Corrigé complet — Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Fleur des fleurs** Estérification · Chauffage à reflux · Catalyseur · Couple acide-base et pKa · Titrage colorimétrique · Rendement d'une synthèse	6,5 pts	1 h 18	23 questions	p. 2
Ex 2	**Aspect énergétique d'un système {solide-ressort}** Force de rappel d'un ressort · Deuxième loi de Newton · Équation différentielle d'un oscillateur · Travail d'une force variable · Énergie potentielle élastique · Énergie mécanique et frottements	5,5 pts	1 h 05	17 questions	p. 7
Ex 3	**La physique au service de l'acoustique des théâtres antiques** Onde mécanique progressive · Longueur d'onde, célérité, fréquence · Ultrasons · Milieu dispersif · Écho et retard · Onde transversale	4 pts	52 min	19 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Émission et réception des ondes électromagnétiques** Oscillateur LC entretenu · Modulation d'amplitude · Taux de modulation et surmodulation · Circuit d'accord · Détection d'enveloppe · Constante de temps RC	4 pts	52 min	17 questions	p. 16

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Fleur des fleurs

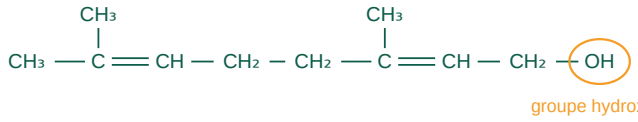
Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Écrire les formules semi-développées du géraniol (B) et de l'éthanoate de géranyle (E). Entourer et nommer les groupes caractéristiques présents.

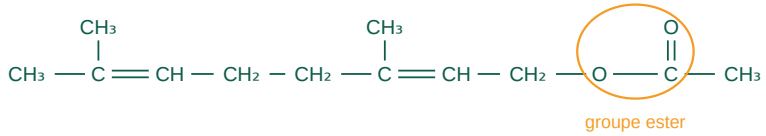
Chaque sommet ou extrémité de la formule topologique est un atome de carbone, complété par des H jusqu'à quatre liaisons (voir figure).

B porte un groupe **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$; E porte un groupe **ester** $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}^-$.

Géraniol (B)



Éthanoate de géranyle (E)



1.1 · Formules semi-développées et groupes caractéristiques

PIÈGE
« Alcool » et « ester » sont des noms de familles. Le groupe de l'alcool s'appelle hydroxyle. Pour l'ester, entourer le carbone et ses deux oxygènes, pas seulement $\mathrm{C}=\mathrm{O}$.

MÉTHODE
Vérifier la formule semi-développée en recomptant les atomes : on doit retrouver $\mathrm{C_{10}H_{18}O}$ pour B et $\mathrm{C_{12}H_{20}O_2}$ pour E.

1.2 Donner le nom et la formule semi-développée de l'acide carboxylique AH utilisé pour la synthèse.

Le nom de l'ester commence par « éthanoate » : cette partie vient de l'acide, qui possède donc deux atomes de carbone.

AH est l'**acide éthanoïque**, de formule $\mathrm{CH_3-COOH}$.

MÉTHODE
Dans « alcanoate d'alkyle », le premier mot désigne la chaîne de l'acide carboxylique, le second celle de l'alcool (ici le géraniol).

1.3 À l'aide des notations simplifiées du tableau, écrire l'équation de la réaction de synthèse de l'éthanoate de géranyle.

L'alcool B réagit avec l'acide AH pour donner l'ester E et de l'eau :

$$\mathrm{C_{10}H_{17}OH + CH_3-CO-OH \rightleftharpoons C_9H_{15}CH_2-O-CO-CH_3 + H_2O}$$

COMPRENDRE
$\mathrm{C_{10}H_{17}OH}$ et $\mathrm{C_9H_{15}CH_2-OH}$ désignent la même molécule. Le H de l'alcool et le groupe OH de l'acide forment la molécule d'eau.

1.4 Comment se nomme ce type de réaction ?

Un acide carboxylique et un alcool donnent un ester et de l'eau.

C'est une **estérification**.

1.5 Que peut-on dire de la cinétique de la transformation associée à cette réaction ?

La transformation est **lente** : sans chauffage ni catalyseur, elle demande plusieurs semaines à température ambiante.

PIÈGE
La question porte sur la cinétique : répondre « limitée » décrit l'état final, pas la vitesse. Ici, même chauffé, le mélange a besoin de 55 minutes.

1.6 Quel est l'intérêt d'un chauffage à reflux ?

Chauffer élève la température, facteur cinétique : la transformation est accélérée. Les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le ballon.

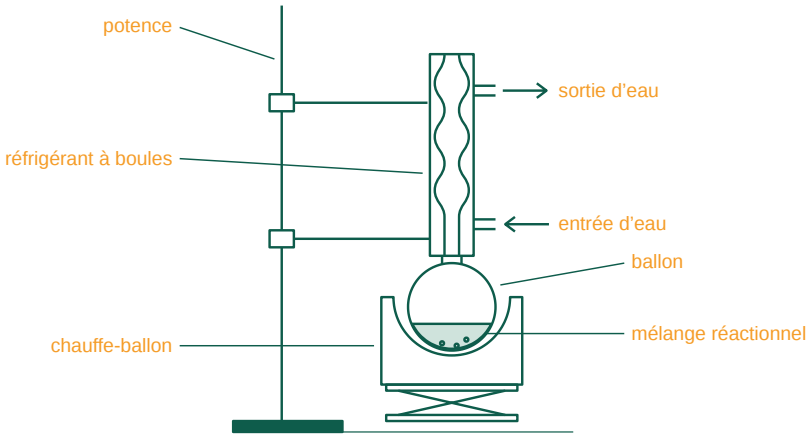
Le chauffage à reflux accélère la transformation **sans perte de matière**.

PIÈGE
Deux idées sont attendues : « chauffage » (accélérer) et « reflux » (ne rien perdre). Une seule ne rapporte que la moitié des points.

1.7 Compléter le montage joint en annexe.

Légendes : potence, réfrigérant à boules, sortie d'eau (en haut), entrée d'eau (en bas), ballon, mélange réactionnel, chauffe-ballon.

COMPRENDRE
L'eau entre par le bas du réfrigérant pour qu'il reste entièrement rempli. Le support élévateur, sous le chauffe-ballon, permet d'arrêter le chauffage rapidement.



1.7 · Annexe complétée : montage de chauffage à reflux

1.8 Quel est le rôle de l'acide sulfurique dans le protocole de cette synthèse ?

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il accélère la réaction sans figurer dans son équation.

PIÈGE
Un catalyseur ne change pas l'état final : il ne modifie ni le taux d'avancement ni le rendement. Cette idée sert à la question 3.8.

2.1.1 Écrire l'équation de la réaction entre l'acide carboxylique AH(aq) et l'eau.

L'acide AH cède un ion $\mathrm{H^+}$ à l'eau, base du couple $\mathrm{H_3O^+}$ / $\mathrm{H_2O}$:

$$\mathrm{AH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$$

2.1.2 En déduire l'expression de la constante d'acidité K_a du couple $\mathrm{AH\,(aq)}$ / $\mathrm{A^-\,(aq)}$ à l'équilibre.

$$K_a = \frac{[\mathrm{A^-}]_{\text{éq}} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{AH}]_{\text{éq}}}$$

COMPRENDRE
L'eau, solvant, n'apparaît pas dans l'expression. Les concentrations sont celles de l'équilibre, exprimées en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; K_a est sans unité.

