2) Augmenter la tension aux bornes du moteur progressivement et noter la tension et le courant de démarrage. Observer la réaction d'induit au démarrage du moteur.

IV.3) Mesurer la vitesse de rotation avec les différents dispositifs (génératrice tachymétrique, méthode photoélectrique, stroboscope et tachymètre à courants de faucault) pour les différentes tensions du tableau VII.1.

Remarques :

- 1) Après chaque application de tension, attendre la stabilisation de la vitesse.
- 2) Les mesures avec la méthode photoélectrique doivent être répétées 4 ou 5 fois pour prendre la valeur moyenne.

Tableau VII.1 : Résultats de mesure de la vitesse de rotation avec les 4 méthodes

Tension d'alimentation (V)	Indication de la génératrice (V)	Fréquence de rotation (Hz) (photoélect)	Vitesse de rotation (tr/mn) (Ω_{photo})	Indication du tachymètre à CF (Tour/mn)	Indication du stroboscope (Tour/mn)
80					
85					
90					
95					
100					
105					

IV.4) Réaliser le montage de la figure VII.3.

IV.5) Utiliser le compteur digital associé à la barrière photoélectrique pour mesurer la période de rotation de la tige entraînée par le moteur à l'aide d'une courroie. Les fixations de l'objet et du moteur ainsi que la tension de la courroie favorisent l'apparition d'erreurs de mesures aléatoires.

IV.6) Après un échauffement du moteur de quelques minutes, effectuer 50 mesures successives d'une vitesse assez lente (période $T =$ autour de 1 Seconde). Cette manipulation étant destinée à vérifier que les résultats de ces mesures suivent la loi de distribution de GAUSS (loi normale), il faut s'assurer que les résultats pris ne sont pas trop dispersés.

V) COMPTE RENDU :

On prendra comme vitesse de référence celle mesurée par la méthode photoélectrique (Ω_{photo}).

V.1) Tracer sur la même feuille les variations, en fonction de Ω_{photo} , de :

- a) la tension d'alimentation du moteur,
- b) l'indication de la génératrice tachymétrique,
- c) l'écart $\Omega_{\text{stroboscope}} - \Omega_{\text{photo}}$,
- d) l'écart $\Omega_{\text{CF}} - \Omega_{\text{photo}}$.

En déduire les constantes de proportionnalité du moteur et de la génératrice.

V.2) Rassembler les résultats de la manipulation IV.6 dans le tableau VII.2 avec T_k par ordre croissant, N_k nombre d'apparitions de T_k .

Tableau VII.2 : Distribution statistique des mesures de vitesse de rotation

K	T_k	N_k	$N_k \cdot T_k$	$\epsilon_k = T_k - T_{\text{moy}}$	$N_k \cdot \epsilon_k$	ϵ_k^2	$N_k \cdot \epsilon_k^2$
1							
2							
3							
·							

Calculer la valeur moyenne T_{moy} de la période et l'écart standard S .

Construire l'histogramme $N_k = f(T_k)$ et tracer la courbe dans laquelle l'histogramme s'inscrit le mieux.

Vérifier si les résultats de mesure sont soumis à la loi de distribution normale de Gauss.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

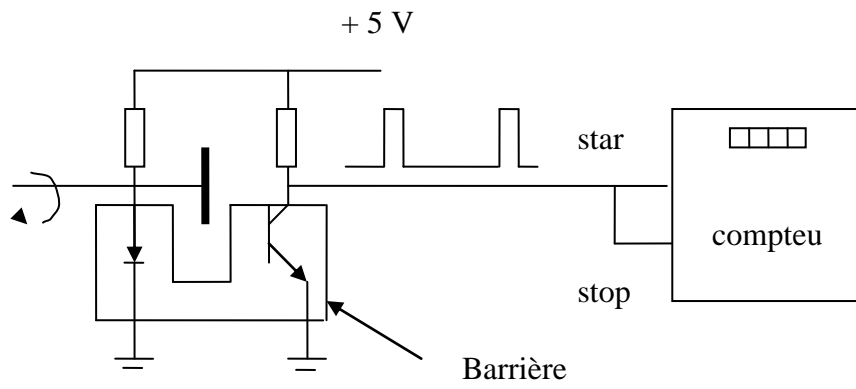


Figure VII.1 : Principe de la méthode photoélectrique

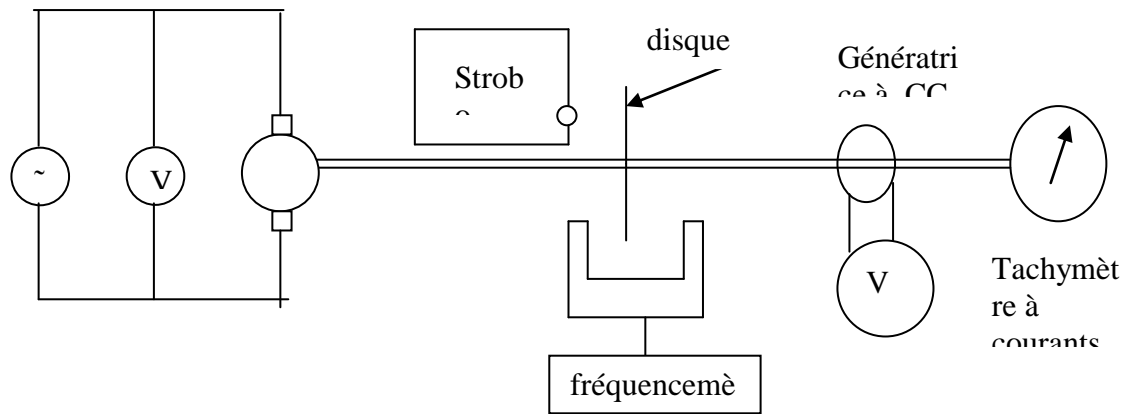


Figure VII.2 : Montage de mesure de la vitesse

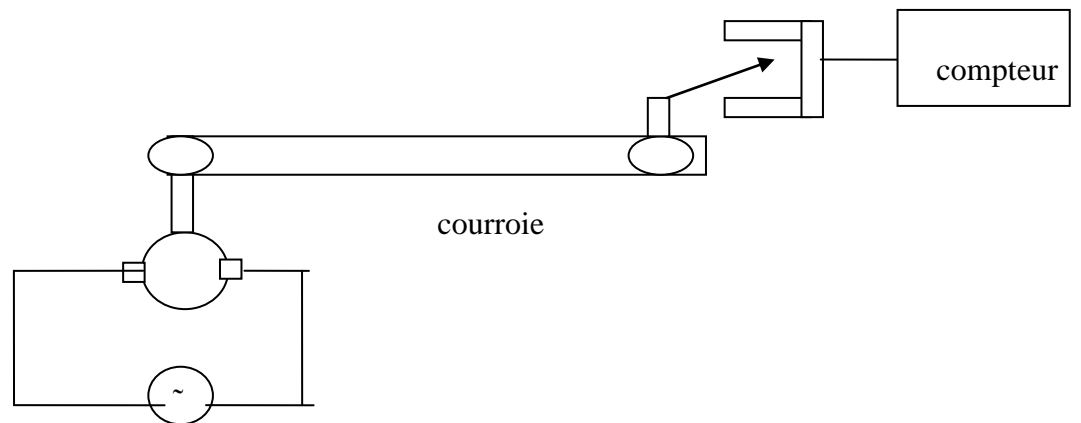


Figure VII.3 : Mesures d'une période entachée d'erreurs

TP N°6 : MESURES DE VITESSE DE ROTATION
(feuille à remettre à la fin de la séance)

Noms et Prénoms :

.....

.....

Groupe :.....

PREPARATION THEORIQUE :

RESULTATS DE MESURES :

Tableau VII.1 : Résultats de mesure de la vitesse de rotation avec les 4 méthodes

Tension d'alimentation (V)	Indication de la génératrice (V)	Fréquence de rotation (Hz) (photoélect)	Vitesse de rotation (tr/mn) (Ω_{photo})	Indication du tachymètre à CF (Tour/mn)	Indication du stroboscope (Tour/mn)
80					
85					
90					
95					
100					
105					

Les 50 mesures de la période de rotation :

COMPTE RENDU

Tableau VII.2 : Distribution statistique des mesures de vitesse de rotation

K	T_k	N_k	$N_k \cdot T_k$	$\varepsilon_k = T_k - T_{moy}$	$N_k \varepsilon_k$	ε_k^2	$N_k \cdot \varepsilon_k^2$
1							
2							
3							
.							

CONCLUSION

TP N° 07 :MESURES DE FORCE ET DE DEFORMATION

I) BUT :

- Etudier les caractéristiques métrologiques des jauges de déformation.
- Etalonner un extensomètre à jauges.
- Mesurer la force à l'aide de l'extensomètre et d'un dynamomètre à ressort

II) MATERIEL UTILISE :

- 2 jauges métalliques,
- Alimentation alternative,
- Millivoltmètre électronique,
- Ohmmètre numérique,
- Série de résistances AOIP x10 Ω , x 1 Ω et x 0,1 Ω ,
- Série de poids 0,10,9 Kg,
- Dynamomètre 10 Newtons,
- Règle graduée de 1 m.

III) PREPARATION THEORIQUE :

Une jauge de déformation est constituée d'un fil fin de longueur l et de section S collé sur un support. Sous l'effet d'une contrainte, la résistance du fil :

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{subit une variation relative :}$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dS}{S}$$

$$\text{avec } \frac{d\rho}{\rho} = C \frac{dV}{V} = C \left(\frac{dS}{S} + \frac{dl}{l} \right) \quad \text{et } \frac{dS}{S} = -2\nu \frac{dl}{l}$$

$$\frac{dR}{R} = [1 + 2\nu + C(1 - 2\nu)] \frac{dl}{l} = K \frac{dl}{l} = K\varepsilon$$

où K est le facteur de jauge.

Le montage de mesure est montré sur la figure VIII.1.

Le corps d'épreuve est une tige en Aluminium de longueur L , largeur a et épaisseur e . Elle est encastrée à une extrémité et subit une force F qui agit en flexion sur l'autre extrémité.

La flèche maximale est :

$$f_{\max} = \frac{4FL^3}{Eae^3}$$

où E est le module de young de l'aluminium.

