CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION DE 2001

COMPOSITION DE PHYSIQUE-CHIMIE

(Classe de terminale S)

Durée : 5 heures
Calculatrice autorisée

Ce problème, composé de quatre parties, traite de divers aspects des phénomènes oscillants. La première partie aborde les oscillations linéaires, la deuxième les oscillations de relaxation. La troisième partie a pour objet d'établir une comparaison entre ces deux types d'oscillations. La quatrième et dernière partie montre, pour un système physique particulier, le passage des oscillations linéaires aux oscillations de relaxation.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

La plus grande importance sera donnée à la qualité de la rédaction et de la présentation.

Formulaire

- Pour $\theta << 1$ on a : $\sin\theta \simeq \theta$, $\cos\theta \simeq 1 - \dfrac{\theta^2}{2}$
- Pour $x << 1$ on a : $\sqrt{1+x} \simeq 1 + \dfrac{x}{2}$
- Les solutions de l'équation différentielle :

$$f''(t) + \omega^2 f(t) = 0$$

encore notée :

$$\frac{d^2 f}{dt^2} + \omega^2 f = 0$$

où f est une fonction du temps, sont de la forme : $f(t) = a\cos(\omega t + \phi)$

- $\cos p + \cos q = 2\cos(\dfrac{p+q}{2})\cos(\dfrac{p-q}{2})$
- $\cos p - \cos q = -2\sin(\dfrac{p+q}{2})\sin(\dfrac{p-q}{2})$

I. Oscillations linéaires

A. Oscillateur simple

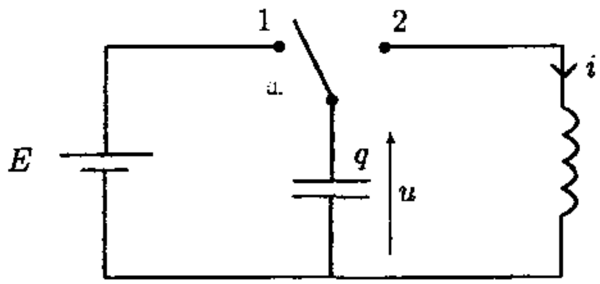
1. On considère un pendule simple constitué d'un fil de masse négligeable de longueur l au bout duquel un corps de masse m est accroché. L'accélération de la pesanteur a pour module g. Le point d'attache O est fixe dans le référentiel du laboratoire que l'on suppose galiléen. On suppose le fil inextensible. La position du fil est repérée par l'angle θ que fait ce dernier avec la verticale. On néglige les forces de frottements. Pour les applications numériques on prendra les valeurs : $l = 1{,}0\,m$, $g = 9{,}8\,m.s^{-2}$.
   a. Montrer à partir d'un argument dimensionnel que la période du pendule ne dépend pas de sa masse.
   b. Exprimer l'énergie cinétique E_c, l'énergie potentielle E_p (prendre l'origine de l'énergie potentielle à la position d'équilibre du pendule) et l'énergie mécanique en fonction de la variable θ. En déduire l'équation différentielle du second ordre liant $\theta(t)$ et $\theta''(t)$ (poser $\omega_0 = \sqrt{g/l}$).
   c. Dans le cas où l'angle θ est petit (ce point sera précisé plus loin), simplifier l'équation précédente. Le pendule est lâché sans vitesse initiale de la position où l'angle θ vaut θ_0. Déterminer l'expression de $\theta(t)$. Quelle est la période des oscillations du pendule ? Dépend-elle de l'amplitude des oscillations ?
   Qu'appelle-t-on isochronisme des petites oscillations ?
   d. A partir de l'équation simplifiée du mouvement, déterminer l'expression $E_{pl}(\theta)$ de l'énergie potentielle dans le cadre de l'hypothèse effectuée (introduire la quantité $E_0 = \frac{1}{2}mgl\theta_0^2$).
   Représenter alors sur un même graphe, pour les conditions initiales précédentes, les évolutions simultanées de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique.
   Que représente E_0 ? Commenter.
   Représenter l'allure de ces mêmes courbes dans le cas où l'on tiendrait compte des frottements de l'air sur la masse et le fil (ne pas effectuer de calculs). Commenter.
   e. On se propose de mesurer la période du pendule pour diverses valeurs de θ_0, la masse étant lâchée sans vitesse initiale. On dispose d'un chronomètre à déclenchement manuel. Pour quelle position du pendule faut-il déclencher ou arrêter le chronomètre ?
   L'expérimentateur mesure la durée de n oscillations du pendule pour chaque valeur de θ_0. Pourquoi expérimentalement est-il souhaitable de prendre n ni trop petit, ni trop grand ? La masse m doit-elle être choisie petite ou grande ? (préciser, sans faire de calcul, le sens de « petit » ou « grand »).
   Les valeurs des périodes d'oscillations T (données en s à $\pm 0{,}025\,s$) associées à θ_0 (en degrés) sont données dans le tableau suivant:

