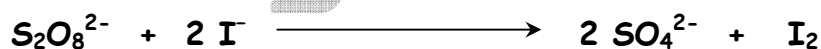


Exercice 1

Les ions peroxodisulfate $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ oxydent les ions iodure I^- selon la réaction lente et totale d'équation bilan :



A la date $t = 0$, et à une température fixe, on mélange :

- Un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse de peroxodisulfate de potassium (2K^+ , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$) de concentration molaire $C_1 = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$.
- Un volume $V_2 = 100 \text{ mL}$ d'une solution aqueuse d'iodure de potassium (K^+ , I^-) de concentration molaire $C_2 = 0,4 \text{ mol.L}^{-1}$.

Des prélèvements de même volume $v = 10 \text{ mL}$, effectués à partir du mélange réactionnel, sont introduits très rapidement dans 10 erlenmeyers numérotés de 1 à 10.

A la date $t_1 = 1 \text{ min}$, on ajoute environ 10 mL d'eau glacée au contenu de l'erlenmeyer n°1 et on dose la quantité de diiode I_2 formée par une solution de thiosulfate de potassium (2K^+ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$).

Les contenus des autres erlenmeyers sont soumis au même dosage aux instants de dates $t_2 = 2 \text{ min}$, $t_3 = 3 \text{ min}$... $t_{10} = 10 \text{ min}$ ce qui permet de tracer la courbe ci-dessous (figure - 1 -) correspondant à la quantité de matière $n(\text{I}^-)$ des ions iodure restant en fonction du temps.

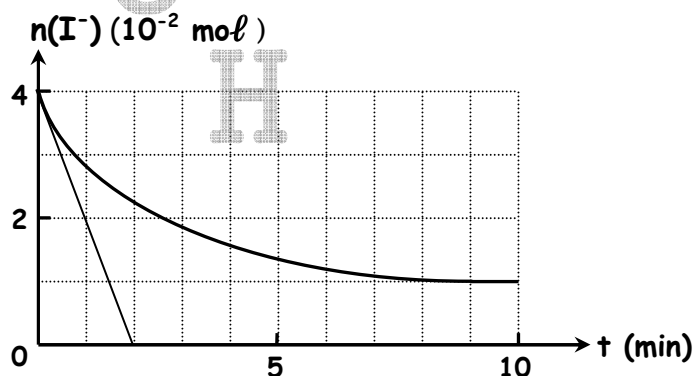


Figure - 1 -

- 1°) L'un des deux réactifs est en défaut. Déduire, à partir du graphe, s'il s'agit de I^- ou de $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$.
- 2°) Dresser le tableau descriptif d'évolution de l'avancement de la réaction sur la figure - 2 - « à remplir par le candidat et à remettre avec la copie ».

| Equation de la réaction | | → | | | |
|-------------------------|------------|----------------------------|--|--|--|
| Etat du système | Avancement | Quantités de matière (mol) | | | |
| Initial | | | | | |
| Intermédiaire | | | | | |
| Final | | | | | |

Figure -2-

- 3°) a) Définir la vitesse instantanée d'une réaction.
b) Etablir son expression en fonction du nombre de moles des ions iodure $n(\text{I}^-)$.
c) Préciser la date à laquelle la vitesse instantanée de la réaction est maximale. La calculer.
- 4°) a) L'ajout d'eau glacée permet de ralentir fortement l'évolution de la réaction de sorte qu'on peut la supposer pratiquement stoppée.
Citer, parmi les trois facteurs cinétiques (température, catalyseur et concentration des réactifs) celui ou ceux qui sont responsables de ce ralentissement.



b) La **figure -3-** à remplir par le candidat et à remettre avec la copie correspond au dispositif de dosage . Compléter les quatre espaces en pointillés de cette figure .

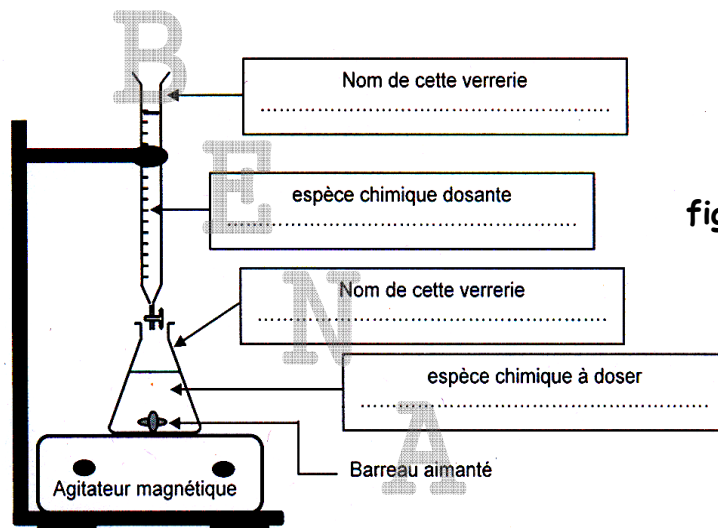
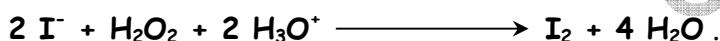


figure -3-

Exercice 2

On réalise l'oxydation des ions iodures I^- par l'eau oxygénée H_2O_2 en milieu acide selon la réaction :



Trois expériences sont réalisées suivant les différentes conditions expérimentales précisées dans le tableau :

| Numéro de l'expérience | (1) | (2) | (3) |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Quantité initiale de H_2O_2 (10^{-3} mol) | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Quantité initiale de I^- (10^{-3} mol) | 2 | 2 | 2 |
| Température du milieu réactionnel en $^{\circ}C$ | 20 | 30 | 30 |
| | sans Fe^{2+} | sans Fe^{2+} | avec Fe^{2+} |

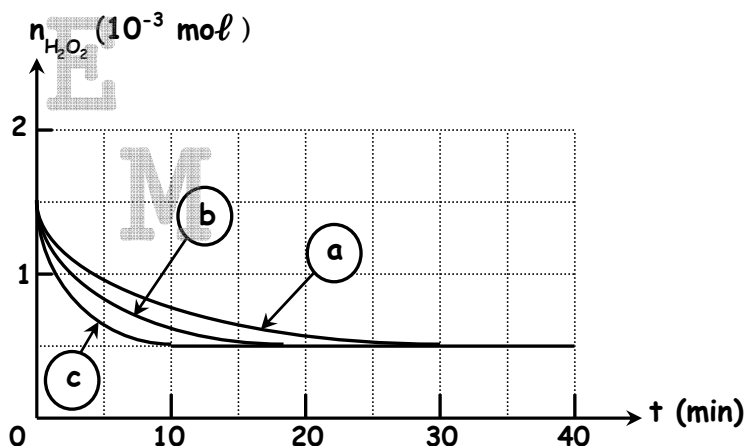
A l'aide de moyens appropriés , on suit la variation du nombre de moles de H_2O_2 restant en fonction du temps au cours de chacune des trois expériences réalisées . Les résultats obtenus sont représentés par le graphe de la figure ci-dessous :

1°) Associer chaque courbe à l'expérience correspondante en explicitant les facteurs cinétiques mis en évidence .

2°) a) Déterminer la valeur de l'avancement final x_f de la réaction .

b) Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{\max} de cette réaction .

3°) Exprimer puis calculer la valeur du taux d'avancement final τ_f . Conclure .



Exercice 3

A une température θ_1 maintenue constante, on prépare un mélange formé de **0,4 mol** d'acide éthanoïque CH_3COOH et de **a mol** d'éthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ($a < 0,4 \text{ mol}$) en présence de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. A l'aide d'un protocole expérimental approprié, on détermine la quantité d'ester formé n_{ester} et la quantité d'acide restant n_{acide} à des instants différents.

Ceci permet de tracer les courbes portées sur la figure représentée ci-dessous.