Si la jauge est collée à une distance x de l'extrémité fixe, la déformation longitudinale à cette distance est :

$$\varepsilon = \frac{3e(L-X)f_M}{2L^3}$$

La variation de résistance est

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{6k(L-X)}{Eae^2} F$$

Caractéristiques du dispositif utilisé :

Facteur de la jauge métallique, $K = 2,12$,

Dimensions du corps d'épreuve : $L = 40 \text{ cm}$, $a = 2,5 \text{ cm}$, $e = 3 \text{ mm}$,

Position de la jauge à $x = 10 \text{ cm}$,

Module de Young ou d'élasticité du corps d'épreuve, $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$,

Longueur de la jauge $l = 12 \text{ mm}$.

Question 1 : Calculer $\frac{\Delta R}{R}$ lorsque F est due à un poids de 0,8 Kg

Pour avoir une grande sensibilité on colle deux jauges actives en sens opposés, une sur chaque face :

$$R_1 = R + \Delta R \quad \text{et} \quad R_2 = R - \Delta R$$

La variation de résistance en fonction de la température est compensée par deux autres résistances R_3 et R_4 .

Les 4 résistances forment un pont de WEATSTONE dont on mesure la tension de déséquilibre lorsqu'il est alimenté par une tension alternative de 6,8 V comme illustré par la figure VIII.2.

Remarque : Nous avons utilisé la source alternative pour éviter la dérive en continu.

Question 2 : En supposant qu'à l'équilibre (jauge au repos)

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$$

a) Montrer que la tension de déséquilibre du pont peut être approximée par :

$$U_d = \frac{\Delta R}{2R} U_a$$

b) Calculer la tension de déséquilibre théorique lorsqu'on applique le poids de 0,8 Kg et une tension d'alimentation $U_a = 6,8 \text{ V}$.

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) Mesurer les résistances des 2 jauges R_1 , R_2 .

IV.2) Fixer l'extensomètre à l'aide d'une presse à main et mesurer les résistances R_1 , R_2 et la flèche maximale à l'extrémité libre du corps d'épreuve, après avoir appliqué le poids de 0,8 Kg à l'extrémité.

- **IV.3)** Réaliser le montage de la figure VIII.2 avec $R_3 = 100 \ \Omega$, et R_4 Série de résistances AOIP $\times 10 \ \Omega$, $\times 1 \ \Omega$ et $\times 0,1 \ \Omega$. Chercher l'équilibre du pont à vide en agissant sur les boites de résistances AOIP.

IV.4) Afin d'étalonner l'extensomètre charger successivement les différents poids et mesurer la tension de déséquilibre U_d , et la flèche maximale f_M à l'extrémité. Reporter les résultats sur le tableau VIII.1.

Tableau VIII.1 : Etalonnage de l'extensomètre

Poids P (Kg)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
U_d (mv)										
Flèche f_M (mm)										

IV.6) Relever la tension de déséquilibre lorsqu'on applique un poids de 0,8 Kg en différents points de la tige : $L = 15, 20, 25, 30, 35$ cm. Compléter le tableau VIII.2.

Tableau VIII.2 : Variation du point d'application de la force avec $P = 0,8$ Kg

L (cm)	15	20	25	30	35
U_d (mV)					

IV.7) Relever la tension de déséquilibre lorsqu'on fait varier la flèche de - 15 mm à + 15 mm par pas de 5 mm. Reporter les résultats sur le tableau VIII.3.

Tableau VIII.3 : Tension de déséquilibre en fonction de la flèche.

Flèche f_M (mm)	- 15	- 10	- 5	0	+ 5	+ 10	+ 15
U_d (mV)							

IV.8) Vérifier l'étalonnage du dynamomètre de 0 à 8 Newtons en appliquant la force vers le haut puis vers le bas (Tableau VIII.4).

Tableau VIII.4 : Vérification de l'étalonnage du dynamomètre

	Vers le bas									Vers le haut							
F(N)	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U_d (mV)																	

V) COMPTE RENDU :

V.1) Comparer les variations de résistance théorique et pratique pour $P = 0,8$ Kg.

V.2) Comparer les tensions de déséquilibre théorique et pratique pour $P = 0,8$ Kg.

V.3) Tracer sur la même feuille $U_d = f(P)$ et $f_M = f(P)$ à partir du tableau VIII.1.

V.4) Tracer $U_d = f(L)$ à partir du tableau VIII.2. Comparer avec la relation théorique.

V.5) Tracer $U_d = f(f_M)$ à partir du tableau VIII.3. Comparer avec la relation théorique.

V.6) A l'aide du graphe $U_d = f(P)$ vérifier l'étalonnage du dynamomètre.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

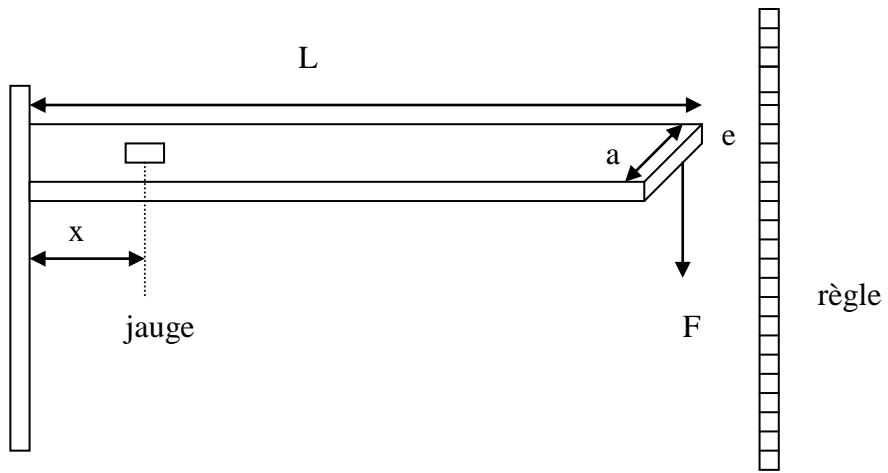


Figure VIII.1 : Dispositif de mesure

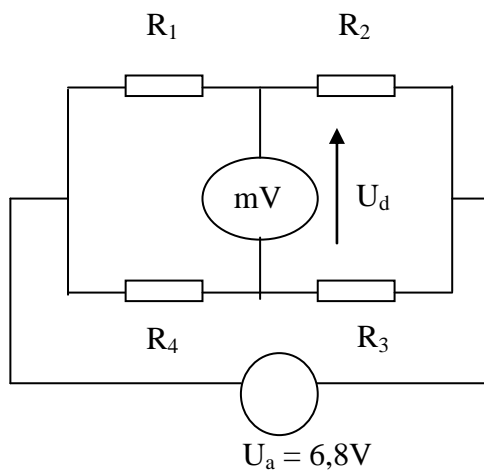


Figure VIII.2 : Pont de mesures

COMPTE RENDU

CONCLUSION

TP N°8 : MESURE DE TEMPERATURE

I) BUT :

- Mesure de température à l'aide d'un thermomètre à résistance métallique, d'une thermistance et d'un thermocouple.
- Etalonnage de ces 3 capteurs.
- Mesure des f.e.m de THOMSON et de PELTIER.

II) MATERIEL UTILISE :

- Deux thermocouples Fer - Constantin,
- Résistance de Platine,
- Thermistance CTN,
- Thermostat à bain d'huile,
- Thermomètre numérique de référence,
- Micro-voltmètre et ohmmètres.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La température est la grandeur physique la plus fréquemment mesurée puisque presque toutes les propriétés physico-chimiques dépendent de la température. Pour transformer la température en une grandeur électrique on exploite plusieurs phénomènes physiques.

III-1) Thermomètre à résistance métallique:

La résistance électrique des métaux est due aux chocs que subit l'électron lors de son déplacement. Lorsque la température augmente, l'agitation thermique augmente, le nombre de chocs augmente et par conséquent la résistance augmente. Cette dépendance peut être approximée par la relation linéaire:

$$R(\theta) = R_0 (1 + \alpha\theta)$$

avec θ température en degrés Celsius, α coefficient de température et $R_0 = R(\theta=0^\circ\text{C})$

III-2) Thermistance :

Les thermistances sont des oxydes métalliques semi-conducteurs qui présentent une rapide et importante variation de résistance en fonction de la température. Lorsque la température augmente, des électrons passent de la bande de valence à la bande de conduction ce qui augmente la conductivité et donc réduit la résistance. La dépendance est exponentielle:

$$R(T) = R_1 \exp \beta(1/T - 1/T_1)$$

avec T température absolue en Kelvin et $R_1 = R(T=T_1)$

III-3) Thermocouple :

Lorsqu'on met en contact 2 conducteurs différents, les électrons passent de l'un à l'autre et il en résulte une f.e.m de PELTIER (figure IX.1). Cette f.e.m qui dépend de

la température est due à la différence du travail d'extraction A et à la différence des concentrations n des électrons:

$$U_{\text{pel}} = [A_2 - A_1 + kT \ln(n_1/n_2)]/e$$

Où k est la constante de BOLTZMANN et e la charge de l'électron.

D'autre part, entre 2 extrémités d'un même conducteur portées à des températures différentes T_M et T_N , comme sur la figure IX.2, s'établit une f.e.m de THOMSON :

$$U_{\text{thom}} = \int_{T_M}^{T_N} h(T) dT$$

$h(T)$ est caractéristique du matériau.

Un thermocouple est formé par la jonction (soudure) de deux conducteurs différents.

Pour mesurer la température, on utilise 2 thermocouples. On met une soudure à une température de référence θ_0 et l'autre à la température à mesurer θ .

Question :

En supposant h_{fe} et h_{kon} constantes, montrer que la ddp mesurée par le microvoltmètre du montage de la figure IX.3 est de la forme: $U = K (\theta - \theta_0)$

III.4) Capteur à semi-conducteur :

Les composants utilisés sont des diodes ou transistors montés en diodes (base et collecteur reliés). En polarisation directe, le courant à travers la jonction est :

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qU}{kT}\right) \quad \text{soit} \quad U = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = AT$$

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) a) Mettre les 2 thermocouples à la température de 0 °C (glace fondante) .

b) Mesurer la f.e.m de Thomson aux bornes de l'élément fer (Fe) puis aux bornes de l'élément Constantin (Kon).

c) Mesurer la f.e.m de contact (tension de Peltier) aux bornes de chacun des thermocouples puis aux bornes des 2 thermocouples mis en série directe (Fe-Kon-Fe-Kon) et aux bornes des 2 thermocouples mis en série opposée (Fe-Kon-Kon-Fe).

Reporter les valeurs dans la première colonne du tableau IX.1.