θ_0	10	20	30	40	50	60	70
T	2,01	2,02	2,04	2,07	2,11	2,15	2,21

   Déterminer à partir de ce tableau la valeur maximale de l'angle initial pour laquelle l'hypothèse d'isochronisme des oscillations est compatible avec les mesures. Commenter l'évolution de T en fonction de θ_0.

f. On note $E_{cl}(\theta)$ l'énergie cinétique dans le cadre de l'approximation des petits angles. Déterminer, pour $\theta \in]0, +\pi/2[$, le signe de $E_c - E_{cl}$. Avec quelle constatation expérimentale ce résultat est-il en accord?

2. On considère le circuit suivant contenant une pile de force électromotrice E. La bobine est supposée parfaite. Pour $t < 0$ l'interrupteur est en position 1, pour $t > 0$, l'interrupteur est en position 2.



a. On rappelle que :
   - l'énergie électrique W_e stockée dans un condensateur de capacité C est donnée par $W_e = \frac{1}{2}Cu^2$, où u est la tension aux bornes du condensateur.
   - l'énergie magnétique W_m stockée dans une bobine d'inductance L est donnée par $W_m = \frac{1}{2}Li^2$ où i est l'intensité du courant traversant la bobine.

   En déduire que la tension aux bornes d'un condensateur est continue et qu'il en est de même pour le courant traversant une bobine.

b. On se place à $t > 0$. Exprimer en fonction de la variable u (tension aux bornes du condensateur) l'énergie stockée dans le système constitué du condensateur et de la bobine. En déduire l'équation différentielle du second ordre liant $u(t)$ et $u''(t)$ (poser $\omega_c = 1/\sqrt{LC}$). Déterminer l'expression de $u(t)$ sachant que la charge du condensateur est complètement réalisée lorsque l'interrupteur est en position 1.

c. On note W_0 l'énergie du circuit LC juste après le passage de l'interrupteur en position 2. Donner à chaque instant, en faisant intervenir W_0, les expressions des énergies électrique W_e et magnétique W_m contenues dans le circuit constitué par le condensateur et la bobine. Représenter W_e et W_m en fonction du temps. Commenter.

d. Quelles sont, pour le pendule, les grandeurs analogues à W_e, W_m, W_0, q (charge du condensateur) et i?

3. On considère un tube en U, de section constante, contenant un liquide homogène incompressible et non visqueux sur une longueur l. Le diamètre intérieur du tube est considéré négligeable devant l.

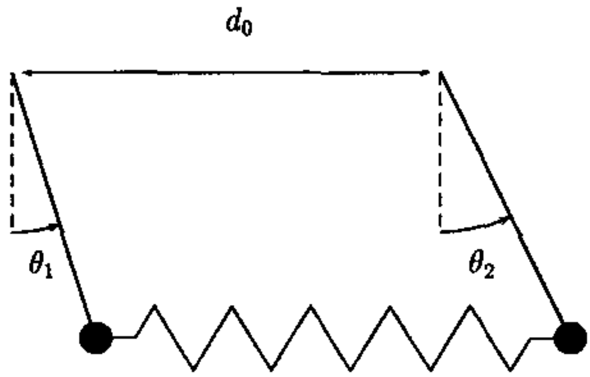
Tournez la page S.V.P.

a. Montrer qu'à l'équilibre les surfaces de séparation avec l'air sont au même niveau.

b. En partant d'une condition initiale où il y a déséquilibre, tous les points du liquide oscillent à chaque instant avec la même vitesse. Montrer, en utilisant une méthode basée sur l'énergie, que les oscillations sont sinusoïdales et calculer leur période en fonction de l et g.
Effectuer l'application numérique pour $l = 20\,cm$ et $g = 9{,}8\,m.s^{-2}$.