2.1.3 Donner l'expression du $\mathrm{p}K_a$ en fonction de K_a.

$$\mathrm{p}K_a = -\log K_a$$

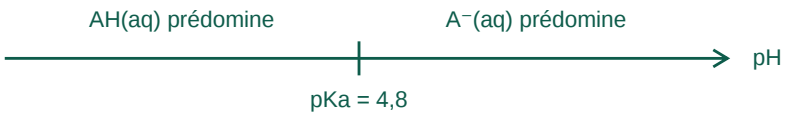
COMPRENDRE
Relation réciproque : $K_a = 10^{-\mathrm{p}K_a}$. Ici $K_a = 10^{-4{,}8}$.

2.1.4 Sachant que $\mathrm{p}K_a = 4{,}8$, tracer le diagramme de prédominance du couple $\mathrm{AH\,(aq)\ /\ A^-\,(aq)}$.

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, l'acide AH prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, c'est la base $\mathrm{A^-}$.

Axe gradué en pH, frontière à $\mathrm{pH} = 4{,}8$: AH à gauche, $\mathrm{A^-}$ à droite.

MÉTHODE
L'acide prédomine toujours du côté des pH faibles (milieu acide). À $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a$, les deux espèces ont la même concentration.



2.1.4 · Diagramme de prédominance du couple AH/A⁻

2.1.5 Le pH d'une solution aqueuse d'acide carboxylique AH vaut 5,9. Quelle est l'espèce prédominante du couple à cette valeur de pH ?

Données utiles $\mathrm{p}K_a = 4{,}8$

$\mathrm{pH} = 5{,}9 > \mathrm{p}K_a = 4{,}8$.

L'espèce prédominante est la base $\mathrm{A^-\,(aq)}$.

2.2.1 Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

L'acide AH réagit avec les ions hydroxyde, base du couple $\mathrm{H_2O\ /\ HO^-}$:

$$\mathrm{AH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

COMPRENDRE
Une réaction de titrage est totale et rapide, d'où la flèche simple. Les ions $\mathrm{Na^+}$, spectateurs, ne s'écrivent pas.

2.2.2 Montrer que la quantité de matière d'acide carboxylique dans le mélange à titrer vaut $n_{AH_t} = 1{,}7 \times 10^{-2}$ mol.

Données utiles $C_S = 1{,}0\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_{\text{Éq}} = 17{,}0\ \mathrm{mL}$

À l'équivalence, l'acide et les ions hydroxyde ont été apportés en proportions stœchiométriques (un pour un) :

$n_{AH_t} = n_{\mathrm{HO^-\ versé}} = C_S \times V_{\text{Éq}}$

$n_{AH_t} = 1{,}0 \times 17{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}7 \times 10^{-2}$ mol

$n_{AH_t} = 1{,}7 \times 10^{-2}$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Laisser $V_{\text{Éq}}$ en mL donne 17 mol. Convertir : $17{,}0\ \mathrm{mL} = 17{,}0 \times 10^{-3}$ L.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : C_S n'en a que deux, le résultat aussi. La soude dose aussi les quelques gouttes d'acide sulfurique : leur quantité est négligée.

3.1 Calculer la quantité de matière initiale n_{B0} du réactif B.

Données utiles $m_B = 7{,}7$ g ; B : $\mathrm{C_{10}H_{18}O}$; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0$, $M(\mathrm{C}) = 12{,}0$, $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; aide au calcul : $\dfrac{7{,}7}{154} = 0{,}05$

$M(B) = 10 \times 12{,}0 + 18 \times 1{,}0 + 16{,}0 = 154{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

$$n_{B0} = \frac{m_B}{M(B)} = \frac{7{,}7}{154{,}0}$$

$n_{B0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol

MÉTHODE
Sans calculatrice, chercher le quotient dans l'aide au calcul. Sinon : $154 = 7{,}7 \times 20$, donc $\dfrac{7{,}7}{154} = \dfrac{1}{20}$.

3.2 Comparer n_{AH0} et n_{B0}. Que peut-on en déduire ?

Données utiles $n_{AH0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol ; $n_{B0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol (3.1)

$n_{AH0} = n_{B0}$, et l'équation fait réagir une mole de AH avec une mole de B.

Le mélange initial est **stœchiométrique** (équimolaire) : aucun réactif n'est en excès.

3.3 Compléter littéralement le tableau d'avancement correspondant à la synthèse de E.

Tous les nombres stœchiométriques valent 1 : chaque réactif perd x mol, chaque produit en gagne x (voir tableau).

État final : $n_{AH0} - x_f$; $n_{B0} - x_f$; x_f ; x_f.

PIÈGE
« Littéralement » : aucune valeur numérique dans le tableau. L'eau est un produit et non le solvant : sa colonne se remplit comme celle de l'ester.

Équation de la réaction		AH	+	B	=	E	+	H_2O
État du système	Avancement en mol	Quantités de matière en mol						
État initial	0	n_{AH0}		n_{B0}		0		0
État intermédiaire	x	$n_{AH0} - x$		$n_{B0} - x$		x		x
État final	x_f	$n_{AH0} - x_f$		$n_{B0} - x_f$		x_f		x_f

3.3 · Annexe complétée : tableau d'avancement

3.4 Déterminer l'avancement final x_f de cette réaction.

Données utiles $n_{AH0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol ; acide restant $n_{AH_t} = 1{,}7 \times 10^{-2}$ mol (2.2.2)

L'acide titré est celui qui reste à l'état final : $n_{AH_t} = n_{AH0} - x_f$, donc

$x_f = n_{AH0} - n_{AH_t} = 5{,}0 \times 10^{-2} - 1{,}7 \times 10^{-2}$

$x_f = 3{,}3 \times 10^{-2}$ mol

COMPRENDRE
Le titrage mesure ce qui n'a pas réagi ; la différence avec la quantité initiale donne ce qui a été transformé, donc la quantité d'ester formé.

3.5 Déterminer l'avancement maximal x_{max} de cette réaction.

Données utiles $n_{AH0} = n_{B0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol

Si la transformation était totale, les deux réactifs, en proportions stœchiométriques, seraient entièrement consommés : $n_{B0} - x_{max} = 0$.

$x_{max} = n_{B0} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol

3.6 Définir et calculer le taux d'avancement final τ de cette réaction.

Données utiles $x_f = 3{,}3 \times 10^{-2}$ mol (3.4) ; $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol (3.5)

Le taux d'avancement final est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{3{,}3 \times 10^{-2}}{5{,}0 \times 10^{-2}} = \frac{6{,}6}{10}$$

$\tau = 0{,}66$, soit 66 %.

COMPRENDRE
$\tau < 1$: la transformation est limitée. On retrouve la valeur classique d'environ deux tiers pour un alcool primaire en mélange équimolaire.

MÉTHODE
Sans calculatrice, diviser par 5 revient à multiplier par 2 puis diviser par 10 : $3{,}3 \div 5{,}0 = 6{,}6 \div 10$.

