

EXERCICE 1 : ODEUR FRUITÉE ET ARÔME SYNTHÉTIQUE (7 points)

Les parfums naturels, très chers car difficiles à extraire et à purifier, sont souvent remplacés par des produits chimiques synthétiques moins coûteux. Dans cet exercice, nous reproduirons l'odeur fruitée de la pomme par une réaction conduisant à la molécule de butanoate d'isoamyle.

On peut préparer le butanoate d'isoamyle (composé E) par action de l'acide butanoïque (A) sur l'alcool isoamylique (B).

Données :

Nom usuel	Formule semi-développée ou formule brute	Masse volumique (g.mL ⁻¹)	Masse molaire (g.mol ⁻¹)	Température d'ébullition (°C)
acide butyrique (A)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	0,963	88,0	162
alcool isoamylique (B)	$\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$	0,813	88,0	132
butanoate d'isoamyle (E)	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	0,866	158,0	178

Température d'ébullition de l'eau : 100°C

Les masses volumiques et les températures d'ébullition sont données dans les conditions expérimentales.

1. Étude de la transformation chimique

1.1. Donner le nom de l'acide (A) dans la nomenclature officielle.

1.2. À quelle famille de composés chimiques le butanoate d'isoamyle (E) appartient-il ?

1.3. En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de la réaction synthèse du butanoate d'isoamyle (E).

1.4. Quelles sont les caractéristiques de cette transformation chimique ?

2. Étude du protocole opératoire

Afin de préparer cet arôme, on introduit dans un ballon un volume $V_A = 11 \text{ mL}$ d'acide butyrique (A) et un volume $V_B = 13 \text{ mL}$ d'alcool isoamylique (B). On ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique et quelques grains de pierre ponce.

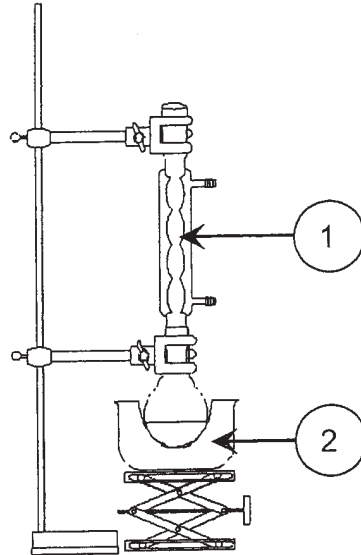
2.1. Le montage utilisé pour cette synthèse est représenté ci-contre.

2.1.1. Comment nomme-t-on ce type de montage ?

2.1.2. Donner le nom des éléments (1) et (2) du montage désignés sur la figure par les flèches.

2.1.3. Quels sont les deux intérêts d'un tel dispositif ?

2.2. Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?



3. Étude du rendement

La constante d'équilibre K associée à cette réaction a pour valeur 4,0.

3.1. État initial

3.1.1. Écrire l'expression du quotient de réaction $Q_{r,i}$ dans l'état initial de la transformation.

3.1.2. Justifier le sens d'évolution spontanée du système.

3.1.3. Calculer les quantités de matière initiales, respectivement notées $n(A)$ et $n(B)$ des réactifs mis en présence. Le mélange initial est-il équimolaire ?

3.1.4. Compléter numériquement le tableau d'évolution de l'annexe 1 à rendre avec la copie. On notera x l'avancement.

3.2. État final

3.2.1. À partir de l'expression littérale du quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,eq}$ et de la valeur de K , montrer que la valeur de l'avancement à l'équilibre noté x_{eq} est égale à 0,080 mol.

3.2.2. Exprimer puis calculer le taux d'avancement final τ de cette réaction.

3.2.3. Quelle masse de butanoate d'isoamyle (E) peut-on espérer recueillir en fin de réaction ?

4. Suivi cinétique

En utilisant un mode opératoire non détaillé ici, il est possible de suivre l'évolution de l'avancement au cours du temps pour le mélange réactionnel de volume $V = V_A + V_B$. Le graphique $x = f(t)$ obtenu est représenté sur l'**annexe 1 à rendre avec la copie**.