1°) Ecrire l'équation de la réaction d'estérification.

2°) Rappeler les caractéristiques de cette réaction.

3°) Dresser le tableau descriptif d'évolution de l'avancement de la réaction et déduire la valeur de l'avancement final x_f .

4°) a) Sachant que la valeur du taux d'avancement final $\tau_f = 0,85$, déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max} de la réaction et montrer que **a = 0,2 mol**.

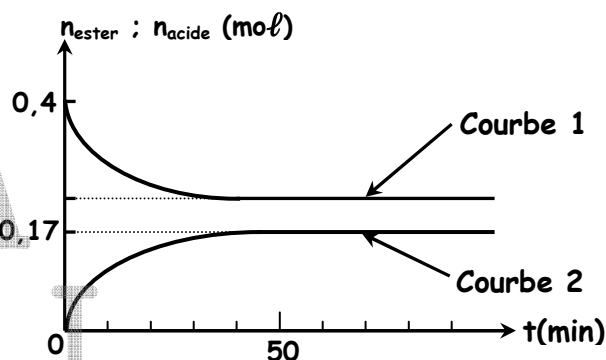
b) Quand dit-on qu'un système se trouve en état d'équilibre dynamique ?

Déterminer alors la composition du mélange lorsque l'équilibre dynamique est atteint.

c) Montrer que la valeur de la constante **K** d'équilibre relative à la réaction d'estérification est **K = 4,18**.

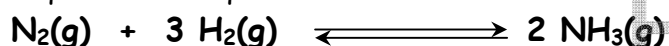
d) A une température $\theta_2 > \theta_1$, la valeur de **K** serait supérieure, inférieure ou égale à **4,18**. Justifier.

5°) On mélange **0,5 mol** d'acide, **0,5 mol** d'alcool, **1,2 mol** d'ester et **1,2 mol** d'eau. Déterminer la composition du système lorsque le nouvel état d'équilibre est atteint.



Exercice 4

On considère la réaction de synthèse de l'ammoniac NH_3 en phase gazeuse schématisée par l'équation chimique suivante :



On prépare à **477°C**, un mélange contenant initialement **1 mol** de diazote N_2 et **3 mol** de dihydrogène H_2 . A la fin de la réaction, le nombre de moles de dihydrogène restant est **$n(\text{H}_2)_f = 2,34 \text{ mol}$** .

1°) a) Dresser le tableau descriptif d'évolution de l'avancement de la réaction.

b) Déduire la valeur de l'avancement final x_f de la réaction.

c) Déterminer la valeur de l'avancement maximal x_{max} de cette réaction.

2°) Exprimer puis calculer la valeur du taux d'avancement final τ_f . Conclure.

3°) On ajoute **0,56 mol** de NH_3 à ce système en équilibre, le volume et la température étant maintenus constants.

a) Dans quel sens évolue le système ? Justifier la réponse.

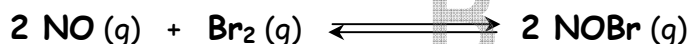
b) Déterminer la composition du mélange lorsque le nouvel état d'équilibre est établi et caractérisé par un nombre de moles de dihydrogène égal à **2,7 mol**.

4°) La température étant maintenue constante, quel est l'effet d'une augmentation de pression sur cet équilibre ? Justifier la réponse.



Exercice 5

Dans un récipient de volume **V constant** où l'on a préalablement fait le vide, on introduit **5 mol de monoxyde d'azote NO** et **2 mol de dibrome Br₂** à la température **T₁** maintenue constante. Le système évolue selon la réaction représentée par l'équation suivante :



On aboutit à un état d'équilibre caractérisé par un taux d'avancement final **$\tau_{f1} = 0,25$** .

- 1°) a) Dresser le tableau descriptif de l'avancement de la réaction étudiée.
b) Déterminer la valeur de l'avancement final **x_f** .
c) Dédire la composition du système à l'équilibre.
- 2°) On ajoute **0,5 mol** de **NO** à ce système en équilibre, le volume et la température étant maintenus constants.
a) Dans quel sens évolue le système ? Justifier la réponse.
b) Déterminer la composition du mélange lorsque le nouvel état d'équilibre est établi caractérisé par un nombre de moles de **NO** égal à **3,5 mol**.
- 3°) A une température **T₂ > T₁**, et sous la même pression, un nouvel état d'équilibre s'établit caractérisé par un taux d'avancement **$\tau_{f2} > \tau_{f1}$** .
Que peut-on conclure quant au caractère énergétique des deux réactions associées au sens direct et inverse ? Justifier la réponse.
- 4°) La température étant maintenue constante, quel est l'effet d'une augmentation de pression sur cet équilibre ? Justifier la réponse.

Exercice 6

Les mesures sont faites à **25°C**, température à laquelle le produit ionique de l'eau est **$K_e = 10^{-14}$** .

On prépare une solution (**S₁**) d'acide méthanoïque **HCOOH** de concentration molaire **$C_1 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$** .

La mesure du **pH** de (**S₁**) donne la valeur **$\text{pH}_1 = 2,9$** .

- 1°) Montrer que l'acide méthanoïque est un acide faible et écrire l'équation de la réaction de son ionisation dans l'eau.
- 2°) a) Etablir l'expression de **pH_1** de la solution (**S₁**) en fonction de sa concentration **C_1** et du **pKa** du couple **HCOOH / HCOO⁻**.
b) En déduire la valeur du **pKa** du couple **HCOOH / HCOO⁻**.
- 3°) On se propose de préparer à partir de (**S₁**), un volume **V₂ = 100 mL** d'une solution (**S₂**) de concentration **$C_2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$** .
a) Déterminer la valeur du prélèvement **V₁** à effectuer à partir de (**S₁**) pour préparer les **100 mL** de (**S₂**).
b) On dispose du matériel suivant :
 - Des fioles jaugées de **100 mL**.
 - Des béchers.
 - Des pipettes jaugées de **1 mL**, **2 mL**, **10 mL**, **20 mL** et une pipette graduée de **5 mL**.
 - De l'eau distillée.
 - Un pH-mètre au **1/10^{ème}**.Décrire le mode opératoire permettant d'effectuer cette dilution en choisissant la verrerie la plus adéquate et qui nécessite le minimum d'opérations.
c) En utilisant l'expression du pH établie dans la question 2°) a), déterminer la nouvelle valeur **pH₂** du pH de (**S₂**).



4°) Soit τ_f le taux d'avancement final .

a) Calculer τ_{f1} et τ_{f2} respectivement des deux solutions (S_1) et (S_2) .

b) En déduire alors l'effet de la dilution sur l'ionisation de l'acide méthanoïque .

Exercice 7

Les mesures sont faites à 25°C , température à laquelle le produit ionique de l'eau est $K_e = 10^{-14}$.
On se propose de faire l'étude expérimentale d'une base faible .

1°) On prépare une solution aqueuse (S) de carboxylate de sodium RCO_2Na , de concentration C .

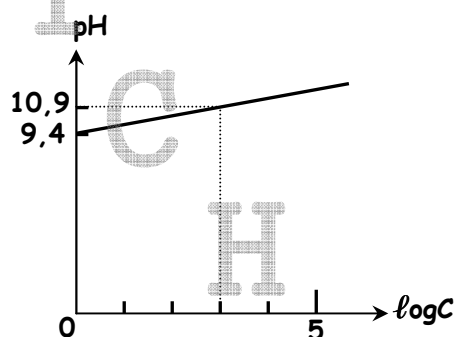
a) Ecrire l'équation de la réaction qui accompagne la dissolution . Préciser les couples acide-base mis en jeu .

b) En appliquant les lois de conservation adéquates et la loi d'action de masse , montrer que le **pH** de cette solution s'écrit : $\text{pH} = \frac{1}{2} (2\text{p}K_e - \text{p}K_b + \log C)$.