3.7 Après l'avoir défini, déterminer le rendement de la synthèse.

Données utiles $x_f = 3{,}3 \times 10^{-2}$ mol (3.4) ; $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol (3.5)

Le rendement est le quotient de la quantité d'ester obtenue par la quantité maximale que donnerait une transformation totale :

$$\eta = \frac{n_{E,\text{obtenu}}}{n_{E,\text{max}}} = \frac{x_f}{x_{max}} = \tau$$

$\eta = 0{,}66$, soit 66 %.

COMPRENDRE
Rendement et taux d'avancement coïncident ici, car on suppose que tout l'ester formé est récupéré. En pratique, le traitement fait perdre un peu de produit.

3.8 Choisir, en justifiant, la ou les propositions qui permettraient d'obtenir un meilleur rendement : a. un réactif en excès ; b. davantage d'acide sulfurique ; c. l'anhydride d'acide à la place de AH ; d. ajouter de l'eau distillée.

- **a. Oui.** Un excès d'un réactif déplace l'équilibre dans le sens direct : le réactif limitant est davantage consommé.
- **b. Non.** Le catalyseur accélère la réaction mais ne modifie pas l'état final.
- **c. Oui.** Avec l'anhydride éthanoïque, il ne se forme pas d'eau : l'hydrolyse de l'ester est impossible, la transformation est totale.
- **d. Non.** L'eau est un produit : en ajouter favorise le sens inverse (hydrolyse de l'ester).

Propositions retenues : **a** et **c**.

MÉTHODE
Pour améliorer un rendement limité par un équilibre : mettre un réactif en excès, éliminer un produit au fur et à mesure, ou changer de réactif pour une transformation totale.

Aspect énergétique d'un système {solide-ressort}

Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

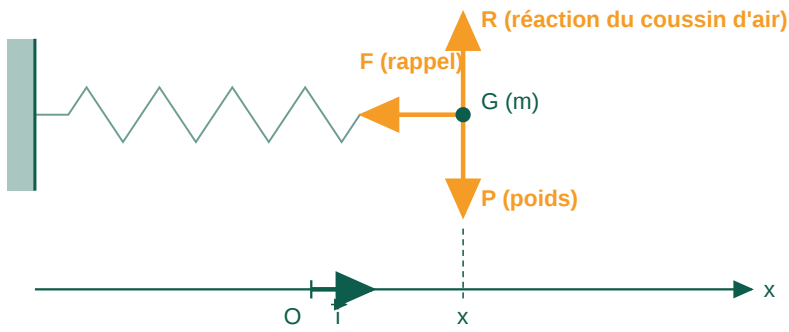
1.1 Faire l'inventaire des forces exercées sur le mobile et les représenter, sans souci d'échelle, sur la figure 1 recopiée.

Système : le mobile, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Il est soumis à trois forces :

- son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la réaction $\vec{R}$ du coussin d'air, verticale, vers le haut (pas de frottement) ;
- la force de rappel $\vec{F}$ du ressort, horizontale, dirigée vers O.

Trois forces : $\vec{P}$, $\vec{R}$ et $\vec{F}$, toutes appliquées en G (schéma ci-dessous).

PIÈGE
Ajouter une force « de lancement » ou une force de frottement. Une fois lâché, le mobile ne subit que ces trois forces, et l'énoncé néglige les frottements.



1.1 · Figure 1 recopiée avec les trois forces (cas $x > 0$, ressort étiré)

1.2 Rappeler l'expression vectorielle de la force de rappel $\vec{F}$ du ressort en fonction de k, x et $\vec{i}$.

$$\vec{F} = -k\,x\,\vec{i}$$

COMPRENDRE
Le signe « $-$ » traduit le rappel : si $x > 0$ (ressort étiré) la force est selon $-\vec{i}$, si $x < 0$ (ressort comprimé) elle est selon $+\vec{i}$. Elle ramène toujours G vers O.

1.3 En appliquant la seconde loi de Newton au mobile, établir l'équation différentielle du mouvement.

Dans le référentiel terrestre galiléen, la seconde loi de Newton appliquée au mobile de masse m constante s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$$

$\vec{P}$ et $\vec{R}$ sont verticales : leur coordonnée sur l'axe Ox est nulle. En projetant sur Ox, avec $a_x = \dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$:

$$-k\,x = m\,\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \frac{k}{m}\,x = 0$$

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel galiléen, bilan des forces, loi vectorielle, puis projection sur l'axe du mouvement. La projection fait disparaître les forces perpendiculaires à l'axe.

1.4 Vérifier que $x = x_M \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t + \varphi\right)$ est solution de l'équation différentielle quelles que soient les constantes $x_M > 0$ et φ.

On dérive deux fois par rapport au temps :

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -x_M\sqrt{\frac{k}{m}}\,\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t + \varphi\right)$$

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -x_M\,\frac{k}{m}\,\cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\,t + \varphi\right) = -\frac{k}{m}\,x$$

On reporte dans le premier membre de l'équation : $\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \frac{k}{m}\,x = -\frac{k}{m}\,x + \frac{k}{m}\,x = 0$.

L'équation est vérifiée à tout instant, sans condition sur x_M ni sur φ : la fonction proposée est solution.

PIÈGE
Oublier le facteur $\sqrt{k/m}$ qui sort à chaque dérivation (dérivée d'une fonction composée). Dérivé deux fois, il donne k/m, et non $\sqrt{k/m}$.

1.5 Le mobile est lâché à $t = 0$ sans vitesse initiale depuis la position x_0. Déterminer numériquement x_M et φ.

Données utiles $x_0 = +4{,}0$ cm ; $v_x(0) = 0$

Vitesse initiale nulle : $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}(0) = -x_M\sqrt{\frac{k}{m}}\,\sin\varphi = 0$. Comme x_M, k et m ne sont pas nuls, $\sin\varphi = 0$, donc $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pi$.

Position initiale : $x(0) = x_M\cos\varphi = x_0$.

- Si $\varphi = \pi$: $x_M = -x_0 < 0$, impossible puisque $x_M > 0$.
- Si $\varphi = 0$: $x_M = x_0$, qui est bien positif.

$\varphi = 0$ et $x_M = x_0 = 4{,}0$ cm

COMPRENDRE
Deux constantes inconnues, donc deux conditions initiales : la position et la vitesse à $t = 0$. Un lâcher sans vitesse donne toujours une amplitude égale à l'écart initial.

2.1 En appliquant la troisième loi de Newton, trouver l'expression vectorielle de la force $\vec{F}_{op}$ exercée par l'opérateur en fonction de k, x et $\vec{i}$.

L'opérateur et le ressort sont en interaction à l'extrémité G. Le ressort exerce sur l'opérateur la force de rappel $\vec{F} = -k\,x\,\vec{i}$. D'après la troisième loi de Newton (actions réciproques), l'opérateur exerce sur le ressort la force opposée :

$$\vec{F}_{op} = -\vec{F}$$

$\vec{F}_{op} = k\,x\,\vec{i}$

COMPRENDRE
Les deux forces d'une interaction ont même direction, même valeur et des sens opposés, et elles s'appliquent à deux systèmes différents : ici l'une au ressort, l'autre à l'opérateur.

2.2 La force $\vec{F}_{op}$ est-elle constante lors du déplacement de l'extrémité G de A vers B ? Justifier.

La valeur de la force est $F_{op} = k\,x$: elle est proportionnelle à l'abscisse x de G. Or x augmente de x_A à x_B pendant le déplacement, donc la valeur de la force passe de $k\,x_A$ à $k\,x_B$.

