

**CONCOURS GÉNÉRAL SÉNÉGALAIS**

1/11

Durée : 6 heures

09 T CGS 05 01

Toutes séries réunies

SESSION 2024**CLASSES DE TERMINALE****SCIENCES PHYSIQUES****THEME : SYSTEMES OSCILLANTS ET TRANSFERT DE L'INFORMATION****Données :**

Charge de l'électron : $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; Masse de l'électron : $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ SI}$;
 Constante d'Avogadro : $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.
 Constante de Planck $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$; Célérité du son dans l'air : on prendra $C_s = 334 \text{ m.s}^{-1}$

TEXTE INTRODUCTIF

Un oscillateur est un système pouvant évoluer, du fait de ses propres caractéristiques, de façon alternative et périodique. Le mouvement effectué durant une période est appelé oscillation.

Lorsque le système effectue des oscillations très rapides on dit qu'il est animé d'un mouvement vibratoire.

Dans la nature, les oscillations constituent un mode d'évolution de beaucoup de systèmes. Le cœur humain, la balançoire, le pendule simple, le pendule élastique, les amortisseurs voiture, le balancier d'une horloge, la membrane d'un haut-parleur, les atomes d'une molécule, les ions dans un réseau cristallin peuvent être considérés comme des oscillateurs. De même l'association de certains dipôles électriques conduit à des oscillateurs électriques. Les ondes radioélectriques et lumineuses peuvent être associées à un ensemble d'oscillateurs.

Lorsque le système oscille à sa propre cadence, sans que celle-ci le lui soit imposée par un dispositif extérieur, les oscillations sont dites libres. Généralement un oscillateur libre s'amortit progressivement et cesse de fonctionner à cause des pertes continues d'énergie vers le milieu extérieur.

On qualifie au contraire d'oscillations forcées, des oscillations imposées par un dispositif extérieur. Dans ce cas précis, lorsque la fréquence de la source excitatrice prend la valeur de la fréquence propre de l'oscillateur, il y a résonance. Nombreuses sont les constatations de la vie courante et les applications pratiques dues à la résonance. Les ponts suspendus, les fréquencesmètres, l'oreille, l'écouteur téléphonique et la membrane d'un haut-parleur sont des résonateurs. Les bateaux, les avions, les automobiles doivent être conçus de telle façon qu'une partie ou l'ensemble de la structure n'entre pas en résonance lors de leur déplacement.

Les oscillateurs jouent un rôle fondamental dans de nombreux domaines de la physique et de l'ingénierie, en fournissant un modèle mathématique pour décrire des phénomènes périodiques. Un exemple emblématique d'oscillateur est l'oscillateur harmonique.

En mécanique classique, l'oscillateur harmonique se manifeste dans des systèmes tels que les ressorts idéaux et les pendules simples. L'oscillateur harmonique est caractérisé par une force de rappel proportionnelle à la distance par rapport à la position d'équilibre. Cette force, régie par la loi de Hooke, induit un mouvement périodique qui peut être décrit par une équation différentielle. La solution de cette équation révèle un comportement sinusoïdal, typique d'une oscillation harmonique.

Les oscillateurs ne se limitent pas à la mécanique classique. Ainsi les oscillateurs cités précédemment relèvent dans les domaines suivants :

✓ En mécanique quantique :

les molécules, les atomes dans les molécules et les ions dans les réseaux cristallins peuvent également être modélisés comme des oscillateurs harmoniques « quantiques ». Ces systèmes possèdent des niveaux d'énergie quantifiés, et les transitions entre ces niveaux sont souvent associées à l'émission ou à l'absorption de photons ou phonons dans le cas de vibrations dans les réseaux cristallins.

✓ En électricité,

Un oscillateur est un dispositif électronique capable de générer un signal électrique périodique. Ces signaux peuvent prendre différentes formes d'onde : sinusoïdales, carrées, triangulaires ou complexes. Les oscillateurs sont utilisés dans une variété d'applications, notamment dans la génération d'horloges pour les circuits numériques, la production de signaux radiofréquences et dans de nombreux dispositifs électroniques où une source de signal périodique est nécessaire.

Parmi les types d'oscillateurs couramment utilisés en électricité on citera notamment



l'oscillateur LC (inductance-capacité) : Cet oscillateur utilise une inductance et un condensateur connectés en série ou en parallèle pour créer une résonance à une fréquence spécifique. Lorsqu'ils sont excités par un signal initial, ces composants peuvent entretenir une oscillation continue.

✓ En électromagnétisme :

Le champ électromagnétique peut être considéré comme un oscillateur lorsqu'il subit des variations périodiques dans le temps. Ces variations génèrent des ondes électromagnétiques, qui sont des oscillations de champs électriques et magnétiques se propageant dans l'espace. Ces ondes peuvent être décrites par les équations de Maxwell.

Lorsqu'une source d'énergie crée des variations périodiques d'un champ électrique, cela induit des variations correspondantes d'un champ magnétique, et vice versa. Ces variations se propagent à la vitesse de la lumière dans le vide (c), conformément aux équations de Maxwell.

Les ondes électromagnétiques peuvent prendre différentes formes, dont la plus simple est l'onde sinusoïdale. Dans ce cas, le champ électrique $E(x,t)$ et le champ magnétique $B(x,t)$ varient sinusoïdalement dans le temps et dans l'espace.