2°) Des mesures du **pH** ont été effectuées pour différentes valeurs de C , ont permis de tracer la courbe donnant les variations du **pH** en fonction de $\log C$ représentée sur la figure ci-contre .

a) Déduire du graphe la valeur du **pKb** du couple acide-base correspondant à la solution (S) .

b) Le tableau suivant regroupe quelques valeurs de **pKb** de couples acide-base :



| Couple acide-base | $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$ | $\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-$ | $\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-$ |
|-------------------|-------------------------------|--|--------------------------------|
| pKb | 4,75 | 9,2 | 10,2 |

Identifier le couple acide-base utilisé .

Exercice 8

Toutes les solutions sont prises à 25°C température à laquelle le produit ionique de l'eau pure est $K_e = 10^{-14}$.

On dispose d'une solution (S) d'acide méthanoïque HCOOH de concentration molaire $C_a = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ et de **pH** = 2,4 .

1°) Montrer que l'acide méthanoïque est un acide faible . Ecrire l'équation de dissociation de cet acide dans l'eau .

2°) Dans un bécher , on prélève un volume $V_a = 20 \text{ mL}$ de la solution (S) à laquelle on ajoute un volume V_b d'une solution d'hydroxyde de sodium NaOH de concentration $C_b = 0,25 \text{ mol.L}^{-1}$.

a) Ecrire l'équation bilan de la réaction qui a lieu et définir le point d'équivalence .

b) Calculer le volume V_{bE} de la solution d'hydroxyde de sodium qu'il faut verser pour atteindre l'équivalence acido-basique .

c) Au point d'équivalence , le **pH** de la solution vaut **pH_E = 8,3** . Justifier le caractère basique de la solution .



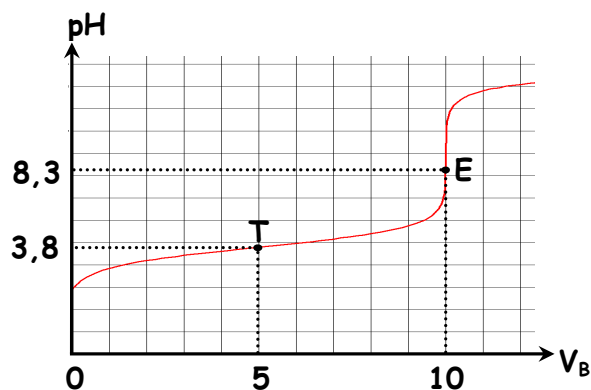
- 3°) a) Au volume $V_a = 20 \text{ mL}$, de la solution (S), on ajoute un volume $V_b' = \frac{V_{bE}}{2}$ de la solution d'hydroxyde de sodium. Une mesure du **pH** de la solution ainsi obtenue, donne **pH = 3,8**.
Montrer que cette valeur du **pH** est celle du **pKa** du couple acide base **HCOOH / HCOO⁻**.
- b) Si on continue à ajouter de la solution d'hydroxyde de sodium et que V_b devienne très grand et largement supérieur à V_{bE} , quelle est la valeur limite du **pH** de la solution ?
- c) En tenant compte des points remarquables rencontrés précédemment, tracer l'allure de la courbe donnant les variations du **pH** en fonction du volume V_b de la solution d'hydroxyde de sodium versé dans le bécher.
- d) Représenter le schéma du dispositif expérimental annoté qui nous a permis de tracer la courbe **pH = f(V_b)**.
- 4°) Pour permettre une bonne immersion de l'électrode du pH-mètre dans le mélange réactionnel, on ajoute **40 mL** d'eau pure aux **20 mL** de la solution acide contenue dans le bécher, et on refait les mesures effectuées au cours de cette neutralisation.
Préciser en le justifiant si, à la suite de cette dilution, chacune des deux valeurs relatives au :
- ⊙ Volume de la solution basique ajoutée pour atteindre l'équivalence,
 - ⊙ **pH_E** du mélange réactionnel à l'équivalence.
- augmente, diminue ou reste constante.

Exercice 9

Les mesures sont faites à **25°C**, température à laquelle le produit ionique de l'eau est **K_e = 10⁻¹⁴**.
On considère deux monoacides **A₁H** et **A₂H** dont l'un est fort et l'autre est faible.
Avec ces deux acides, on prépare à **25°C**, deux solutions aqueuses acides (**S₁**) et (**S₂**) dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau suivant :

| Solution aqueuse | Concentration | pH |
|---|---|------------------------------|
| (S₁) de l'acide A₁H | C₁ = 0,1 mol.L⁻¹ | pH₁ > 1 |
| (S₂) de l'acide A₂H | C₂ = 0,1 mol.L⁻¹ | 1 |

- 1°) a) En se référant au tableau, montrer que l'acide **A₁H** est faible et que l'acide **A₂H** est fort.
- b) Ecrire l'équation de la réaction de dissociation ionique de chacun des deux acides dans l'eau.
- 2°) A l'aide d'une pipette, on prélève un volume $V_A = 20 \text{ mL}$ de la solution aqueuse (**S_A**) correspondant à l'un des deux acides **A₁H** ou **A₂H** qu'on verse dans un b cher. A l'aide d'une burette gradu e, on ajoute progressivement à la solution (**S_A**) une solution aqueuse de soude **NaOH** de concentration **C_B**. On agite, puis à chaque fois, on mesure le **pH** correspondant.
- Proposer un schéma annoté permettant la réalisation expérimentale de ce dosage.
- 3°) La courbe de la figure ci-contre représente la variation du **pH** du mélange en fonction du volume V_B de la base ajout e.
- a) A partir de cette courbe, identifier parmi les deux solutions (**S₁**) ou (**S₂**) celle qui a été utilis e pour effectuer ce dosage. Justifier votre réponse.
- b) Déterminer les coordonnées du point d'équivalence **E**.



c) En analysant les entités chimiques présentes dans la solution à l'équivalence, justifier le caractère acide ou basique de cette solution.

d) Montrer qu'à la demi-équivalence, le **pH** du mélange est égal au **pKa** du couple **AH / A⁻**. Déterminer sa valeur à partir du graphe.

4°) Pour permettre une bonne immersion de l'électrode du pH-mètre dans le mélange réactionnel, on ajoute **20 mL** d'eau pure aux **20 mL** de la solution acide contenue dans le bécher, et on refait les mesures effectuées au cours de ce dosage.

Préciser en le justifiant si, à la suite de cette dilution, chacune des deux valeurs du :

- Volume de la solution basique **V_{BE}** ajoutée pour atteindre l'équivalence,
- **pH_{1/2}** du mélange réactionnel à la demi-équivalence, reste inchangée, subit une augmentation ou une diminution.

5°) Au lieu du suivi pH-métrique, on réalise un dosage colorimétrique utilisant un indicateur coloré approprié.

Parmi les trois indicateurs colorés dont les zones de virage sont mentionnées dans le tableau ci-dessous, lequel vous semble-t-il convenir le mieux à cette expérience ?

| Indicateur coloré | Hélianthine | Bleu de bromothymol | Phénol phtaléine |
|-------------------|-------------|---------------------|------------------|
| Zone de virage | 3,1 - 4,4 | 6 - 7,4 | 8,2 - 10 |

Exercice 10

Avec les deux couples **M₁ⁿ⁺ / M₁** et **M₂ⁿ⁺ / M₂**, on réalise la pile symbolisée par **M₁ | M₁ⁿ⁺ || M₂ⁿ⁺ | M₂**.

1°) a) Faire le schéma de la pile avec toutes les indications nécessaires.

