République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليـم العـالــي و البحــث العلمــي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جــامــعة وهران للعلوم و التقنولوجيا محمد بوضياف

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf

Faculté de Physique

Département de Physique Energétique

TRAVAUX PRATIQUES

ONDES ET VIBRATIONS

Auteurs :

Dr. BELMEKKI Mohammed

Dr. BELFAR Abbas

-2019-

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Le polycopié étant réservé aux étudiants de la 2eme année tout profils confondus, et qui contient des expériences concernant les ondes et vibrations ces dernières se relatent d'une manière directe aux cours donnés pour le module des ondes et vibrations.

Entre autre on choisit les expériences les plus intéressantes pour cerner les notions de base des ondes et vibrations.

La conception de ces manipulations est faite de sorte que chaque manipulation est précédée par une préparation à domicile, par un travail de simulation se portant sur l'expérience, pendant l'expérience, sa réussite doit être en adéquation de ce que prévoit le travail de simulation.

Le polycopié contient cinq expériences, l'oscillateur amorti, le pendule couplé, la corde vibrante, les ondes sonores, et le circuit R LC.

On escompte arriver à assigner aux étudiants les notions suivantes :

-Le phénomène d'amortissement des liquides au mouvement harmonique de l'oscillateur.

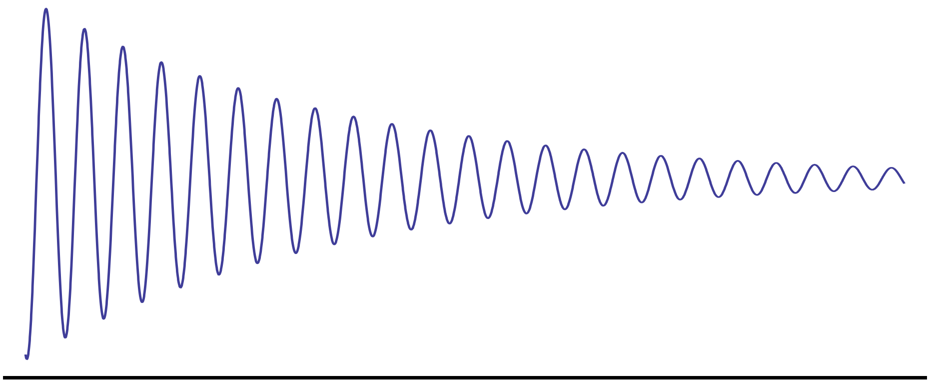
-Le phénomène de battement et le couplage de deux vibrations (addition des signaux)

-Les notions des ondes transversales et ondes stationnaires.

-Les notions des ondes longitudinales et la mesure de la vitesse de son.

-Le phénomène de résonnance dans le circuit RLC.

L'étudiant aura à manipuler des dispositifs électroniques et du matériel de la haute précision, qui lui permettra d'acquérir une expérience dans le domaine.



TP N°1 L'OSCILLATEUR MECANIQUE AMORTI

BUT DE TRAVAIL :

Pour un oscillateur mécanique amorti déterminer expérimentalement :

- La pseudo-période du mouvement.
- Le coefficient d'amortissement.
- La pulsation propre du même système sans amortissement.
- Le facteur de qualité.
- Les expressions des fonctions enveloppes de l'amortissement

RAPPEL THEORIQUE :

Lorsqu'on exerce une force contraignante (de frottement) sur le mouvement d'un oscillateur harmonique, de la forme $\overrightarrow{f_b} = -k_b.\vec{v}$ $(\vec{v}: \textit{vitesse dumouvement})$, $k_b \rangle 0$ (frottement visqueux), son mouvement est décrit par l'expression suivante (voir le cours) :

$X(t) = X_0 e^{-bt} \sin(\omega t + \varphi)$, solution de l'équation différentielle du second degré

$X''(t) - k_b X'(t) + \sqrt{\frac{k}{m}} X = 0$.

t : représente le temps.

$A(t) = X_0 e^{-bt}$: est l'amplitude du mouvement,

$b = k_b / 2m$: est le coefficient d'amortissement,

$\omega = 2\pi/T$: est la pseudo pulsation du mouvement,

T : est la pseudo-période du mouvement,

$X_0 et(\varphi)$ sont des constantes dépendant des conditions initiales.

Pour la pseudo-pulsation on a la relation : $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - b^2}$ (1)

Avec $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$: est la pulsation propre du même système sans frottement,

T_0 : est la période propre du même système sans frottement.

On définit le décrément logarithmique d'amortissement par :

$\delta = bT$ (2)

Et le facteur de qualité pour un amortissement très faible $(b \langle\langle \omega_0)$ par :

$$Q = \frac{\omega 0}{2b} \quad (3)$$

Pour le rapport des amplitudes à l'instant t et à l'instant (t + nT) ou n est un nombre entier, le décrément logarithmique est donné par

$$\delta = \frac{1}{n} Ln \frac{A(t)}{A(t+nT)} \quad \textbf{(4)}$$

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

On fait suspendre une masse m à un ressort de constante de raideur k dans l'eau, ce dernier qui exerce une force de frottement sur la masse, permet d'atténuer le mouvement oscillatoire de la masse m. Pour permettre l'acquisition et la visualisation de l'allure de la masse m sur un enregistreur(une table traçante), un aimant cylindrique permanent traversé par le fil qui suspend la masse m, celui-ci (l'aimant)est enveloppé par une bobine entre laquelle il oscille de la même manière que la masse m, cette bobine est reliée à la table traçante par des fils de connexions , cette dernière permettra d'acquérir des impulsions analogiques qui seront visualisées par une forme graphique sur la table traçante qui traduira l'allure du mouvement de la masse m (voir la formulation de la lois de Lenz).

MANIPULATION (REGLAGES ET FONCTIONNEMENTS DE LA TABLE TRACANTE)

SUIVRE ATTENTIVEMENT LES INSTRUCTIONS CI-APRES, SI UN DISFONCTIONNEMENT EST CAUSÉ PAR LES ETUDIANTS(ES), DES MESURES D'ASSIDUITÉ LEUR SERONT APPLIQUES (EES).

1- Vérifier que la masse de l'oscillateur est plongée profondément dans l'eau.

LA TABLE TRAÇANTE EST UN APPAREIL TRES CHER ET TRES SENSIBLE, NE VOUS CONTENTEZ PAS DE LA MANIPULER HASARDEMENT.

2- Vérifier que le réglage du déplacement Y de la table traçante est à la position (10 mV/cm) et le commutateur VAR-CAL correspond à la position CAL (VALIBRATED –Calibré).
3- Vérifier que le réglage de la base de temps de la table traçante est à la position (0.5 s/cm) et le commutateur REP-1X-START à la position 1X.
4- Vérifier que la plume de la table traçante est bien à sa place.
5- Etant la table traçante branchée à la source de courant par son secteur, mettre l'en marche par le conjoncteur POWER en le commutant de 0 vers 1. (CETTE INSTRUCTION DOIT ETRE CONTROLE PAR L'ENSEIGNANT).
6- Mettre le commutateur OFF-CHART-PEN à la position OFF. Placer le papier millimétré sur la table traçante puis basculer le commutateur à la position PEN. (veut dire prêt à dessiner).
7- Par le bouton visse du réglage Y déplacer la plume vers le milieu de la feuille.
8- S'assurer que l'oscillateur (la masse) est au repos, sinon anéantir le mouvement de la masse par le réglage du déplacement Y en le mettant à la position 0 et basculer le commutateur REP-1X-START à la position START. La plume trace alors l'axe OX, puis revient automatiquement à sa position initiale, assurez vous que l'axe tracé par la plume coïncide avec l'axe du papier millimétré, sinon vous risquez de compromettre les mesures.
9- Tirer verticalement sur le fil du système oscillant (le fil qui suspend la masse) puis le lâcher de sorte que la masse oscille verticalement et non pas latéralement (n'oublier pas de remettre le réglage du déplacement Y à la position (10 mV/cm). Laisser la plume oscille un moment jusqu'au arriver à une amplitude que la table traçante peut la supporter (c.-à-d. pas de débordement). Lorsque vous remarquez que l'atténuation sur l'axe Y est justifié, mettre le commutateur REP-1X-START à la position START. La plume trace la courbe des oscillations amorties.
10- ATTENTION des que la plume se rapproche à la fin de la feuille millimétré. Retirer la feuille juste avant la fin, car lorsqu'elle arrive à l'autre bout de la feuille, la plume fait rapidement marche arrière et comme le mouvement de la masse n'est pas définitivement atténué, à son retour elle continue à tracer le mouvement de la masse et cela défigure la courbe obtenue.
11- La plume à rebrousser chemin et continue à osciller tant que la masse à l'intérieur de l'eau oscille. Mettre le conjoncteur à la position 0, ce n'est qu'à ce moment que la table se débranchera.

FEUILLE DE REPONSE

TP N°1 Oscillateur mécanique amorti

TP fait le	TP rendu le	Par les enseignants
Profils des étudiants **Génie ….…………** **Autre……………….**		
Groupe des étudiants **N°……….**	**Nom et Prénom**	
	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	

A) PARTIE THEORIQUE –TRAVAIL A DOMICILE-

1-On fait osciller une masse m de 1 kg attachée à un ressort de raideur k, dans un liquide qui contraint le libre mouvement de la masse par une force proportionnelle à sa vitesse, de la forme

$\overrightarrow{f_b} = -k_b.\vec{v}$ $\quad$ ($\vec{v}$: *vitesse du mouvement*).

1. Retrouver l'équation différentielle du 2eme ordre du mouvement de la masse m (écrire les détails Au verso de la feuille)

……

2. -A partir d'une courbe obtenue par l'enregistreur (la table traçante), qui décrit l'allure du mouvement d'une masse m attachée à un ressort et immergée dans l'eau, qui est mis à la disposition des étudiants (figure 1.).

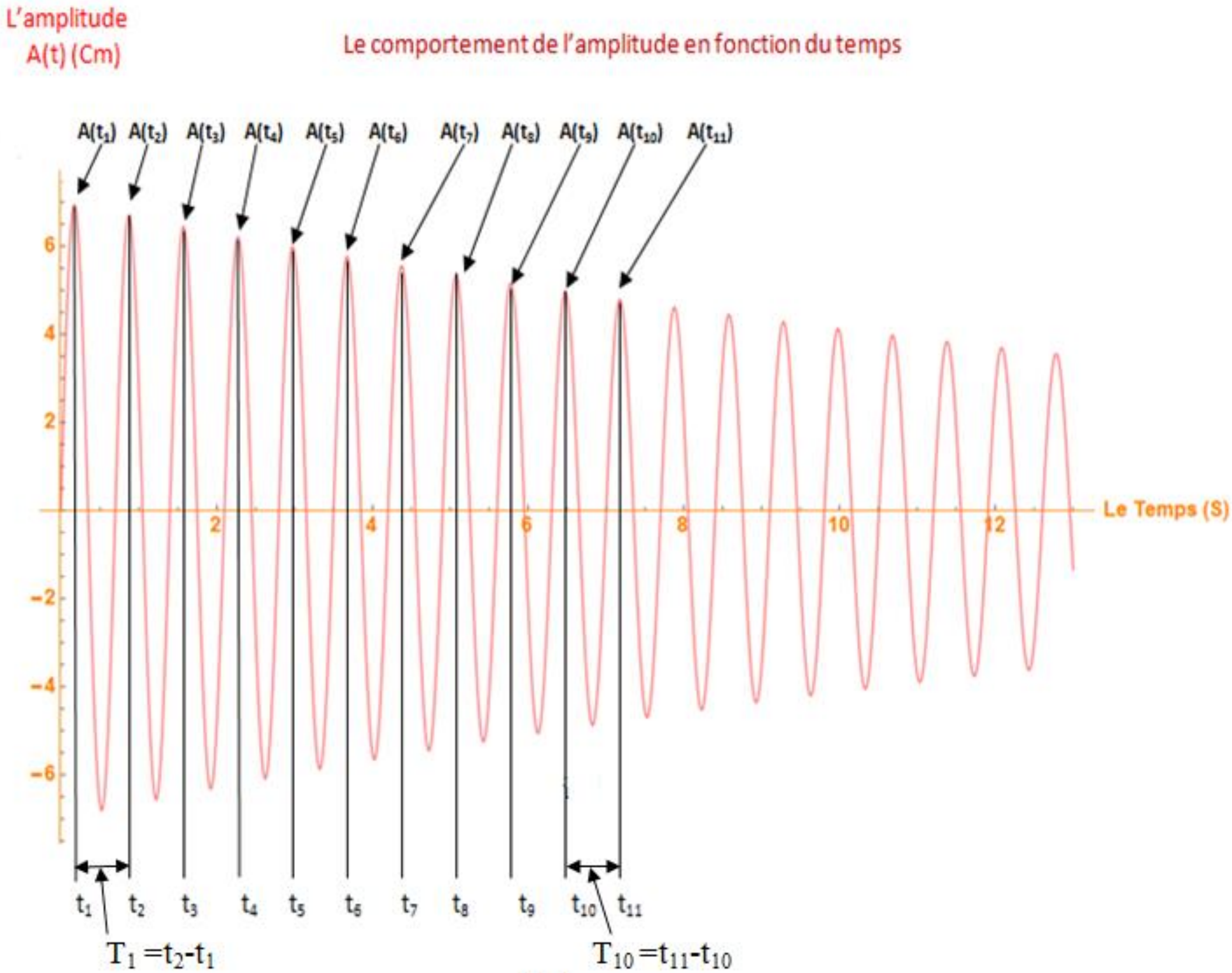


Fig.1.