Tableau IX.1 : Mesures des f.e.m. de Thomson et Peltier

	Tension à mesurer	0°C	120°C
Thermocouple 1	Fem Thomson $U_{1th}(Fe)$ Fem Thomson $U_{1th}(Kon)$ Fem Peltier $U_{1pt}(Fe-Kon)$		
Thermocouple 2	Fem Thomson $U_{2th}(Fe)$ Fem Thomson $U_{2th}(Kon)$ Fem Peltier $U_{2pt}(Fe-Kon)$		
Thermocouples 1 + 2	Série directe Fe-Kon-Fe-Kon Série opposée Fe-Kon-Kon-Fe		

IV.2) Réaliser le montage de la figure IX.3.

Relever les indications des 3 capteurs pour $\theta = \theta_{amb}$ = température ambiante.

Augmenter la température et relever en même temps les indications du microvoltmètre et des 2 ohmmètres pour les températures indiquées dans le tableau IX.2.

Tableau IX.2 : Sorties des capteurs en fonction de la température.

$\theta(^{\circ}c)$	θ_{amb}	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U_t(mV)$												
$R_{pt}(\Omega)$												
$R_{th}(k\Omega)$												

IV.3) Refaire la manipulation 1 à la température de 120 °C et compléter la deuxième colonne du tableau IX.1.

V) COMPTE RENDU :

V.1) Tracer sur la même feuille les 4 courbes de variation :

$$U_t = f(\theta); \quad R_{pt} = f(\theta); \quad R_{th} = f(\theta); \quad U_{SC} = f(\theta)$$

et la droite statistique $U_t = c\theta + d$ avec c et d calculés par la méthode des moindres carrés.

V.2) Comparer les coefficients c et d graphiques et statistiques.

V.3) Déduire graphiquement R_0 et α de la résistance de Platine.

V.4) Tracer la variation de la résistance de la thermistance en fonction de l'inverse de la température absolue $1/T$ sur papier semi-logarithmique et déduire R_1 et β .

V.6) Déterminer les coefficients de Thomson h_{Fe} et h_{Kon} à partir du tableau IX.1.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

COMPTE RENDU

CONCLUSION

TP N° 9: MESURES PHOTOMETRIQUES

I) BUT :

- Etude de l'éclairement en fonction de la distance source – récepteur.
- Mesure du flux lumineux par thermopile, photorésistance, phototransistor et photodiode.
- Sensibilité des différents capteurs optiques en fonction de la longueur d'onde.

II) MATERIEL UTILISE :

- Lampe de 60w.
- Thermopile de Moll, photorésistance, phototransistor, photodiode,
- Banc optique de 2 m de longueur et accessoires (supports, filtres).
- Alimentation stabilisée.
- Multimètre et luxmètre.

III) PREPARATION :

La lumière considérée sous son aspect corpusculaire est constituée d'un ensemble de photons. Sa puissance et son spectre dépendent de la source.

Lampe à filament ou à halogène : flux important, spectre étendu.

LED : flux faible, spectre limité.

LASER : lumière intense directive cohérente et monochromatique.

L'énergie lumineuse rayonnée par une source par unité de temps s'appelle flux lumineux et se mesure en lumens :

$$\Phi = dW/dt \quad 1 \text{ lm} = 1/680 \text{ Watt}$$

L'intensité lumineuse est le flux lumineux émis dans une direction donnée sous l'angle solide unité. Son unité est le Candéla.

$$I = d\Phi/d\Omega$$

Question 1 : Montrer que pour une source ponctuelle et une émission isotrope le flux total est :

$$\Phi_{\text{tot}} = 4 \pi I$$

L'éclairement E d'une surface est le rapport du flux lumineux $d\Phi$ reçu par son aire dS :

$$E = d\Phi / dS$$

Il se mesure en lux ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$)

Question 2 : Comment varie l'éclairement en fonction de la distance r entre la source et le récepteur.

III-1) Thermopile :

L'énergie des photons captés par une surface noircie provoque une élévation de température susceptible d'être mesurée par un ensemble de thermocouples en série

placés de l'autre côté de la surface noircie. La tension indiquée est proportionnelle à la quantité de lumière reçue.

$$U_{th} = K_{th} \Phi$$

III-2) Photorésistance :

Elle est réalisée en déposant sous forme de grille, un semi-conducteur dopé N sur un substrat. Lors de son éclairage, l'absorption d'un photon d'énergie suffisante permet à un électron de passer de la bande de valence à la bande de conduction. Ceci augmente sa conduction et donc réduit sa résistance de quelques $M \Omega$ à l'obscurité à quelques ohms à la saturation. La relation de variation est :

$$R = \frac{K_R}{\sqrt{\Phi}}$$

III-3) Photodiode :

Lors de la jonction de 2 semi-conducteurs dopés N et P, il se forme une zone de déplétion à cause de la diffusion d'abord et du champ électrique résultant ensuite. Lorsque cette jonction est éclairée par des photons de fréquence suffisante, des paires électron – trou se forment dans la zone de déplétion et donnent naissance à un courant inverse. La photodiode peut être utilisée en mode photoconducteur où elle est polarisée en inverse et on mesure le courant inverse I_r . Elle peut être utilisée en mode photovoltaïque (sans polarisation) où on mesure soit la tension à ses bornes ou le courant de court circuit. En mode photoconducteur, le courant inverse est proportionnel au flux reçu :

$$I_r = K_d \Phi$$

III-4) Phototransistor :

C'est un transistor NPN dont la jonction base-collecteur se comporte comme une photodiode. La base n'étant pas polarisée, c'est le courant inverse photoélectrique I_r qui constitue le courant de base. Celui-ci recueilli au collecteur est amplifié

$$I_c = \beta I_r = \beta K_d \Phi = K_t \Phi$$

III-5) Cellule photoémissive :

Un matériau photo-émissif, ayant un pouvoir d'extraction faible, peut libérer des électrons lorsqu'il est éclairé par un rayonnement de fréquence suffisante. En présence d'un champ électrique externe (polarisation), entre l'anode et la photocathode, il y a circulation d'un courant électrique proportionnel au flux lumineux.

$$I_e = K_e \Phi$$

III-6) Dépendance spectrale :

La sensibilité des différents capteurs optiques dépend de la fréquence. Par exemple l'œil humain, qui est un capteur biologique, a un maximum de sensibilité pour une longueur d'onde voisine de 555 nm (jaune - verdâtre). Aussi est-il intéressant de caractériser la dépendance de chaque capteur en fonction de la longueur d'onde.

IV) **MANIPULATIONS** : Allumer la lampe.

IV.1) - Placer la thermopile face à la lampe et mesurer la tension à ses bornes pour les distances lampe – thermopile suivantes :

$r = 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 \text{ Cm } \infty$

Reporter les résultats de mesure sur le tableau XI.1.

- Fixer la thermopile à la distance de 20 cm. Placer successivement les différents filtres sur le capteur (même la lumière du jour doit être filtrée) et reporter les indications sur le tableau XI.2.

NB : Pour atteindre l'équilibre thermique il est nécessaire d'attendre 2 minutes à chaque position avant de prendre la mesure.

IV.2) - Placer la photorésistance et mesurer sa résistance pour les distances précédentes. Reporter les résultats de mesure sur le tableau XI.1.

- Fixer la photorésistance à 20 cm, relever sa résistance avec les différents filtres et reporter les indications sur le tableau XI.2.

IV.3) - Placer le phototransistor et le polariser à l'aide du montage de la figure XI.1.

- Mesurer le courant collecteur pour les distances précédentes.

Reporter les résultats de mesure sur le tableau XI.1.

- A 20 cm insérer les filtres, relever le courant et reporter les indications sur le tableau XI.2.

IV.4) - Placer la photodiode en mode photovoltaïque (figure XI.2 .a) et mesurer la tension pour les distances précédentes. Remplacer le voltmètre par un ampèremètre et mesurer le courant inverse. Reporter les résultats de mesure sur le tableau XI.1.

- A 20 cm insérer les filtres, relever ce courant et reporter les indications sur le tableau XI.2.

V) COMPTE RENDU :

V.1) Tracer sur la même feuille les indications des 4 capteurs (thermopile, photorésistance, Phototransistor, Photodiode I_r) en fonction de $1/r^2$ qui est proportionnel à l'éclairement.

V.2) Tracer sur une autre feuille les indications des 4 capteurs pour $r = 20 \text{ cm}$ en fonction de la longueur d'onde.

V.3) Sachant que la sensibilité de la thermopile est de $0,16 \text{ mV/m W}$, calculer le flux reçu par la thermopile à la distance de 20 cm.

V.4) A partir des autres résultats de mesure à 20 cm, trouver les lois de variation en fonction du flux Φ des quatre autres capteurs. Les surfaces sensibles sont :

thermopile	1 cm^2
Photorésistance	$0,8 \text{ cm}^2$
Phototransistor	$0,1 \text{ cm}^2$
Photodiode	$0,2 \text{ cm}^2$
Cellule photoémissive	2 cm^2

VI) CONCLUSION : Discuter et commenter les résultats obtenus.

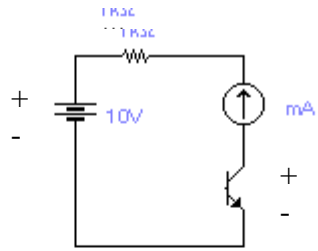


Figure XI.1 : Polarisation du phototransistor

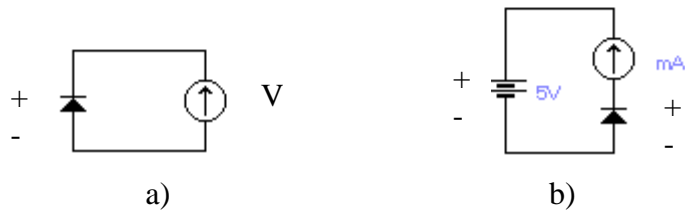


Figure XI.2 : a) Mesure de la tension photovoltaïque
b) Polarisation de la photodiode

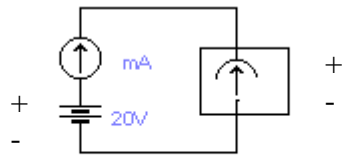


Figure XI.3 : Polarisation de la cellule photo-émissive

COMPTE RENDU

CONCLUSION

TP N°10 : MESURE DE RESISTANCES (démonstration)

I) BUT :

Mesurer des résistances avec différentes méthodes : ohmmètre, voltampèremètre, pont de Wheatstone et pont de Thomson.