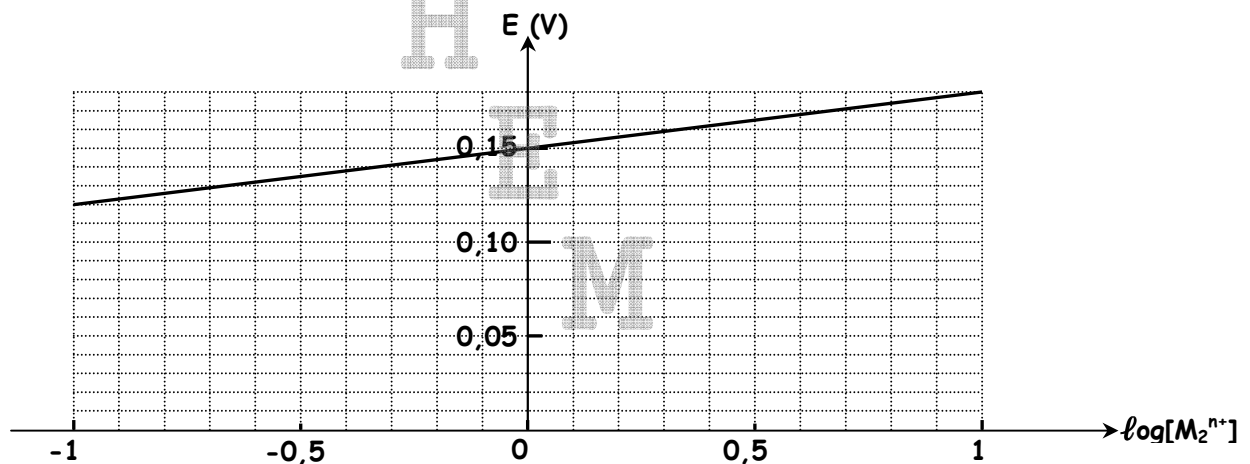
b) Préciser le rôle du pont salin. Peut-on le remplacer par un fil conducteur ?

c) Ecrire l'équation de la réaction associée à cette pile.

2°) Donner l'expression de la **fem E** de la pile en fonction de sa **fem standard** (ou **normale**) **E°**, de **n** et des concentrations molaires **[M₁ⁿ⁺]** et **[M₂ⁿ⁺]**.

3°) On prend **[M₁ⁿ⁺] = 10⁻¹ mol.L⁻¹**.

On fait varier **[M₂ⁿ⁺]** et on mesure la **fem E** de la pile correspondante à **25°C**; on obtient alors la courbe représentée ci-dessous.



En exploitant la courbe **E = f(log[M₂ⁿ⁺])**, déterminer :

a) La valeur de **n**.

b) La valeur de la **fem standard** (ou **normale**) **E°** de la pile.



Exercice 11

On réalise la pile symbolisée par : $\text{Sn} \mid \text{Sn}^{2+} (10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}) \parallel \text{Pb}^{2+} (1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}) \mid \text{Pb}$.

1°) La mesure de la **fem** E de cette pile, à 25°C , donne $E = 0,04 \text{ V}$.

a) Déterminer la valeur de la **fem standard** E° de cette pile.

b) Comparer, en le justifiant, le pouvoir réducteur des deux couples Sn^{2+}/Sn et Pb^{2+}/Pb .

2°) On relie les électrodes de la pile à un conducteur ohmique.

a) Ecrire l'équation de la réaction qui se produit spontanément.

b) Déterminer la constante d'équilibre K relative à la réaction spontanée.

c) Calculer les concentrations des ions Pb^{2+} et des ions Sn^{2+} lorsque la pile cesse de débiter du courant. On suppose que les deux solutions des deux demi-piles ont même volume V .

3°) a) Sachant que le **potentiel standard d'électrode** du couple Sn^{2+}/Sn est $E^\circ(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}) = -0,14 \text{ V}$, déterminer, en utilisant la question 1°) a), la valeur de $E^\circ(\text{Pb}^{2+}/\text{Pb})$.

b) Schématiser avec toutes les indications nécessaires la pile permettant de mesurer le **potentiel standard d'électrode** $E^\circ(\text{Sn}^{2+}/\text{Sn})$. Donner son symbole.

c) Préciser la polarité de cette pile et déduire le sens du courant dans le circuit extérieur.

d) Ecrire les deux demi-équations symbolisant les transformations qui se produisent au niveau de chaque électrode et l'équation de la réaction qui a lieu spontanément lorsque la pile débite du courant.

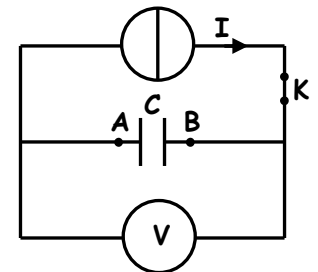
PHYSIQUE

Exercice 1

On se propose de mesurer par deux méthodes, la valeur de la capacité C d'un condensateur.

Expérience 1 :

Le condensateur est relié à un générateur de courant débitant un courant constant d'intensité $I = 10 \mu\text{A}$. Un voltmètre de très grande résistance permet de mesurer la tension u_{AB} aux bornes du condensateur. Le condensateur étant préalablement déchargé, on ferme l'interrupteur K à l'instant de date $t = 0$. On constate qu'à l'instant de date $t_1 = 3 \text{ s}$, la tension u_{AB} atteint la valeur $U_1 = 6,0 \text{ V}$.



1°) a) Montrer qu'à un instant de date t , la tension aux bornes du condensateur a pour expression :

$u_{AB} = \alpha \cdot t$, avec α est une constante que l'on exprimera en fonction de I et de C .

b) Montrer que la capacité C du condensateur a pour valeur $C = 5 \mu\text{F}$.

2°) Exprimer puis calculer l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur à la date t_1 .

Expérience 2 :

On réalise à présent le montage représenté sur la **figure - 1** - et comportant :

- un générateur idéal de tension de force électromotrice E ;
- un conducteur ohmique de résistance $R = 8 \text{ k}\Omega$;
- le condensateur de capacité C ;
- un interrupteur K .

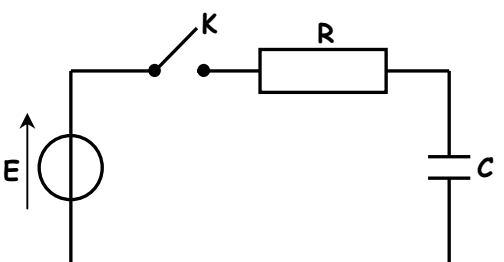


Figure -1-



1°) Compléter sur la **figure - 2** - les connexions nécessaires avec l'oscilloscope afin de visualiser la tension aux bornes du générateur sur la voie Y_1 et la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur sur la voie Y_2 .

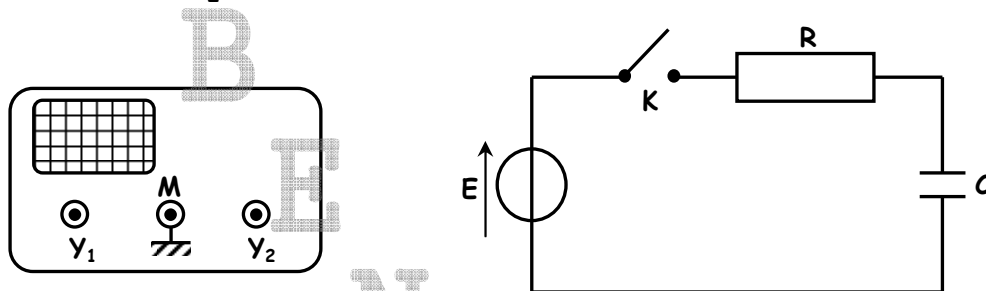


Figure -2-

2°) A l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K . On reproduit sur la **figure-3**- les oscillogrammes obtenus sur les voies Y_1 et Y_2 :