- Remplir le tableau suivant, en utilisant la règle de trois pour évaluer l'amplitude A(t_i) et le les t_i.

L'échelle correspond à : $\begin{Bmatrix} \text{chaque petite graduation sur l' axe des temps represente 0.5 Seconde} \\ \text{chaque petite graduation sur l' axe des amplitudes represente 0.5 (Cm)} \end{Bmatrix}$

n	t_n	$A(t_n)$ **positive**	$L_n A(t_n)$	$T_n = T_{n+1} - T_n$	$\omega_n = \dfrac{2\pi}{T_n}$	$\omega_{0n} = \sqrt{\omega_n^2 + b^2}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

3- Tracer sur un papier millimétré le graphe de la fonction $\ln A(t_n)$ **en fonction de t.**

4- A partir du graphe, déterminer le coefficient d'amortissement b du liquide ainsi que la valeur de l'amplitude initiale.

b = ……….. A(0) =……………………..

5- Calculer les valeurs moyennes suivantes :

$\overline{T}$ = ……. $\overline{\omega_0}$ **=……..**

$\overline{\omega}$ **=……..** $\overline{Q}$ **=……..**

6- Calculer les écarts moyens.

σ$\overline{T}$ = ……. **σ**$\overline{\omega_0}$ **=…………**

On rappelle que $\sigma \overline{X} = \sqrt{\dfrac{1}{N(N-1)} \sum_{n=1}^{n=N} \left(X_n - \overline{X}\right)^2}$

B) PARTIE EXPERIMENTALE

1. **Respecter les instructions du polycopié quant à l'utilisation de l'enregistreur –la table traçante - ,**

   -Obtenir le graphe du mouvement de la masse <u>m</u> pour notre système (Si vous n'arrivez pas à en faire sortir un, utilisez celui de la <u>figure. 2</u>).

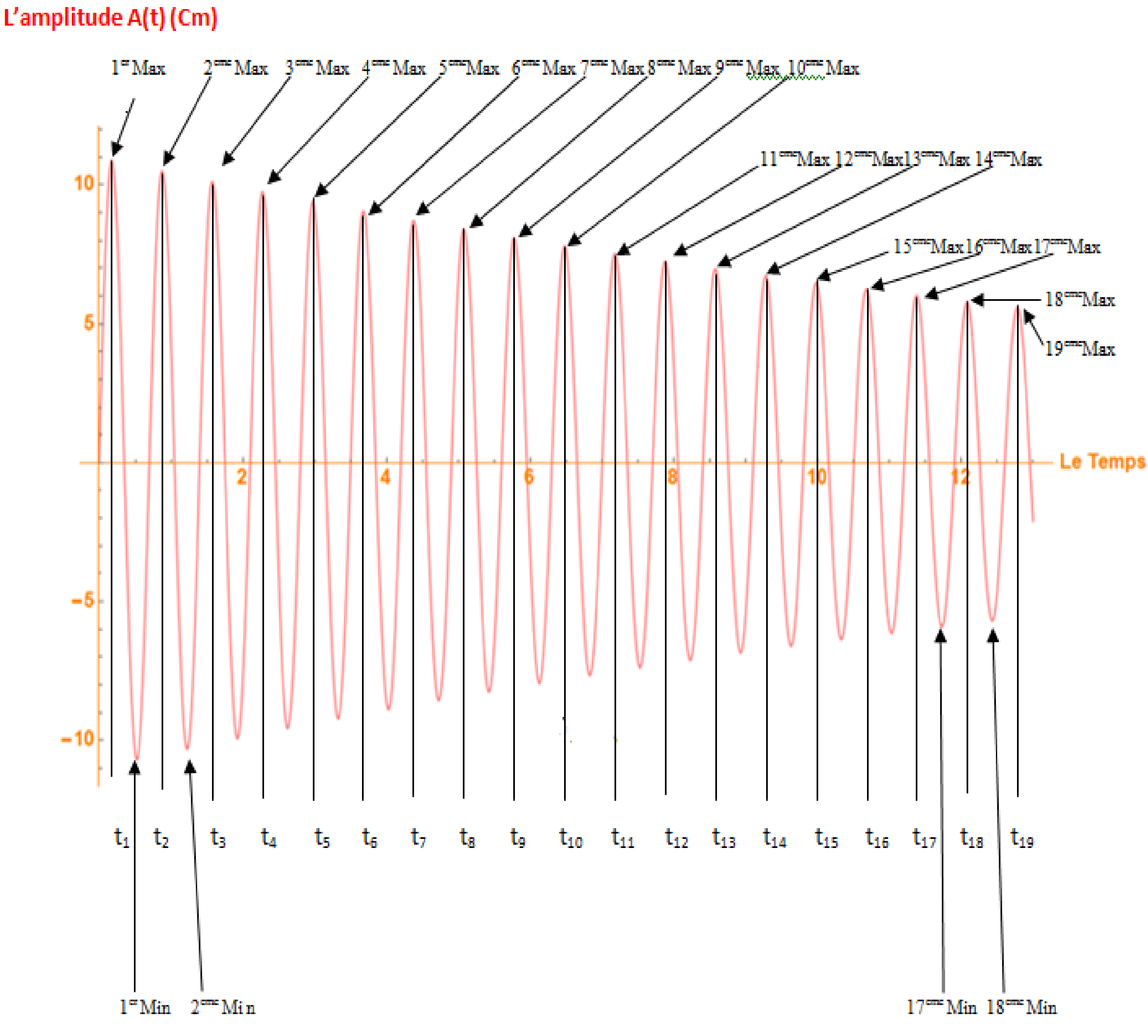


Fig.2.

- Remplir le tableau suivant, en utilisant la règle de trois pour évaluer l'amplitude A(t_i) et le les t_i.

L'échelle correspond à : $\begin{Bmatrix} \text{chaque graduation sur l' axe des temps represente 0.5 Secondes)} \\ \text{chaque graduation sur l' axe des amplitudes represente 0.5 (Cm)} \end{Bmatrix}$

Nombres des prélèvements	t_n qui correspond aux crêtes des amplitudes maximales ou minimales	$A(t_n)$
Pour les crêtes maximales		
1ere max		
2eme max		
3eme max		
4eme max		
5eme max		
6eme max		
7eme max		
8eme max		
9eme max		
10eme max		
11eme max		
12eme max		
13eme max		
14eme max		
15me max		
16eme max		
17eme max		
18eme max		
19eme max		
Pour les crêtes minimales		
1eremin		
2eme min		
3eme min		
4eme min		
5eme min		
6eme min		
7eme min		
8eme min		
9eme min		
10eme min		
11eme min		
12eme min		
13eme min		
14eme min		
15eme min		
16eme min		
17eme min		
18eme min		

2. **Tracer sur un même papier millimétré, le graphe des amplitudes $A(t_n)$ positive et le graphe des amplitudes $A(t_n)$ négatives en fonction de t.**
3. **Quelle est l'allure de ces deux graphes (enveloppes), donner leur expressions.**

   $A(t_n) =$ **pour les maximales.**

   $A(t_n) =$ **pour les minimales.**

- en déduire la cadence de l'amortissement $(faible - forte)$ **justifier ?**

…………………………………………………………………………………

4. en déduire la valeur du coefficient d'amortissement à partir des deux graphes enveloppes.

b (du graphe des maximums) =……………………..

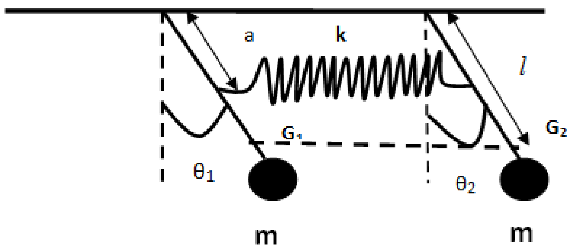
b (du graphe des minimums) =……………………..

5- Que remarquez-vous quant au pseudo fréquence f de la masse à la fréquence propre f_0 sans le liquide.

f= …………….. f_0 =…………..

6- Si une onde électromagnétique de fréquence f_0 (λ=0.52µm la lumière bleu) dans l'air pénètre un milieu liquide (l'eau d'indice n=1.33) quelle sera sa fréquence **f** dans le liquide
f_0 = ……………… **f** =……………………

**5.Conclusion…………………………………………………………………………………………………
………
…………………………………**



TP N °2 Pendules Couplés

BUT DE LA MANIPULATION :

Vérifier expérimentalement que le mouvement d'un système de deux pendules couplés peut être considéré comme une superposition de deux modes propres.

RAPPEL THEORIQUE :

Nous considérons par la suite un système de deux pendules pesant identiques (voir figure .1) couplés par un ressort très long avec la constante de raideur k et dont la masse est négligeable. G_1 et G_2 sont les barycentres de deux pendules. A la position verticale de deux pendules le ressort n'est pas tendu.

A l'approximation des petites oscillations sur θ_1 et θ_2 on trouve le système des équations différentielles suivant pour les pendules couplés ci-contre.

$$\ddot{\theta}_1+\left(\frac{mgl+Ka^2}{J}\right)\theta_1-\left(\frac{Ka^2}{J}\right)\theta_2=0 \qquad (1)$$

$$\ddot{\theta}_2+\left(\frac{mgl+Ka^2}{J}\right)\theta_2-\left(\frac{Ka^2}{J}\right)\theta_1=0$$

On pose $\omega'=\sqrt{\frac{mgl}{J}}$ *et* $\omega''=\sqrt{\frac{mgl+2K\,a^2}{J}}$.

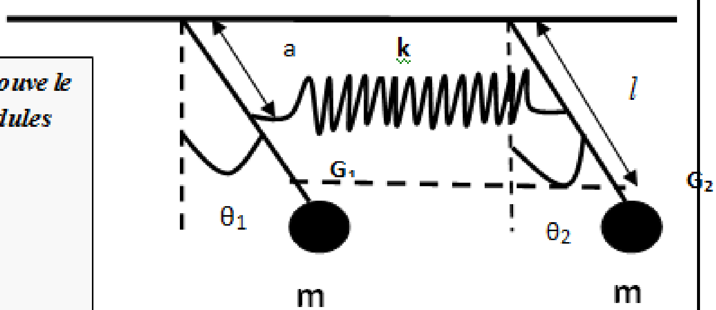


Figure.1

La solution de ce système de deux équations différentielles couplées est :

$$\theta_1(t) = \theta_0^{'}\,\mathrm{Sin}(\omega' t + \varphi^{'}) + \theta_0^{''}\,\mathrm{Sin}(\omega'' t + \varphi^{''}) \qquad (2)$$

$$\theta_2(t) = \theta_0^{'}\,\mathrm{Sin}(\omega' t + \varphi^{'}) + \theta_0^{''}\,\mathrm{Sin}(\omega'' t + \varphi^{''})$$

<u>Avec</u> $\omega' = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$ **et** $\omega'' = \sqrt{\frac{mgl+2K\,a^2}{J}}$ **sont les pulsations propres du système. Les constantes** $\theta_0^{'}, \theta_0^{''}, \varphi^{'}, \varphi^{''}$

sont déterminées par les conditions initiales.