Non : $\vec{F}_{op}$ garde sa direction et son sens, mais sa valeur augmente avec x. Elle n'est pas constante.

2.3 Montrer que le travail élémentaire de $\vec{F}_{op}$ pour un déplacement élémentaire $\mathrm{d}\vec{l} = \mathrm{d}x\,\vec{i}$ s'écrit $\delta W = k\,x\,\mathrm{d}x$.

Sur un déplacement très petit, x ne varie presque pas : la force peut être considérée comme constante, et son travail est le produit scalaire de la force par le déplacement.

$$\delta W = \vec{F}_{op} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = (k\,x\,\vec{i}) \cdot (\mathrm{d}x\,\vec{i}) = k\,x\,\mathrm{d}x\,(\vec{i}\cdot\vec{i})$$

Comme $\vec{i}$ est unitaire, $\vec{i}\cdot\vec{i} = 1$.

$$\boxed{\delta W = k\,x\,\mathrm{d}x}$$

PIÈGE
Écrire directement $W = F_{op} \times AB$ sur tout le trajet. Cette formule ne vaut que pour une force constante ; ici il faut découper le trajet en déplacements élémentaires.

2.4 Par intégration, trouver l'expression du travail de $\vec{F}_{op}$ sur le déplacement de A (abscisse x_A) à B (abscisse x_B).

Le travail total est la somme des travaux élémentaires entre x_A et x_B :

$$W_{AB}(\vec{F}_{op}) = \int_{x_A}^{x_B} k\,x\,\mathrm{d}x = \left[\frac{1}{2}\,k\,x^2\right]_{x_A}^{x_B}$$

$$\boxed{W_{AB}(\vec{F}_{op}) = \frac{1}{2}\,k\,x_B^2 - \frac{1}{2}\,k\,x_A^2}$$

COMPRENDRE
Avec $x_B > x_A > 0$, ce travail est positif : la force de l'opérateur est dans le sens du déplacement, son travail est moteur.

2.5 En déduire l'expression de l'énergie potentielle élastique d'un ressort.

Le travail fourni par l'opérateur pour déformer le ressort est stocké par celui-ci sous forme d'énergie potentielle élastique :

$$E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = W_{AB}(\vec{F}_{op}) = \frac{1}{2}\,k\,x_B^2 - \frac{1}{2}\,k\,x_A^2$$

En choisissant $E_{pe} = 0$ pour le ressort au repos ($x = 0$) :

$$\boxed{E_{pe} = \frac{1}{2}\,k\,x^2}$$

COMPRENDRE
x est l'allongement du ressort, et non sa longueur. À cause du carré, l'énergie stockée est la même pour un ressort étiré ou comprimé de la même quantité.

3.1 Donner l'expression de l'énergie cinétique E_C du solide de masse m en translation à la vitesse V, et préciser les unités des grandeurs.

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2}\,m\,V^2}$$, avec E_C en joules (J), m en kilogrammes (kg) et V en mètres par seconde ($\mathrm{m\cdot s^{-1}}$).

3.2 Donner l'expression de l'énergie mécanique E_M du mobile en fonction de V, m, x et k.

L'énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et des énergies potentielles. L'énergie potentielle de pesanteur est prise nulle, il reste l'énergie potentielle élastique :

$$E_M = E_C + E_{pe}$$

$$\boxed{E_M = \frac{1}{2}\,m\,V^2 + \frac{1}{2}\,k\,x^2}$$

3.3.1 Donner l'expression de la période propre T_0 du système {solide, ressort}.

$$\boxed{T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$$

COMPRENDRE
Elle se retrouve avec la solution de 1.4 : le cosinus reprend la même valeur quand $\sqrt{k/m}\,t$ augmente de 2π, soit $\sqrt{k/m}\,T_0 = 2\pi$.

3.3.2 Déterminer la pseudo-période du mouvement pour chaque enregistrement et en déduire, en justifiant, une valeur approchée de la période propre T_0.

Données utiles documents 1 et 2

Document 1 : la courbe passe par un maximum à $t = 0$ et le quatrième maximum est à $t = 0{,}99$ s. Trois périodes durent donc $0{,}99$ s :

$$T = \frac{0{,}99}{3} = 0{,}33 \text{ s}$$

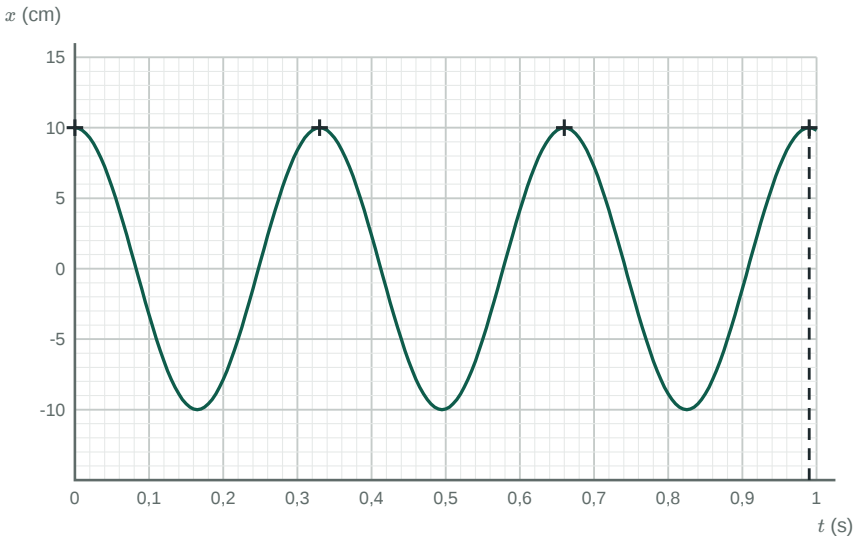
Document 2 : l'amplitude diminue, mais les maximums se trouvent aux mêmes dates ; trois pseudo-périodes durent aussi $0{,}99$ s, soit $T = 0{,}33$ s.

Les frottements du deuxième enregistrement sont faibles et ne modifient pas la durée d'une oscillation : la pseudo-période est pratiquement égale à la période propre.

$T \approx 0{,}33$ s pour les deux enregistrements, donc $T_0 \approx 0{,}33$ s

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la lecture $0{,}99$ s et comme k. Dans le document 1, sans amortissement, la période mesurée est directement la période propre.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture sur le graphique est divisée d'autant. Une seule période lue ici donnerait « entre $0{,}32$ et $0{,}34$ s ».



3.3.2 · Document 1 : trois périodes entre $t = 0$ et $t = 0{,}99$ s

3.3.3 En déduire, d'après la valeur trouvée pour T_0, la valeur de la masse m du mobile autoporteur.

Données utiles $T_0 = 0{,}33$ s (3.3.2) ; $k = 15$ N · m^{-1} ; aide au calcul : $\dfrac{0{,}33^2 \times 15}{4\pi^2} = 4{,}1 \times 10^{-2}$

On élève au carré l'expression de la période propre : $T_0^2 = 4\pi^2 \dfrac{m}{k}$, d'où

$$m = \frac{k\,T_0^2}{4\pi^2}$$

$$m = \frac{15 \times 0{,}33^2}{4\pi^2} = 4{,}1 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$m = 4{,}1 \times 10^{-2}$ kg, soit 41 g

PIÈGE
Sans calculatrice, il faut repérer la bonne aide au calcul : c'est celle où $0{,}33$ est au carré. Les deux dernières, sans carré, correspondent à l'oubli d'élever T_0 au carré.