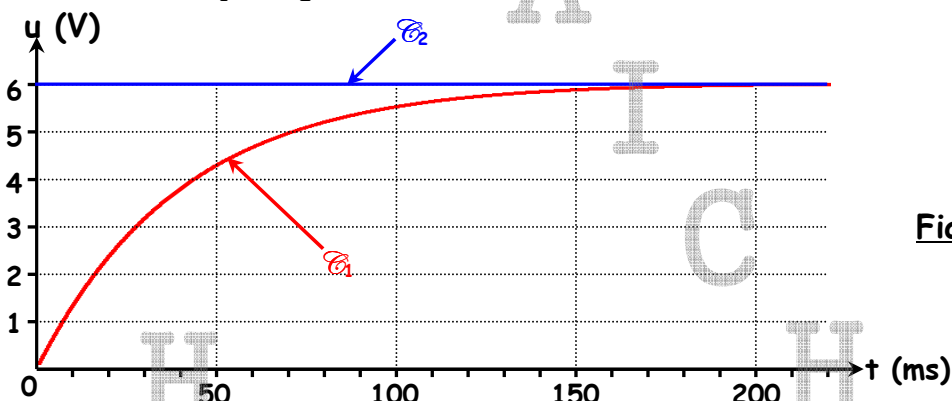


Figure -3-

- Préciser laquelle des deux courbes C_1 ou C_2 celle qui correspond à la tension aux bornes du générateur. Justifier.
- En déduire la valeur de la force électromotrice E .
- Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit.
- Déduire la valeur de la capacité C du condensateur.
- Déterminer la valeur de l'intensité i du courant à l'instant de date $t = 100$ ms.

3°) Etablir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur.

4°) Vérifier que $u_C(t) = E.(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ est solution de l'équation précédente.

5°) On reprend la même expérience en remplaçant le conducteur ohmique par un autre de résistance $R' = \frac{R}{2}$. Représenter sur la **figure - 4** - l'allure de l'oscillogramme donnant les variations de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur. On précisera les coordonnées des points particuliers.

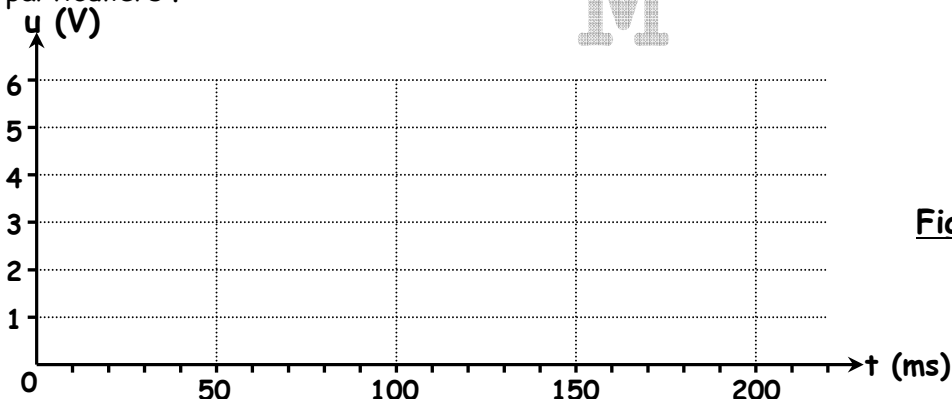


Figure -4-

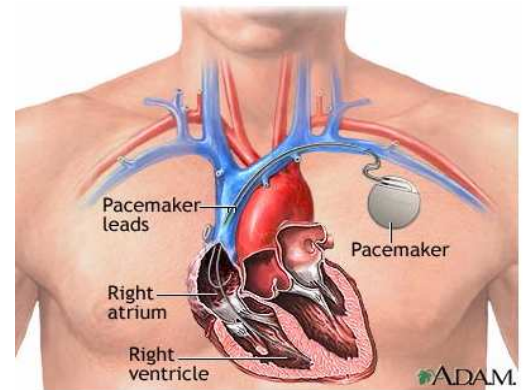
Exercice 2 (Etude d'un document scientifique)

« Notre cœur se contracte plus de 100 000 fois par jour . Il bat 24 h sur 24 pendant toute notre vie , entre **60** et **80 fois** par minute , grâce à un stimulateur naturel : le nœud sinusal . Lorsque celui-ci ne remplit plus correctement son rôle , la chirurgie permet aujourd'hui d'implanter dans la cage thoracique un stimulateur cardiaque artificiel (Pacemaker) qui va forcer le muscle cardiaque à battre régulièrement en lui envoyant de petites impulsions électriques par l'intermédiaire de sondes ("Pacemaker leads") .

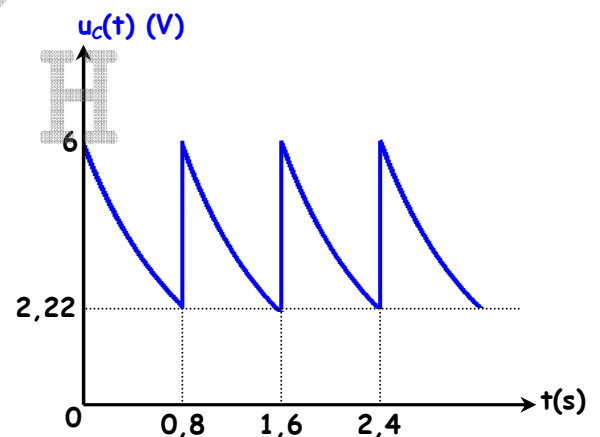
Le pacemaker est en fait un générateur d'impulsions du stimulateur cardiaque ; il peut être modélisé par un circuit en dérivation qui comprend un condensateur de capacité $C = 470 \mu\text{F}$, un conducteur ohmique de résistance R , une pile spéciale de force électromotrice E et un transistor qui joue le rôle de commutateur K .

Quand le commutateur est en position **1** , le condensateur se charge de façon quasi-instantanée . Quand le commutateur bascule en position **2** , le condensateur se décharge lentement à travers le conducteur ohmique . Une impulsion électrique est envoyée au cœur lorsque la tension aux bornes du condensateur atteint **37 %** de sa valeur initiale .

Cette dernière opération terminée , le commutateur bascule à nouveau en position **1** et le condensateur se charge de nouveau , etc ... La tension $u_c(t)$ aux bornes du condensateur a alors au cours du temps l'allure indiquée sur la courbe ci-dessous .



- 1°) Proposer un schéma du montage de pacemaker selon les indications du texte .
- 2°) Calculer la valeur de U_R qui déclenche l'envoi d'une impulsion vers le cœur .
- 3°) a) Déterminer la durée τ qui sépare deux impulsions électriques consécutives . Nommer τ .
b) Déduire la valeur de la résistance R .
- 4°) Calculer le nombre de battements du cœur par minute . Ce résultat est-il compatible avec une fréquence cardiaque normale ?



Exercice 3

On se propose d'étudier l'établissement du courant dans un dipôle série comportant une bobine d'inductance $L = 0,5 \text{ H}$ et de résistance r et un conducteur ohmique de résistance $R = 20 \Omega$ lorsque celui-ci est soumis à un échelon de tension de valeur $E = 6 \text{ V}$ délivrée par un générateur de tension idéal . Un oscilloscope à mémoire , est branché comme l'indique la **figure - 1** - .

A l'instant $t = 0$, on ferme l'interrupteur K , et on procède à l'enregistrement . On obtient l'oscillogramme représenté sur la **figure - 2** - .