On voit que le mouvement de chacun des pendules s'écrit come une superposition de deux mouvement oscillatoires qu'on appelle modes propres avec des pulsations propres ω', ω''**.**

On sait que la superposition de deux mouvements oscillatoires quelconques avec des pulsations différentes a pour résultats dans le cas général, un mouvement oscillatoires avec l'amplitude modulée (avec des battements), (voir figure.2) ou la période des battements est donnés par :

$$T_b = \frac{T^{'} \cdot T^{''}}{\left|T^{'} - T^{''}\right|} \qquad \textbf{(3)}$$

Si les pulsations des deux composantes sont : $\omega' = \frac{2\pi}{T^{'}}$ et $\omega'' = \frac{2\pi}{T^{''}}$ **, le mouvement de chacun des pendules devrait donc être caractérisé par des battements.**

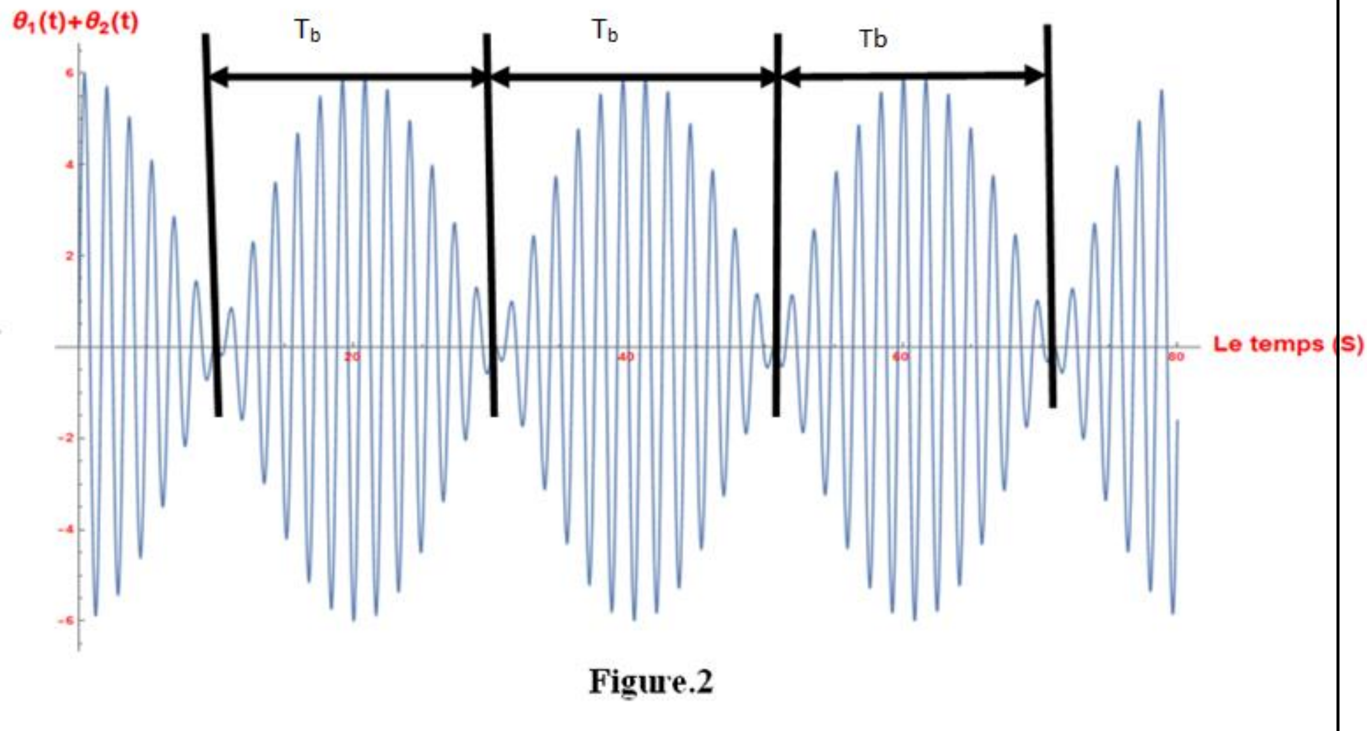


Figure.2

<u>PROCEDURE DE LA MANIPULATION</u> : On effectuera les mesures sur un système de deux pendules couplés, tel qu'il est schématiquement représenté sur la figure.1.

Les mesures seront prises sous les différents modes qui suivent :

<u>Pour le 1ER mode</u>(Figure.3) :

Les positions initiales $\theta_1(0) = \theta_2(0) = \theta_0$

Les vitesses initiales $\dot{\theta}_1(0) = \dot{\theta}_2(0) = 0$

Ou θ_0 > 0 est une constante choisie (<à 10° ou 0.1 rad).

Donc : $\theta_0' = \theta_0$: $\varphi' = \frac{\pi}{2} + 2n\pi$ **(4)**

$\theta_0'' = 0$: φ'' Quelconque

Les deux fonctions dans (2) oscillent avec une seule pulsation ω'.

$$\theta_1(t) = \theta_0 \sin(\omega' t + \pi/2)$$

$$\theta_2(t) = \theta_0 \sin(\omega' t + \pi/2)$$

Donc elles représentent un mode propre. Les deux pendules oscillent ici en phase.

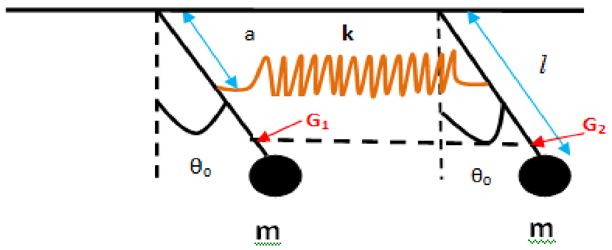


Figure. 3

<u>Pour le 2EME mode</u> (Figure.4):

Les positions initiales $\theta_1(0) = -\theta_0$

$\theta_2(0) = \theta_0$

Les vitesses initiales $\dot{\theta}_1(0) = \dot{\theta}_2(0) = 0$

Ou θ_0 > 0 est une constante choisie (<à 10° ou 0.1 rad).

Donc : $\theta_0' = 0$: φ' Quelconque $\theta_0'' = -($ **(5)** φ'' $= \frac{\pi}{2} + 2n\pi$

Les deux fonctions dans (2) oscillent avec une seule pulsation ω''.

$$\theta_1(t) = -\theta_0 \sin(\omega'' t + \pi/2)$$

$$\theta_2(t) = \theta_0 \sin(\omega'' t + \pi/2)$$

Donc elles représentent le deuxième mode propre. Les deux pendules oscillent ici en opposition de phase.

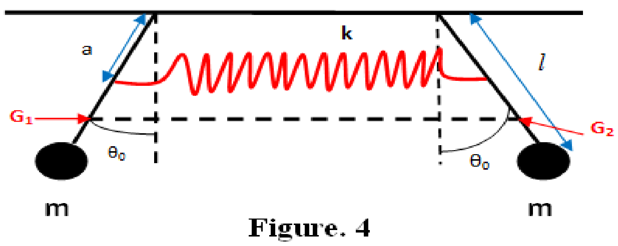


Figure. 4

Pour le 3^{EME} mode(Mouvements générales avec des battements (Figure.5):

Les positions initiales $\theta_1(0) = 0$

$\theta_2(0) = \theta_0$ **(6)**

Les vitesses initiales $\dot{\theta}_1(0) = \dot{\theta}_2(0) = 0$

Ou $\theta_0 > 0$ est une constante choisie (< 10° ou 0.1 rad).

Donc et d'après (2) : $\theta_0^{'} = \theta_0/2$: $\varphi^{'} = \frac{\pi}{2} + 2n\pi$

$\theta_0^{''} = \theta_0/2$: $\varphi^{''} = -\frac{\pi}{2} + 2n\pi$

Les deux fonctions sont décrites par une superposition de deux modes avec les pulsations $\omega^{'}$ "$\omega^{''}$.

$$\theta_1(t) = (\theta_0/2)\sin(\omega' t + \pi/2) + (\theta_0/2)\sin(\omega'' t - \pi/2)$$

$$\theta_2(t) = (\theta_0/2)\sin(\omega' t + \pi/2) - (\theta_0/2)\sin(\omega'' t - \pi/2)$$

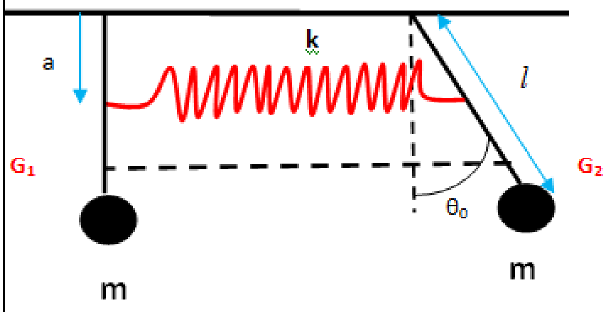


Figure.5

FEUILLE DE REPONSE

TP N°2 Pendules Couplés

TP fait le	TP rendu le	Par les enseignants
Profils des étudiants Génie …..………….		
Groupe des étudiants N°……….	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	

1. PARTIE THEORIQUE –TRAVAIL A DOMICILE-

1. Retrouver avec démonstration pour le système de la figure (fig.1), le système d'équations différentielles pour θ_1 et θ_2 – écrire les détails au verso de la feuille -.

$\ddot{\theta}1$ = ………………………………………; $\ddot{\theta}2$ = ……………………………… ;

2. Retrouver avec démonstration la solution du système d'équations précédent – écrire les détails au verso de la feuille -.

$\theta_1(t) =$ ……………………………………… $\theta_2(t) =$ ………………………………………

3. Retrouver (avec démonstration) la période des battements $T_{b,the}$ en fonction de $T^{'}$ et $T^{''}$ –Ecrire au verso les détails.