- 4.1. Donner la définition de la vitesse volumique de la réaction.
- 4.2. Comment cette vitesse évolue-t-elle au cours de la transformation ? Justifier à partir du graphique.
- 4.3. Peut-on considérer que la réaction est terminée au bout d'une heure ? Justifier.
- 4.4. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

5. Amélioration du rendement

Pour améliorer le rendement de cette synthèse, deux propositions sont avancées :

- a- Augmenter la température.
- b- Éliminer du mélange réactionnel par une distillation fractionnée l'espèce chimique dont la température d'ébullition est la plus faible.

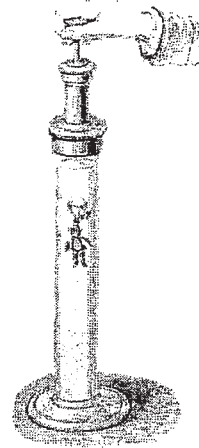
- 5.1. Pour chaque proposition, indiquer en justifiant si elle permet d'augmenter le rendement.
- 5.2. Le rendement de cette synthèse peut être nettement amélioré en remplaçant l'acide (A) par l'anhydride butanoïque.
 - 5.2.1. Donner la formule semi-développée de l'anhydride butanoïque.
 - 5.2.2. Nommer le produit qui se forme en plus du butanoate d'isoamyle lors de cette nouvelle synthèse.
 - 5.2.3. Donner les caractéristiques de cette réaction.

EXERCICE 2 : LE LUDION (5 points)

Le texte ci-dessous décrit le comportement d'un objet, communément appelé « ludion », plongé dans une colonne d'eau.

"Dans le liquide est une petite figure d'émail, soutenue par une boule de verre creuse qui contient de l'air et de l'eau... Cette boule est percée à sa partie inférieure, d'une petite ouverture par laquelle l'eau peut pénétrer ou sortir, selon que l'air intérieur de la boule est plus ou moins comprimé... Si l'on exerce avec la main une pression sur le piston comme le montre la figure, l'air qui est au-dessous se trouve comprimé et transmet la pression à l'eau du vase et à l'air qui est dans la boule...."

Texte et illustration provenant de : A. GANOT, Traité de Physique, Ed. Ganot, 1870.



1. Principe de fonctionnement

Au laboratoire, le ludion peut être réalisé à l'aide d'une bille (B) de verre de volume V_B , symbolisant la figurine solide, placée dans un ballon de baudruche (A) fermé et imperméable, renfermant de l'air de volume variable V_A ; le ludion a donc un volume V_L variable tel que $V_L = V_B + V_A$.

Il est placé dans une éprouvette cylindrique verticale (C), remplie d'eau sur une hauteur h très supérieure aux dimensions du ludion et fermée dans sa partie supérieure par une membrane souple imperméable (M).

Lorsque l'on n'appuie pas sur la membrane, le ludion est en équilibre en un point voisin de la surface de l'eau, (figure 1). Lorsque l'on appuie sur la membrane (M), on constate que le ludion tombe au fond de l'éprouvette (figure 2).

On se propose d'interpréter sommairement cette observation.

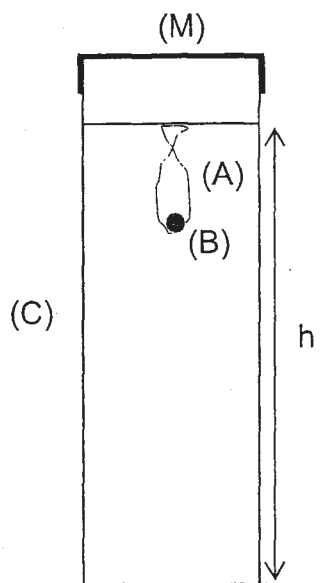


Figure 1

On appuie sur la membrane.