B. Deux oscillateurs couplés

Soient deux pendules, identiques à ceux de la partie précédente, couplés par un ressort de raideur k. Les positions des pendules sont repérées par les angles algébriques θ_1 et θ_2. On se limite au cas où les angles sont petits, on peut donc considérer le ressort comme horizontal. La distance séparant les deux points d'attache des pendules est égale à la longueur à vide du ressort notée d_0.



On pose $\Omega^2 = k/m$ et $\alpha = \Omega^2/\omega_0^2$ avec $\omega_0 = \sqrt{g/l}$.

1. a. Montrer que :

$$\left\{\begin{array}{lcl} \dfrac{d^2\theta_1}{dt^2} + \omega_0^2\theta_1 & = & -\Omega^2(\theta_1 - \theta_2) \\ \dfrac{d^2\theta_2}{dt^2} + \omega_0^2\theta_2 & = & \Omega^2(\theta_1 - \theta_2) \end{array}\right.$$

Proposer quatre vérifications simples qui peuvent être faites sur ces expressions.

b. Afin de résoudre le système précédent on considère les fonctions $u = \theta_1 + \theta_2$ et $v = \theta_1 - \theta_2$. Quelles sont, en fonction de ω_0 et α, les équations différentielles vérifiées par u et v ? En déduire alors l'expression la plus générale de $\theta_1(t)$ et $\theta_2(t)$.

c. On appelle mode propre une situation dans laquelle θ_1 et θ_2 varient sinusoïdalement dans le temps. Décrire le mouvement des pendules pour les deux modes propres possibles. Déterminer respectivement leur pulsation ω_+ et ω_- ($\omega_+ < \omega_-$) en fonction de ω_0 et α. Quel est le lien entre ces modes et la situation générale de la question b ?

2. Dans cette question on cherche à retrouver les pulsations de ces modes en utilisant seulement leur forme (oscillations en phase ou en opposition de phase).

   a. On s'intéresse au mode où θ_1 et θ_2 oscillent en phase. A partir de l'observation du mouvement, retrouver la pulsation de ce mode.

   b. On s'intéresse au mode où θ_1 et θ_2 oscillent en opposition de phase. Quel est le mouvement du milieu du ressort? En déduire la pulsation de ce mode.

3. On s'intéresse désormais à l'évolution du système à partir des conditions initiales suivantes:

$$\theta_1(0) = -\theta_0 \ (\theta_0 > 0), \ \frac{d\theta_1}{dt}(0) = 0, \ \theta_2(0) = 0, \ \frac{d\theta_2}{dt}(0) = 0$$

   a. Proposer un montage expérimental permettant d'imposer de telles conditions pour un opérateur qui n'utiliserait qu'une seule main. Pourquoi imposer une telle restriction?

   b. Etablir les expressions de $\theta_1(t)$ et $\theta_2(t)$ en fonction de θ_0, ω_+ et ω_- comme sommes de fonctions trigonométriques de phase nulle à l'origine des temps. Existe-t-il un mode plus excité que l'autre à partir de ces conditions initiales?

4. On considère que le couplage entre les deux pendules est faible, ce qui se traduit par $\alpha << 1$.

   a. Exprimer θ_1 et θ_2 sous la forme de produit de fonctions trigonométriques en faisant intervenir la petitesse du couplage.
   Représenter alors sur deux graphes différents mais juxtaposés l'allure des variations de θ_1 et θ_2 (remarquer que les pulsations intervenant dans les fonctions trigonométriques sont d'ordres de grandeur différents). Exprimer la périodicité T_B de l'enveloppe des oscillations de haute fréquence. Cette question met en évidence le phénomène de *battements*.

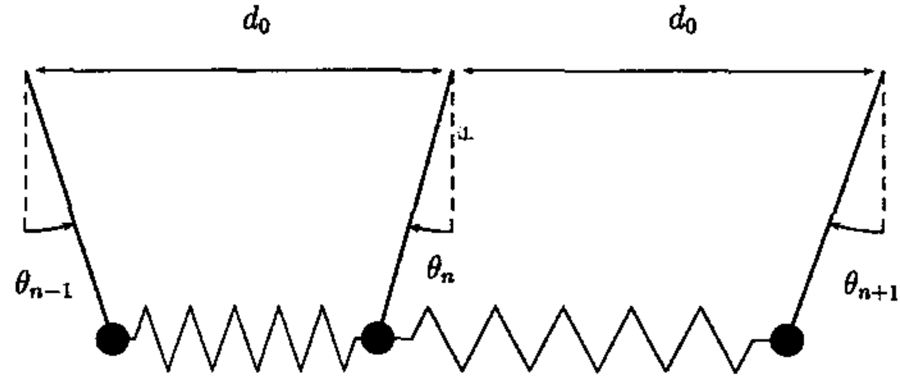
   b. On note E_0 l'énergie mécanique totale initiale dans le système. Donner en fonction de E_0, α et ω_0 les expressions de $E_1(t)$ et $E_2(t)$ qui sont respectivement les énergies mécaniques contenues dans le premier et le deuxième pendule. Montrer qu'il y a conservation de l'énergie. Etait-ce prévisible?