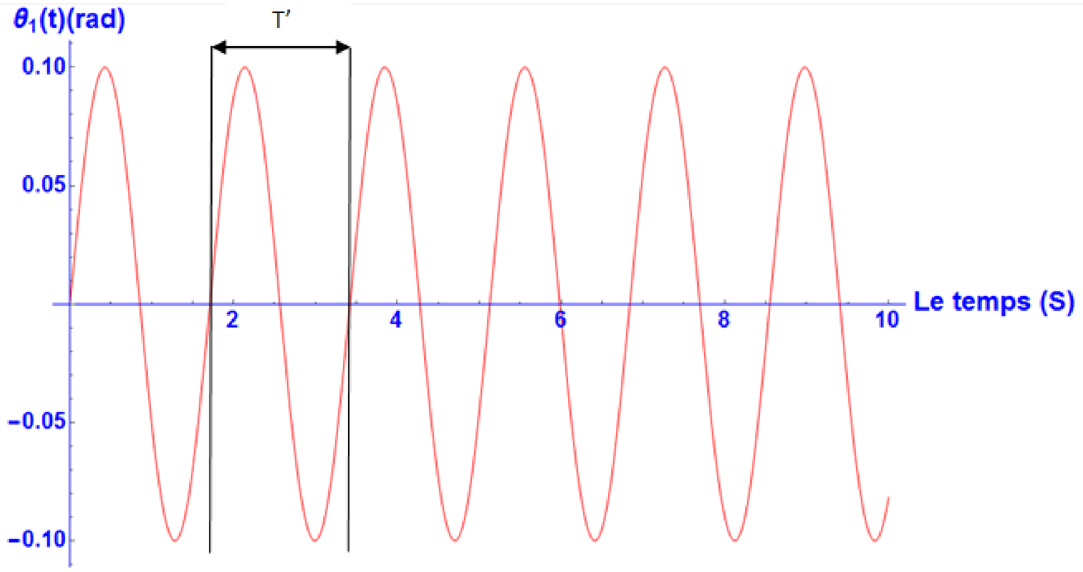
$T_{b,the} = f(T^{'}, T^{''})=$…………………………………………………

4. Que représente T_b physiquement. ……………………………………………………………
……………………………………………

5. DANS DES EXPERIENCES SUIVANTES MENAIENT AU LABORATOIRE, ON OBTIENT LES RESULTATS SUIVANTS

<u>1-Pour le 1er mode (mouvement en phase) pour les conditions :</u>

$$\begin{cases} L : \text{la longueur de la tige } L : 1m \\ l(\text{ la longueur du tige jusqu'au } G1, G2) = \\ m(\text{le poid de la masse}) = 0.700kg \\ a\ (\text{la position du ressort}) = 0.3m \\ M(\text{la masse du tige}) = 0.800kg \\ k\ (\text{la constante de raideur du ressort}) = 3.41\ N/m \\ \theta_0 = 10^0 = 0.1\ \text{radium} \end{cases}$$



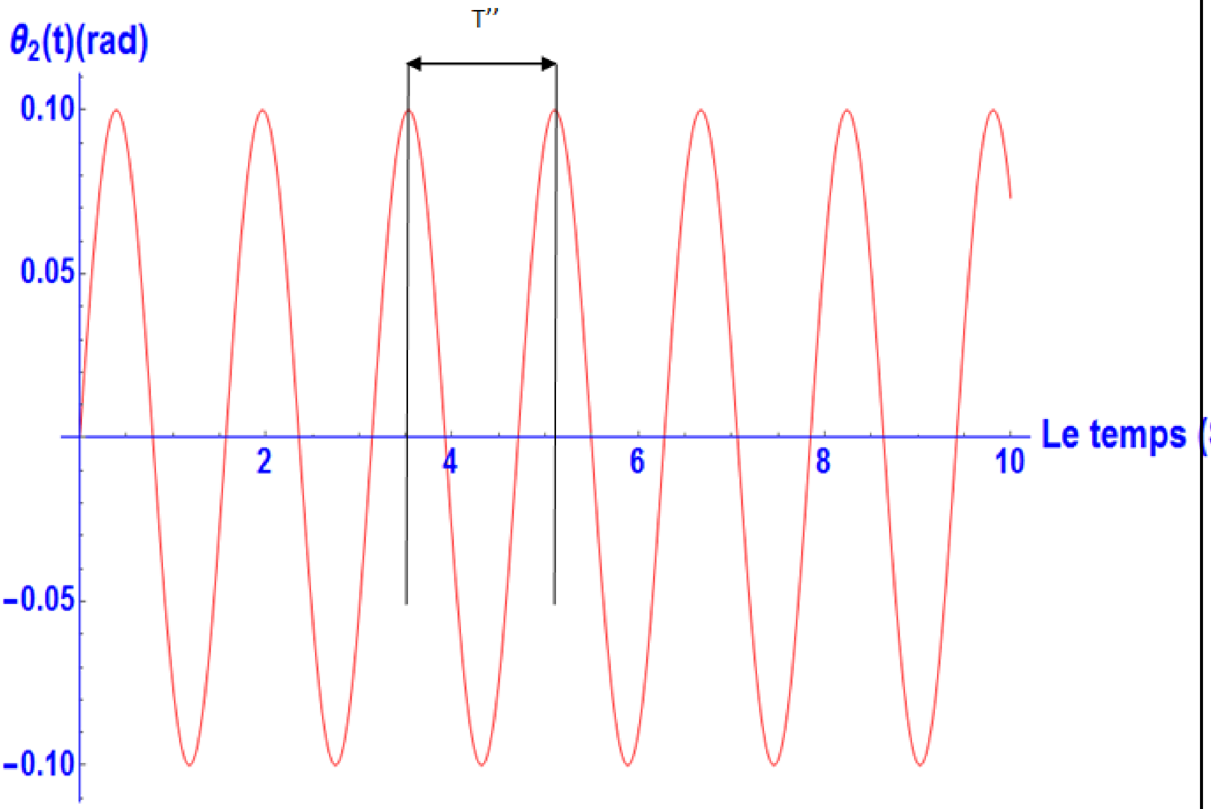
-Mesurer la période T' et la pulsation ω' .

T' = ...(à partir du graphe). **T' = ...(théorique).**

ω' =............(à partir du graphe) **ω' =...........(théorique).**

-**Pour le 2eme mode(mouvement en opposition de phase pour les conditions:**

$$\left\{\begin{array}{l} L: \text{la longueur de la tige} \quad L: 1m \\ l(\text{ la longueur du tige jusqu'au } G1, G2) = \\ m(\text{le poid de la masse}) = 0.700kg \\ a\ (\text{la position du ressort}) = 0.30m \\ M(\text{la masse du tige}) = 0.800kg \\ k\ (\text{la constante de raideur du ressort}) = 3.41N/m \\ \theta_0 = 10^0 = 0.1\ radium \end{array}\right\}$$



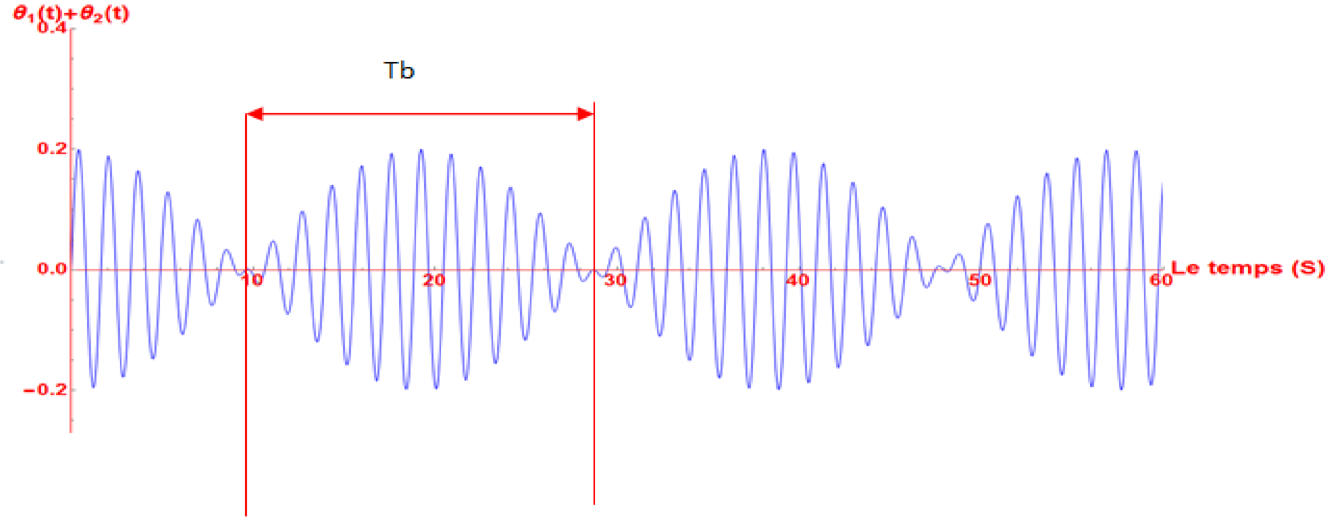
-Mesurer la période T'' et la pulsation ω'' .

T'' = …………(à partir du graphe). T'' = …………(théorique).

ω'' =……………… .(à partir du graphe) ω'' =………………(théorique).

- **Pour le 3eme mode:**

$$\begin{cases} L: la\ longueur\ de\ la\ tige \quad L:\ 1m \\ l\ (\ la\ longueur\ du\ tige\ jusqu'au\ G1, G2) = \\ m\ (le\ poid\ de\ la\ masse) = 0.700kg \\ a\ (la\ position\ du\ ressort) = 0.3m \\ M\ (la\ masse\ du\ tige) = 0.800kg \\ k\ (la\ constante\ de\ raideur\ du\ ressort) = 3.41N/m \\ \theta_0 = 10^0 = 0.1\ radium \end{cases}$$



- Mesurer la période de battement et indiquer une autre fréquence de battement sur le graphe :
- T_b =………… (à partir du graphe).
- Calculer $\dfrac{T' \cdot T''}{|T' - T''|}$ = en utilisant les mesures des deux premiers graphes
- Conclusion………………………………………………………

B) PARTIE EXPERIMENTALE

1. **Pour le premier mode** **$\theta_1(0) = \theta_2(0) = \theta_0$ (petit angle)=……………...**

- **Mesurer le temps t = 5 T' et remplir le tableau suivant.**

Nombre de mesure	**t = 5T'**	T'	$\overline{T'}$	$\nabla T'$	$\nabla^2 T'$
1					
2					
3					

Tableau 1.

1. **Pour le 2ème mode** **$\theta_1(0) = \theta_0$=…………….(θ_0 petit angle) , $\theta_2(0) = -\theta_0$=…………………..**

Mesurer le temps t = $5T''$ et remplir le tableau suivant.

Nombre de mesure	**t = $5T''$**	T''	$\overline{T''}$	$\nabla T''$	$\nabla^2 T''$
1					
2					
3					

Tableau 2.

2. **Pour le 3ème mode** **$\theta_1(0) = \theta_0$ =….......,(θ_0 petit angle) $\theta_2(0) = 0$.**

Mesurer le temps $t=3Tb$ et remplir le tableau suivant.

Nombre de mesure	$t=3Tb$	Tb	$\overline{Tb}$	∇Tb	$\nabla^2 T_b$
1					
2					
3					

Tableau 3.

3. **Calculer à partir des tableaux 1 et 2, la valeur théorique.**

$$\sigma T_{b,the} = \text{.....................................}$$

4. **Calculer les écarts quadratiques suivants.**

$\sigma T^{'}$	
$\sigma T^{''}$	
σT_b	
$\sigma T_{b,the}$	

5. **Ecrire les résultats sous la forme.**

$T^{'} = T^{'} \pm \sigma T^{'}$	
$T^{''} = T^{''} \pm \sigma T^{''}$	
$T_b = T_b \pm \sigma T_b$	
$\overline{T_{b,the}} = \overline{T_{b,the}} \pm \sigma T_{b,the}$	

6. **Conclusion**………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
……………………………………….

Comparer les résultats des mesures (cocher celle raisonnable).

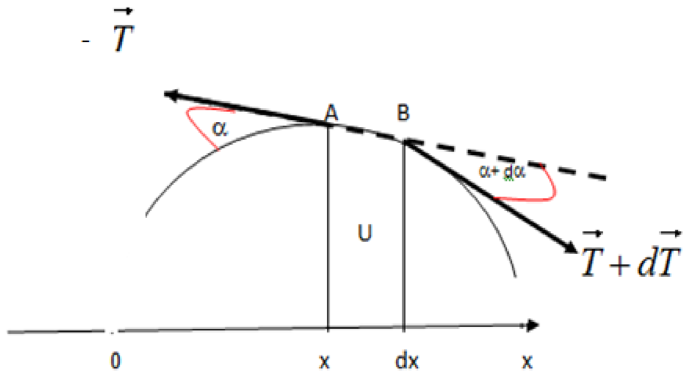
$\overline{T_{b,the}} = \overline{T_{b,pra}}$ ☐

$\overline{T_{b,the}} < \overline{T_{b,pra}}$ ☐

$\overline{T_{b,the}} > \overline{T_{b,pra}}$ ☐

TP N°3 Ondes stationnaires (Cordes Vibrantes)

RAPPEL THEORIQUE



A) Recherche de l'équation caractéristique de l'onde de la corde vibrante :

Une corde vibrante est un milieu à une dimension, tendu, élastique est sans raideur. On étudie les petits mouvements en l'absence de forces extérieurs.