Dans le cas d'une onde sinusoïdale $E(x,t)$ et $B(x,t)$ peuvent être exprimés comme suit :

$$\begin{cases} E(x,t) = E_0 \cos(kx - \omega t + \varphi) \\ B(x,t) = B_0 \cos(kx - \omega t + \varphi) \end{cases}$$

où : E_0 et B_0 sont les amplitudes des champs électrique et magnétique

ω est la pulsation, φ est la phase, x est la position dans l'espace, t est le temps ; (k) est le module du vecteur appelé vecteur d'onde qui indique le sens de la propagation.

Ces équations montrent comment les champs électrique et magnétique oscillent harmoniquement dans le temps et l'espace, formant une onde électromagnétique. Ces ondes sont à la base des phénomènes tels que la lumière visible, les ondes radio, les micro-ondes et d'autres types d'ondes électromagnétiques. L'ensemble du spectre électromagnétique englobe une gamme étendue de fréquences et de longueurs d'onde, allant des ondes radio aux rayons gamma, toutes résultant d'oscillations du champ électromagnétique.

PARTIE I : Questions sur le texte

Lire attentivement le texte et répondre aux questions suivantes :

I.1- Donner la définition d'un oscillateur.

I.2- Donner trois exemples de systèmes que l'on retrouve dans la nature qui sont des oscillateurs.

I.3- Qu'appelle-t-on oscillation forcée ?

I.4- Donner un exemple d'oscillateur électrique.

I.5- Donner les expressions des champs magnétique et électrique constituant une onde électromagnétique sinusoïdale.

PARTIE II : Oscillations mécaniques.

II.1- Modèle de l'oscillateur linéaire.

Nous supposons dans cette étude que les ressorts utilisés sont à spires non jointives et qu'ils fonctionnent dans leur domaine d'élasticité.

• Etude théorique du pendule élastique horizontal.

Un solide ponctuel de masse m est relié à un ressort, de constante de raideur k , disposé horizontalement sur un plan lisse (figure 1). Initialement le ressort n'est ni allongé, ni comprimé.

A l'instant $t = 0$, on déplace horizontalement le solide d'une longueur x_0 et on abandonne le système sans vitesse initiale. Le mouvement sera rapporté au repère $X'OX$ colinéaire au déplacement de l'objet. L'origine O coïncide avec la position d'équilibre du solide.

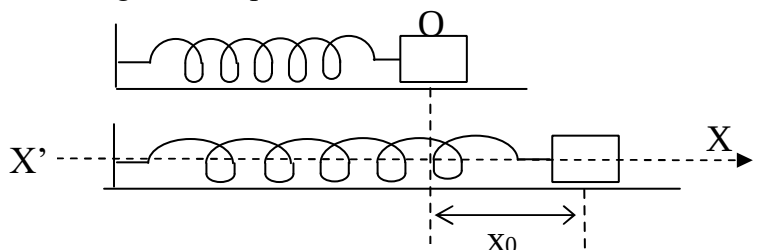


Figure 1

II.1.1- Représenter sur un schéma, à un instant quelconque où le ressort est allongé, les forces qui agissent sur le solide.

II.1.2- En appliquant le théorème du centre d'inertie, établir l'équation différentielle régissant le mouvement du solide. En déduire l'équation horaire du mouvement du solide et l'expression de sa vitesse.



II.1.3- Etablir, à un instant donné, l'expression de l'énergie mécanique totale de cet oscillateur et montrer qu'elle est constante au cours du temps. On considère que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle sur l'axe $X'X$. Application numérique $m = 0,10 \text{ kg}$; $k = 30 \text{ N.m}^{-1}$ et $x_0 = 10 \text{ cm}$.

II.1.4- Retrouver l'équation différentielle du mouvement de l'oscillateur à partir de l'expression de l'énergie mécanique établie précédemment.

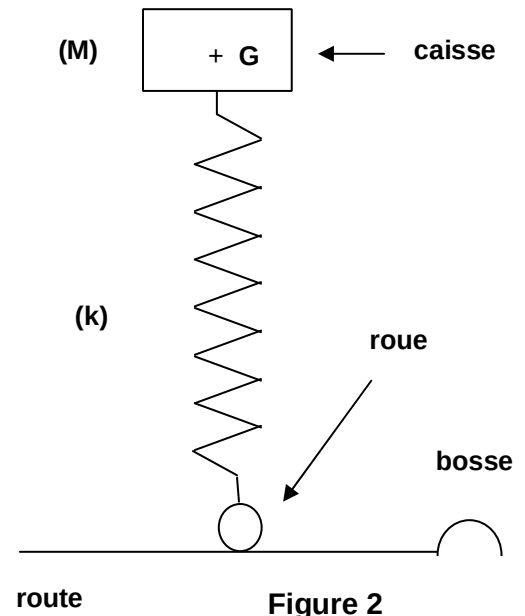
II.1.5- Esquisser la courbe de l'énergie potentielle en fonction de l'abscisse x du mobile et montrer à partir de ce schéma l'appellation oscillateur.

• Etude du mouvement oscillatoire d'une voiture.

Une voiture est constituée d'une caisse métallique reposant sur ses roues par l'intermédiaire d'une suspension formée d'un ensemble de quatre ressorts avec amortisseurs. **On peut modéliser cette voiture par un pendule élastique vertical (voir figure 2)** dont les oscillations sont amorties. La seule particularité de ce pendule est d'avoir la masse M (correspondant à la caisse) à l'extrémité supérieure du ressort de raideur k ; la mise en oscillation ayant lieu lorsque l'extrémité inférieure du ressort (correspondant à la roue) subit un déplacement vertical, par exemple lors d'un passage sur une bosse (cassis ou dos d'âne).