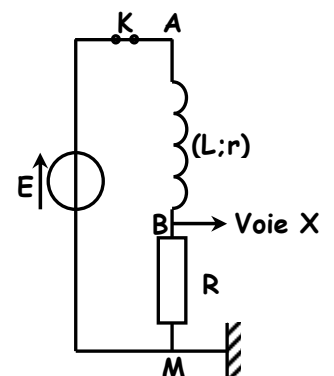


Figure 1

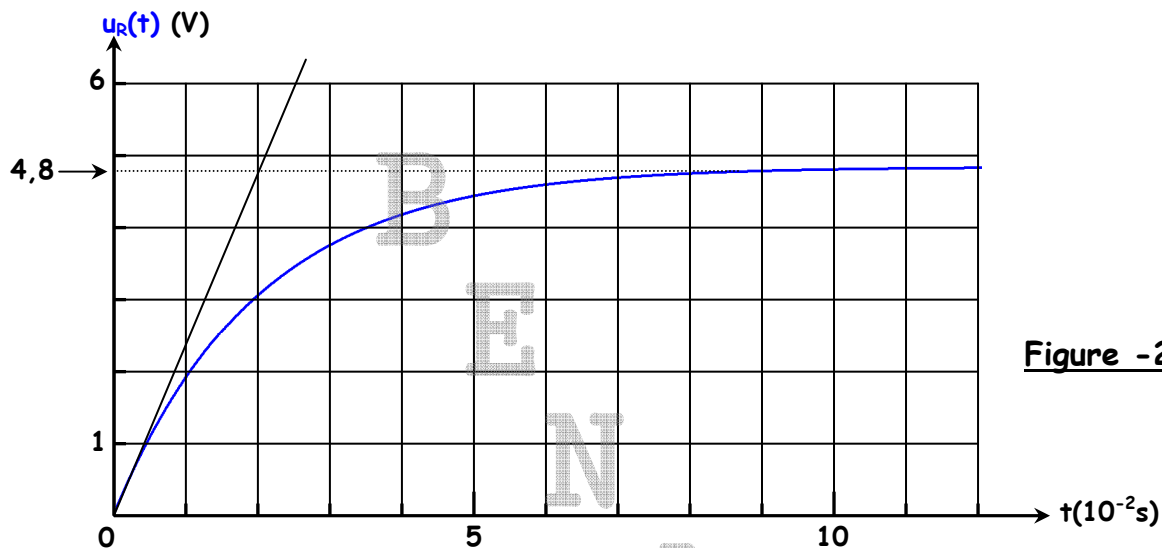


Figure -2-

- 1°) Quelle grandeur électrique peut-être déterminée à partir de la tension $u_R(t)$?
- 2°) a) Expliquer le retard de l'établissement du courant dans le circuit .
b) Nommer le phénomène qui est à l'origine de ce retard .
- 3°) Le circuit étudié peut être caractérisé par une constante de temps τ , qui permet d'évaluer la durée nécessaire à l'établissement du régime permanent dans ce circuit .
a) Etablir l'équation différentielle en $i(t)$ du dipôle RL .
b) Vérifier que $i(t) = \frac{E}{R+r} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ est solution de l'équation précédente avec $\tau = \frac{L}{R+r}$.
- 4°) a) Etablir l'expression de l'intensité I_0 du courant lorsque le régime permanent est établi .
b) Montrer que l'expression de la tension U_R en régime permanent est $U_R = \frac{R}{R+r} E$.
c) Déduire la valeur de la résistance interne r de la bobine .
- 5°) A partir du graphe de la **figure - 2 -** , déterminer la valeur de la constante de temps τ et retrouver la valeur de r calculée en 4°) c) .
- 6°) Calculer la valeur de l'énergie magnétique E_L à la date $t = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$.
- 7°) Représenter sur la **figure - 2 -** l'allure de la courbe représentant les variations de la tension $u_B(t)$ aux bornes de la bobine . On précisera les coordonnées des points particuliers .

Exercice 4

Le circuit électrique de la **figure - 1 -** comprend :

- Une pile de f.é.m. $E = 12 \text{ V}$ et de résistance interne négligeable .
- Un condensateur de capacité $C = 10^{-4} \text{ F}$.
- Une bobine d'inductance L et de résistance propre r .
- Une résistance R_0 variable .
- Un commutateur K .

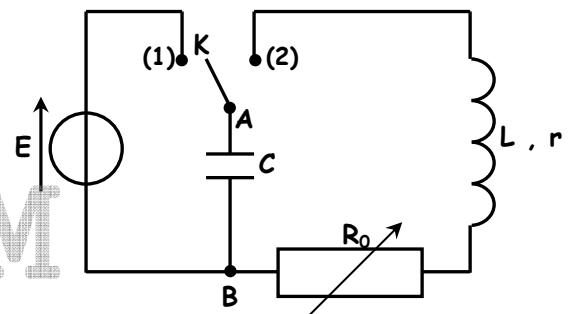


Figure 1

Le commutateur est en **position 1** : le condensateur se charge instantanément . Suite à cette charge , la tension aux bornes du condensateur est $U_C = 12 \text{ V}$.

- 1°) Donner la raison pour laquelle cette charge est instantanée .

2°) On bascule le commutateur en **position 2**.

A l'aide d'un oscilloscope à mémoire, on enregistre simultanément, les variations de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur et celle aux bornes du conducteur ohmique $u_{R_0}(t)$.

Ceci a permis d'obtenir les chronogrammes (\mathcal{C}_1) et (\mathcal{C}_2) de la **figure 2**.

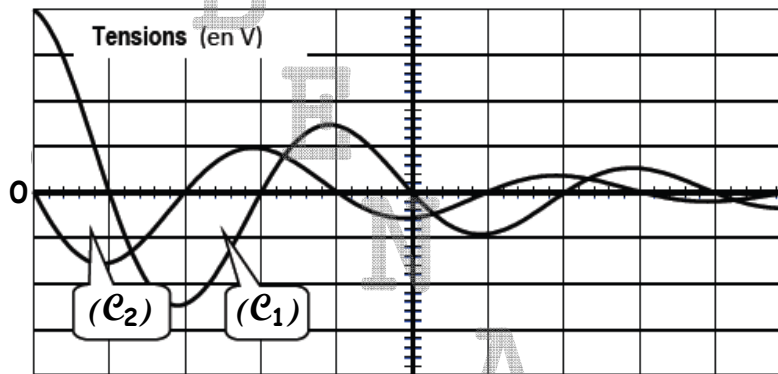


Figure 2

Réglage de l'oscilloscope :

Sensibilités : Courbe (\mathcal{C}_1) : **3V / div**.

Courbe (\mathcal{C}_2) : **1,5V / div**.

Balayage horizontal : **10 ms/div**.

a) Indiquer sur la **figure 3**, les connexions nécessaires permettant d'observer la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur sur la voie Y_1 et celle aux bornes du conducteur ohmique $u_{R_0}(t)$ sur la voie Y_2 .

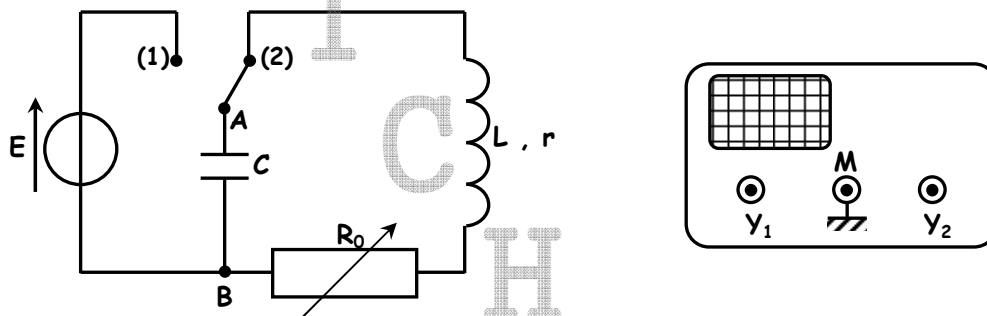


Figure -3-

b) Identifier en le justifiant, les courbes (\mathcal{C}_1) et (\mathcal{C}_2).

c) Déterminer graphiquement la valeur de la pseudopériode **T** des oscillations.

3°) Les oscillations enregistrées sont dites libres amorties.

Justifier les dénominations :

a) Oscillations libres.

b) Oscillations amorties.

4°) Etablir l'équation différentielle vérifiée par la charge $q(t)$ du condensateur.