3.3.4 Attribuer à chaque courbe (1, 2 et 3) du document 3 la forme d'énergie représentée, en justifiant.

Données utiles document 3 ; lâcher sans vitesse initiale, ressort étiré

- À $t = 0$, le mobile est lâché sans vitesse : $E_C(0) = 0$. La courbe 2 part de zéro, c'est l'énergie cinétique.
- À $t = 0$, l'allongement x est maximal : E_{pe} est maximale. La courbe 3 part de son maximum, c'est l'énergie potentielle élastique.
- Sans frottement, l'énergie mécanique $E_M = E_C + E_{pe}$ se conserve. La courbe 1 est constante, c'est l'énergie mécanique.

Courbe 1 : E_M ; courbe 2 : E_C ; courbe 3 : E_{pe}

COMPRENDRE
Vérification possible : l'amplitude lue sur le document 1 est 10 cm, donc $E_M = \frac{1}{2} \times 15 \times 0{,}10^2 = 0{,}075$ J. C'est bien la valeur constante de la courbe 1.

3.3.5 Justifier la différence entre les courbes des documents 3 et 4.

Document 3 (soufflerie à plein régime) : les frottements sont négligeables, l'énergie mécanique reste constante ; E_C et E_{pe} s'échangent sans perte.

Document 4 (tuyau d'air pincé) : le coussin d'air est moins efficace, le mobile frotte sur la table. Le travail des forces de frottement est résistant : il dissipe peu à peu l'énergie mécanique sous forme de chaleur.

Dans le document 4, l'énergie mécanique décroît au cours du temps à cause des frottements, et les maximums de E_C et de E_{pe} diminuent avec elle.

COMPRENDRE
C'est la traduction énergétique du document 2 : l'amplitude des oscillations diminue, donc E_{pe} maximale ($\frac{1}{2} k x_M^2$) diminue aussi.

La physique au service de l'acoustique des théâtres antiques

Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Le son est une onde mécanique progressive. Définir ce terme.

Une onde mécanique progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, de proche en proche, avec transport d'énergie mais sans transport de matière.

PIÈGE
Oublier « milieu matériel » : c'est ce qui rend l'onde mécanique. Le son ne se propage pas dans le vide.

2 Dans un espace à combien de dimensions se propage une onde sonore ?

L'onde sonore se propage dans toutes les directions de l'air : c'est une onde à **trois dimensions**.

COMPRENDRE
Une onde le long d'une corde est à une dimension ; les rides à la surface de l'eau, à deux dimensions.

1.1 Définir en une phrase ce qu'est la longueur d'onde λ.

La longueur d'onde λ est la distance dont l'onde périodique progresse pendant une période T.

COMPRENDRE
Définition équivalente : c'est la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase. C'est celle-ci qui sert à mesurer λ sur un cliché (question 3.3).

1.2 Donner la relation entre la longueur d'onde λ, la célérité v et la fréquence f d'une onde.

Pendant une période $T = \dfrac{1}{f}$, l'onde parcourt $\lambda = v\,T$, donc :

$\lambda = \dfrac{v}{f}$, avec λ en m, v en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et f en Hz.

1.3 En déduire que la longueur d'onde des ultrasons est inférieure à celle des sons moyens de la voix. Justifier précisément.

Données utiles sons audibles : $20\ \mathrm{Hz} \leqslant f \leqslant 20\ \mathrm{kHz}$; ultrasons : $f > 20\ \mathrm{kHz}$; $v = 340\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ pour les deux

La voix est un son audible : $f_{\text{voix}} < 20\ \mathrm{kHz} < f_{\text{US}}$.

Les deux types d'ondes ont la même célérité v dans l'air, et $\lambda = \dfrac{v}{f}$: à v fixée, λ est inversement proportionnelle à f.

$f_{\text{US}} > f_{\text{voix}}$ donc $\lambda_{\text{US}} < \lambda_{\text{voix}}$.

PIÈGE
La comparaison des fréquences ne suffit pas. Il faut écrire que la célérité est la même pour les deux ondes, sinon on ne peut rien conclure sur λ .

1.4 Justifier l'intérêt d'utiliser des ultrasons pour une simulation avec une maquette.

Une maquette reproduit le théâtre à échelle réduite. Pour que l'onde s'y comporte comme le son dans le théâtre réel (réflexions, obstacles), sa longueur d'onde doit être réduite dans le même rapport que les dimensions.

La célérité étant inchangée, une longueur d'onde plus petite impose une fréquence plus grande : il faut des ultrasons.

COMPRENDRE
Le comportement d'une onde devant un obstacle dépend du rapport entre λ et la taille de l'obstacle. Garder ce rapport, c'est garder la même acoustique.

1.5 Définir ce qu'on appelle un milieu dispersif.

Un milieu est dispersif si la célérité des ondes qui s'y propagent dépend de leur fréquence.

1.6 L'air est-il un milieu dispersif pour les ondes sonores et ultrasonores ? Justifier.

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ pour les sons de la voix et pour les ultrasons

D'après l'énoncé, les sons audibles et les ultrasons, de fréquences différentes, ont la même célérité dans l'air.

La célérité ne dépend pas de la fréquence : l'air n'est **pas dispersif** pour ces ondes.

COMPRENDRE
Heureusement : dans un milieu dispersif, les graves et les aigus d'une même parole n'arriveraient pas ensemble au dernier rang.

2.1 Évaluer le retard τ entre l'émission et la réception du top par le microphone.

Données utiles $D = 68\ \text{cm}$; $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Le top parcourt la distance D à la célérité v : $\tau = \dfrac{D}{v}$, avec $D = 0{,}68\ \text{m}$.

$$\tau = \frac{0{,}68}{340} = \frac{68 \times 10^{-2}}{34 \times 10^{1}} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$\tau = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{s} = 2{,}0\ \text{ms}$

PIÈGE
Laisser D en centimètres : on trouverait $0{,}20$ s, cent fois trop.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme D. Sans calculatrice, écrire les nombres avec des puissances de dix : $68 \div 34 = 2$ se fait de tête.

2.2 Comparer les résultats des trois expériences en termes d'amortissement de l'écho.

Expérience 1 (couvercle) : les échos gardent longtemps une grande amplitude, ils sont peu amortis.

Expérience 2 (couvercle avec moquette) : l'amplitude des échos décroît plus vite.

Expérience 3 (sans couvercle) : après le signal direct, il ne reste presque plus d'échos.

L'amortissement des échos augmente de l'expérience 1 à l'expérience 3.

MÉTHODE
« Comparer » des enregistrements : décrire chacun avec le même critère (ici l'amplitude des échos et sa décroissance), puis les classer.

2.3 Quelle est la situation la plus intéressante d'un point de vue acoustique ? Justifier.

Les échos se superposent au son direct et le brouillent : le son est d'autant plus net qu'ils sont amortis.

La situation la plus intéressante est l'expérience 3, sans couvercle, où les échos sont les plus faibles.

COMPRENDRE
C'est le cas du théâtre antique, à ciel ouvert : le son qui part vers le haut ne revient pas.

2.4 Justifier que le plafond des salles de concert est toujours recouvert de dalles alvéolées constituées d'un matériau très absorbant.