II) MATERIEL UTILISE :

- Ohmmètre analogique,
- Ohmmètre numérique,
- Ampèremètre,
- Voltmètre,
- Pont de Thomson,
- Galvanomètre à spot lumineux,
- Alimentation stabilisée,
- Résistances à décades $\times 0.01 \dots \times 10^3 \Omega$,
- Résistances à mesurer.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La résistance peut être mesurée directement par un ohmmètre ou indirectement par un montage voltampèremétrique. Elle peut être mesurée avec précision à l'aide d'un pont de Wheatstone ou d'un pont de Thomson pour les petites résistances.

III-1) Ohmmètre:

Avec un ohmmètre analogique (figure III.1), la valeur est indiquée sur un cadran d'un élément moteur magnétoélectrique gradué de droite à gauche de 0 à l' ∞ .

$R_{\text{mes}} = \text{indication} \times \text{calibre}$.

Avec l'ohmmètre numérique la valeur de la résistance est directement affichée. Le calibre, ou plutôt la gamme, correspond à la résistance maximale mesurable.

III-2) Montage voltampèremétrique: (figure III.2)

La résistance est déduite par le rapport de la tension à ses bornes sur le courant qui la traverse.

Question 1: Calculer les erreurs de mesure dues aux résistances internes de l'ampèremètre et du voltmètre dans les 2 montages amont et aval.

III-3) Pont de Wheatstone: (figure III.3)

Il est constitué de 4 résistances d'une source continue et d'un galvanomètre comme indicateur de zéro.

Question 2: En appliquant les lois de Kirchoff, montrer que le courant dans le galvanomètre est donné par:

$$I_g = \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_x) E}{R_g (R_1 + R_2)(R_3 + R_x) + R_1 R_2 (R_3 + R_x) + R_3 R_x (R_1 + R_2)}$$

A l'équilibre $I_g=0$, on tire $R_x=R_1R_3/R_2$.

Pour mesurer de faibles variations de R_x autour de l'équilibre, on mesure le courant de déséquilibre $I_g = \sigma \Delta R$

III-4) Pont double de Thomson: (figure III.4)

Il permet de mesurer les très faibles résistances. A l'équilibre:

$$R_x = R_e \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3 R_0}{R_0 + R_3 + R_4} \left(\frac{R_2}{R_1} - \frac{R_4}{R_3} \right)$$

Cette relation se simplifie si on choisit $R_2/R_1 = R_4/R_3$
alors $R_x=R_e R_1/R_2$.

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) Mesurer la résistance R_x avec l'ohmmètre analogique après avoir ajusté son zéro puis avec l'ohmmètre numérique.

IV.2) Mesurer la résistance R_x avec la méthode voltampèremétrique (amont puis aval). On utilise une source continue de 10V.

IV.3) Réaliser le pont de Wheatstone de la figure 3 avec: $E=10V$, $R_2=600 \Omega$, $R_1=600 \Omega$, $R_3= 5$ résistances AOIP en série (x100; x10; x1; x0,1; x0,01 Ω) et G galvanomètre de sensibilité = 10 nA/mm et de résistance interne = 88 Ω .

a) - En variant R_3 , chercher l'équilibre du pont d'abord avec le milliampèremètre puis avec le galvanomètre. Relever R_3 et calculer R_x .

b) - A partir de l'équilibre faire varier R_3 et compléter le tableau III-1.

Tableau III-1 : Variation du courant autour de l'équilibre

$\Delta R_3 (\Omega)$ -0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3
Déviaton α (mm)	$-\alpha_{max}$			0				$+\alpha_{max}$

c) - Refaire la manipulation après avoir shunté le galvanomètre avec une résistance de 90 Ω pour réduire sa sensibilité.

IV.4) Vérifier l'étalonnage du pont double de Thomson en mesurant la résistance étalon à 4 bornes de 1 Ω . Mesurer les résistances de glissement pour plusieurs positions du curseur et compléter le tableau III-2.

Tableau III-2 : Mesure de la résistance du fil.

L (cm)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R (Ω)									

IV.5) Avec le pont de Thomson puis avec l'ohmmètre mesurer la résistance de la bobine et la résistance interne de l'ampèremètre sur le calibre utilisé dans la manipulation n°2.

IV.6) Relever les caractéristiques des appareils utilisés (tableau III-3).

Tableau III-3 : **Caractéristiques des appareils**

Appareil → Caractéristiques ↓	Alimentation	Ohmmètre Analog	Ohmmètre Numérique	Ampère mètre	Voltmètre	Galvano mètre	Pont de Thomson
Classe Résolution Etendue							

V) COMPTE RENDU :

V.1) Déduire la résistance mesurée par les montages amont et aval et calculer les erreurs de montage. Quel est le montage le plus adapté.

V.2) Comparer les valeurs de R_x mesurées par les 2 ohmmètres, le montage voltampèremétrique et le pont de Wheatstone. Discuter sur la base des incertitudes.

V.3) Tracer la variation $\alpha = f(\Delta R_3)$ et déduire la sensibilité totale du montage dans les 2 cas de la manipulation 3.

V.4) En supposant la sensibilité du galvanomètre constante sur toute l'échelle ($\alpha = KI_g$), calculer l'erreur relative maximale de non-linéarité due à l'approximation de la relation $I_g = f(\Delta R_3)$.

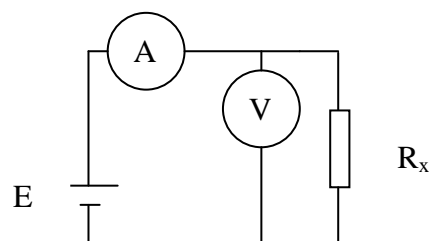
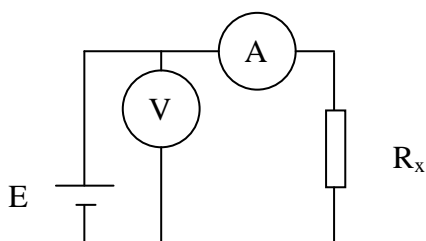
V.5) Tracer $R = f(L)$ et déduire la résistance linéique du fil de la résistance à curseur.

V.6) Sachant que le diamètre du fil de la résistance à curseur est de 0,6 mm, calculer la résistivité de ce fil.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

R_0



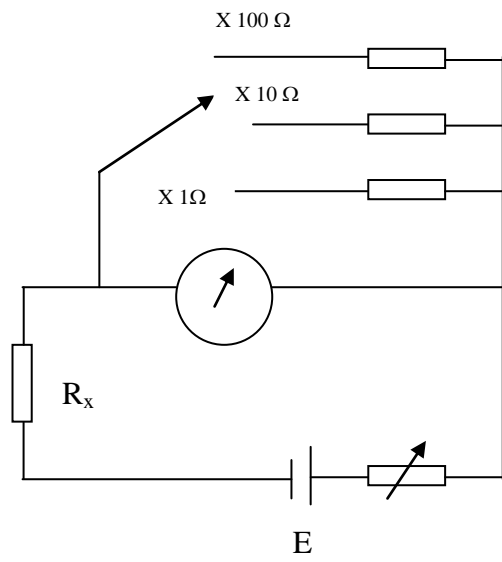


Fig. III.1 : Principe de l'ohmmètre analogique

TP N°11 : MESURE DE NIVEAU DE LIQUIDE (démonstration)

I) BUT :

- Mesure de niveau de liquide à l'aide d'un détecteur capacitif,
- " " " " " " piézo-électrique,
- " " " " " " électrique à membrane,
- Mesure de niveau en utilisant le rayonnement radioactif γ ,
- Etude de l'aspect statistique de l'émission et de la détection de rayonnement.

II) MATERIEL UTILISE :

- Banc d'essai capacitif avec générateur de fonctions, 2 voltmètres et une résistance de 5 K Ω ,
- Banc d'essai radioactif avec source Co 60 ou Cs 137, détecteur de rayonnement et radiomètre,
- Banc d'essai à pression différentielle électrique et piézo-électrique avec un conditionneur de signal et 2 milliampèremètres.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La mesure de niveau de remplissage de liquide est indispensable pour pouvoir contrôler le transfert et le stockage de liquides dans les réservoirs. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées (hydrostatiques, électriques, acoustiques et par rayonnement).

III-1) Détecteur capacitif : (Figure X.1)

Lorsque le liquide est isolant, on peut utiliser un condensateur formé par deux électrodes cylindriques pleines de même diamètre $2r = 6$ mm distantes de $D = 4$ Cm. Le diélectrique est constitué de l'eau de permittivité relative ϵ_e dans la partie immergée et de l'air de permittivité relative ϵ_a dans la partie émergée. La capacité totale est:

$$C = 2\pi\epsilon_0 [\epsilon_a(L-h) + \epsilon_e h] / \ln(A + \sqrt{A^2 - 1})$$

$$\text{avec } A = (D^2 - 2r^2) / 2r^2$$

Question 1:

Calculer les capacités minimale ($h=0$) et maximale ($h=L=1$ m) sachant que :

$$\epsilon_0 = 1/36\pi \cdot 10^{-9} \text{ SI}, \quad \epsilon_a = 1 \text{ et } \epsilon_e = 80 .$$

Pour mesurer la capacité on utilise le diviseur de tension de la figure X.2.

Question 2 : Trouver la relation qui donne C en fonction de U_1 et U_2 .

III-2) Mesure de niveau par la pression différentielle (Figure X.3) :

Un capteur électrique à membrane métallique et un capteur piézo-électrique sont utilisés pour mesurer la différence de pression engendrée d'un côté par un niveau de référence $h_{\max} = 2$ m et de l'autre côté par le niveau à mesurer h .

$$\Delta P = \rho g (h_{\max} - h)$$

A l'aide de conditionneurs de signal appropriés, les sorties des deux capteurs sont des courants électriques:

$$I_1 = K_1 \rho g (h_{\max} - h) \quad \text{et} \quad I_3 = K_3 \rho g (h_{\max} - h)$$

III-3) Mesure par rayonnement γ (Figure X.4) :

Pour effectuer des mesures de niveau sans contact avec le liquide, on met une source de rayonnement γ (Co 60 ou Cs 137) sous le récipient et un détecteur de rayonnement au dessus.

Le détecteur est une chambre d'ionisation constituée d'un tube contenant un gaz (Argon) et deux électrodes entre lesquelles on applique une haute tension (500 Volts) .