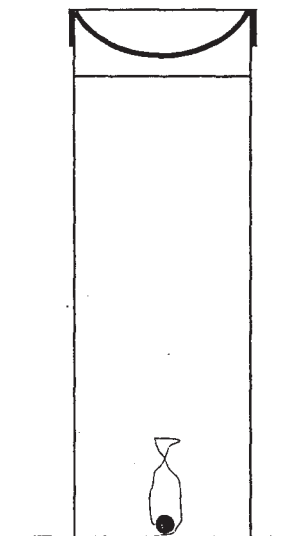


Figure 2

Données :

- Masse du ludion (bille + ballon + air dans le ballon) : $m_L = 6,8 \text{ g}$
- Volume de la bille : $V_B = 1,8 \text{ cm}^3$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$
- Équation d'état des gaz parfaits : $P V = n R T$; dans cette expression P est en Pascal (Pa), V en mètres cubes (m^3), n en moles (mol), T en Kelvin (K) et R est la constante des gaz parfaits ($\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).
- La température est constante et égale à 298 K .

1.1. Étude de l'équilibre

- 1.1.1. Faire l'inventaire des forces s'exerçant sur le ludion lorsque celui-ci est en équilibre.
- 1.1.2. Exprimer la valeur des différentes forces en fonction de m_L , ρ_{eau} , V_L , g .
- 1.1.3. Soit V_{A_1} le volume d'air enfermé dans le ballon lorsque le ludion est en équilibre. Établir son expression littérale en fonction de m_L , ρ_{eau} et V_B .
- 1.1.4. Calculer la valeur du volume d'air V_{A_1} .

1.2. Mise en mouvement du ludion

L'eau est supposée incompressible. La compression de la membrane augmente globalement la pression de l'eau sur l'air enfermé dans le ludion.

- 1.2.1. En considérant l'air comme un gaz parfait, indiquer l'évolution du volume d'air contenu dans le ludion après compression de la membrane.
- 1.2.2. Justifier alors que le ludion entame un mouvement vertical vers le bas.

2. Étude du mouvement du ludion

Pour étudier le mouvement du ludion, on se place dans le référentiel du laboratoire. On définit un axe vertical Oz dirigé vers le bas, le point O coïncide avec le centre d'inertie du ludion à l'instant de date $t = 0 \text{ s}$ (instant où le ludion débute sa descente) (figure 3).

On suppose que le ludion est soumis à une force de frottement s'exprimant sous la forme $\vec{f} = -k \vec{v}$ où \vec{v} est le vecteur vitesse du centre d'inertie de la bille et k le coefficient de frottement ($k = 1,6 \times 10^{-2} \text{ kg.s}^{-1}$).

On néglige la variation de pression avec la profondeur et on considère que la pression de l'eau sur l'air enfermé dans le ludion est la même quelle que soit l'ordonnée z du ludion.

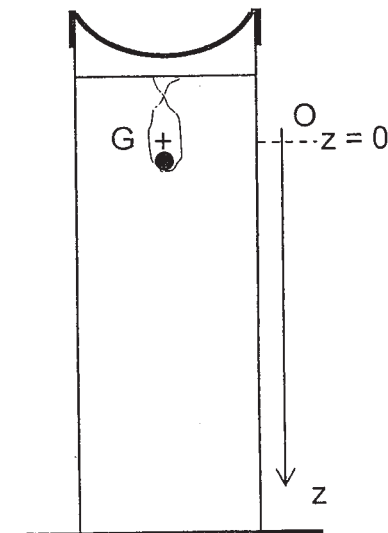


Figure 3

Le volume d'air du ludion est désormais $V_{A_2} = 4,8 \text{ cm}^3$ et est supposé constant sur l'ensemble de la descente.

2.1. Représenter, à l'aide d'un schéma, sans souci d'échelle, mais de façon cohérente, les forces s'exerçant sur le ludion en mouvement.

2.2. En appliquant la deuxième loi de Newton dans le référentiel du laboratoire, établir l'équation différentielle du mouvement du ludion.

2.3. Montrer que l'équation précédente est de la forme $\frac{dv}{dt} + A \cdot v = B$ en donnant l'expression de B en fonction de m_L , k , ρ_{eau} , g , V_B et V_{A_2} .

Vérifier que la constante $B = 0,29$ SI en précisant son unité.