Nous prendrons l'axe des x suivant la position d'équilibre de la corde, et désignons par U l'ordonnée du point d'abscisse x de la corde à l'instant t, U doit rester petit, et en outre, nous supposons que l'angle α de la tangente en un point de la corde avec Ox reste petit (Fig.1). $\frac{\partial U}{\partial X}$ est donc aussi petit. On peut identifier les quantités :

α, sin(α), tgα $= \frac{\partial U}{\partial X}$ **et on pose cos (α) =1.**

Un élément AB de la corde est soumis aux forces de tension $-T$ En A et $T+dT$ en B. La longueur de cet élément peut être assimilée à la longueur dx de sa projection sur Ox. Nous supposerons la corde homogène. Si s est sa densité massique linéaire, la masse de l'élément AB est dm = s dx.

Le point A subit un mouvement de translation perpendiculaire à Ox. Si l'on applique le théorème des moments cinétiques par rapport à A, on voit que le moment de T+dT est nul, c'est à dire que la force de tension est tangente au fil. Soit T sa valeur absolue.

Si l'on applique le théorème de la quantité de mouvement en projection sur Ox on a :

-T cosα + (T+*d*T) cos (α+*d*α) = 0 avec l'approximation choisie, *d*T = 0. La tension est constante.

Si enfin on applique le théorème de la quantité de mouvement en projection sur la direction perpendiculaire à Ox , on a : $(s\,dx)\frac{\partial U}{\partial t^2} = T\sin(\alpha + d\alpha) - T\sin\alpha = T\cos\alpha\,\partial\alpha$.

Si on assimile **cos (α) =1 et** $\frac{\partial U}{\partial X} = 0$ *on a donc* $d\alpha = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}dx$ **et** $s\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = T\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$

Si on posera $c^2 = \frac{T}{s}$, c est la vitesse de propagation de l'onde U on obtient $\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \frac{T}{s}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ qui devient

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}.$$

$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ **: l'équation caractéristique de l'onde de la corde vibrante avec** $c^2 = T/s$ ou $\boldsymbol{c}$ est la vitesse de propagation de l'onde transversale. Si les deux extrémités de la corde sont fixées, l'onde incidente est réfléchie constituent une onde stationnaire dont la distance des nœuds est tel que :

$$L = \frac{n\lambda}{2}$$

L : la longueur de la corde, λ : la longueur d'onde, dans l'expression $c^2 = \frac{T}{S}$, *T represente la force F*

B) <u>La solution de l'équation linéaire aux dérivée partielle du second degré *U(x,t).*</u>

Si l'on se fixe la position et la vitesse initiales de chaque point de la corde et le mouvement de ses deux extrémités, le mouvement de n'importe quel point de la corde doit être déterminé.

D'où deux sortes de conditions :

Conditions initiales pour t = 0.

$$U(x,0) = \varphi(x)$$

$$\frac{\partial U(x,0)}{\partial t} = \psi(x)$$

Conditions aux limites (Conditions de Cauchy) – Nous supposons que la corde est fixée aux deux extrémistes

$$x = 0, \quad U(x,t) = 0$$
$$x = L,\ U(L,t) = 0. \quad quel\ que\ soit\ t \geq 0$$

On admet une solution linéaire de la forme $U(x,t) = f(x).g(t)$.

On aura $c^2 g(t).f''(x) = f(x).g''(t)$ d'où ;

$$\frac{1}{f} f'' = \frac{1}{c^2} \frac{1}{g} g'' \quad ,$$

La valeur commune des deux membres est une constante réelle. Cette constante est négative d'où :

$\frac{1}{f} f'' = \frac{1}{c^2} \frac{1}{g} g'' = -\omega^2$ ce qui implique :

$$f'' + \omega^2 f = 0 \quad et \quad g'' + c^2 \omega^2 g = 0.$$

Ces deux équations admettent des solutions de la forme :

$$f = A_0 \cos \omega x + B_0 \sin \omega x$$

$$g = A \cos c\omega t + B \sin c\omega t$$

A_0, B_0, A, B étant quartes constantes.

Exprimons maintenant les conditions aux limites , U = 0 pour x=0 et x = L, donc *f*(0) =0, *f*(L) =0.

On trouve les solutions pour $f'' + \omega^2 f = 0$ qui s'annulent pour x=0 et x= L sans être identiquement nulles ? c'est un problèmes de valeurs propres : on aura $A_0 = 0$, $\sin \omega L = 0$ et ω est donc un des nombres de la suite :

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L}$$

On peut naturellement choisir B_0 =1, et nous pouvant écrire la solution élémentaire *Un (x,t)* sous la forme de série :

$$U_n(x,t) = \sin \frac{n\pi}{L} x \left(A_n \cos \frac{cn\pi}{L} t + B_n \sin \frac{cn\pi}{L} t \right)$$

Toute superposition linéaire de solutions élémentaires U_n est une solution de l'équation des cordes vibrantes, on est ainsi conduit à représenter $U(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi}{L} x \left(A_n \cos \frac{cn\pi}{L} t + B_n \sin \frac{cn\pi}{L} t \right)$? c'est une série de fourrier par rapport à x (période 2 L) et par rapport à t (période $\frac{2L}{c}$).

Exprimons maintenant les conditions initiales. Pour t = 0,

$$U = \varphi(x), \quad \frac{\partial U}{\partial t} = \psi(x)$$

Nous admettrons que la série ci-avant est dérivable terme à terme par rapport à t

On a donc $\begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin \frac{n\pi}{L} x = \varphi(x) \\ \sum_{n=1}^{\infty} n B_n \sin \frac{n\pi}{L} x = \frac{L}{C\pi} \psi(x) \end{cases}$, ces formules déterminent les coefficients A_n et B_n. En effet les A_n Sont les coefficients du développement en série de Fourier de la fonction impaire de période $2L$, égale à φ(x) si $0 \le x \le L$, les nB_n sont les coefficients du développement en série de Fourier de la fonction impaire , de période $2L$ égale à $\frac{1}{c\pi} \psi(x)$ *si* $0 \le c \le L$: on a pour les coefficients $\begin{cases} A_n = \frac{2}{L} \int_0^L \varphi(x \sin(\frac{n\pi}{L}) x \, dx \\ B_n = \frac{2}{c\pi n} \int_0^L \psi(x \sin(\frac{n\pi}{L}) x \, dx \end{cases}$

On voit que *U(x,t)* est , pour chaque point x, une fonction périodique de temps de période $\frac{2L}{c}$.Dans l'espace *U(x,t)* est aussi représentée par une fonction périodique, mais on ne s'intéresse qu'à un intervalle d'une demi-période.

La vibration de la corde est donc une superposition d'harmoniques sinusoïdaux dont les fréquences sont multiples d'une fréquence fondamentale égale à $\frac{2L}{c}$

C) <u>OBJECTIF DE LA MANIPULATION :</u>

Le dispositif permet de réaliser l'expérience de Melde, pour l'étude de la propagation d'ondes transversales (vitesse de phase) le long d'une corde tendue.

L'appareil sert de produire des ondes transversales stationnaires à polarisation circulaire d'une fréquence f constante, mais de longueur d'ondes différente. La longueur d'onde varie en fonction de la masse s de la corde et de la tension T. Cette tension peut être mesurée par dynamomètre attaché au bout de la corde.

Ainsi on peut étudier la variation : $\lambda \cong constante.\sqrt{\frac{T}{s}}$, T représente F (la force)exercée sur la corde.

<u>MANIPULATION :</u>

L'excentrique du moteur tourne à une fréquence f égale à 44.8 Hz qui entraine l'extrémité de la corde à un mouvement circulaire, de déplacement périodique se propageant à une vitesse V le long de la corde, produisant ainsi une onde à polarisation circulaire.

L'onde incidente et l'onde réfléchie interférent, produisent des ondes stationnaires à condition que la longueur d'onde soit telle qu'un multiple entier de λ/2 (L= n λ/2) trouve place sur la longueur de la corde.

FEUILLE DE REPONSE

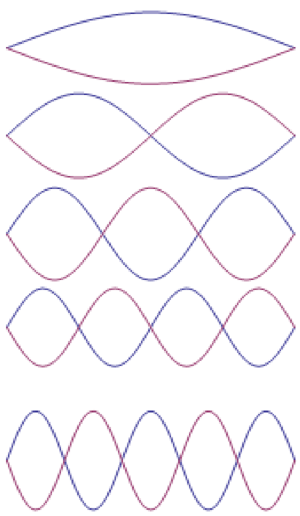
TP N°3 Ondes stationnaires (Cordes Vibrantes)

TP fait le	TP rendu le	Par les enseignants
Profils des étudiants Génie …..…………..		
Groupe des étudiants N°……….	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	

A) PARTIE THEORIQUE –TRAVAIL A DOMICILE

1. Retrouver l'équation différentielle d'une onde transversale $U(x,t)$, se propageant à une vitesse c (écrire les détails au verso de la feuille).
……
2. Donner la solution $U(x,t)$ pour $U(x,t) = U(x).U(t)$ (Solution linéaire) (écrire les détails au verso de la feuille).
……
………………Qu'est ce qu'une onde transversale (décrire ses particularités physiques).
……
3. Nous avons réalisé des expériences au laboratoire sur les cordes vibrantes de longueurs L = 0.35cm et L =0.485cm d'une densité linéaire S de 0.2435 (g/m) et 4S de 0.974 (g/m), avec un moteur excitateur qui tourne à une fréquence de 44.8 Hz. Compéter les tableaux suivants :

Nombre de ventres



POUR L =0.35 m

n	$\lambda=\frac{2L}{n}(m)$	$\lambda^2(m^2)$	$F(N)$ 1S	$F(N)$ 4S
1				
2				
3				
4				
5				

POUR L =0.485 m

n	$\lambda=\frac{2L}{n}(m)$	$\lambda^2(m^2)$	$F(N)$ 1S	$F(N)$ 4S
1				
2				
3				
4				
5				

4_1 Tracer sur un même papier millimétré les graphes $\lambda^2(m^2)$= G($F(N)$) pour L =0.35 m pour 1S et 4S.

4_3 en déduire la tangente des deux courbes tg(θ)(1S)=………….. tg(θ)(4S)=…………

4_4 Tracer sur un même papier millimétré les graphes $\lambda^2(m^2)$= G($F(N)$) pour

L=0.485 m pour 1S et 4S .

4_5 en déduire la tangente des deux courbes tg(θ)(1S)=………….. tg(θ)(4S)=…………

A) PARTIE EXPERIMENTALE

1. **- Choisir la longueur de la corde simple (1s) parmi L =0.35 m et L =0.485 m -indiquer votre choix- L =………………..**

   (LES BINOMES DOIVENT TRAVAILLER AVEC DEUX CHOIX DIFFERENTS)

   - **Remplir le tableau suivant.**

n (nombres de ventres)	$\lambda = \frac{2L}{n}(m)$	$\lambda^2(m^2)$	$F(N)$	$\nabla F(N)$ de lecture
2				
3				
4				
5				

- **Tracer le graphe $\lambda^2(m^2)$= G($F(N)$) en reportant les incertitudes sur l'axe des forces.**
- **Déduire la valeur moyenne de la tangente tg(θ) à partir de la courbe précédente.**
-

$tg(\theta)_{min}$= …………………….$tg(\theta)_{max}$ = ……………………………
$tg(\theta)_{moy}$=………………………………

- **Mettre l'expression de S (Masse Linéaire) sous la forme .**

- $S = \frac{1}{tg\theta . f^2}$ **(Ecrire les détails ci dessous).**

……
……
…………………………………………………………………………………………………

- **Donner la valeur expérimentale de S (g/cm).**

S = …………………

2. – Pour la même longueur de la corde choisie en 1. , mais cette fois pour une corde quadruple.

– Confirmer votre choix- L =………..

- Remplir le tableau suivant.

n (nombres de ventres)	$\lambda = \frac{2L}{n}(m)$	$\lambda^2(m^2)$	$F(N)$	$\nabla F(N)$ de lecture
2				
3				
4				
5				

- Tracer le graphe $\lambda^2(m^2)$= G($F(N)$) en reportant les incertitudes sur l'axe des forces.
- Déduire la valeur moyenne de la tangente tg(θ) à partir de la courbe précédente.