II.1.6- On considère la caisse de la voiture de masse $M = 1\,095 \text{ kg}$ à l'arrêt, sans passager. Le ressort est alors comprimé.

Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la caisse et les représenter sur un schéma. Etablir l'expression du raccourcissement $\Delta \ell_0$ du ressort en fonction de k , M et l'intensité de la pesanteur g .



II.1.7 Quatre essayeurs, de masse totale $m = 280 \text{ kg}$, montent à bord de la voiture. La caisse s'affaisse alors d'une hauteur $h = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. En utilisant le résultat de la question précédente établir la relation $k = \frac{mg}{h}$. Faire l'application numérique.

II.1.8 Un essayeur de masse $m_1 = 70 \text{ kg}$ s'installe seul dans la voiture. Suite à un petit déplacement vertical, le système se met à osciller verticalement. On note T_0 la période des oscillations de la caisse avec l'essayeur. Etablir l'équation différentielle du mouvement. Montrer que $T_0 = 0,71 \text{ s}$

II.1.9 Afin que le confort des passagers soit optimal lors du passage sur une bosse, les réglages de la suspension sont prévus pour que la caisse retrouve la position initiale sans osciller.

- L'essayeur prend le volant d'une voiture neuve et roule sur une bosse. Quel est le nom du régime oscillatoire observé ?
- L'essayeur recommence l'expérience avec une voiture de même type que la précédente mais ayant beaucoup roulé. Ses amortisseurs étant « usés », l'amortissement de la caisse est moins important. Prévoir le comportement de la caisse dans ce cas.

II.1.10- Course automobile dans le désert

En soufflant, le vent crée sur le sable du désert une succession de creux et de bosses, la surface du sable prend l'aspect d'une « tôle ondulée ». Une automobile roule sur cette « tôle ondulée ». Elle est assimilée à un corps de masse $M = 1\,200 \text{ kg}$ (automobile et conducteur y compris) suspendue à un ressort dont la constante de raideur $k = 35\,000 \text{ N.m}^{-1}$

II.1.10.1- On suppose dans un premier temps que l'amortissement est très faible.

Le pendule élastique modélisant l'automobile est soumis à une succession d'oscillations pendant le mouvement du véhicule : il est soumis à des excitations forcées.

Le conducteur constate que l'amplitude des oscillations est beaucoup plus importante aux passages des bosses, la voiture devient plus difficile à contrôler et le conducteur doit alors ralentir ou accélérer.

II.1.10.1.1- Quel nom donne-t-on au phénomène observé ?

II.1.10.1.2-

- Déterminer la fréquence propre f_0 de cet oscillateur



- b) La distance entre deux bosses successives sur le sable est supposée constante $d = 1,65 \text{ m}$. Soit V_1 la vitesse de déplacement du véhicule.
Exprimer la durée T_1 mise par le véhicule entre deux boss successifs
En déduire la valeur de la vitesse v_1 avec laquelle il faut éviter de rouler pour ne pas disloquer le véhicule.

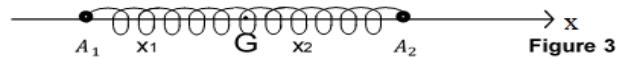
II.1.10.2- En réalité l'automobile possède des "organes" qui amortissent les oscillations verticales. La fréquence de résonance f est alors inférieure à f_0 ; la valeur de f est telle que : $\frac{f-f_0}{f_0} = \frac{4}{10}$

Calculer la valeur de la vitesse v_2 à laquelle il faut éviter de rouler.

II.2-Etude des oscillations de translation d'une molécule diatomique dans le domaine de la mécanique classique

Les molécules sont des particules susceptibles d'effectuer des mouvements d'oscillation de translation et de rotation autour d'un ensemble d'axes.

Il s'agit, dans cette partie, d'étudier les vibrations longitudinales de la molécule de monoxyde de carbone (CO). On la modélisera par un système à deux corps reliés par un ressort élastique et on va montrer que les oscillations harmoniques dépendent des caractéristiques de la molécule. Deux corps ponctuels (A_1) et (A_2) de masse respective m_1 et m_2 sont reliés par un ressort élastique à spires non jointives de constante



de raideur k , de masse négligeable et de longueur à vide l_0 (voir figure 3).

Les deux corps sont mobiles sur une tige fixe horizontale. On repère leurs positions par leurs abscisses $x_1 = GA_1$ et $x_2 = GA_2$, le point G étant le centre de masse de ce système. Les frottements sont négligeables. À la date $t = 0$, on écarte ces deux corps ponctuels de leurs positions d'équilibre et on les lâche sans vitesse initiale.

On montre que le mouvement d'oscillation du système des deux particules se ramène à l'oscillation d'une particule fictive P dont la masse μ est telle que $\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$, de position par rapport à G $x = x_2 - x_1$ et soumise à la force attractive : $F = -kx$

II.2.1

Modéliser, en schématisant, ce système de deux particules par une seule particule fictive P.

Établir l'équation différentielle vérifiée par l'abscisse x .

II.2.2 Exprimer la période T avec laquelle les corps A_1 et A_2 oscillent l'un par rapport à l'autre en fonction de k , m_1 et m_2 .

II.2.3 Le système précédent modélise les vibrations longitudinales de la molécule de monoxyde de carbone CO. La longueur d'onde associée à la fréquence propre ν de ces vibrations est $\lambda = 4,65 \mu\text{m}$.

II.2.3.1-Exprimer cette fréquence propre en fonction de λ . Faire l'application numérique.