Principe de la détection (Figure X.5) :

Lorsqu'un rayonnement γ arrive sur le tube, il pénètre facilement à l'intérieur, ionise une molécule du gaz qui produit une impulsion de courant en fermant le circuit. Donc pour mesurer le nombre de rayonnements reçus, il suffit de compter le nombre d'impulsions de courant générées. C'est ce que fait le radiomètre qui affiche la densité d'impulsions par seconde. Le temps de mesure peut être fixé à 1, 10, 100...secondes. La détection de rayonnement suit un comportement statistique régi par la loi de POISSON. Le rayonnement est atténué par le milieu qu'il traverse selon la loi :

$$N(h) = N_0 \exp (-\mu h)$$

N_0 est le nombre de rayonnements incidents émis dans la direction du détecteur, h est l'épaisseur traversée et μ est le coefficient d'absorption du milieu.

IV) MANIPULATIONS :

IV-1) Méthode capacitive :

- Réaliser le montage de la figure X.2,
- Appliquer une tension d'amplitude 10 V et de fréquence 100 KHz,
- Relever les indications U_1 et U_2 pour les différents niveaux du tableau X.1.

Tableau X.1 : Mesure de niveau de liquide avec la méthode capacitive.

h (cm)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
U_1 (mV)											
U_2 (mV)											
C (pF)											

IV-2) Mesure de niveau par pression différentielle :

- Brancher les milliampèremètres aux bornes du conditionneur des capteurs 1 et 3,
- Remplir le tube jusqu'à $h_{\max} = 200$ cm,
- Relever les indications I_1 et I_3 pour les niveaux du tableau X.2.

Tableau X.2 : Mesure de niveau par mesure de pression différentielle.

h (cm)	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
I_1 (mA)											
I_3 (mA)											

IV-3) Méthode radioactive :

Pour éviter de polluer le laboratoire, les sources radioactives sont rangées dans une chambre en briques de plomb qui, par sa grande densité, atténue considérablement le rayonnement.

- Régler le radiamètre selon les indications suivantes :
 - Tension anode cathode de la chambre d'ionisation = 0,5 kV,
 - Mesure en densité d'impulsions IDM,
 - $\sigma = 2 \%$
 - largeur de canal DIS
 - Niveau de détection 0,60,
 - Amplification x 16,
 - Champ de vision 5.

- Avant de sortir la source de cette chambre, mesurer la radioactivité naturelle en prenant 4 indications du radiomètre affichées toutes les 100 secondes.
- Mesurer la radioactivité naturelle et vérifier l'activité de la source à l'aide des deux radiomètres analogique et numérique.
- Mesurer l'activité de la source en la mettant à 2 cm du détecteur et afficher la densité d'impulsion durant 10 secondes.
- Introduire la source sous le récipient.
- Pour le niveau du récipient plein (h=30 cm), prendre 50 mesures successives de la densité d'impulsions affichées toutes les 10 secondes et ce pour vérifier le caractère statistique de la détection de rayonnement.
- Prendre 4 mesures affichées toutes les 100 secondes pour les niveaux du tableau X.3.

Tableau X.3 : Mesure de niveau avec la méthode radioactive.

h (cm)	naturelle	30			25			20			15			10		
densité																
dens moy																

V) COMPTE-RENDU :

V.1) Tracer la variation de la capacité en fonction du niveau d'eau (tableau X.1). En déduire les permittivités relatives expérimentales de l'air ϵ_a et de l'eau ϵ_e . Comparer les capacités (minimale et maximale) théoriques et pratiques.

V.2) Tracer sur une même feuille la variation de I_1 et I_3 en fonction du niveau h (tableau X.2). Déduire les coefficients k_1 et k_3 .

- V.3)** En exploitant les 50 mesures prises pour $h=30$ Cm, tracer sur la même feuille:
- la probabilité d'apparition d'une mesure en fonction des différentes mesures et
 - la loi de POISSON $P = \exp(-n_m) * (n_m)^n/n!$

n étant la mesure (nombre d'impulsions en 10 secondes)

n_m la valeur moyenne de toutes les mesures

$n!$ factoriel de n

Comparer l'allure des deux courbes obtenues.

- V.4)** Tracer la variation de la densité moyenne d'impulsions mesurée en fonction du niveau (tableau X.3) et déduire si la loi d'atténuation est vérifiée. Lorsqu'on néglige l'atténuation dans l'air, trouver le coefficient d'atténuation de l'eau.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter C ultats obtenus.

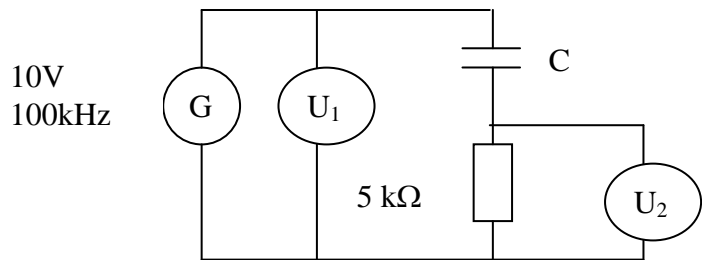
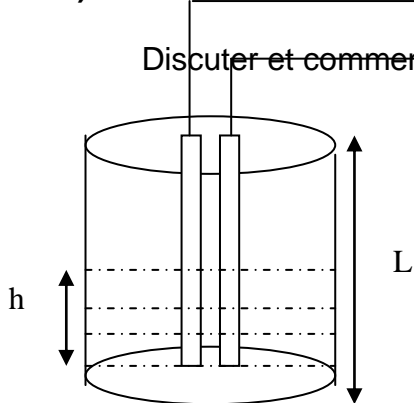


Figure X.1 : Méthode capacitive

Figure X.2 : Montage de mesure de la capacité

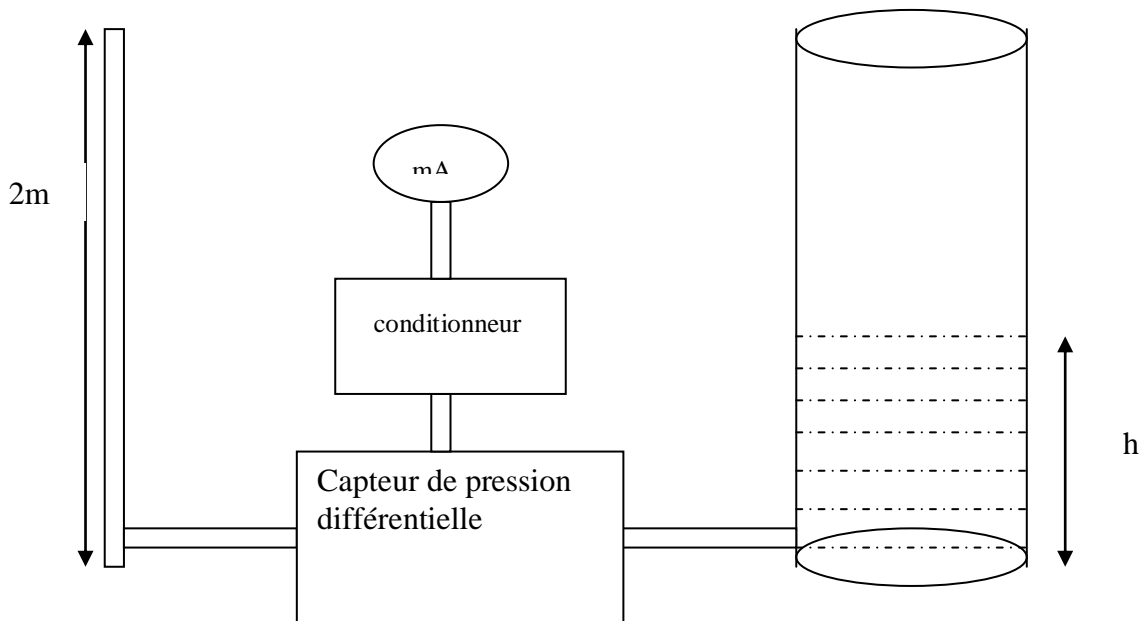
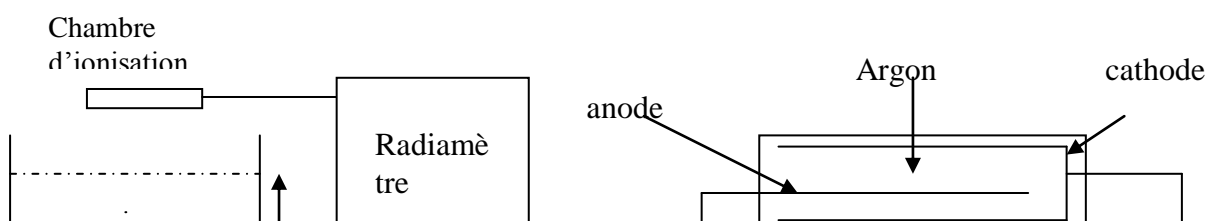


Figure X.3 : Méthode de mesure de niveau par mesure de pression différentielle



T P N°12 : MESURE DE VIBRATIONS (démonstration)

I) BUT:

- Mesurer l'accélération, la vitesse et l'élongation des vibrations d'un moteur électrique à l'aide de capteurs piézo-électriques,
- Relever le spectre de vibrations.

II) MATERIEL UTILISE :

- Moteur à courant continu à vitesse réglable,
- Excitateur de déséquilibre,
- Trois capteurs piézo-électriques KD 35,
- Un analyseur de vibrations,
- Une unité de programmation digitale,
- Un oscilloscope.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La mesure du niveau de vibrations des machines électriques et sa réduction est intéressante pour deux raisons:

- Améliorer les conditions de travail de l'utilisateur,
- Augmenter la durée de vie de la machine et sa fiabilité.

Ces vibrations peuvent être d'origine mécanique (roulements, balais, déséquilibre des parties tournantes), magnétique (asymétrie du champ dans l'entrefer) ou aérodynamique (ventilation).

Pour mesurer les vibrations on utilise un capteur piézo-électrique KD 35. Un capteur piézo-électrique délivre une petite tension proportionnelle à la force qu'il subit. Comme la force vibratoire est liée à l'accélération des vibrations, ce capteur délivre une tension proportionnelle à l'accélération des vibrations. Sa sensibilité est égale à 5 mV/ms^{-2} . Donc l'accélération peut être mesurée en amplifiant la tension du capteur et en l'appliquant à un indicateur étalonné directement en m/s^2 . La vitesse des vibrations est mesurée après amplification et intégration de la tension du capteur alors que la mesure de l'élongation nécessite une double intégration.

Question:

Montrer que les tensions U_1 , U_2 et U_3 de la figure XII.1 permettent de mesurer respectivement l'accélération, la vitesse et l'élongation des vibrations.