   c. Représenter sur un même graphe l'allure des variations temporelles de E_1 et E_2. Commenter. Pour un couplage tel que $\alpha = 0{,}01$ au bout de combien d'oscillations, à partir d'un état d'énergie maximale, un oscillateur se vide complètement de son énergie?

5. Imaginer un système électrique constitué de deux circuits LC couplés analogue au système mécanique précédent. Décrire par analogie les deux modes de ce circuit et déterminer à partir de leur forme leur pulsation en fonction des éléments introduits.

C. Infinité d'oscillateurs couplés

On considère une chaîne infinie de pendules couplés selon le schéma suivant:



Les pendules et les ressorts sont identiques à ceux de la partie précédente ; la distance séparant les points d'attache de deux pendules consécutifs est égale à la longueur à vide d_0 de chaque ressort. On se place toujours dans le cadre des petites oscillations : $\theta_n << 1$ pour tout n.

1. Etablir l'équation :

$$\frac{d^2\theta_n}{dt^2} + \omega_0^2\theta_n = \Omega^2(\theta_{n+1} - 2\theta_n + \theta_{n-1})$$

2. On considère un ébranlement mécanique sinusoïdal se propageant le long de la chaîne décrit par l'expression : $\theta_n(t) = \theta_0 \cos[\omega(t - nd_0/v)]$ où v est une constante.
   a. Montrer que $\theta_{n+p}(t) = \theta_n(t - t_0)$; déterminer t_0. En déduire le sens de propagation de cette onde ainsi que sa vitesse. Montrer que l'on peut écrire θ_n sous la forme $\theta_n(t) = \theta_0 \cos(\omega t - knd_0)$. Exprimer le nombre d'onde k en fonction de ω et v. Quelle est la périodicité temporelle T ? La périodicité spatiale λ ?
   b. Montrer que ω et k sont reliés par la relation, dite de dispersion :

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 4\Omega^2 \sin^2\left(\frac{kd_0}{2}\right)$$

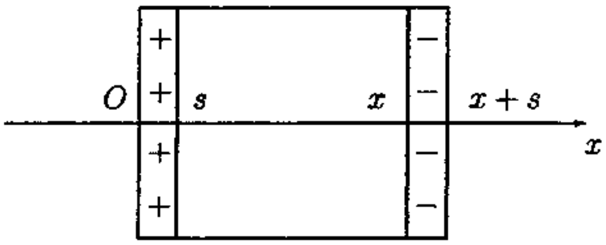
   Pour une valeur particulière de k que retrouve-t-on ? La vitesse de l'onde dépend-elle de sa longueur d'onde ? Dans quel autre domaine retrouve-t-on ce phénomène ?

3. On se place dans le cas où $kd_0 << 1$.
   a. Comparer la longueur d'onde de l'ébranlement à la distance d_0 qui sépare les deux pendules. L'onde « voit-elle » la chaîne de pendules comme un milieu discontinu ?
   b. Simplifier la relation de dispersion (poser $v_0 = \Omega d_0$).

L'équation obtenue est formellement identique à celle que l'on obtient dans différents domaines de la physique. On la retrouve notamment lors de l'étude de la propagation d'une onde électromagnétique dans un plasma. Les molécules des hautes couches de l'atmosphère (ionosphère) ionisées par le rayonnement du soleil forment un tel plasma. On modélise dans la suite ce milieu, globalement neutre, comme constitué d'électrons libres et de noyaux. Ces derniers, beaucoup plus lourds, sont considérés comme immobiles. On cherche à déterminer pour l'ionosphère les expressions de v_0 et ω_0.