II.2.3.2-Etablir l'expression de la constante de raideur k associée à la liaison carbone-oxygène. Faire l'application numérique.

On prendra comme masse réduite de l'atome de carbone et de l'oxygène $\mu = 1,14 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

II.3-Oscillation des électrons de la liaison π dans une molécule de triène dans la théorie quantique

On considère qu'un électron dans une liaison π est soumise, dans la molécule, à une énergie potentielle $V(x)$: $V(x) = 0$ pour $0 < x < a$ et $V(x) = +\infty$ pour $x = 0$ et $x = a$

La particule ne peut se mouvoir que dans l'intervalle $0 < x < a$ (voir figure 4)

II.3.1-Le mouvement d'un électron π est régi par une équation différentielle de la forme :

$$\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + k^2 \psi(x) = 0 ; \text{ avec } k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$$



E : énergie de l'électron ($E > 0$) ; m : sa masse ; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ h : constante de Planck , $\Psi(x)$: fonction mathématique qui nous permet d'avoir des informations sur les caractéristiques du mouvement de l'électron dans la structure moléculaire. Cette équation différentielle régit le mouvement d'un électron π (oscillateur quantique).

II.3.1.1- Par analogie formelle entre l'équation différentielle de l'oscillateur classique ($\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0$) et celle de l'oscillateur quantique, établir la correspondance entre les grandeurs classiques x et ω et celles quantiques.

II.3.1.2- On montre que la solution $\psi(x)$ de cette équation peut se mettre sous la forme :

$\psi(x) = A \sin kx$ avec A constante.

En tenant compte des conditions suivantes sur la fonction $\psi(x)$: l'électron π ne peut pas se retrouver aux points d'abscisses $x = 0$ et $x = a$ donc $\psi(0) = 0$ et $\psi(a) = 0$

-Donner l'expression de k en fonction π , a et de l'entier naturel n .

II.3.1.3- Retrouver que les niveaux d'énergie E_n occupés par un électron π est $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2} = \frac{h^2 n^2}{8ma^2}$

On dit l'énergie E_n est quantifiée. Justifier

II.3.2- On admet que chacun des électrons π de la molécule d'hexatriène : $H_2C=CH-CH=CH-CH=CH_2$ est totalement délocalisé sur une largeur $a = 7,3 \text{ \AA}$.

Déterminer la longueur d'onde λ , du rayonnement électromagnétique susceptible de faire passer le système d'électrons π du niveau $n = 3$ au niveau $n = 4$.

Comparer la valeur de cette longueur d'onde à celle expérimentale $\lambda_{exp} = 2512 \text{ \AA}$.

On prendra : $hc = 12420 \text{ eV} \cdot \text{\AA}$ et $\frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{h^2}{8ma^2} = 0,70514 \text{ eV}$

II.4- Vibrations sonores.

II.4.1- Le son est un phénomène vibratoire émis par une source qui se propage dans l'air et sa réception est assurée par la membrane d'un tympan ou d'un microphone. La grandeur physique associée est une surpression δp . Les sons audibles par une oreille ordinaire ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 000 Hz.

Donner deux exemples de sources de vibrations sonores.

II.4.2- En considérant que le son émis par la source excitatrice se propage sans perte d'énergie avec une fréquence de 440 Hz, à quelle fréquence vibre la membrane du tympan ?

II.4.3- Deux hauts parleurs S_1 et S_2 totalement identiques (Figure 5) sont excités par une même fréquence et vibrent en phase, c'est-à-dire qu'ils créent en S_1 et S_2 une variation de pression de l'air ou pression acoustique, donnée par la relation

$\delta p = p - p_0 = p_m \sin \omega t$ (avec un choix convenable de l'origine des temps). Ils sont orientés l'un vers l'autre et émettent le même son de fréquence N . Ils sont à la distance $S_1 S_2 = \lambda$ et l'on déplace un microphone M sur l'axe $x'x$ entre S_1 et S_2

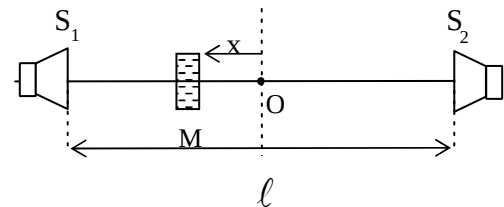


Figure 5

II-4-3-1 Une oreille ordinaire est capable de détecter une variation de pression de 10^{-4} Pa et la douleur intervient à partir de 10 Pa .

Donner un encadrement de p_m et ω dans le cas où le récepteur est l'oreille.

II-4-3-2

La vibration au point M pour l'onde issue de S_1 est $y_1(x, t) = y_m \sin(\omega t - k(\frac{l}{2} - x))$

La vibration au point M pour l'onde issue de S_2 est $y_2(x, t) = y_m \sin(\omega t - k(\frac{l}{2} + x))$

En déduire l'expression de $u(x, t) = Y_{1s} + Y_{2s}$ de la variation de pression reçue par le microphone placé au point M d'abscisse x (O est le milieu de $S_1 S_2$).



On donne : $\sin a + \sin b = 2\cos\left(\frac{a-b}{2}\right)\sin\left(\frac{a+b}{2}\right)$

II-4-3-3 Sachant que la fréquence du son émis est $N = 1\,230\text{ Hz}$, la célérité du son est $C_s = 334\text{ m.s}^{-1}$ et $S_1S_2 = \lambda = 1\text{ m}$, déterminer les points d'amplitude maximale de la pression acoustique et les points d'amplitude minimale.