Une salle de concert a un plafond, comme la maquette avec couvercle : il renvoie des échos (expérience 1). Un revêtement absorbant les atténue (expérience 2).

Les dalles absorbantes amortissent les ondes réfléchies par le plafond, pour se rapprocher de la situation sans couvercle.

3.1 Les ondes créées par le vibreur à la surface de l'eau sont-elles longitudinales ou transversales ? Justifier.

La pointe frappe verticalement : la perturbation de la surface est verticale. L'onde se propage horizontalement, à la surface de l'eau.

La direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation : l'onde est **transversale**.

COMPRENDRE
L'onde sonore, elle, est longitudinale : les tranches d'air vibrent dans la direction de propagation. La cuve à ondes est un modèle commode, pas une copie exacte du son.

3.2 En comparant les images des deux expériences, expliquer en quoi un mur plan est gênant pour la réception sonore dans les gradins.

Expérience 2 (mur alvéolé) : les rides circulaires centrées sur la pointe sont nettes et régulières, comme s'il n'y avait pas de mur.

Expérience 1 (mur plan) : l'onde réfléchie, qui semble venir de B, se superpose à l'onde issue de A. Les rides circulaires ne sont plus nettes : la surface est brouillée.

Avec un mur plan, le spectateur reçoit le son direct mêlé à un écho marqué, renvoyé par le mur : le son perçu est brouillé.

COMPRENDRE
Deux ondes de même fréquence qui se superposent se renforcent en certains points et s'annulent en d'autres : ce sont des interférences. La réception dépendrait alors de la place occupée.

3.3 À l'aide du cliché de l'annexe et de son échelle, déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde λ, en expliquant la méthode.

Données utiles sur le cliché, un segment représente 10 cm

Deux rides sombres consécutives sont séparées par une longueur d'onde. Pour être précis, on mesure à la règle, le long d'un rayon, la distance occupée par 10 longueurs d'onde (11 rides), puis la longueur du segment d'échelle.

On constate que 10 longueurs d'onde occupent 1,5 fois la longueur du segment de 10 cm :

$$10\,\lambda = 1{,}5 \times 10\ \text{cm} = 15\ \text{cm}$$

$$\lambda = \frac{15}{10} = 1{,}5\ \text{cm}$$

PIÈGE
Compter les rides au lieu des intervalles : 11 rides délimitent 10 longueurs d'onde.

COMPRENDRE
Les longueurs en centimètres sur la feuille dépendent de l'impression ; seul leur rapport compte. Une valeur entre 1,4 et 1,6 cm, issue d'une mesure soignée, est correcte.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs longueurs d'onde d'un coup divise l'incertitude de lecture par le nombre d'intervalles. Mesurer loin de la pointe, là où les rides sont régulières.

3.4 En analysant les expériences 1 et 2, justifier la forme du pulpitum ainsi que la présence de niches et de colonnes dans le mur des théâtres antiques.

Expérience 1 : une paroi plane renvoie un écho net, comme une seconde source, qui perturbe l'onde directe.

Expérience 2 : une paroi alvéolée disperse l'onde réfléchie dans de nombreuses directions ; l'onde directe reste nette.

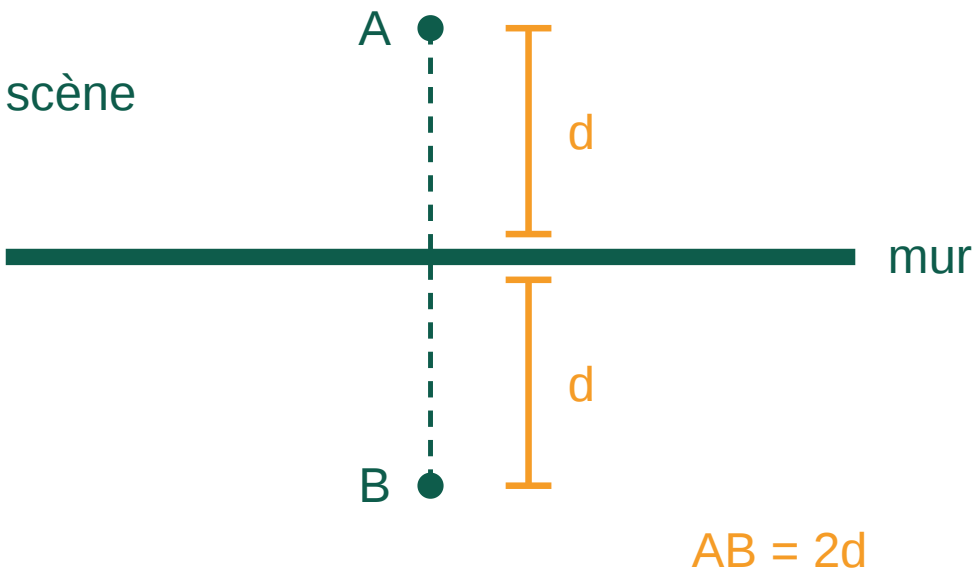
Sur le schéma 1, le pulpitum n'est pas une simple paroi plane : il présente des renfoncements. Les niches et les colonnes font de même du mur de scène une surface irrégulière.

Pulpitum, niches et colonnes jouent le rôle des alvéoles : ils évitent les échos nets qui brouilleraient le son dans les gradins.

3.5.1 L'orateur est en A, à la distance d du mur de fond de scène. Exprimer la distance AB en fonction de d.

B est le symétrique de A par rapport au mur : B est aussi à la distance d du mur, de l'autre côté.

$$AB = 2d$$



3.5.1 · L'orateur A et la source fictive B, symétriques par rapport au mur

3.5.2 En déduire l'expression, en fonction de d et de v, du retard Δt entre l'onde émise par l'orateur en A et l'onde réfléchie par le mur, qui semble issue de B.

Données utiles $AB = 2d$ (3.5.1)

L'onde réfléchie semble partir de B en même temps que l'onde directe part de A. Pour un spectateur, elle parcourt donc la distance $AB = 2d$ en plus, à la célérité v.

$$\Delta t = \frac{AB}{v} = \frac{2d}{v}$$

COMPRENDRE
En réalité, le son va de A au mur puis revient : un aller-retour de longueur $2d$. La source fictive B donne le même résultat.

3.5.3 Déterminer la profondeur maximale $d_{\max}$ de la scène qui permet à la parole de rester nettement compréhensible.

Données utiles durée d'une consonne : $\frac{1}{25}$ s ; $v = 350 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta t = \frac{2d}{v}$ (3.5.2)

L'écho doit arriver avant la fin de l'émission de la consonne : $\Delta t \leqslant \frac{1}{25}$ s.

$$\frac{2d}{v} \leqslant \frac{1}{25} \iff d \leqslant \frac{v}{50}$$

$$d_{\max} = \frac{350}{50} = 7{,}0 \text{ m}$$

$d_{\max} = 7{,}0$ m, en accord avec la conclusion de l'énoncé (profondeur généralement inférieure à 6,50 m).

PIÈGE
Écrire $\Delta t = \frac{d}{v}$ en oubliant le facteur 2 : on trouverait 14 m, une scène deux fois trop profonde.

MÉTHODE
Terminer par une confrontation avec une valeur du sujet quand il en donne une : ici 6,50 m, juste sous la limite calculée.