Le signal obtenu est appliqué à un filtre passe bande de largeur de bande étroite (1,5 % de la fréquence centrale). La fréquence peut être variée soit manuellement, soit à l'aide d'une unité de programmation digitale. Ceci permet de tracer le spectre du signal (amplitude en fonction de la fréquence).

Un indicateur analogique permet d'afficher, directement avec les unités respectives, l'accélération, la vitesse et l'élongation des vibrations.

Le dispositif de mesure est schématisé sur la figure XII.2. Il comprend un moteur à courant continu qui entraîne un excitateur de déséquilibre (demi cylindre plein). Le moteur est alimenté par une source continue et sa vitesse de rotation mesurée par un

tachymètre photoélectrique à affichage numérique. Les vibrations sont créées dans une plaque en acier de 300 x 200 x 30 mm³ isolée de l'établi par des amortisseurs. Un bloc électronique à modules rassemble les amplificateurs, le sélecteur de canal, le filtre et un indicateur analogique. Un oscilloscope est utilisé pour visualiser la forme des signaux tandis que l'unité de programmation digitale permet de commander la fréquence centrale du filtre.

IV) MANIPULATIONS :

Pour augmenter l'amplitude des vibrations, on utilise un excitateur de déséquilibre entraîné par un moteur à courant continu. Trois capteurs piézo-électriques détectent les vibrations selon les trois directions axiale, radiale et tangentielle. Chaque capteur est suivi d'un amplificateur dont la sortie est proportionnelle à l'accélération des vibrations. Pour pouvoir visualiser les signaux de sortie des 3 capteurs à l'aide d'un oscilloscope et afficher les mesures d'accélération, vitesse et élongation à l'aide d'un indicateur analogique, on dispose d'un sélecteur de canal qui permet de sélectionner le capteur à exploiter. Les capteurs (axial, tangential et radial) sont connectés respectivement sur les positions 1, 2 et 3.

IV.1) Brancher la sortie du sélecteur de canal sur l'oscilloscope et visualiser les réponses des 3 capteurs à une force brève (petite frappe du doigt) et à une force constante (appui maintenu du doigt). Remarquer que le capteur piézo-électrique répond aux forces dynamiques.

IV.2) Relever les accélérations des vibrations, selon les 3 directions axiale, tangentielle et radiale, en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Le filtre n'intervenant pas, il est utilisé en position linéaire "LIN". Utiliser la gamme de mesure a_1 qui permet de mesurer des accélérations de 0,032 à 320 m/s² dans la gamme de fréquence de 1 Hz à 20 kHz. Reporter les résultats sur le tableau XII.1.

Tableau XII.1 : Mesure des accélérations de vibrations.

Vitesse rot (tr/mn)	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
Acc axiale (m/s ²)															
Acc tang (m/s ²)															
Acc radial (m/s ²)															

IV.3) Relever les vitesses des vibrations, selon les 3 directions axiale, tangentielle et radiale, en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Utiliser la gamme de mesure v_{10} qui permet de mesurer des vitesses de 0,32 à 320 mm/s dans la gamme de fréquence de 20 Hz à 20 kHz. Reporter les résultats sur le tableau XII.2.

Tableau XII.2 : Mesure des vitesses de vibrations.

vitesse	Tangentielle													
	Radiale													

V) COMPTE RENDU :

V.1) Tracer sur une même feuille les variations de l'élongation, de la vitesse et de l'accélération des vibrations en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Comparer les résultats selon les 3 directions axiale, tangentielle et radiale. Remarquer les maximas de vibrations.

V.2) Tracer sur une autre feuille les vitesses et les accélérations de vibrations en fonction de la fréquence. Relever les fréquences des pics. Quel est le lien avec la fréquence de rotation.

VI) CONCLUSION :

Discuter et commenter les résultats obtenus.

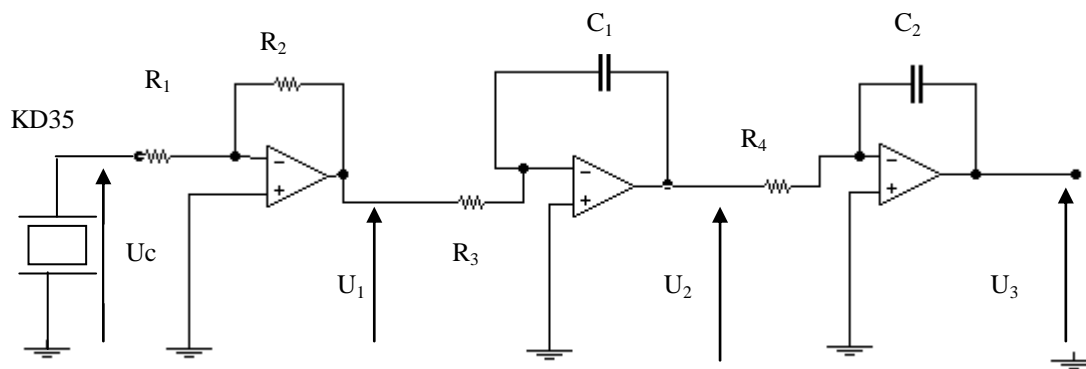


Figure XII.1 : Schéma simplifié de l'électronique de mesure de l'accélération, vitesse et amplitude de vibrations

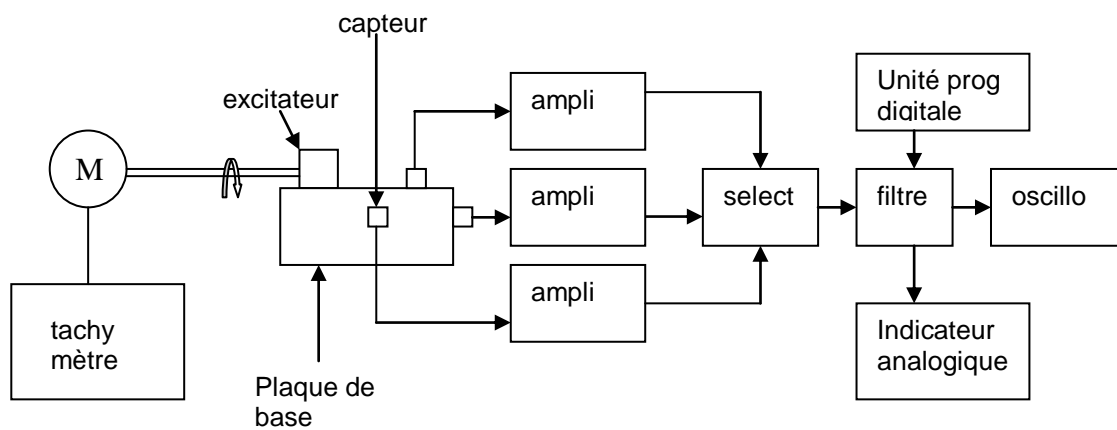


Figure XII.2 : Dispositif de mesures

TP N°13 : MESURE DE DEBIT DE FLUIDES (démonstration)

I) BUT :

- Mesure de débit à l'aide d'organes déprimogènes,
- Mesure de pression à l'aide de tube en U et de tube incliné,
- Mesure de vitesse et de pression à l'aide d'un tube de Pitot,
- Mesure de différence de pression à l'aide d'un capteur piézorésistif.

II) MATERIEL UTILISE :

- Chaîne de ventilation,
- Organes déprimogènes : diaphragme, tuyère et Venturi,
- Tube de Pitot,
- Tube en U et tubes inclinés,
- Capteur de pression différentielle piézorésistif.

III) PREPARATION THEORIQUE :

Un fluide est un milieu matériel liquide ou gazeux. Sous l'action d'une différence de pression, un fluide est soumis à une force qui lui impose un mouvement donc un déplacement. La quantité de matière qui passe à travers une ouverture par unité de temps est appelé débit. Le débit massique se mesure en Kg/s ou Kg/h et le débit volumique en m^3/s ou en m^3/h . Le débit peut être mesuré par plusieurs méthodes :

- débitmètre à organe déprimogène,
- débitmètre mécanique (turbine ou rotamètre),
- débitmètre électromagnétique,
- débitmètre à ultrasons,
- anémomètre à tube de Pitot.

Dans ce TP on utilise 2 méthodes:

III-1) Mesure à l'aide d'un organe déprimogène :

Un resserrement de la conduite ou un changement de sa direction créent entre amont et aval une différence de pression Δp liée au débit Q par la relation :

$$Q = K \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

Avec : ρ densité du fluide et

K constante qui dépend de la géométrie du dispositif.

Il suffit donc de mesurer la différence de pression en amont et en aval de l'organe déprimogène pour déduire le débit. Pour s'éloigner des turbulences créées par les restrictions des organes on prélève les pressions à un diamètre du tube avant la restriction et à six fois le diamètre après la restriction.

Les organes utilisés sont : le diaphragme, la tuyère et le Venturi (figure XIII.2). Le diamètre d'étranglement est de 70 mm alors que le diamètre du tube est de 100 mm.

La pression différentielle est mesurée à l'aide :
 d'un tube en U lorsqu'elle est importante (lecture directe en kilo Pascals),
 d'un capteur de pression différentielle piézorésistif (à jauges de contrainte),
 d'un tube incliné lorsqu'elle est faible. La pression différentielle Δp est déduite de l'indication du tube incliné Δl avec correction de la variation de la densité du liquide de mesure en fonction de la température par :

$$\Delta P = C_p \Delta l (\rho_0 + 0,0009(T_0 - T_m))$$

C_p est la constante d'étalonnage du tube incliné donnée par le tableau XIII.1,
 $\rho_0 = 0,813 \text{ g/Cm}^3$ est la densité du liquide de mesure (alcool) à la température $T_0 = 20$ °C

T_m est la température du fluide (air ambiant) au moment de la mesure

Tableau XIII.1 : Constante d'étalonnage du tube incliné pour la pression (C_p)

Inclinaison	1 : 50	1 : 25	1 : 10	1 : 5	1 : 2	1 : 1
Gamme de mesure (Pa)	32	64	160	320	800	1600
C_p	0,1962	0,3924	0,981	1,962	4,905	9,81

III-2) Mesure à l'aide d'un tube de Pitot :

Un tube de Pitot (ou tube de Prandtl) couplé à un tube incliné est utilisé pour mesurer la vitesse ou la pression dynamique du fluide. Il mesure la différence entre la pression totale et la pression statique.

$$P_{\text{dyn}} = P_{\text{tot}} - P_{\text{stat}}$$

La vitesse est déduite de l'indication du tube incliné)l avec correction de la variation de la densité du liquide de mesure en fonction de la température par :

$$V = \sqrt{C_v \Delta l [\rho_0 + 0,0009(T_0 - T_m)]}$$

C_v est la constante d'étalonnage du tube incliné donnée par le tableau XIII.2,
 $\rho_0 = 0,813 \text{ g/Cm}^3$ densité du liquide de mesure (alcool) à la température $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 T_m température au moment de la mesure

Questions :

- 1) Comment déduire le débit massique et le débit volumique à partir de la vitesse?
- 2) Calculer la constante K si le diamètre de la conduite d'air est 100 mm et celui de la restriction des organes déprimogènes est 70 mm.