5°) a) Exprimer l'énergie totale **E** du circuit en fonction de **L**, **C**, $q(t)$ et $i(t)$.

b) En déduire que l'énergie totale **E** n'est pas conservée au cours du temps.

c) Déterminer la variation de l'énergie totale ΔE de l'oscillateur entre les instants de dates $t_0 = 0$ s et $t_1 = 30$ ms. Sous quelle forme cette énergie est dissipée ?

6°) On fait varier la résistance R_0 du résistor et on visualise sur l'écran de l'oscilloscope les variations de la tension $u_c(t)$ et ceci pour 3 valeurs de la résistance R_0 :

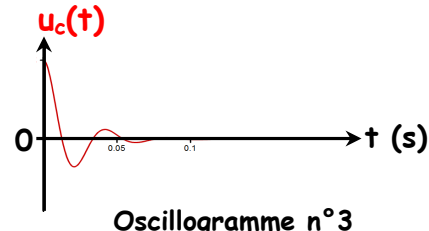
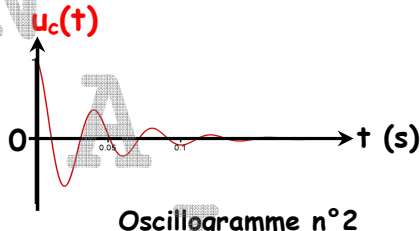
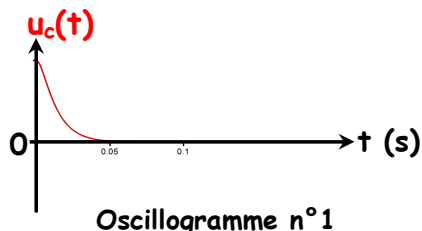
$$R_{01} = 20 \, \Omega ; R_{02} = 40 \, \Omega ; R_{03} = 140 \, \Omega ;$$

Pour chaque résistor utilisé, l'oscillogramme obtenu, ainsi qu'un tableau, sont portés ci-dessous :

Il est demandé au candidat de remplir le tableau selon les instructions suivantes :

Pour chaque oscillogramme, on indiquera la valeur de R_0 et l'une des deux indications suivantes

« pseudo périodique » ou « apériodique » .



| | R_0 (en Ω) | Nature des oscillations (pseudo périodique ou apériodique) |
|-------------------|----------------------|---|
| Oscillogramme n°1 | $R_0 = \dots$ | |
| Oscillogramme n°2 | $R_0 = \dots$ | |
| Oscillogramme n°3 | $R_0 = \dots$ | |

Exercice 5

Un condensateur de capacité C est chargé à l'aide d'un générateur de tension de f.é.m. E_g constante et de résistance interne négligeable. Pendant la phase de charge, le commutateur est placé dans la position (1). On décharge ensuite le condensateur dans une bobine purement inductive d'inductance $L = 0,1 \, \text{H}$, en basculant à l'instant de date $t = 0$ le commutateur dans la position (2) (figure -1-).

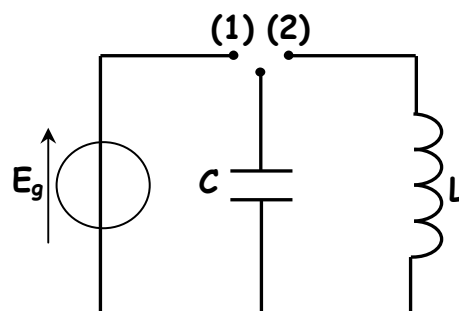


Figure -1-

1°) Etablir l'équation différentielle traduisant la variation de la charge instantanée $q(t)$ du condensateur.

2°) a) Donner l'expression de l'énergie électromagnétique E du circuit électrique en fonction de L , C , $q(t)$ et $i(t)$.

b) Montrer que cette énergie E est constante.

3°) La figure 2 représente les variations de l'énergie magnétique E_L emmagasinée par la bobine en fonction du carré de la tension aux bornes du condensateur u_c^2 .

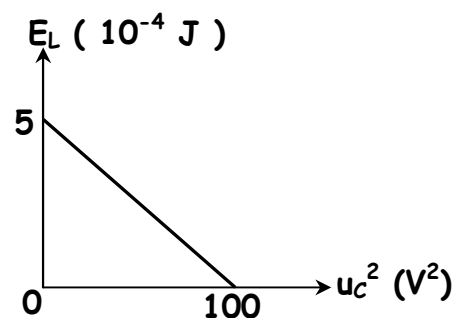
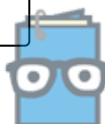


Figure -2-

a) Justifier théoriquement l'allure de cette courbe en établissant l'expression de l'énergie magnétique E_L en fonction de u_c^2 , de la capacité C et de l'énergie électromagnétique E .

b) Dédire les valeurs de la tension maximale U_{cm} , de C et de E .

4°) Déterminer l'expression de la tension instantanée $u_c(t)$ aux bornes du condensateur en précisant la valeur maximale, la pulsation et la phase initiale.



Exercice 6

On dispose d'un condensateur de capacité C et d'une bobine purement inductive d'inductance L .

On charge préalablement le condensateur à l'aide d'un générateur de tension continue de f.é.m. $E_g = 6 \text{ V}$ et de résistance interne négligeable, puis on réalise le circuit de la figure 1.

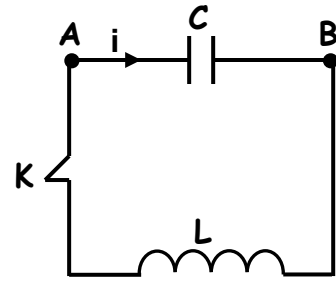


figure 1

1°) Etablir l'équation différentielle traduisant la variation de la tension instantanée $u_{AB}(t) = u_C(t)$ aux bornes du condensateur. Quelle est la forme de la solution de cette équation différentielle ?

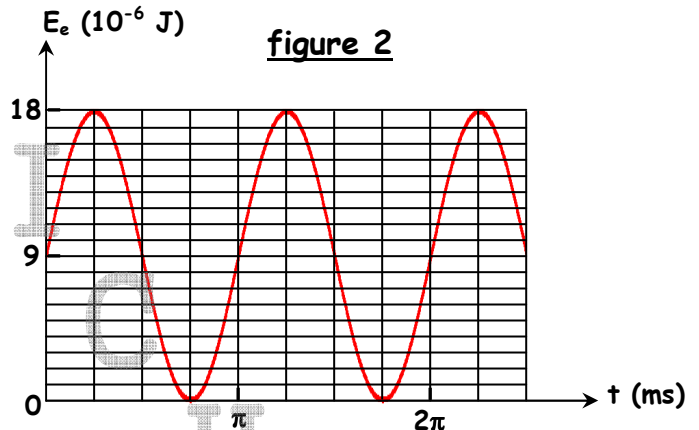
2°) a) Donner l'expression de l'énergie électromagnétique E du circuit électrique en fonction de L , C , $u_C(t)$ et $i(t)$.

b) Montrer que cette énergie E est constante.

3°) La figure 2 représente les variations de l'énergie électrostatique E_e emmagasinée par le condensateur.

a) Justifier théoriquement l'allure de cette courbe et déterminer la relation entre la période T de l'énergie E_e et la période propre T_0 de l'oscillateur.

b) Déduire à partir de la courbe les valeurs de T , T_0 , C et L .



Exercice 7

On monte, en série, un résistor de résistance $R = 50 \Omega$, une bobine d'inductance L et de résistance r et un condensateur de capacité $C = 1 \mu\text{F}$. On applique entre les bornes A et M du dipôle ainsi obtenu une tension alternative sinusoïdale de fréquence N réglable. On relie la voie I , la voie II et la masse d'un oscilloscope bicourbe respectivement aux points A , B et M du circuit (figure 1).