2.4. On veut résoudre cette équation différentielle par une méthode numérique : la méthode d'Euler.

Le tableau suivant est un extrait d'une feuille de calcul des valeurs de la vitesse (v) et de l'accélération (a) du ludion en fonction du temps (t). Il correspond aux valeurs $A = 2,4 \text{ s}^{-1}$ et $B = 0,29$ SI.

t (s)	v (m.s ⁻¹)	a (m.s ⁻²)
0,00	0,00	0,29
0,10	0,03	0,22
0,20	0,05	0,17
0,30	0,07	0,13
0,40	0,08	a_4
0,50	v_5	0,07
0,60	0,10	0,06

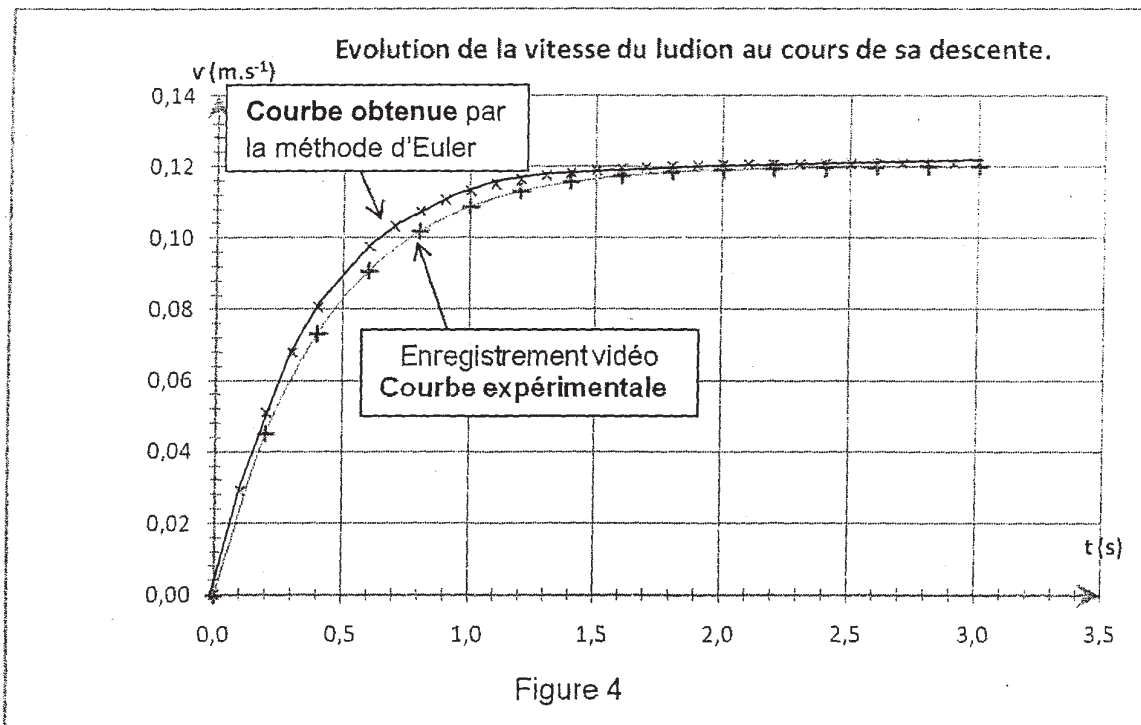
2.4.1. Quelle est la valeur du pas d'itération Δt choisi ?

2.4.2. Déterminer a_4 et v_5 en détaillant les calculs.

2.4.3. On a représenté sur le même graphique (voir figure 4 à la page suivante) les courbes d'évolution de la vitesse du ludion au cours du temps pendant sa descente obtenues, d'une part par pointage vidéo et traitement informatique, d'autre part la méthode d'Euler.

Sans conclure sur la validité du modèle utilisé pour la force de frottement, quel serait l'intérêt de diminuer le pas d'itération utilisé par la méthode d'Euler ?

2.4.4. Déterminer l'expression de la vitesse limite en fonction de A et B puis sa valeur. Vérifier qu'elle est en accord avec l'expérience.



EXERCICE 3 : MODULATION ET DÉMODULATION D'UN SON (4 points)

On se propose, dans cet exercice, d'étudier dans une première partie le son produit par deux cordes métalliques de longueurs différentes puis, dans une deuxième partie, la transmission et la réception d'un son par ondes hertziennes.