Tableau XIII.2 : Constante d'étalonnage du tube incliné pour la vitesse (C_v)

Densité de l'air	Inclinaison du tube					
	1 : 50	1 : 25	1 : 10	1 : 5	1 : 2	1 : 1
1,12	0,35	0,701	1,752	3,504	8,758	17,518
1,13	0,347	0,695	1,736	3,473	8,681	17,363
1,14	0,344	0,688	1,721	3,442	8,605	17,211
1,15	0,342	0,682	1,706	3,412	8,53	17,061
1,16	0,338	0,677	1,691	3,383	8,457	16,914
1,17	0,335	0,671	1,677	3,354	8,385	16,769
1,18	0,332	0,665	1,663	3,325	8,314	16,627
1,19	0,33	0,659	1,649	3,297	8,244	16,487
1,20	0,327	0,654	1,635	3,27	8,175	16,35
1,21	0,324	0,649	1,621	3,243	8,107	16,215
1,22	0,322	0,643	1,608	3,216	8,041	16,082
1,23	0,319	0,638	1,595	3,19	7,976	15,951
1,24	0,316	0,633	1,582	3,165	7,911	15,823
1,25	0,314	0,628	1,57	3,139	7,848	15,696
1,26	0,311	0,623	1,557	3,114	7,786	15,571
1,27	0,309	0,618	1,545	3,09	7,724	15,449
1,28	0,305	0,611	1,527	3,054	7,634	15,268

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) Mesurer la température de l'air ambiant (fluide à mesurer) sur le thermomètre et la pression sur le baromètre mural. Trouver la densité de l'air à partir du tableau XIII.3.

Tableau XIII.3 : Densité de l'air en fonction de la température et de la pression

Température (°C)	Pression atmosphérique (torr ou mm de mercure)								
	740	745	750	755	760	765	770	775	780
10	1,209	1,218	1,226	1,234	1,242	1,250	1,259	1,267	1,275
12	1,200	1,209	1,217	1,225	1,233	1,241	1,250	1,258	1,266
14	1,192	1,200	1,208	1,216	1,224	1,233	1,241	1,249	1,257
16	1,183	1,191	1,199	1,207	1,215	1,223	1,231	1,239	1,247
18	1,174	1,182	1,190	1,198	1,206	1,214	1,222	1,230	1,238
20	1,165	1,173	1,181	1,189	1,197	1,205	1,213	1,221	1,229
22	1,157	1,165	1,173	1,181	1,189	1,197	1,204	1,212	1,220
24	1,148	1,156	1,164	1,172	1,180	1,189	1,195	1,203	1,211
26	1,140	1,148	1,156	1,163	1,171	1,179	1,187	1,194	1,202
28	1,131	1,139	1,147	1,154	1,162	1,170	1,178	1,185	1,193
30	1,123	1,131	1,138	1,146	1,154	1,161	1,169	1,176	1,184

IV.2) Relever les indications initiales des différents manomètres à tube en U et à tube incliné. Reporter sur le tableau XIII.4.

IV.3) Mettre en marche la Chaîne de ventilation (Figure XIII.1). Relever les indications finales aux bornes des quatre capteurs utilisés: diaphragme , tuyère , Venturi et tube de Pitot. Reporter les résultats sur le tableau XIII.4.

Tableau XIII.4 : Résultats de mesure des débits

	Diaphragme	Tuyère	Venturi	Pitot (au milieu)
Manomètre utilisé	Tube en U	Incliné (1 :5)	Incliné (1 :10)	Incliné (1 :5)
Indication initiale	$\Delta p_0 =$	$l_0 =$	$l_0 =$	$l_0 =$
Indication finale	$\Delta p =$	$l_f =$	$l_f =$	$l_f =$
		$\Delta l =$	$\Delta l =$	$\Delta l =$
		$C_p =$	$C_p =$	$C_v =$
	$Q_D =$	$Q_T =$	$Q_V =$	$Q_P =$

IV.4) Reprendre les mesures de la manipulation IV.3 après avoir changé le débit en mettant un étranglement de diamètre 70 mm puis de 50 mm à l'entrée de la chaîne de ventilation.

IV.5) Relever le profil de vitesse (variation de la vitesse selon le diamètre du tube à courant d'air) en mesurant la pression dynamique et la vitesse du gaz à l'aide du tube de Pitot placé aux positions du tableau XIII.5.

Tableau XIII.5 : Mesure du profil de vitesse.

Posit (cm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
Δl (mm)																	
V (m/s)																	

IV.6) Mesurer la différence de pression aux bornes des quatre capteurs (diaphragme, tuyère, venturi, tube de Pitot) en utilisant le capteur de pression différentielle piézorésistif alimenté par une tension continue de 12 V (figure XIII.3).

V) COMPTE RENDU :

V.1) Calculer le débit à partir des mesures des différences de pression aux bornes des 3 capteurs.

V.2) Calculer le débit massique et le débit volumique à partir des mesures par le tube de Pitot.

V.3) Tracer le profil de vitesse selon le diamètre.

V.4) Comparer les débits mesurés à l'aide des quatre capteurs (diaphragme, tuyère, venturi, tube de Pitot).

V.5) Calculer la sensibilité du capteur de pression différentielle piézorésistif.

VI) CONCLUSION :

Commenter et discuter les résultats obtenus.

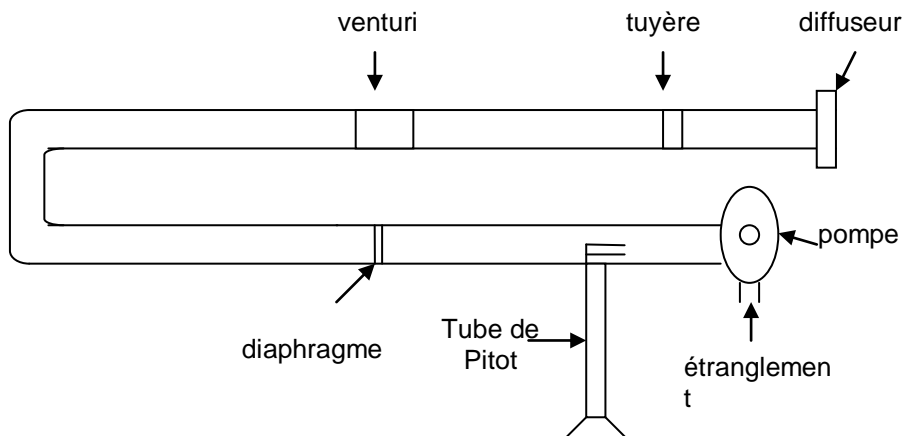


Figure XIII.1 : Chaine de ventilation

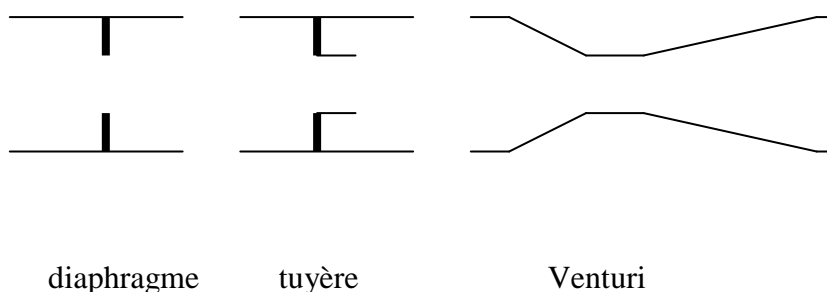


Figure XIII.2 : Organes de mesure

TP N° 14 : SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES (démonstration)

I) BUT :

- Comprendre le fonctionnement d'une chaîne d'acquisition de données,
- Afficher les résultats de mesure sur l'écran d'ordinateur,
- Tracer l'évolution des mesures en temps réel,
- Vérifier l'importance de la fréquence d'échantillonnage.

II) MATERIEL UTILISE :

- Micro-ordinateur muni d'une interface RS232,
- Capteurs de température, humidité et pression,
- Carte de conditionnement de signal et de conversion analogique numérique,
- Oscilloscope,
- Générateur de fonctions.

III) PREPARATION THEORIQUE :

La généralisation du rôle des ordinateurs dans le contrôle et la commande de processus impose l'acquisition de données et le traitement informatique des résultats de mesures. La chaîne d'acquisition de données (figure XIV.1) a pour rôle :

- l'extraction de l'information de chaque grandeur physique,
- sa traduction en signal électrique,
- le traitement analogique du signal,
- sa conversion sous forme numérique.

Elle comprend : les capteurs, les conditionneurs, le multiplexeur, l'échantillonneur bloqueur et le convertisseur analogique numérique. Une interface de communication et un logiciel approprié permettent l'exploitation des mesures et la gestion de la chaîne.

III.1) Capteurs :

Ils traduisent les grandeurs physiques en grandeurs électriques. On utilise le capteur à semi-conducteur LM35Z pour la température, le capteur capacitif HP100 pour l'humidité et le capteur piézorésistif MPX 2200 pour la pression.

Les relations de variation sont :

$$U_1(T) = 10T \quad (mV)$$

$$C(H) = 120 + 0,4H \quad (pF)$$

$$U_2 = 20(P - 1) \quad (mV)$$

T est la température en Kelvin,
H l'humidité relative en % et
P la pression en bars.

III.2) Conditionneurs :

Pour le capteur de température de sensibilité 10 mV/ °C on utilise un amplificateur de gain 10. Pour le capteur d'humidité de sensibilité 0,4 pF /(%) on utilise

un oscillateur suivi d'un convertisseur fréquence tension. Pour le capteur de pression de sensibilité 20 mV/bar on utilise un amplificateur d'instrumentation de gain 25.

III.3) Le multiplexeur :

Il sélectionne la grandeur physique à mesurer. On utilise le circuit intégré 74HC 4052.