On assimile localement le plasma à un milieu continu situé entre deux plans parallèles d'abscisses 0 et l selon un axe (Ox). Suite à une brève perturbation selon cet axe, les électrons se déplacent suivant un mouvement d'ensemble ; on étudie l'évolution ultérieure du « gaz d'électrons ». Les électrons situés à l'abscisse x à l'équilibre du plasma se trouvent à l'abscisse $x + s$ à l'instant t.

c. Montrer que la situation d'équilibre est décrite par le schéma suivant:



Expliquer qualitativement pourquoi les électrons oscillent lorsqu'il n'y a pas équilibre.

d. Le champ électrique créé entre les deux armatures d'un condensateur plan est donné par $E = \dfrac{q}{\epsilon_0 S}$ où q est la charge de l'une des armatures de section S et ϵ_0 la permittivité diélectrique du vide. A l'aide de ce résultat montrer que les électrons oscillent sinusoïdalement avec une pulsation, dite *pulsation de plasma*, telle que :

$$\omega_p^2 = \frac{ne^2}{m\epsilon_0}$$

où n, e $(e > 0)$ et m sont respectivement la densité volumique du nombre d'électrons, la charge élémentaire et la masse de l'électron. En déduire ω_0.

e. En considérant un plasma extrêmement dilué, en déduire v_0. Ecrire la relation de dispersion du plasma.

f. On observe expérimentalement que l'on ne peut pas communiquer avec les satellites pour des fréquences inférieures à $9\,MHz$. Pourquoi ? Déterminer numériquement n. Pourquoi les communications radio par les ondes dites longues ne nécessitent-elles pas de relais hertziens ?
Valeurs numériques : $m = 9{,}1.10^{-31}\,kg$, $e = 1{,}6.10^{-19}\,C$, $\epsilon_0 = 8{,}8.10^{-12} USI$.

Tournez la page S.V.P.

II. Oscillations de relaxation

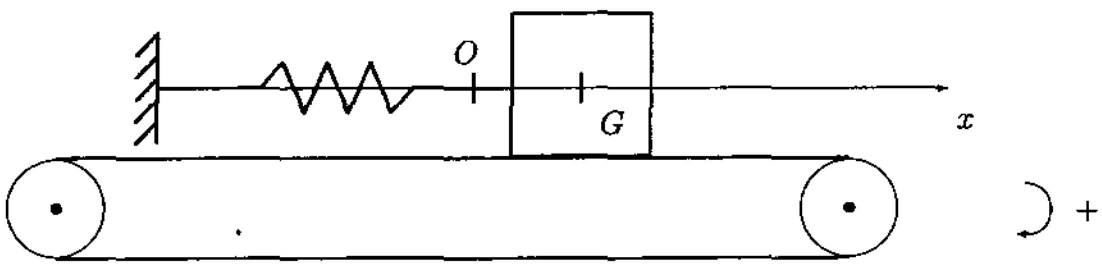
A. Chauffage d'une pièce

On s'intéresse dans cette question à la façon de maintenir une pièce à température constante. A l'aide d'un capteur de température associé à un dispositif de commande électrique, on alimente un radiateur en courant électrique dès que la température de la pièce descend en dessous de la valeur minimale $T_{min} = T_0 - \Delta T/2$ ($\Delta T = 1\,°C$). L'alimentation du radiateur est coupée dès que la température atteint la valeur maximale $T_{max} = T_0 + \Delta T/2$. De par la diffusion de chaleur à travers les murs, la pièce perd pendant une durée infinitésimale dt la quantité de chaleur $\delta Q = K(T - T_e)dt$ où $T_e = 8\,°C$ est la température extérieure, T la température de la pièce et K un coefficient constant. La capacité calorifique de la pièce est notée C. La puissance du radiateur électrique est $P = 1500\,W$.

1. On coupe le chauffage de la pièce initialement à la température $T_0 = 18\,°C$. Au bout de deux heures la température n'est plus que de $11\,°C$. Déterminer l'expression de la température entre ces deux dates en fonction de t, T_0, T_e et d'un facteur noté τ homogène à un temps et que l'on déterminera littéralement puis numériquement. Sachant que $K = 15\,W.K^{-1}$, déterminer C.
2. On considère maintenant que le dispositif de chauffage est alimenté depuis un certain temps : la température de la pièce oscille entre T_{min} et T_{max}. Calculer la durée d_r de refroidissement. Montrer que durant la phase de chauffage on peut considérer que la température varie linéairement avec le temps. En déduire la durée du chauffage ainsi que la période des oscillations de la température. Représenter graphiquement l'évolution de $T(t)$. Que devient l'énergie fournie par le radiateur au cours d'une période?