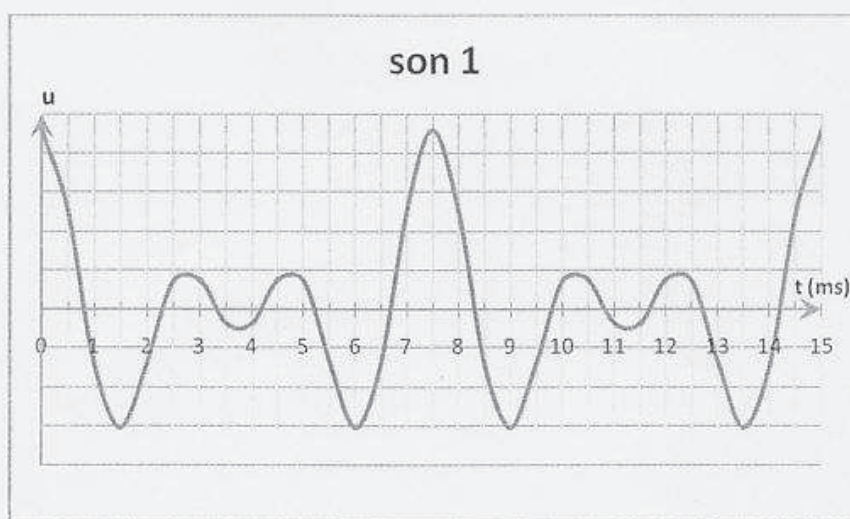
1. Etude des sons

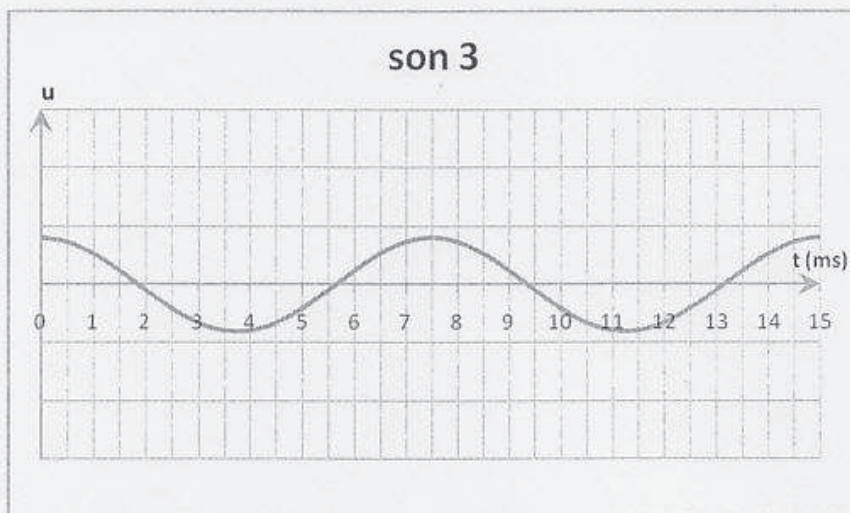
Quand on pince une corde métallique tendue entre 2 points reliés à une caisse de résonance, la note entendue est le résultat d'une suite de phénomènes physiques.

1.1. Identifier la chaîne des différents phénomènes physiques en classant dans l'ordre les propositions suivantes, depuis l'émission de la note jusqu'à sa perception :

- Mise en vibration de l'air de la caisse de résonance ;
- Propagation des vibrations de l'air jusqu'à l'oreille ;
- Mise en vibration du tympan ;
- Mise en vibration de la corde.