Spécialité : Émission et réception des ondes électromagnétiques

Bac S 2010 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Du point de vue énergétique, quel est le rôle du dispositif d'entretien des oscillations ?

Un circuit LC réel possède une résistance : à chaque oscillation, une partie de son énergie est dissipée par effet Joule (et une autre est rayonnée par l'antenne). Sans apport extérieur, les oscillations s'amortiraient.

Le dispositif d'entretien fournit au circuit, à chaque instant, l'énergie qu'il perd : l'amplitude des oscillations reste constante.

1.1.2 Déterminer l'inductance L de l'oscillateur de Hertz.

Données utiles $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$; durée d'une oscillation : un cent millionième de seconde ; $C = 10\ \text{pF}$; aide aux calculs : $\pi^2 = 10$

La durée d'une oscillation est la période propre : $T_0 = \dfrac{1}{100 \times 10^6} = 1{,}0 \times 10^{-8}$ s.

$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ donne $T_0^2 = 4\pi^2 LC$, soit $L = \dfrac{T_0^2}{4\pi^2 C}$.

Avec $C = 10 \times 10^{-12}$ F et $\pi^2 = 10$:

$$L = \frac{(1{,}0 \times 10^{-8})^2}{4 \times 10 \times 10 \times 10^{-12}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-16}}{4{,}0 \times 10^{-10}}$$

$L = 2{,}5 \times 10^{-7}$ H

PIÈGE
Un cent millionième, c'est 10^{-8} s (cent millions $= 10^8$), pas 10^{-6} s. La capacité se convertit en farads : $1\ \text{pF} = 10^{-12}$ F.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $C = 10$ pF. Sans calculatrice, on regroupe les puissances de dix à part : $10^{-16} \div 10^{-10} = 10^{-6}$, puis $1 \div 4 = 0{,}25$.

1.2.1 Attribuer à chaque signal la tension enregistrée, en justifiant.

Signal 1 : tension sinusoïdale de basse fréquence, toujours positive, qui oscille entre 5 V et 10 V autour de 7,5 V. C'est la somme du signal sonore sinusoïdal et de la tension continue, donc la tension modulante u_{AM}.

Signal 2 : tension de haute fréquence dont l'amplitude varie au rythme du signal 1. C'est la tension modulée en amplitude, disponible à la sortie S du dispositif modulant : u_{SM}.

Signal 1 : u_{AM} (tension modulante décalée) ; signal 2 : u_{SM} (tension modulée).

COMPRENDRE
La troisième tension, u_{BM}, est la porteuse délivrée par le GBF : une sinusoïde de haute fréquence et d'amplitude constante. Elle n'est pas affichée ici.

1.2.2 Déterminer la fréquence du signal sonore enregistré.

Données utiles oscillogramme : signal 1, échelle des temps en ms

Le signal sonore a la même période que le signal 1. Deux périodes s'étendent entre les maximums situés à $t = 0$ et $t = 20$ ms :

$2T = 20$ ms, donc $T = 10\ \text{ms} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ s.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1{,}0 \times 10^{-2}}$$

$f = 1{,}0 \times 10^2$ Hz

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser réduit l'erreur de lecture. La période se convertit en secondes avant de calculer la fréquence en hertz.

1.2.3 Déterminer ΔU_{max} et ΔU_{min}, puis calculer le taux de modulation m.

Données utiles $m = \dfrac{\Delta U_{max} - \Delta U_{min}}{\Delta U_{max} + \Delta U_{min}}$; oscillogramme du signal 2

Ce sont les tensions crête à crête du signal modulé, là où il est le plus large puis le plus étroit.

À $t = 10$ ms, il varie de -10 V à $+10$ V : $\Delta U_{max} = 20$ V.

À $t = 5$ ms, il varie de -5 V à $+5$ V : $\Delta U_{min} = 10$ V.

$$m = \frac{20 - 10}{20 + 10} = \frac{10}{30}$$

$\Delta U_{max} = 20$ V ; $\Delta U_{min} = 10$ V ; $m = 0{,}33$

COMPRENDRE
Le taux de modulation est sans unité. Il s'obtient aussi avec le signal 1 : amplitude du signal sonore (2,5 V) divisée par la tension de décalage (7,5 V), soit encore 0,33.

1.2.4.1 Quelle est la condition pour ne pas avoir de surmodulation ?

Il faut un taux de modulation inférieur à 1 : $m < 1$, c'est-à-dire une tension de décalage supérieure à l'amplitude du signal sonore.

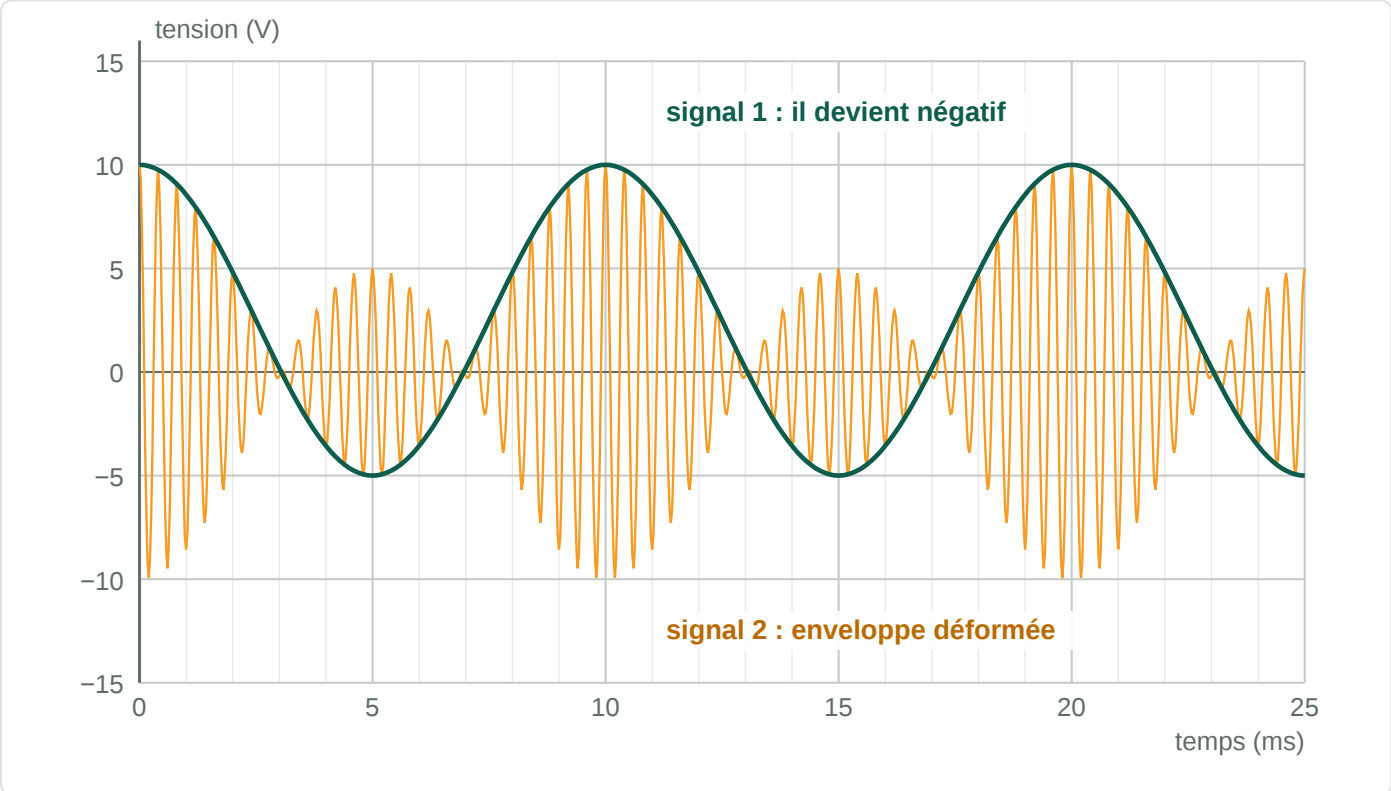
COMPRENDRE
Dans ce cas la tension modulante u_{AM} reste toujours positive et l'enveloppe du signal modulé ne s'annule jamais : $\Delta U_{min} > 0$.