II-4-3-4 Déterminer la position des tranches d'air où la vitesse de déplacement des molécules d'air est la plus grande.

Le point O milieu de S_1S_2 est à une variation de pression maximale. L'intensité du son perçu par le microphone y est maximum.

PARTIE III: Oscillations électriques

L'étude expérimentale, puis théorique, de l'association d'un condensateur et d'une bobine illustre les propriétés d'un oscillateur électrique.

III.1- Etude théorique de la décharge d'un condensateur dans un circuit inductif

Un circuit comprend un condensateur de capacité C chargé sous une tension U , une bobine d'auto-inductance L et un interrupteur K (Figure 6). On néglige la résistance du circuit.

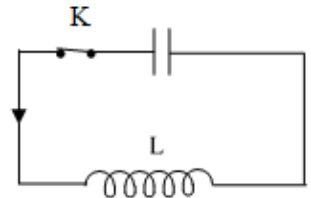


Figure 6

III.1.1- On ferme l'interrupteur K . En appliquant la loi des tensions montrer que la charge instantanée $q(t)$ du condensateur vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = 0$

III.1.2- Donner l'expression, en fonction du temps, de la charge instantanée $q(t)$ du condensateur ; on prendra la charge $q(t=0) = Q_0$ et on considérera que l'intensité du courant est nulle à $t=0$.

III.1.3- Donner l'expression de la tension $u(t)$ aux bornes du condensateur et celle de l'intensité $i(t)$ du courant dans le circuit. On calculera la valeur maximale de l'intensité et la valeur de la fréquence propre f_0 pour : $U = 24\text{ V}$; $C = 5\text{ }\mu\text{F}$ et $L = 47\text{ mH}$.

III.1.4- conservation de l'énergie

III.1.4.1- Donner les expressions des énergies emmagasinées à chaque instant par la bobine et par le condensateur

III.1.4.2- Retrouver comme dans le cas de l'oscillateur électrique que l'énergie emmagasinée par l'oscillateur est constante

III.2- Oscillations électriques entretenues

On dit qu'un système est en régime sinusoïdal forcé quand il est le siège d'oscillations sinusoïdales dont la fréquence lui est imposée par un dispositif extérieur : c'est un résonateur.

III.2.1- circuit série

On place en série, aux bornes d'un générateur délivrant une tension alternative $u = U_0 \cos \omega t$, un condensateur de capacité $C = 10\text{ }\mu\text{F}$, une bobine d'inductance $L = 0,02\text{ H}$, de résistance nulle et un conducteur ohmique de résistance $R = 50\text{ }\Omega$.

III.2.1.1- Etablir l'équation différentielle liant la tension u à l'intensité i , à la dérivée première de i et sa primitive (i étant l'intensité du courant dans le circuit à l'instant t).

III.2.1.2- En posant $i = I_m \cos(\omega t - \varphi)$, déterminer littéralement et numériquement la fonction $u_{AB} = f(t)$; u_{AB} étant la tension aux bornes du condensateur. On donne : $U_0 = 5\text{ V}$ et $\omega = 200\pi\text{ rad.s}^{-1}$

III.2.2- circuit parallèle

On place maintenant, en dérivation aux bornes du générateur précédent, le condensateur de capacité $C = 10\text{ }\mu\text{F}$ et la bobine d'inductance $L = 0,02\text{ H}$ (figure 7).

Soient :

- i l'intensité (instantanée du courant) principal
- i_1 l'intensité (instantanée du courant) dans la dérivation où se trouve le condensateur
- i_2 l'intensité (instantanée du courant) dans la dérivation où se trouve la bobine



III.2.2.1-Déterminer les relations $i_1=f_1(t)$ et $i_2=f_2(t)$ en fonction respectivement des grandeurs (C, ω, U_0) et (L, ω, U_0) .

III.2.2.2 En appliquant la loi des nœuds, déterminer la relation $i = f(t)$ littéralement puis numériquement. (On utilisera la construction de Fresnel)

Pour quelle valeur ω'_0 l'intensité i est-elle nulle ?

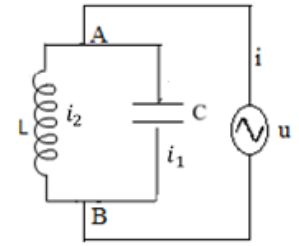


figure 7

PARTIE IV: Sources, Propagation, réception et utilisation des ondes hertziennes

A partir du 19^e siècle, l'allemand Hertz montre que des oscillations électriques peuvent se propager dans l'espace : elles constituent les ondes Hertziennes. Ce sont des ondes électromagnétiques dont les fréquences des sources émettrices s'échelonnent de 10 kHz à 300 GHz. Si, par exemple, votre téléphone portable sonne c'est que son antenne a détecté un champ électromagnétique.

IV.1- : Sources et Propagation

Une charge électrique au repos produit seulement un champ électrique $\vec{E}$, tandis qu'une charge en mouvement produit à la fois un champ électrique $\vec{E}$ et un champ magnétique $\vec{B}$ associés. Lorsque le mouvement de la charge est oscillatoire elle crée des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ oscillatoires (figure 8).

A partir d'un circuit fermé (L,C), l'énergie ne peut être recueillie que sous forme de chaleur.

Par contre pour un montage branché sur un réseau d'antennes, l'énergie peut être également libérée sous forme de rayonnement. Les charges électriques oscillant dans l'antenne B (voir figure 8) créent dans le milieu environnant un champ magnétique $\vec{B}$ et un champ électrique $\vec{E}$ alternatifs : on dit qu'il règne un champ électromagnétique ou une onde hertzienne dans cet espace. Le point O est le centre du dipôle oscillant.