1.2. On a enregistré, à l'aide d'un microphone et d'un dispositif d'acquisition, le signal électrique $u(t)$ correspondant au son produit par chaque corde vibrante tendue (sons 1 et 2) et le son émis par un haut-parleur alimenté par un G.B.F (son 3). On a obtenu les courbes suivantes :



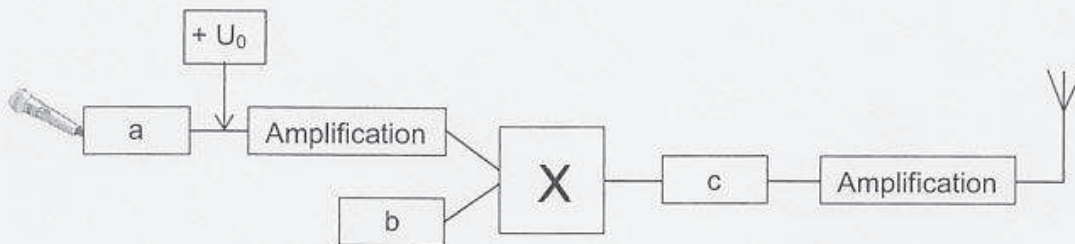


- 1.2.1. Quels sont, parmi les sons 1, 2 et 3 représentés ci-dessus, ceux qui comportent des harmoniques ?
- 1.2.2. Ces trois sons ont la même hauteur.
À quelle grandeur physique est associée la hauteur d'un son ? Calculer la valeur de cette grandeur commune aux trois sons étudiés.
- 1.2.3. Le son 1 et le son 2 ont-ils le même timbre ? Justifier.

2. Transmission du son 3

Pour pouvoir transmettre un signal sonore par ondes hertziennes, il est nécessaire de moduler la tension électrique délivrée par le microphone.

2.1. La chaîne nécessaire pour sa modulation est la suivante :



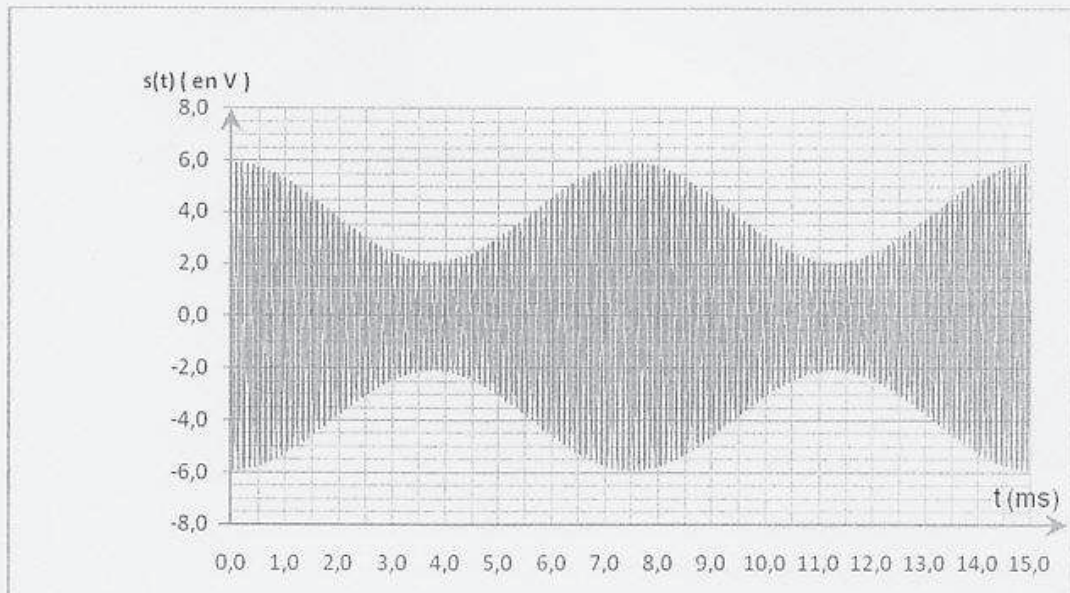
Au laboratoire, on souhaite utiliser cette chaîne pour transmettre le son 3 par modulation d'amplitude.