  $tg(\theta)_{min}$= ……………………. $tg(\theta)_{max}$ = …………………………….

  $tg(\theta)_{moy}$=………………………………
- Mettre l'expression de S (Masse Linéaire) sous la forme .

- 4 S = $\frac{1}{tg\theta . f^2}$ (Ecrire les détails ci dessous).

………

………

- Donner la valeur expérimentale de 4 S (g/cm).

4 S = ……………(g/cm). Puis de S =…………(g/cm)

3. - Placer une corde SIMPLE (1S) de longueur choisie parmi L=0.35 m et L=0.485m.

   -Indiquer votre choix L =…….. .

   - Obtenir 2 ventres ainsi relever la force correspondante sur le dynamomètre

   F =……………………...

   - Placer maintenant la corde QUADRUPLE (4 S) et lui faire exercer la même force F, qu'elle est le nombre de ventres obtenus :

   n =………………………………(Justifier le résultat obtenu ci dessous).

………

………

…………………………

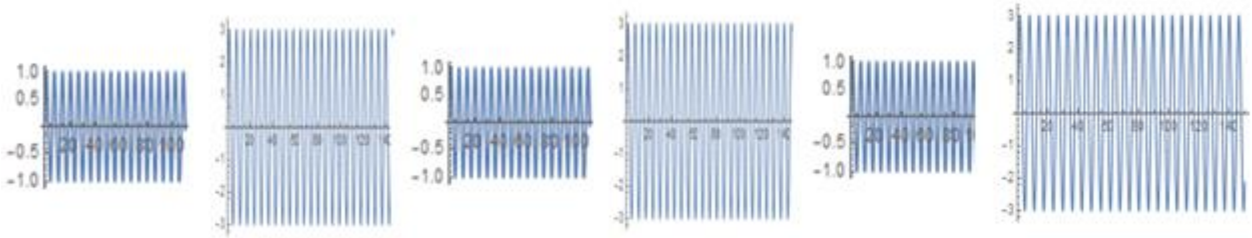
- Conclusion……

  ………

  ……………………………………………………………………………………

TPN °4

MESURE DE LA LONGUEUR D'ONDE SONORE



OBJECTIF DU TRAVAIL :

Etudier l'interférence des ondes sonores. Le tube de Koenig (Tube à interférence) sert à démontrer les interférences des ondes sonores et à mesurer leur longueur d'onde.

PRINCIPE ET PAPPEL THEORIQUE :

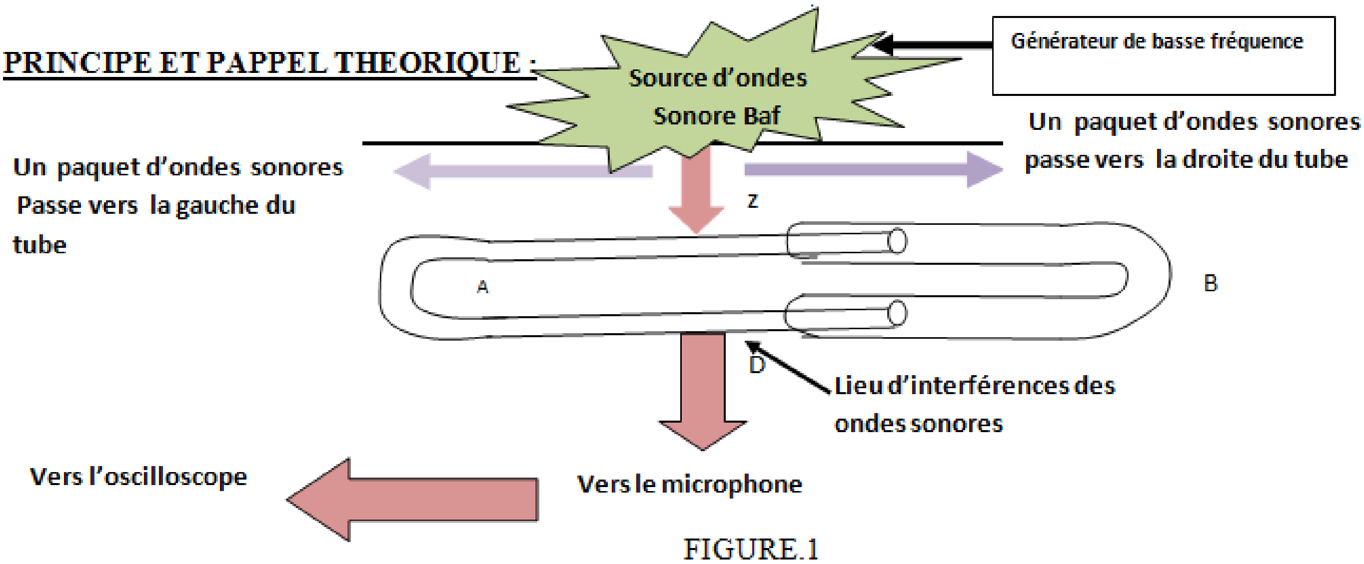


FIGURE.1

Le tube se compose de deux étriers tubulaires en métal, dont une partie peut coulisser pour modifier la longueur du parcours des ondes, quant à l'autre est fixe.
D'après la figure.1 le chemin Z B D peut changer de longueur, tandis que le chemin Z A D est fixe. Lorsque on envois un paquet d'ondes sonores à l'endroit Z, il se reparti en deux, une partie empreinte le tube fixe, une autre empreinte le tube coulissant, ensuite les deux paquets s'interfèrent à l'endroit D, lorsque on place un récepteur(microphone) à l'endroit de l'intersection D, on peut visualiser à travers un oscilloscope le comportement de l'interférence acoustique.
Pour expliquer ce qui se passe à l'endroit D , on considère deux sources sonores S1 et S2 ponctuelles qui se propagent par une forme sinusoïdales VENANT DE Z (voir figure .2).

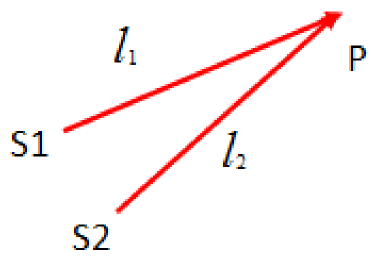


FIGURE.2

En un point P les propagations issues de S1 et S2 ont pour équation :

$Y_1 = A_1 COS\ (\omega\ (t - l_1/C))$ $\qquad\qquad$ ω: *est la vitesse angulaire* $(\omega = 2\pi/T)$

$Y_2 = A_2 COS(\omega\ (t - l_2/C)\ )$

C : est la vitesse du son, $l_1 et\, l_2$: *sont les chemins de parcours libre.*

On montre que l'amplitude résultante A au point P est :

$$A^2 = A^2{}_1 + A^2{}_2 + 2\ A_1\ A_2\ COS\ (\omega(l_1 - l_2)/C + \alpha\ ) \qquad \text{.....(1)}$$

On sait que en point P l'intensité de vibration est proportionnelle au carré de l'amplitude :

$$I = K\, A^2.$$

D'où $\quad K\,A^2 = K\,A^2_1 + K\,A^2_2 + 2\sqrt{K}\sqrt{K}A_1\ A_2\ COS\ (\omega(l_1 - l_2)/C + \alpha\ )$

Où $\quad I\ = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\ COS\ \varphi$ ....(2) $\quad$ *avec* $\varphi = \ \omega/C\ (l_1 - l_2)\ + \alpha\ = (2\ \pi\ /\lambda)\ \Delta l + \alpha$

Où I_1 *et* I_2 *sont les intensités de vibrations en P des deux ondes sonores prises séparément*, φ *est la différence de phase*, $\Delta l\ = l_1 - l_2$ *est la différence du parcours libre.*

Si $\alpha = 0$ *on dit que les deux sources sont synchrones,* λ *est la longueur d'ondes sonore.*

D'après la formule (2) : pour $\Delta\lambda = k\ \lambda$ *on aura* $\varphi\ = \ 2\pi\, k$ *et on observe des maximums et pour*

$\Delta l = (k + \frac{1}{2})\ \lambda$ *on aura* $\varphi\ = 2\pi\,(k + \frac{1}{2})\ = \ (2k+1)\pi$ *et on observe des minimums ou* $k\ = 0,1,2,$.........

Autrement dit, il s'ensuit :

Amplification pour $\Delta l\ = \ 0,\ \ \Delta l\ = \lambda,\ \Delta l\ = \ 2\ \lambda,$.....*etc*

Reduction pour $\Delta l = {}^1\!/_2\ \lambda\ \ ,\ \Delta l = {}^3\!/_2\ \lambda,\ \ \ \Delta l = {}^5\!/_2\ \lambda,$ *etc*............

Si on considère que S représente la distance parcourue de plus, que parcoure le paquet d'ondes qui traverse l'étrier coulissant alors on a $\Delta\ l\ = \ 2\ .S$. On donne l'expression de la vitesse du son C dans l'air par :

$$C = \sqrt{\gamma\frac{R\ T}{\mu}} \text{......... (3)}$$

γ *est la constante diabatique,* μ *est la masse molaire de l'air,* R *est la constante des gazs*

Utilisons cette formules pour calculer la vitesse du son dans l'air à T = 0 °(273 K).On connait le poids moléculaire de l'air qui est de l'ordre de $\mu = 28.8\ Kg\ /\ K\ mol.$ En substituant dans la formule (3), on trouve C = 332 m/s. Pendant que dans l'expérience on trouve C =330 m/s. Cela vous aidera à calculer la vitesse du son à la température ambiante.

<u>MANIPULATION</u> :

Le tube à interférence fonctionne au mieux à une fréquence de 500 à 2000 Hz. Pour l'observation subjective, le microphone sert de récepteur et la source sonore sert de petit haut-parleur avec un oscillateur R C. On arrange la source tout prés devant l'entonnoir de l'un des ajutages et on tient l'extrémité libre de ce tuyau microphone. L'intensité des ondes sonores sortant du tuyau dépend de la longueur S dont les deux étriers tubulaires sont glissés l'un par rapport à l'autre. Pour des valeurs de $:S\ = 0,\ \frac{\lambda}{2},\lambda,\frac{3}{2}\ \lambda,$ *etc*.......... .. On entend un son relativement haut et pour des valeurs de $S\ = 0,\ (1/4)\ \lambda,\ (3/4)\ \lambda,\ (5/4)\ \lambda,\ (7/4)\ \lambda,$ .....*etc* un son relativement bas.

Si la vitesse du son est supposée comme connue, la fréquence $f\ = C/\lambda$ peut être déduite. On calcule la vitesse du son pour la température ambiante à l'aide de la formule (3).