La figure 8 ci-dessous à laquelle on adjoint souvent un amplificateur constitue un modèle de dispositif d'émission, de mode de propagation et de dispositif récepteur d'une onde Hertzienne. Les différentes parties sont décrites comme suit :

A : Circuit oscillant qui génère une tension de haute fréquence,

B : Antenne émettrice : circuit oscillant ouvert couplé au circuit oscillant A.

C : Structure de l'onde électromagnétique ($\vec{E}$, $\vec{B}$) à très grande distance de l'antenne ($d \gg \lambda$),

D : En un point donné $\vec{E}$ et $\vec{B}$ varient sinusoidalement en fonction de z et t

E : antenne réceptrice couplée au circuit récepteur.

IV.1.1-En un point M d'abscisse z quelconque de l'espace et à chaque instant, il y a coexistence d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ d'induction magnétique $\vec{B}$, ($\vec{E}$ et $\vec{B}$ variant mutuellement) c'est-à-dire la variation de l'un entraîne la variation de l'autre.

En se basant sur la figure 8, préciser la direction de $\vec{E}$ par rapport à celle de $\vec{B}$ et indiquer comment sont les directions de $\vec{E}$ et $\vec{B}$ par rapport à la direction de propagation définie par Oz ?

IV.1.2-L'axe Oz a pour vecteur unitaire $\vec{e}_z$ et pour origine O. Au niveau de la source $z = 0$

$\vec{E}(t) = E_0 \cos \omega(t) \vec{e}_x$ avec ω : pulsation de l'oscillateur égale aussi à la pulsation de l'onde émise.

On montre qu'à l'abscisse z on a : $\vec{E}(z,t) = E_0 \cos \omega(t - \frac{z}{c}) \vec{e}_x$ où c est la célérité de l'onde dans le vide.

D'après la théorie de Maxwell : $\vec{B} = \frac{1}{c}(\vec{e}_z \wedge \vec{E})$ où $\wedge$ est le signe du produit vectoriel.

IV.1.2.1-Donner l'expression de $\vec{B}$ au point M tel $OM = z$.

IV.1.2.2-En déduire que $\|\vec{E}\| = c\|\vec{B}\|$; c : célérité de la lumière.

On rappelle que $\vec{e}_z = \vec{e}_x \wedge \vec{e}_y$; $\vec{e}_y = \vec{e}_z \wedge \vec{e}_x$ et $\vec{e}_x = \vec{e}_y \wedge \vec{e}_z$

Comment évolue chacun des vecteurs $\vec{E}(z,t)$ et $\vec{B}(z,t)$ dans le temps et dans l'espace ?

IV.1.3 On définit dans la direction de propagation le vecteur $\vec{k} = k\vec{e}_z$; avec $\|\vec{k}\| = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\vec{k}$ est appelé vecteur d'onde. A partir de la figure 8 et des données ci-dessus retrouver les relations suivantes écrites sous la forme suivante : $\vec{k} \cdot \vec{E} = 0$; $\vec{k} \cdot \vec{B} = 0$; $\vec{k} \wedge \vec{E} = \omega \vec{B}$, $\vec{k} \wedge \vec{B} = -\epsilon_0 \mu_0 \omega \vec{E}$ pour une onde électromagnétique plane polarisée rectilignement se propageant dans le vide. On rappelle que μ_0 et ϵ_0 sont respectivement la perméabilité magnétique et la permittivité diélectrique du vide et que $\mu_0 \epsilon_0 c^2 = 1$.

En déduire que ces équations admettent que $k^2 = \mu_0 \epsilon_0 \omega^2$.



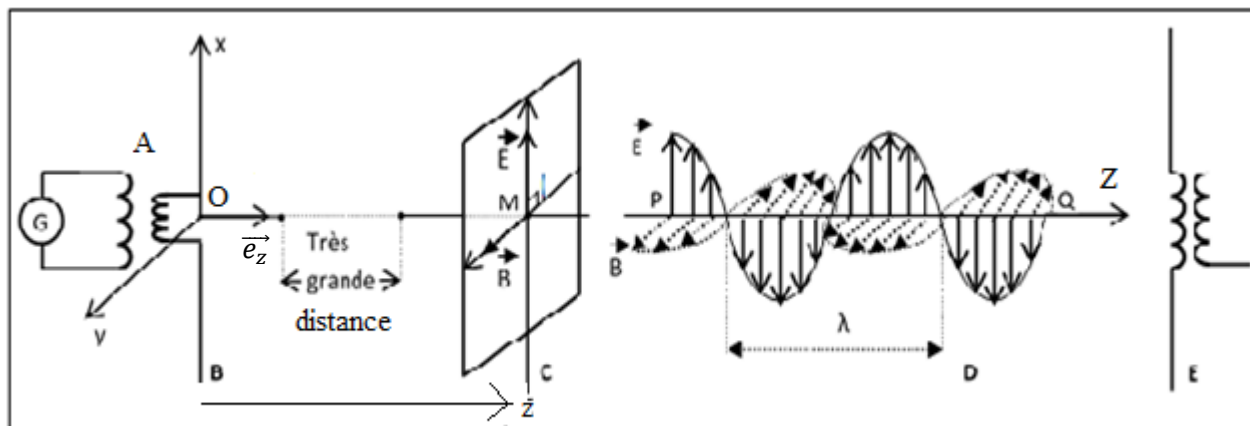


Figure 8

IV.2 Réception des ondes hertziennes

Exemple d'application de la réception d'onde électromagnétique : récepteur d'onde radio.