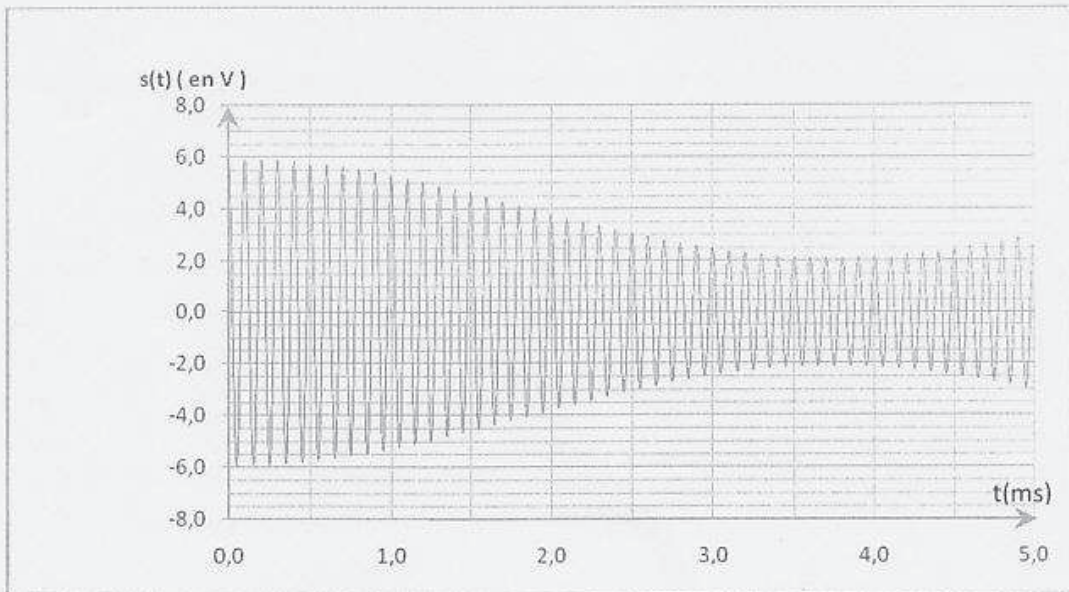
2.1.1. Parmi les propositions suivantes, attribuer l'adjectif correspondant à la nature des signaux désignés sur la figure par les lettres a, b et c :

- signal modulé,
- signal modulant,
- signal porteur.

2.1.2. Comment nomme-t-on le dispositif noté X ?

2.2. Le signal $s(t)$ obtenu en sortie du dispositif précédent est représenté sur les deux figures suivantes :



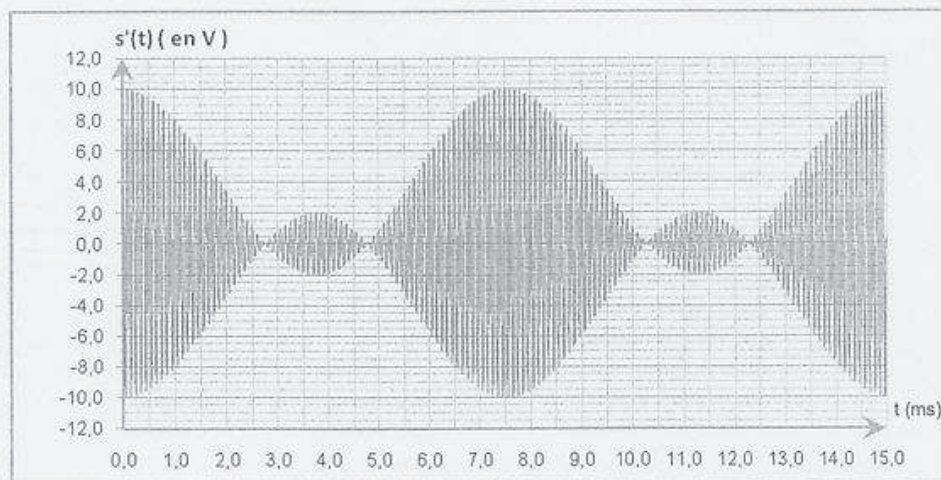


2.2.1. Expliquer pourquoi le signal modulé obtenu est en accord avec l'utilisation du son 3 comme tension modulante.

2.2.2. Déterminer la fréquence F de la porteuse.

2.2.3. Soit $m = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max} + S_{\min}}$ le taux de modulation. Déterminer sa valeur à l'aide de l'une des courbes précédentes.

2.3. Lorsqu'on intervient sur certains réglages, une nouvelle tension $s'(t)$ est obtenue comme l'indique la figure suivante.