B. Oscillateur « stick-slip »

Lors de l'étude de mouvements de corps solides faisant intervenir des frottements secs et des forces de type élastique, on constate l'apparition de mouvements saccadés. Ce phénomène se rencontre lors de circonstances aussi diverses que le grincement des charnières, la mise en vibration des cordes d'un instrument à archet, les tremblements de terre. Un modèle très simple rendant compte de ce comportement est le suivant :



Un objet de masse m est posé sur un tapis roulant à une vitesse v constante par rapport au sol. Un ressort de raideur k est attaché à un point fixe par rapport au sol et à l'objet. Lorsque l'objet se déplace par rapport au tapis roulant, on considère les frottements comme négligeables (glissement sans frottement). Par contre, dans le cas où l'objet est immobile par rapport au tapis, la composante tangentielle T de la force de frottement, non nulle dans ce cas, est telle que : $T \leq f_s N$ où f_s est le coefficient de frottement statique et N la composante normale de la réaction du support. On suppose que l'objet reste toujours en contact avec le tapis. Le sens de rotation des cylindres entrainant le tapis est, par rapport à la figure, le sens des aiguilles d'une montre. On repère la position de l'objet par l'abscisse x de son centre d'inertie sur un axe (Ox) horizontal ; lorsque G est en O le ressort est au repos. On pose $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ et ν_0 la fréquence associée.

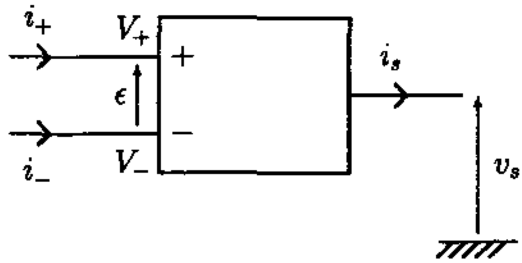
1. On considère l'objet initialement au repos et G en O. Déterminer l'abscisse x_1 et la date t_1 associée pour lesquelles il y a décrochage.
2. Quelle est la nature du mouvement de la masse peu après t_1 ? (ne pas résoudre d'équation). Déterminer par une méthode énergétique l'abscisse maximale atteinte par la masse en fonction de x_1, v et ω_0. A quelle condition peut-on considérer que $x_M \simeq x_1$? On suppose cette condition vérifiée dans la suite.
3. Montrer que la fréquence ν du mouvement de l'objet peut s'écrire:

$$\nu = \frac{2\pi^2 \nu_0^2 v}{g f_s}$$

Commenter cette formule par rapport aux grincements des portes mal huilées.

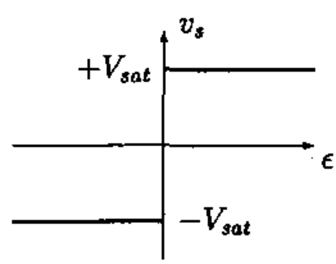
C. Oscillateur électrique

On se propose dans cette partie d'étudier le fonctionnement d'un oscillateur électrique dont la construction est basée sur l'emploi d'un composant couramment utilisé en électronique : l'amplificateur opérationnel.
Il s'agit d'un petit circuit intégré comportant deux entrées et une sortie, et dont le fonctionnement est assuré par une alimentation non représentée sur les schémas qui suivent.
On représente l'amplificateur opérationnel par le schéma suivant:



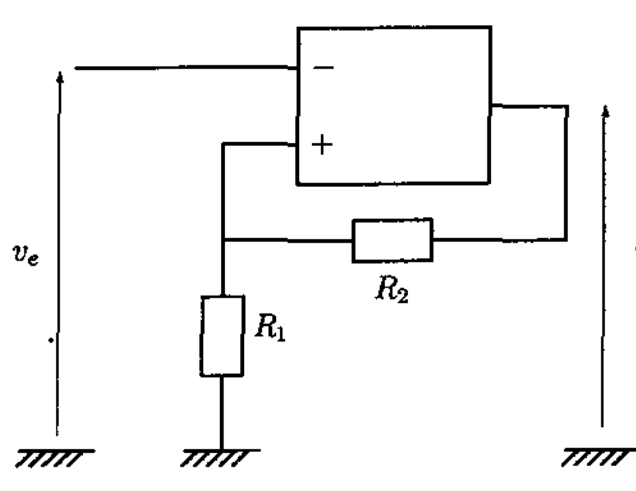
On adopte dans la suite la modélisation correspondant à un amplificateur opérationnel dit parfait :

- les courants d'entrée i_- et i_+ sont nuls (par contre i_s n'est pas nul en général et est fourni par l'alimentation).
- la tension de sortie v_s est une fonction de la différence $\epsilon = V_+ - V_-$ des potentiels V_+ et V_- des bornes d'entrées, dites respectivement non inverseuse (notée +) et inverseuse (notée −), selon le schéma suivant:



où V_{sat}, appelée tension de saturation, a une valeur constante.