La figure 9 représente le schéma d'un très simple récepteur d'ondes hertziennes, qui peut donner des résultats corrects si on l'utilise au voisinage d'un émetteur assez puissant.

Son circuit oscillant comprend une petite bobine d'auto inductance L et un condensateur de capacité C dont la valeur va de 100 pF à 900 pF ($1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$). On néglige ici la résistance du circuit. On obtient une bonne réception quand la pulsation propre du circuit est égale à celle de l'émetteur.

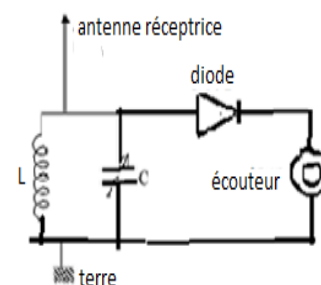


Figure 9

IV.2.1 Trouver la valeur qu'il faut donner à L pour recevoir une émission de fréquence 1,5 MHz ($1,5 \cdot 10^6 \text{Hz}$). La capacité du condensateur étant 100 pF

IV.2.2 Entre quelles valeurs limites est comprise la fréquence propre du circuit quand on fait varier la capacité du condensateur ?

IV.2.3 la bobine est constituée d'un fil de cuivre enroulé en spires jointives de rayon R sur un cylindre de $\ell = 2 \text{ cm}$, déterminer la longueur $\mathcal{L}$ du fil de cuivre nécessaire à la réalisation de cette bobine.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$: perméabilité du vide

IV.3 Utilisation de la modulation de fréquence lors de transmission de l'information par onde électromagnétique

Au cours du XX^{ème} siècle, les moyens techniques se sont considérablement améliorés, offrant aux Hommes des possibilités variées pour communiquer : téléphone, télécopie, radio, télévision, Internet... On peut transmettre une information à distance, en modulant l'amplitude, ou la fréquence d'une onde électromagnétique qui se propage d'un émetteur à un récepteur.

L'émetteur doit assurer la production de l'onde électromagnétique et sa modulation pour porter le signal informatif. Quant au récepteur, il doit être conçu pour démoduler l'onde et récupérer le signal informatif, fournissant du sens pour l'utilisateur.

L'onde qui permet de transporter le signal informatif par modulation est appelée onde porteuse. L'onde porteuse doit posséder une fréquence très supérieure à la plus grande fréquence du signal informatif transporté. Il y a plusieurs techniques de modulation. Parmi celles-ci, il y a la modulation de fréquence.

Dans le cas d'une modulation de fréquence nous maintenons l'amplitude de l'onde porteuse et nous faisons varier sa fréquence F en fonction du signal $u(t)$ que l'on désire transmettre soit : $F = F_0 + ku(t)$;

F_0 : fréquence de l'onde porteuse en l'absence du signal modulant et k est un multiplicateur

Considérons le cas où le signal à transmettre est un signal sinusoïdal $u(t) = u_m \cos 2\pi f t$

La porteuse est un signal de haute fréquence $f \ll F_0$ (voir figure 10).

La différence $F - F_0 = ku(t)$ est appelée excursion de fréquence, sa valeur maximale est $\Delta F = k \cdot u_m$. on définit l'indice de modulation $\beta = \frac{\Delta F}{f}$, β dépend de f ; f : fréquence du signal à transmettre



En modulation de fréquence, l'amplitude de la porteuse est constante, mais sa fréquence varie autour de la valeur F_0 en fonction de la fréquence f du signal $u(t)$ transmis : $F = F_0 + ku_m \cos 2\pi ft$

IV.3.1- Montrer que l'indice de modulation β peut aussi s'écrire $\beta = \frac{ku_m \cos 2\pi ft}{f}$ et $\beta_{\max} = \frac{ku_m}{f}$

IV.3.2- La figure 10 montre une modulation de fréquence

Les réglages de l'oscilloscope sont :

balayage : **0,2 ms.div⁻¹** ,

Tension modulée (liée à la porteuse) :

sensibilité **voie 1** : **2 V.div⁻¹**

Tension de commande (signal à transmettre) :

sensibilité **voie 2** : **0,5 V.div⁻¹**

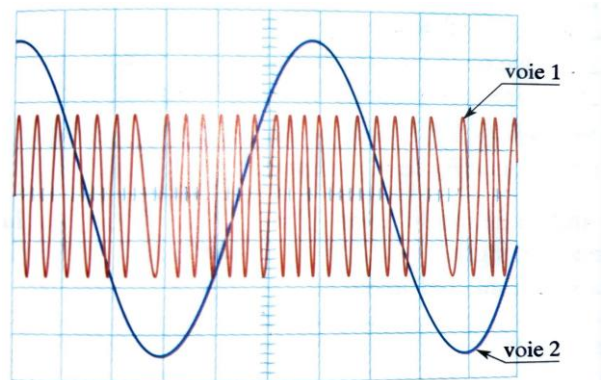


FIGURE 10

IV.3.2.1- De la courbe indiquée sur la voie 2 déterminer les paramètres u_m et f de la tension de commande et l'écrire sous la forme $u = u_m \cos 2\pi ft$

IV.3.2.2- Déterminer à partir de la courbe indiquée sur la voie 1, l'intervalle de temps le plus grand ($T_{\max}$) entre deux maximums de la tension modulée et en déduire la fréquence minimale $F_{\min}$ correspondante.