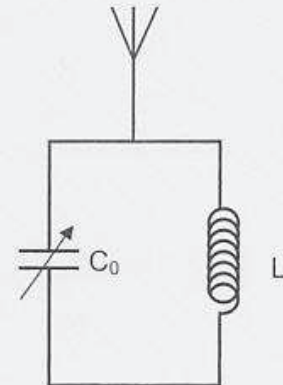
Comment nomme-t-on ce phénomène ?

3. Démodulation

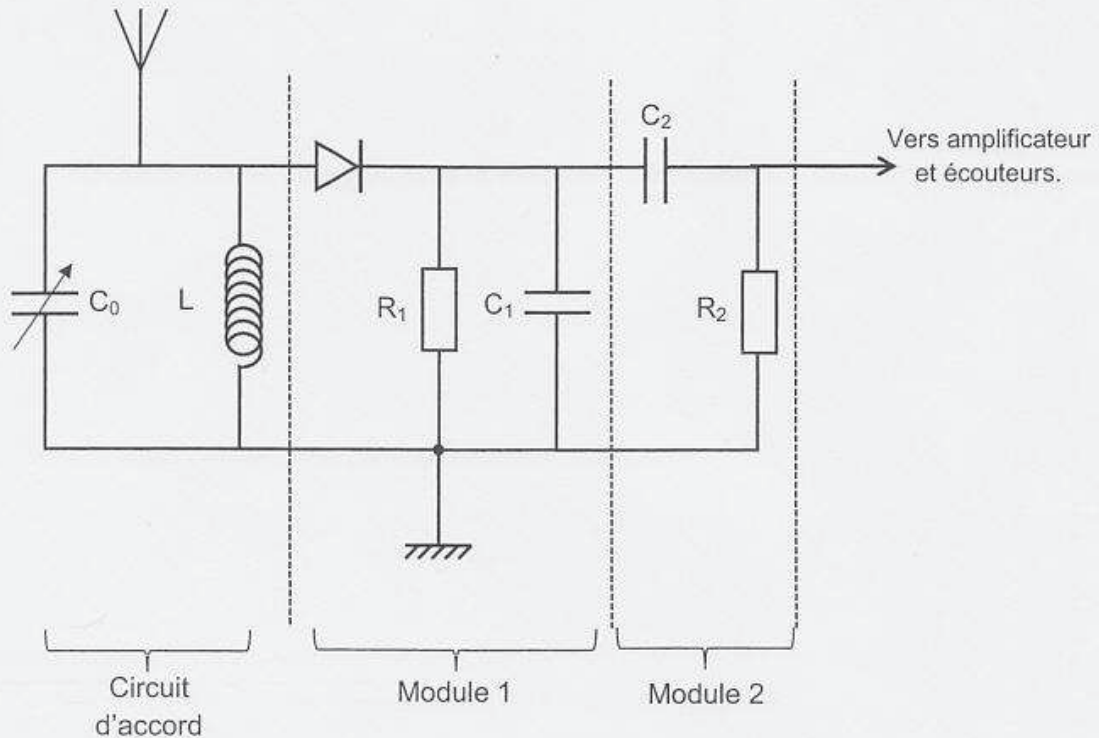
3.1. Pour capter le signal émis $s(t)$, l'antenne réceptrice est reliée à un circuit d'accord oscillant LC représenté sur le schéma ci-contre.

3.1.1. Quelle doit être la fréquence propre f_0 de ce circuit pour une bonne réception ?

3.1.2. Sachant que l'on utilise une bobine d'inductance $L = 2,0 \text{ mH}$, quelle doit être la valeur de la capacité du condensateur pour une bonne réception ?



3.2. Le circuit de démodulation, placé derrière le circuit d'accord, est constitué de deux modules, comme l'indique le schéma suivant.



Pour chacun des modules 1 et 2, indiquer leur nom et leur rôle dans la démodulation du signal $s(t)$.

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

Exercice 1 : Odeur fruitée et arôme synthétique

Question 3.1.4. : Tableau d'avancement à compléter

Équation de la réaction		A	+	B	=	E	+
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)						
État initial	0							
État intermédiaire	x							
État final	$x_{\text{éq}}$							

Question 4. : Détermination de $t_{1/2}$.