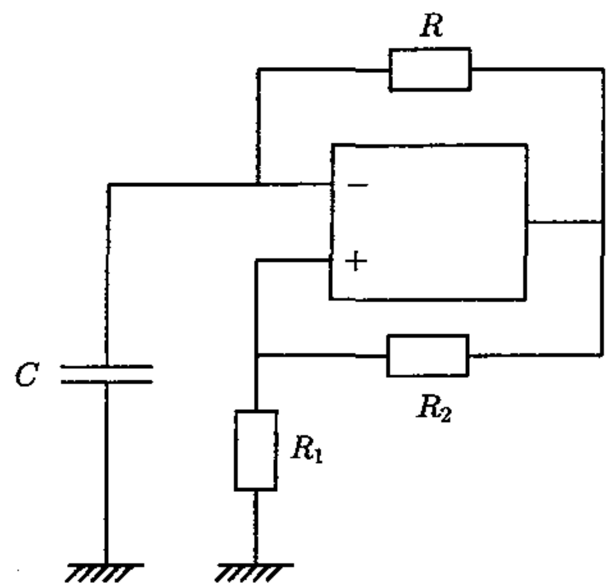
1. On considère le montage suivant:



a. Déterminer la relation entre ϵ, v_s et v_e. Montrer, en considérant une fluctuation de v_e que l'état ($\epsilon = 0, v_s = 0$), n'est pas un état stable. Quelle peut être une cause de fluctuation de v_e?

b. Déterminer sous la forme d'un graphique (v_s, v_e) la relation entre v_s et v_e (prendre soin de déterminer sur le graphe les sens de variation de v_e). Pourquoi peut-on dire d'un tel dispositif qu'il présente de la mémoire? Le phénomène décrit dans cette question est appelé *hystérésis*.

2. On considère le montage suivant:



a. Montrer que l'amplificateur opérationnel est toujours saturé (on pourra envisager une légère fluctuation de ϵ).

b. Décrire qualitativement le fonctionnement de ce circuit et montrer qu'il est le siège d'oscillations dues à des charges et décharges du condensateur.

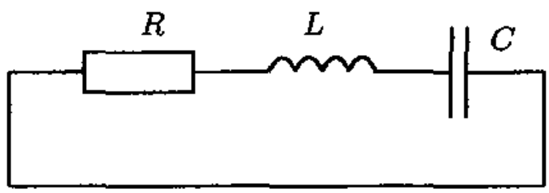
c. On se place dans le cas où un régime périodique s'est établi. Calculer les temps de charge et décharge du condensateur au cours d'une période. En déduire l'expression de la période des oscillations en fonction de R, C, R_1 et R_2.

III. Comparaison entre les oscillations linéaires et les oscillations de relaxation

Dégager, en s'inspirant des exemples du problème et sans omettre le point de vue énergétique, un certain nombre de critères de différentiation entre les oscillations linéaires et de relaxation.
Trouver un exemple de système oscillant non linéaire ne dissipant pas d'énergie.

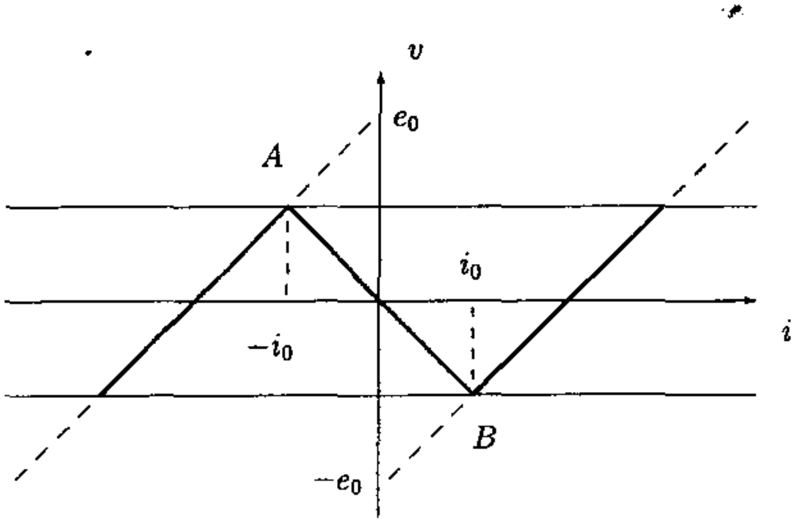
IV. Des oscillations linéaires aux oscillations de relaxation