FEUILLE DE REPONSE

TP N°4 Mesure de la longueur D'ondes Sonores (vitesse du Son)

TP fait le	TP rendu le	Par les enseignants
Profils des étudiants Génie …..………….		
Groupe des étudiants N°……….	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	
	Nom et Prénom	

A) PARTIE THEORIQUE –TRAVAIL A DOMICILE-

1. **Lorsque deux ondes acoustiques synchrones,** $\vec{y}_1 = \vec{y}_{10}\sin(\omega t + \varphi_1)$ **et** $\vec{y}_2 = \vec{y}_{20}\sin(\omega t + \varphi_2)$ **se croisent, il se passe interférence acoustique.**
   - **Donner la forme de l'onde acoustique résultante** $y(t)$ **.**

     $\vec{y}(t)$ =…………………………………….. **et son amplitude** $\left\| \vec{y}(t) \right\|$ =…………….
   - **L'intensité de l'onde résultante qui représente le carré de l'amplitude à un facteur près, est –elle bornée ?**

     ....
   - **Donner : la maximale=…………………………….. la minimale=…………………….**
   - **Qu'est ce qu'une onde longitudinale ?**
   -
   - ………
   - **Retrouver l'expression de la vitesse du son en fonction de** γ, R, T, μ **se propageant dans l'air(écrire les détails au verso de la feuille).**

     ………

2 **-Dans la relation suivante, qui représente l'intensité** I **du signal résultant après interférences des deux ondes acoustiques :** $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\, COS\,\varphi$ …… .(2) avec $\varphi = \omega / C\,(l_1 - l_2) + \alpha = (2\pi/\lambda)\,\Delta l + \alpha$, **on s'aperçoit que l'intensité passe par une valeur minimale** $I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$ et une autre maximale $I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$ suivant la variation de S **qui correspond**

$$à\ COS\,\varphi = -1\ et\ \ COS\,\varphi = 1\ respectivement,\ donc\ I\ \ obeit\ à :$$

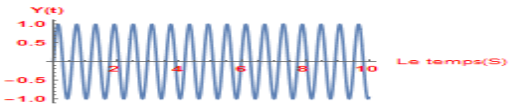
$$I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} < I < I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$$

$$\varphi = \frac{2\pi\ \Delta l}{\lambda}\quad pour\ \ \alpha = 0\quad pour\ les\ sources\ sonores\ synchrones$$

$$dans\ notre\ exp\acute{e}rience\ \Delta l = 2\,S$$

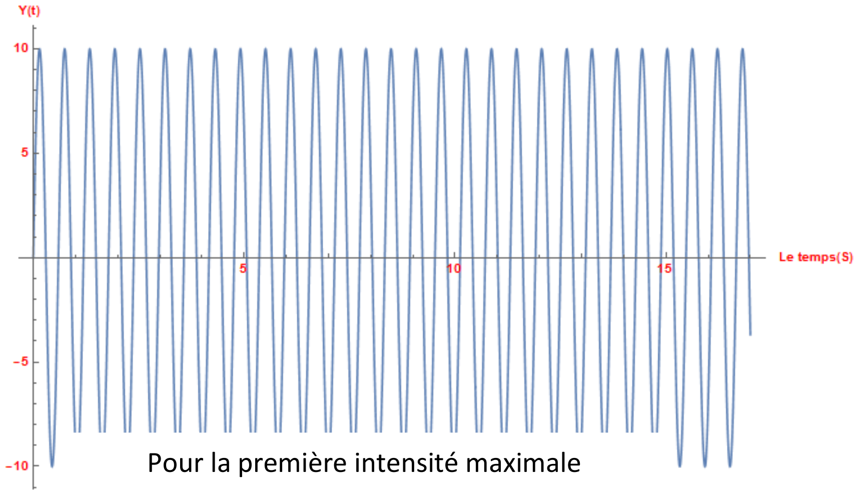
Dans une expérience menait au laboratoire, pour une pulsation :

$\omega = 2\,\pi\,f = \dfrac{2\pi}{T}$ *avec UNE FREQUENCE* $f = 1.68\,KHz$, *l'oscilloscope nous visualise les allures suivantes*



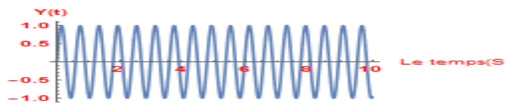
Pour la première intensité minimale

Trouver S_{1Min} =…………………..



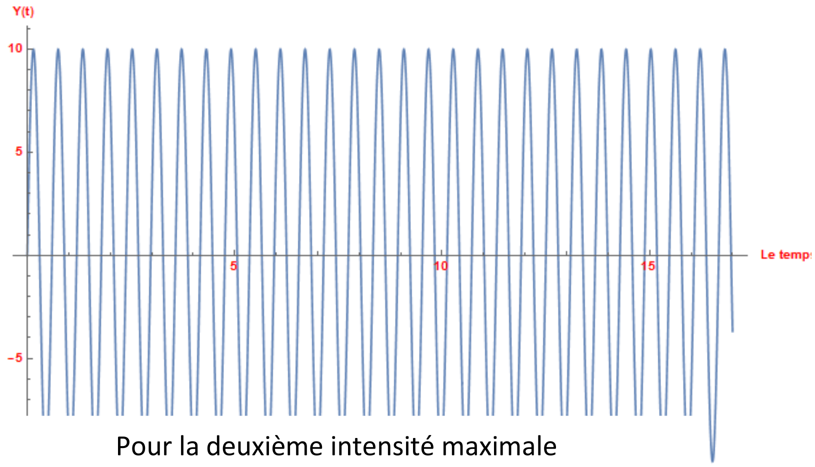
Pour la première intensité maximale

Trouver S_{1MAX} =………………



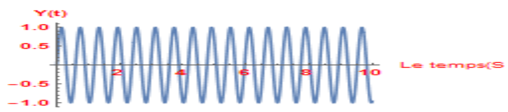
Pour la deuxième intensité minimale

Trouver S_{2Min} =………………



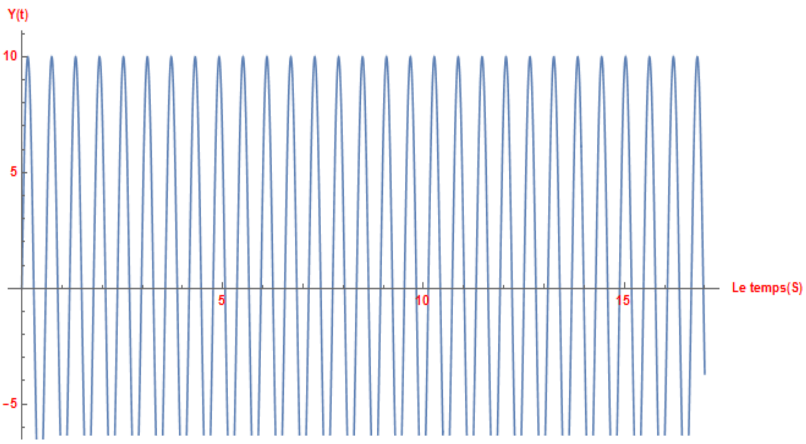
Pour la deuxième intensité maximale

Trouver S_{2MAX} =………………



Pour la troisième intensité minimale

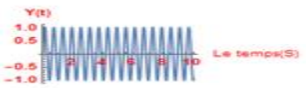
Trouver S_{3Min} = ………………



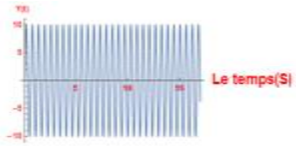
Pour la troisième intensité maximale

Trouver S_{3Max} = ………………

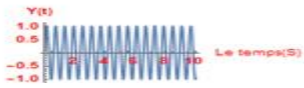
L’origine de ce que visualise l’oscilloscope est de la forme ci-après , sauf pour la commodité on a reparti les graphes comme ci-avant



S1MIN

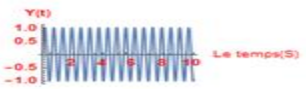


S1MAX

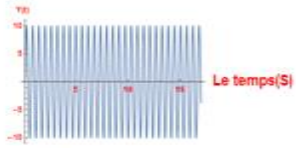


S2MIN

S2MAX



S3MIN



S3MAX

B) PARTIE EXPERIMENTALE

1. **Grace au microphone universel, on peut connaitre (localiser) les distances pour lesquelles on obtiendra des amplitudes(des intensités) maximales et minimales pour l’intensité du signal résultant visualisé sur l’oscilloscope, par simple glissement de la partie coulissante du tube à interférence.**

- **Faire glisser la partie coulissante du tube à interférence et remplir le tableau suivant on se basant sur la formulation $\lambda = f(v,T)$.**

Refaire 3 fois les essais	Mesurer S_{1Min} et S_{1Max} successivement			Mesurer S_{2Min} et S_{2Max} successivement			Mesurer S_{3Min} et S_{3Max} successivement		
1er essai	S_{1Min}	λ_1	f_1	S_{2Min}	λ_2	f_2	S_{3Min}	λ_3	f_3
	………	……….	………	………	………	……….	………	………	………
	S_{1Max}	λ_1	f_1	S_{2Max}	λ_2	f_2	S_{3Max}	λ_3	f_3
	………	………	………	………	………	………	………	………	………
2er essai	S_{1Min}	λ_1	f_1	S_{2Min}	λ_2	f_2	S_{3Min}	λ_3	f_3
	………	………	………	………	………	……….	………	………	………
	S_{1Max}	λ_1	f_1	S_{2Max}	λ_2	f_2	S_{3Max}	λ_3	f_3
	………	………	………	………	………	………	………	………	………
3er essai	S_{1Min}	λ_1	f_1	S_{2Min}	λ_2	f_2	S_{3Min}	λ_3	f_3
	………	………	………	………	………	……….	………	………	………
	S_{1Max}	λ_1	f_1	S_{2Max}	λ_2	f_2	S_{3Max}	λ_3	f_3
	………	………	………	………	………	………	………	………	………

2.Retrouver les relations pour les s_{iMin} et s_{iMax}pour i = $\overline{1:3}$ en fonction de la longueur d'onde sonore λ_i i = $\overline{1:3}$.

S_{1Min} =………. S_{2Min} =………… S_{3Min} =…………….

S_{1Max} =……… S_{2Max} =………….. S_{3Max} =…………….

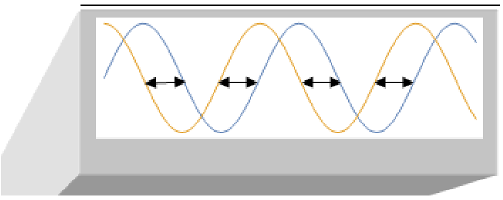
2. **Retrouver sur l'oscilloscope les valeurs de T et f (microphones) :**

   T microphone = ……………………… f **microphone** = ………………………

- **Comparer les valeurs moyennes de la fréquence f et de la longueur d'onde λ mesurée avec**

  f **microphone et** λ **microphone.** λ **microphone**=……………………….. f **microphone** =……………

  $\overline{\lambda}$ = ……….. $\overline{f}$ =…………….



TP5 – ETUDE DU CIRCUIT RLC SERIE (RESONNANCE)

PARTIE THEORIQUE

I. INTRODUCTION.

Le but de cette manipulation est en premier lieu d'étudier la réponse –fréquence d'un circuit résonnant série lorsque la fréquence du signal d'entrée varie E(t).

II .RAPPEL THEORIQUE.

Soit un circuit RLC série (Fig.1.) ou l'on applique à l'entrée un signal sinusoïdal de fréquence F.

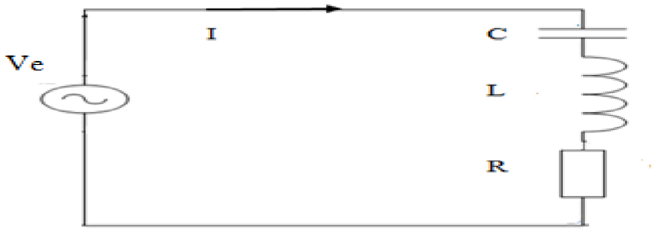


Fig.1.

La loi d'Ohms généralisée nous fait : $Ve = I.[R + J.(L\omega - 1/\omega)]$ (1)

La résonnance d'un circuit RLC série est obtenue lorsque le déphasage entre la tension d'entrée Ve et le courant I est nul pour une pulsation ω_0.

Donc la partie imaginaire de l'équation (1) est nulle ;

D'où $L\omega_0 - \frac{1}{C\omega_0} = 0 \Rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{L.C}$ D'ou $F_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$

F_0 : étant la fréquence des oscillations libre ou fréquence de résonnance.

La phase φ est calculée a partir de $\mathrm{tg}\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}$.

Donc a la résonnance $Ve = I.R \Rightarrow I = \frac{Ve}{R}$ I_{max} et $V_r = R.I = V_{r\,max}$

La tension aux bornes de la self est : $V_L = L.\omega_0.I = L.\omega_0.\frac{Ve}{R}$

La tension aux bornes de la capacité est : $V_C = \frac{1}{C.\omega_0}.I = \frac{Ve}{R.C.\omega_0}$

Cela fait : $\frac{V_L}{V_e} = \frac{V_C}{V_e} = \frac{\omega_0.L}{R} = \frac{1}{R.C\omega_0}$

Le rapport $\frac{V_L}{V_e} =$ et $\frac{V_C}{V_e}$ et appelé **<u>coefficient de qualité</u> Q.**

$Q = \frac{V_L}{V_e} = \frac{V_C}{V_e}$, qui détermine la surtension qui apparait aux bornes de L et de C à la résonnance.