III.4) L'échantillonneur - bloqueur :

Il sert à prélever, à un instant donné, un échantillon d'une tension appliquée à son entrée, le mémoriser et délivrer en sortie une tension égale à celle de l'échantillon mémorisé. Il est nécessaire lorsque le signal risque de varier beaucoup durant la durée de la conversion analogique numérique. Dans ce TP, les grandeurs à surveiller varient lentement et l'échantillonneur bloqueur n'est pas nécessaire.

III.5) Le convertisseur analogique – numérique :

Lorsque il reçoit à son entrée une tension analogique e il délivre en sortie un mot de n bits correspondant à la valeur de e . Sa sortie peut être lue par le micro-ordinateur via l'interface RS 232. La résolution est

$$E_{\max} / 2^n .$$

Le CAN utilisé est le circuit ADC 0804 à 10 bits. L'entrée est entre 0 et 10 V et la sortie de 0 à 1023 avec une résolution de 9,78 mV.

IV) MANIPULATIONS :

IV.1) Effet de la fréquence d'échantillonnage.

- Fixer la période d'acquisition à 0,1 ms.
- Appliquer un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz et d'amplitude 2,5 V superposé à une tension continue de 2,5 V. Les réglages se font à l'aide de l'oscilloscope.
- Lancer l'acquisition et comparer le signal acquis à celui visualisé sur l'oscilloscope.
- Fixer le temps d'acquisition à 0,4 ms et démarrer l'acquisition.
- Remarquer qu'on n'obtient pas un bon signal sinusoïdal.
- Diminuer la fréquence du signal à 50 Hz, lancer l'acquisition et comparer le signal obtenu à celui sur l'oscilloscope.

IV.2) Acquisition d'humidité et de température :

- Mettre les capteurs d'humidité et de température dans l'enceinte climatique munie d'une plaque chauffante et d'un ventilateur (figure XIV.2).
- Relever l'humidité et la température ambiantes sur les capteurs de référence (hygromètre à cheveux et thermomètre numérique).
- Lancer l'acquisition de température et d'humidité en choisissant un temps d'échantillonnage de 10 μ s sur le menu d'acquisition (figure XIV.3).
- Mettre en marche la plaque chauffante.
- Lorsque l'humidité atteint son minimum (séchage complet de l'enceinte), lire la température et l'humidité puis introduire un bûcher d'eau sur la plaque.
- Lorsque l'humidité atteint le maximum (saturation), ouvrir la porte de l'enceinte pour créer une perturbation d'une minute puis refermer la porte.
- Imprimer les graphes d'acquisition de température et d'humidité et enregistrer les données acquises.

V) COMPTE RENDU :

V.1) Comparer les amplitudes et les fréquences des signaux sinusoïdaux acquis aux valeurs fixées sur l'oscilloscope.

V.2) Comparer les valeurs des températures et d'humidité déduites du graphe d'acquisition à celles lues sur les capteurs de référence.

V.3) A partir des réponses à la perturbation, comparer les temps de réponse des 2 capteurs.

V.4) Utiliser les données acquises et enregistrées pour déterminer le coefficient de corrélation entre la température et l'humidité.

VI) Conclusion :

Commenter et discuter les résultats obtenus.

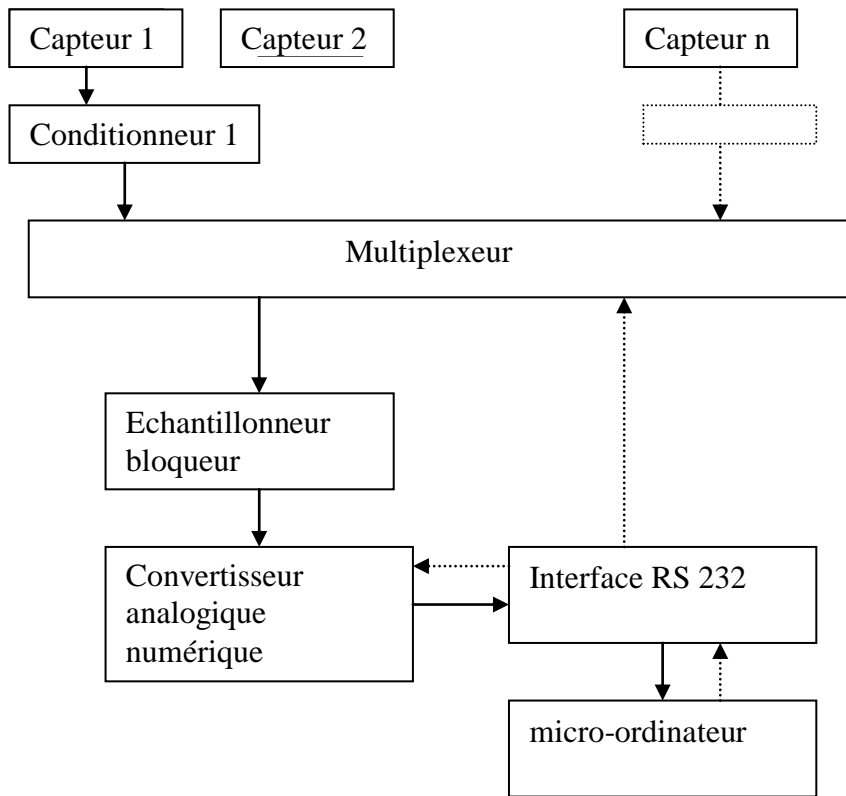


Figure XIV.2 : Chaîne d'acquisition de données

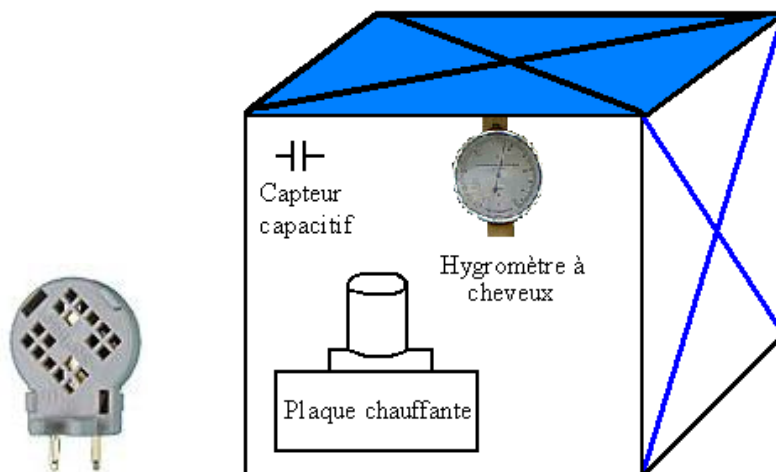


Figure XIV.2 : Enceinte climatique

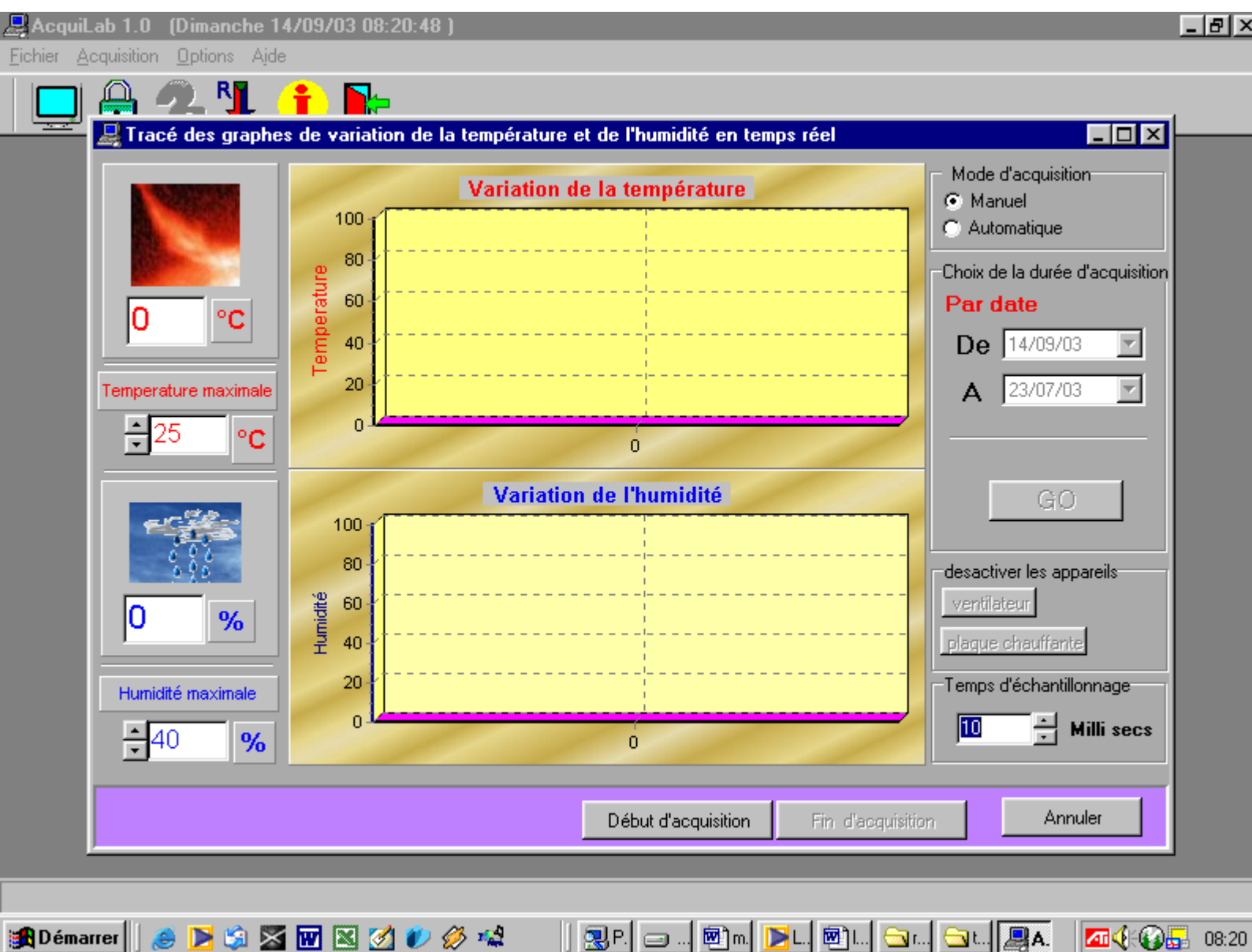


Figure XIV.3 : Aperçu du logiciel d'acquisition de données