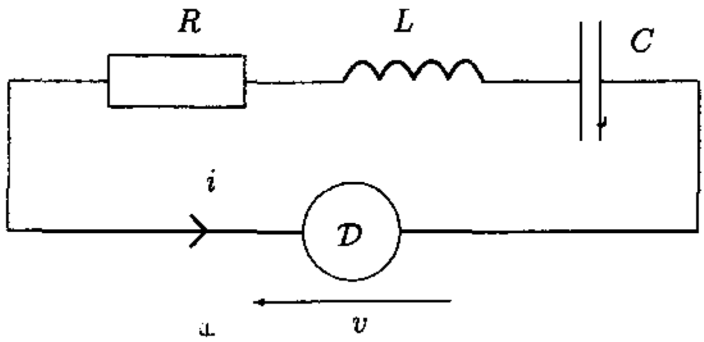
On considère le circuit RLC suivant:



où la résistance R tient compte de la résistance interne de la bobine. Les valeurs des composants sont telles qu'en régime libre on observe des oscillations pour tous les courants ou tensions définissables. Les réponses aux questions de cette partie ne nécessitent la résolution d'aucune équation différentielle.

1. Justifier la décroissance de l'amplitude des oscillations au cours du temps.
2. Afin d'entretenir les oscillations on utilise un dipôle $\mathcal{D}$, élaboré à partir de composants électroniques dont la caractéristique est donnée ci-dessous, ainsi que le circuit obtenu après connexion de $\mathcal{D}$ au circuit RLC.





On appelle D_1, D_2 et D_3 respectivement les domaines $i < -i_0$, $-i_0 \leq i \leq i_0$ et $i > i_0$. La pente positive des domaines D_1 et D_3 est notée R_p. La pente du domaine D_2 est notée $-R_n$. La caractéristique admet pour centre de symétrie l'origine du repère.

a. Donner dans chacun des trois domaines précédents une modélisation du dipôle $\mathcal{D}$ à l'aide de résistors ou générateurs de tension dont on donnera les expressions. Les trois dipôles obtenus sont notés $\mathcal{D}_1$, $\mathcal{D}_2$ et $\mathcal{D}_3$ (on pourra introduire la notion de résistance négative). Quelle est la puissance fournie par le dipôle $\mathcal{D}_2$ au circuit auquel il est connecté?

b. Quels sont les états d'équilibre pour (v, i) si on remplace $\mathcal{D}$ par $\mathcal{D}_1$ ou $\mathcal{D}_3$? Pourquoi, lorsque l'on remplace $\mathcal{D}$ par $\mathcal{D}_2$ (avec $R_p < R_n$) obtient-on des oscillations d'amplitude croissante?

c. Par quel argument peut-on affirmer que le point de fonctionnement (v, i) du circuit ne peut que se déplacer continûment sur la caractéristique? Démontrer que di/dt est continu.

d. Montrer qu'un point de fonctionnement dans le domaine $\mathcal{D}_1$ finira toujours par se retrouver en A au bout d'un certain temps.
De même pour $\mathcal{D}_3$ et le point B.

3. Quelle valeur faut-il donner à R_n pour obtenir des oscillations linéaires? Quelle est alors leur pulsation? Que se passe-t-il pour des valeurs de R_n inférieures?

4. On s'intéresse maintenant au comportement du système pour des valeurs de R_n supérieures à la valeur critique précédemment mise en évidence.

a. Montrer que le système est le siège d'oscillations non sinusoïdales.

b. Sur quelle partie de la caractéristique y-a-t-il stockage d'énergie dans la bobine et le condensateur? Pourquoi peut-on considérer qu'il y a un excédent d'énergie? Que devient cet excédent par la suite? En quoi a-t-on obtenu un oscillateur à relaxation?

FIN