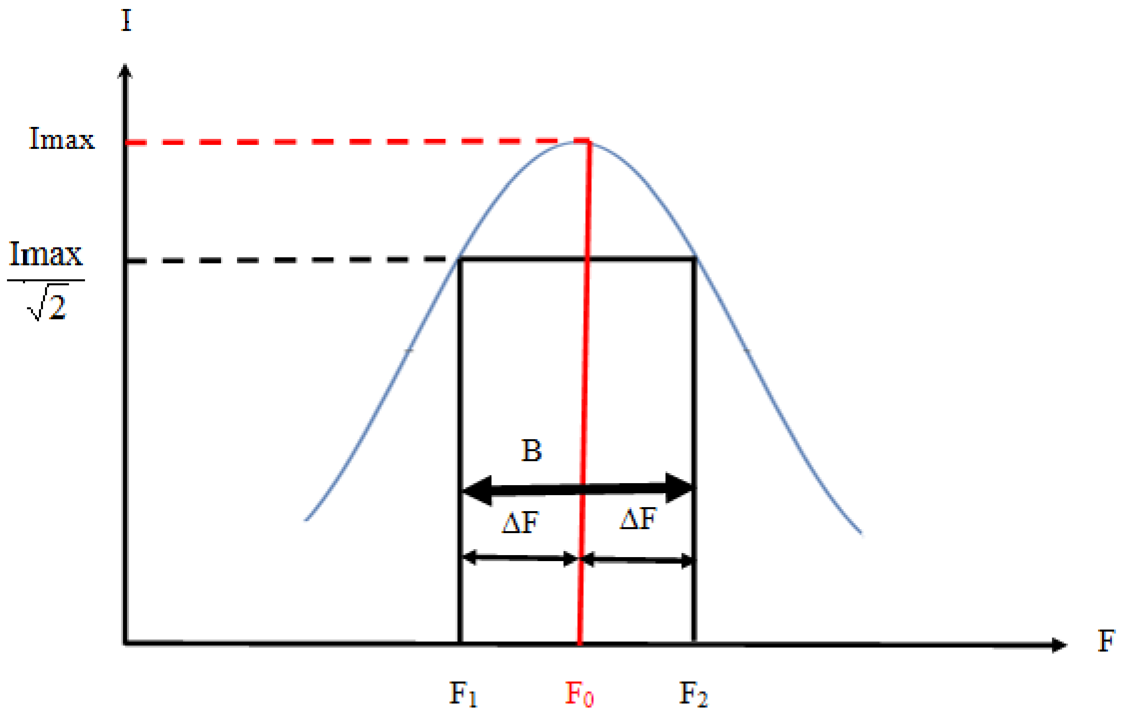
L’impédance Z du circuit à la résonnance est : $Z = R.\left[1 + j.\left(\frac{\omega.L}{R} - \frac{1}{R.C.\omega}\right)\right]$

Et comme $Q = \frac{\omega_0}{R} = \frac{1}{R.C\omega_0}$ donc $Z = R.\left[1 + j.Q.\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]$

Et comme $\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega \cdot \omega_0} = \frac{(\omega + \omega_0).(\omega - \omega_0)}{\omega \cdot \omega_0}$

Alors au voisinage de la résonance $\omega + \omega_0 \approx 2.\omega_0$ et $\omega \cdot \omega_0 \approx \omega_0^2$

Ainsi $Z = R.\left[1 + j.Q.\left(\frac{2.(\omega - \omega_0)}{\omega_0}\right)\right]$ Si on pose $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ D'ou $Z = R.\left[1 + Q^2.\left(\frac{4.\Delta\omega^2}{\omega_0}\right)\right]$



Le graphe de variation I en fonction de la fréquence F (Fig.2.) est la courbe de réponse d’un circuit résonnant série. D’une manière générale, on définit la bande passante B d’un circuit série comme étant les fréquences pour lesquelles le rapport de l’intensité (ou de la tension aux bornes de R) avec l’intensité (ou avec la tension maximale) soit égale à $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

$Donc\ \frac{I}{I_{max}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\ ou\ \frac{Vr}{Vr_{max}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

$\frac{I}{I_{max}} = \frac{Ve/|Z|}{Ve/R} = \frac{R}{|Z|} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2.\frac{4.\Delta\omega^2}{\omega_0^2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ d’où $Q = \frac{\omega_0}{2.\Delta\omega} = \frac{F_0}{2.\Delta F}$

Et comme $B = 2.F$ (Fig.2.) $donc\ Q = \frac{F_0}{B}$.

But de la manipulation **:** L'utilisation de l'oscilloscope pour étudier le circuit **RLC** à basses fréquences dans le cas de la résonance.

Equipements utilisés :

- 01 Compteur digital (Fréquence mètre)
- 01 Oscilloscope.
- 01 Générateur basse fréquence.
- 01 Résistance : 200 Ω ou 150 Ω.
- Fils de connexion
- 01 Voltmètre analogique.
- 01 Self (40 mHenry) ou(10 mHenry)
- 01 Condensateur : 0.1 µF ou 4.7 µF.

NOUS ALLONS ETUDIER LE CIRCUIT SUIVANT DE LA FIGURE.1.

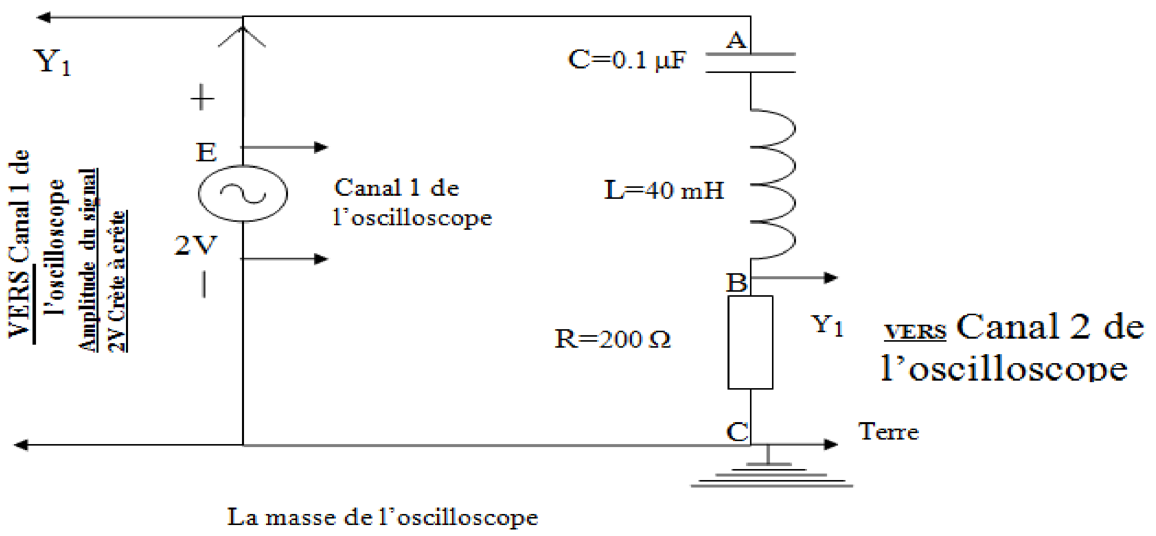


Figure.1 .

FEUILLE REPONSE **Date :**

Electricité et Magnétisme ***TP –*** Résonnance de tension d'un circuit RLC série

Nom et Prénoms :	Nom et Prénoms :
Section :	Groupe :
Enseignant :	**Note : / 20**

1- PREPARATION THEORIQUE (TRAVAIL A DOMICILE)

1- En utilisant le diagramme de Fresnel, trouver l'impédance **Z** en fonction des grandeurs **R, L, C et ω** du circuit de la figure.1 (Ecrivez les détails au verso de la feuille et rapporter que le résultat final ci-dessous).

Z = …….

2- Que devient l'intensité du courant dans le cas de la résonance **? I =………**

3-En utilisant le circuit de la figure.1.Déterminer ce qui suit :

3-1 la fréquence de résonance du circuit $\mathbf{f_0}$ **:** $\mathbf{f_0}$**=...................Khz**

3-2 le coefficient de qualité **Q** : **Q=**…………….

3-3 La bande passante **B** : **B=**……….. **Khz**

3-4 Les fréquences de coupures $\mathbf{f_1}$ et $\mathbf{f_2}$: $\mathbf{f_1}$ =…… **Khz,** $\mathbf{f_2}$= … **…Khz**

4-Vérifier par les calculs la relation **Q=** $\frac{f0}{B}$: $\frac{f0}{B}$ **=**………

2- PARTIE EXPERIMENTALE

1- Réaliser le circuit de la figure 1 (**LE MONTAGE EST EVALUE PAR L'ENSEIGNANT**).

2- Que représente la tension **V_{BC}?**

………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………

3- Remplir le tableau suivant :

F(KHz)	**0.8**	**1.00**	**1.5**	**2.00**	**f_0(pratique) =………**	**3.00**	**3.25**	**3.5**	**4.00**
V_{BC} (V)									
I_{BC} (A)									
Δt									
φ_r(°)=360*F*Δt									

4- Tracer le graphe I_{BC} = g(F) et φ_r(°) = h(F) :

5-En déduire du graphe I_{BC} = g(F) :

5-1 la fréquence de résonance du circuit f_0 : **f_0=……………….KHz**

5-2 le coefficient de qualité Q : **Q=**…………….

5-3 La bande passante B : **B=**……….. **KHz**

5-4 Les fréquences de coupures f_1 et **f_2** : **f_1** =…… **KHz, f_2**= … **…KHz**

6- Conclusion………………………………………………………………………………
………………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………

ANNEXE

CALCUL D'ERREUR

L'erreur commise dans la mesure d'une grandeur x est :

$$erreur = x - X \quad avec \quad \begin{Bmatrix} x : valeur\,mesur\acute{e}e \\ X : valeur\ exacte \end{Bmatrix}$$

Généralement la valeur X reste inconnue. Pour minimiser donc l'erreur sur x, on effectue n mesures de la qualité et on calcule la valeur moyenne $\overline{x}$ en utilisant la relation :

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad avec \quad i = 1,2,3,....n$$

L'écart quadratique est donné par :

$$\sigma_m^x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} d_i^2} \quad avec\ i = 1,2,....n$$

$$Si \quad d_i = x_i - \overline{x} \quad \textbf{\textit{Autrement dit}} \quad \nabla x = \left| x_i - \overline{x} \right|$$

$$\sigma_m^x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \overline{x})^2} \quad avec\ i = 1,2,....n \ \ et\ l'indice\ \ m\ \ signifie\ \ *moyen*$$

Ce qui permet d'écrire la représentation suivante pour la grandeur x :

$$x = \overline{x} \pm \sigma_m^x \ avec\ \ x \subset \left[\overline{x} - \sigma_m^x,\ \overline{x} + \sigma_m^x\right]$$

FIN

[1] J.BASS ,Cours de mathématiques, Tome2 « Equations Différentielles et aux Dérivées Partielles. Optimisation. Groupes de Transformations. Méthodes Numériques ».5eme édition, Masson, Paris, 1956,1978.

[2]https://fr.wikipedia.org/wiki/Équation_différentielle_linéaire

[3] uel.unisciel.fr/physique/syst_oscillants/syst_oscillants_ch03/co/
[4] www.techno-science.net/definition/8173.html
[5] hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/standw.html

*[6] www.collectionscanada.gc.ca/.../**ondes**.htm*

*[7] **sites.google.com**/.../habibnagham/**ondes**/**ondes-sonores***

[8] www.maxicours.com/se/fiche/3/6/356263.html/2e
*[9] pstricks.blogspot.com/2014/04/**pendules-couples**...*
*[10] ressources.unisciel.fr/.../res/osc-**couples**.pdf*
[11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_RLC

[12] www.epsic.ch/cours/electrotechnique/theorie/rlcserie/elt-270.html

[13] https://fr.wikibooks.org/wiki/Électricité/Les_circuits_RL,_RC,_LC_et_RLC