1.2.4.2 Représenter une situation de surmodulation sur la figure de l'annexe.

On choisit une tension de décalage (2,5 V) plus petite que l'amplitude du signal sonore (7,5 V) : le signal 1 passe sous zéro pendant une partie de chaque période.

L'enveloppe supérieure du signal 2 suit le signal 1 tant qu'il est positif. Quand il devient négatif, les deux enveloppes se croisent et un petit lobe apparaît.

Voir l'annexe complétée : l'enveloppe du signal 2 n'a plus la forme du signal 1.



1.2.4.2 · Annexe complétée : surmodulation (tension de décalage 2,5 V, amplitude du signal sonore 7,5 V)

1.2.4.3 Pourquoi faut-il éviter le phénomène de surmodulation ?

Le récepteur reconstitue le signal sonore à partir de l'enveloppe de la tension modulée. En surmodulation, cette enveloppe n'a plus la même forme que la tension modulante.

Le signal obtenu après démodulation est déformé : le son restitué n'est pas celui qui a été émis.

1.2.4.4 Quelle tension faut-il modifier pour éviter ce phénomène ?

Il faut augmenter la tension continue de décalage, jusqu'à ce qu'elle dépasse l'amplitude du signal sonore : u_{AM} redevient alors toujours positive.

COMPRENDRE
On pourrait aussi diminuer l'amplitude du signal sonore, mais on réduirait le signal utile. Modifier la porteuse u_{BM} ne change pas le taux de modulation.

2.1 Quel est le rôle de la partie A du récepteur ?

L'antenne capte de nombreuses ondes électromagnétiques, de fréquences différentes. Le dipôle formé par la bobine L et le condensateur C_0 en parallèle est un circuit d'accord : il ne laisse subsister à ses bornes que les signaux dont la fréquence est voisine de sa fréquence propre $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}$.

La partie A capte les ondes et sélectionne l'émission voulue : on règle C_0 pour que f_0 soit égale à la fréquence de la porteuse.

2.2 Montrer que la valeur de C_0 qui donne une réception optimale est en accord avec l'oscillogramme.

Données utiles $C_0 = 6{,}3 \times 10^{-10}$ F ; $L = 4{,}0$ mH ; aide aux calculs : $\sqrt{2{,}52} = 1{,}6$ et $2\pi \times 1{,}6 = 10$

Période propre du circuit d'accord :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC_0} = 2\pi\sqrt{4{,}0 \times 10^{-3} \times 6{,}3 \times 10^{-10}} = 2\pi\sqrt{2{,}52 \times 10^{-12}}$$

$T_0 = 2\pi \times 1{,}6 \times 10^{-6} = 10 \times 10^{-6}$ s $= 10\ \mu$s.

Sur l'oscillogramme, le signal 2 (tension modulée) effectue 20 oscillations en 200 µs : la période de la porteuse est $T_p = \dfrac{200}{20} = 10\ \mu$s .

$T_0 = T_p = 10\ \mu$s : le circuit est accordé sur la porteuse, la valeur de C_0 convient.

PIÈGE
Écrire $25{,}2 \times 10^{-13}$ sous la racine bloque le calcul : il faut un exposant pair, $2{,}52 \times 10^{-12}$, pour obtenir $\sqrt{10^{-12}} = 10^{-6}$.

MÉTHODE
La période de la porteuse se lit sur le signal 2, pas sur le signal 1. Compter une vingtaine d'oscillations entre deux graduations, puis diviser.

2.3 Quel est le rôle de la partie C ?

La partie C associe une diode et un dipôle RC_1 parallèle : c'est un détecteur d'enveloppe. La diode ne conserve que les alternances positives ; le condensateur, qui se décharge lentement dans R entre deux crêtes, relie les sommets de la porteuse.

La partie C élimine la porteuse et restitue l'enveloppe de la tension modulée, c'est-à-dire le signal modulant encore décalé d'une tension continue.

2.4 Rappeler, en précisant les unités, l'expression de la constante de temps τ du dipôle (RC_1).

$\tau = RC_1$, avec τ en secondes (s), R en ohms (Ω) et C_1 en farads (F).

2.5.1 Déterminer la période T_m du signal modulant.

Données utiles $f_m = 5{,}0\ \text{kHz}$

$$T_m = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{3}} = 0{,}20 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$$\boxed{T_m = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}}$$

2.5.2 Exprimer R sous forme d'un intervalle de valeurs pour obtenir une bonne détection d'enveloppe.

Données utiles $T_p \ll \tau < T_m$; $C_1 = 10\ \text{nF}$; $T_p = 10\ \mu\text{s}$ (2.2) ; $T_m = 2{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}$ (2.5.1)

Avec $\tau = RC_1$, la condition s'écrit $T_p \ll RC_1 < T_m$, soit $\dfrac{T_p}{C_1} \ll R < \dfrac{T_m}{C_1}$.

$$\frac{T_p}{C_1} = \frac{10 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-9}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \Omega \qquad \frac{T_m}{C_1} = \frac{2{,}0 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-9}} = 2{,}0 \times 10^{4}\ \Omega$$

$$\boxed{1{,}0 \times 10^{3}\ \Omega \ll R < 2{,}0 \times 10^{4}\ \Omega, \text{ soit } 1{,}0\ \text{k}\Omega \ll R < 20\ \text{k}\Omega}$$

COMPRENDRE
Le symbole $\ll$ signifie « très inférieur », au moins dix fois en pratique : une résistance de l'ordre de 10 kΩ convient. Trop petite, la porteuse subsiste ; trop grande, la tension ne suit plus l'enveloppe.

2.6 Quel est le rôle du dipôle série $(R'C_2)$?

Après la détection d'enveloppe, la tension est la somme du signal sonore et d'une tension continue (le décalage ajouté à l'émission). Le condensateur C_2, placé en série, bloque cette tension continue et laisse passer la partie variable.

Le dipôle $R'C_2$ est un filtre passe-haut : il supprime la composante continue, la tension aux bornes de R' est le signal sonore seul.

2.7 Le son perçu est-il pur ou complexe ? Justifier.

Un son pur correspond à une tension sinusoïdale. Ici le signal 1 de la deuxième partie, qui représente la mélodie enregistrée, a une forme irrégulière : il n'est pas sinusoïdal. Après démodulation, la tension envoyée aux écouteurs a la même forme.

Le son perçu est complexe.

COMPRENDRE
La distinction entre son pur et son complexe (harmoniques, timbre) ne figure plus au programme actuel de la spécialité.