IV.3.2.3- Déterminer à partir de la courbe sur la voie 1 l'intervalle temps le plus petit ($T_{\min}$) entre deux maximums de la tension modulée et en déduire la fréquence maximale $F_{\max}$ correspondante.

IV.3.2.4- Indice de modulation

a)- A partir de l'expression $F = F_0 + ku_m \cos(2\pi ft)$, montrer que la fréquence de la porteuse F_0 est

$$F_0 = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \text{ et à partir des valeurs obtenues dans les questions précédentes calculer } F_0$$

b)- déterminer l'excursion $\Delta F = F_{\max} - F_0$ et la valeur de l'indice de modulation $\beta_{\max} = \frac{\Delta F}{f}$,

PARTIE V: Superposition de deux vibrations lumineuses – interférences lumineuses.

On dit qu'il y a interférences ou que deux ondes interfèrent lorsque l'intensité résultante de la superposition de deux ou plusieurs ondes n'est pas la somme de leurs intensités. Cependant historiquement ce phénomène, que l'on a parfois résumé de façon provocante par l'équation : « lumière + lumière = obscurité » a beaucoup surpris au point que l'on a parlé du « paradoxe d'interférences ». Ceci a permis d'établir la nature vibratoire de la lumière et de déterminer pour la première fois, grâce à Fresnel, l'ordre de grandeur d'une longueur d'onde optique.

Avec une source de lumière unique et un dispositif interférentiel (les miroirs de Fresnel, bi prisme de Fresnel les dispositifs d'Young, etc.) qui divise l'onde incidente issue de cette source en deux ou plusieurs ondes, après avoir parcouru des chemins différents, ces ondes en se superposant donnent des interférences.

On réalise les interférences lumineuses à partir du dispositif de Young schématisé ci-après :

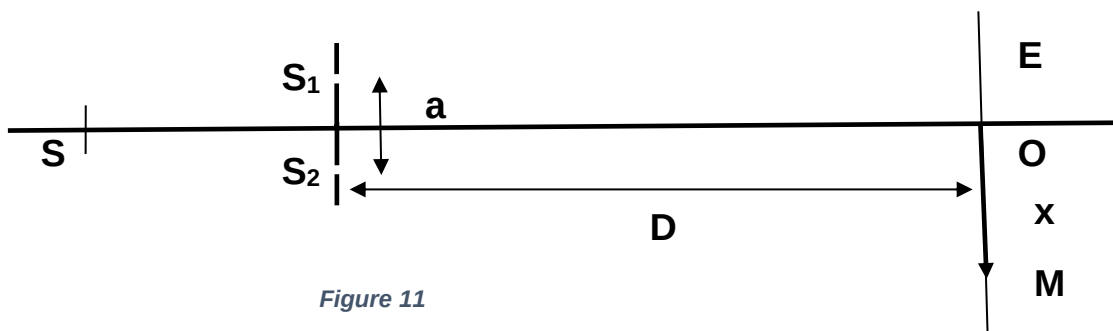


Figure 11

S est une fente source horizontale, S_1 et S_2 sont deux fentes qui lui sont parallèles, E est un écran placé parallèlement au plan de S_1 et S_2 et situé à la distance D de celui-ci. M est un point de l'écran d'abscisse x. On donne $S_1 S_2 = a$.

V.1- Lorsque la fente source est éclairée par une lumière monochromatique de longueur d'onde λ ; on admettra que les sources secondaires S_1 et S_2 émettent respectivement des vibrations telles que :

$$Y_{S1} = Y_{S2} = A \cos(\omega t).$$

Montrer que ces vibrations arrivent au point M en donnant :



$$Y_{S1}(M) = A \cos \omega \left(t - \frac{d_1}{c} \right) \text{ et}$$

$$Y_{S2}(M) = A \cos \omega \left(t - \frac{d_2}{c} \right).$$

C : célérité de propagation de la lumière. $d_1 = S_1M$; $d_2 = S_2M$.

Selon le principe de superposition, la vibration résultante en M est donnée par : $Y_S(M) = Y_{S1}(M) + Y_{S2}(M)$.

V.2 Expliquer qualitativement ce que l'on observe sur l'écran. Que peut-on dire des sources S_1 et S_2 ?

Quel est le caractère de la lumière mis en évidence dans la formation des interférences ?

V.3 En utilisant la construction de Fresnel ou par calcul montrer que la vibration résultante en M est donnée

$$\text{par : } Y(M) = 2A \cdot \cos \pi \left(\frac{d_1 - d_2}{\lambda} \right) \cdot \cos \left[\omega t - \frac{\pi}{\lambda} (d_1 + d_2) \right]$$

$$\text{On donne : } \cos p + \cos q = 2 \cos \left(\frac{p+q}{2} \right) \cos \left(\frac{p-q}{2} \right)$$

V.4 On appelle $\delta = d_1 - d_2$, la différence de marche des vibrations issues de S_1 et S_2 .

V.4.1 Exprimer δ en fonction de D , x et a . On fera les approximations nécessaires.

V.4.2 En déduire les positions des franges brillantes et celles des franges obscures.

Rappeler la définition de l'interfrange i et l'exprimer en fonction de λ , D et a

Calculer la longueur d'onde du rayonnement utilisé à la formation de ces interférences pour $D = 2,80 \text{ m}$,

$a = 1,50 \text{ mm}$ et $i = 1,00 \text{ mm}$, réponse le calcul donne $\lambda = 0,54 \mu\text{m}$

FIN DE SUJET