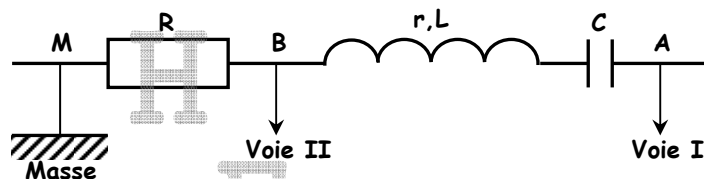


figure 1

I/ Pour une fréquence N_1 de la tension d'alimentation, on obtient sur l'écran de l'oscilloscope les courbes (a) et (b) de la figure 2 :

1°) Identifier chaque sinusoïde de l'oscillogramme. Justifier votre réponse ;

2°) Déterminer le déphasage $\Delta\phi = (\phi_u - \phi_i)$ de la tension $u(t)$ par rapport au courant $i(t) = I_m \sin(2\pi Nt + \phi_i)$ parcourant le circuit électrique alimenté par le générateur.

Déduire si ce circuit électrique est inductif, capacitif ou résistif.

3°) Déterminer l'intensité maximale I_m du courant et l'impédance Z du circuit.

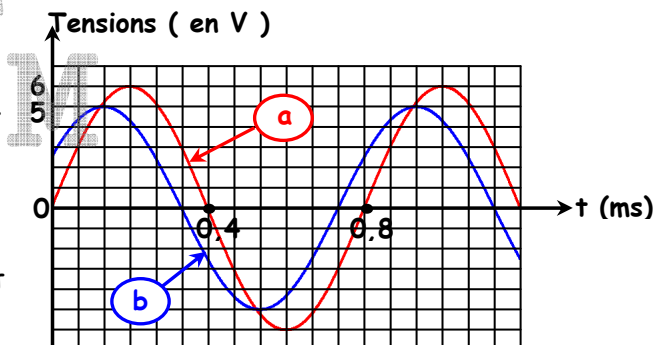


figure 2

4°) Faire la construction de Fresnel en tenant compte des données et déduire les valeurs de la résistance r et de l'inductance L de la bobine .

II/ On fait varier la fréquence N du G.B.F. .

1°) Pour quelle valeur de la fréquence , les deux sinusoïdes deviennent-elles en phase ?

2°) Quel est l'état du circuit ?

3°) Définir et calculer le facteur de surtension . Conclure .

4°) Quelle est la valeur indiquée par un voltmètre entre les bornes A et B ?

Exercice 8

I/-Les frottements sont supposés négligeables .

Le pendule élastique représenté par la figure -1- est constitué par :

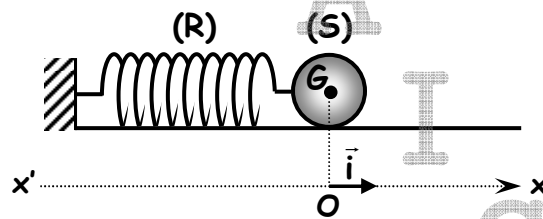


Figure -1-

⊙ Un ressort (R) à spires non jointives , d'axe horizontal , de masse négligeable et de raideur k .

⊙ Un solide (S) , supposé ponctuel , de centre d'inertie G et de masse $m = 40 \text{ g}$.

Lorsque (S) est au repos , son centre d'inertie G occupe la position O origine d'un axe $x'Ox$ horizontal .

On écarte (S) de sa position d'équilibre O jusqu'au point d'abscisse $x_0 > 0$ et on le lâche sans vitesse initiale à un instant qu'on prendra comme origine des dates .

A une date t quelconque , le centre d'inertie G de (S) a une élongation x et une vitesse instantanée v .

1°) a) Etablir l'équation différentielle , relative à l'élongation $x(t)$, régissant le mouvement du centre d'inertie du solide (S) .

b) Déduire alors la nature du mouvement de (S) .

2°) a) Donner l'expression de l'énergie mécanique E du système { solide (S) , ressort (R) } lorsque (S) passe par un point M quelconque d'abscisse x avec une vitesse v .

b) Montrer que l'énergie mécanique E du système { solide (S) , ressort (R) } est constante .

Déduire alors son expression en fonction de k et x_0 .

3°) Sachant que l'élongation $x(t)$ est de la forme $x(t) = X_m \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_x)$, établir l'expression de l'énergie cinétique E_c du solide (S) en fonction du temps . Donner l'expression de sa période T en fonction de la période propre T_0 .

4°) La courbe de la figure - 2 - , représente les variations de l'énergie cinétique $E_c(t)$ du solide (S) en fonction du temps . Déterminer la valeur de :

a) La période propre T_0 .

b) La constante de raideur k du ressort (R) .

On prendra $\pi^2 = 10$.

c) L'amplitude X_m des oscillations .

5°) Déterminer l'expression de l'élongation $x(t)$.

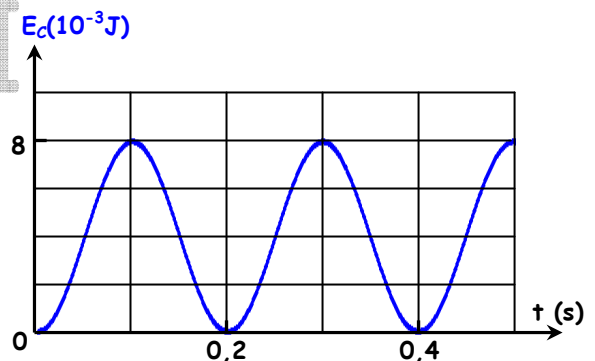


Figure -2-



II/-Les frottements ne sont plus négligeables

A l'aide d'un dispositif approprié, on soumet maintenant le solide **(S)** à des frottements visqueux dont la résultante est $\vec{f} = -h \cdot \vec{v}$ où h est une constante positive et \vec{v} la vitesse instantanée du centre d'inertie **G** de **(S)**.

1°) a) En utilisant le théorème du centre d'inertie, établir l'équation différentielle régissant le mouvement du centre d'inertie du solide **(S)**.

b) Dédurre que l'énergie mécanique **E** du système {solide **(S)**, ressort **(R)**} n'est pas conservée au cours du temps.

2°) L'enregistrement des différentes positions de **G** au cours du temps donne la courbe de la figure - 3 -.

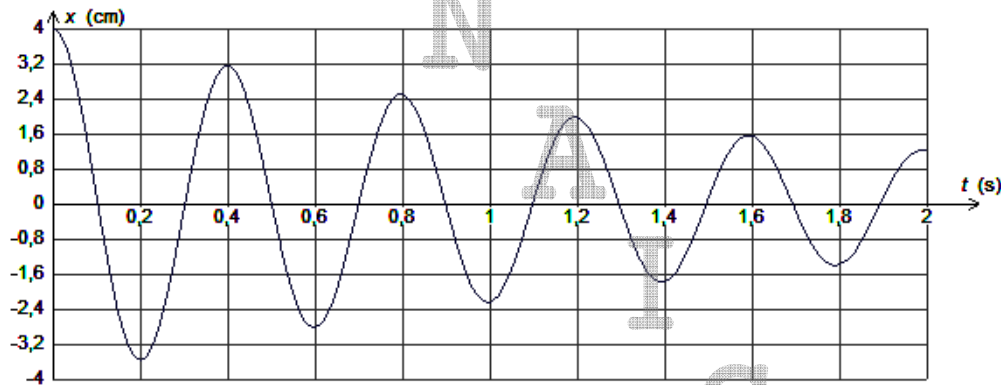


Figure -3-

Déterminer la perte d'énergie entre les instants $t_1 = 0 \text{ s}$ et $t_2 = 4T$.
(T étant la pseudopériode).

Exercice 9 (section math uniquement)

Un oscillateur est formé d'un ressort **(R)** de constante de raideur $k = 20 \text{ N.m}^{-1}$ et d'un solide **(S)** de masse m . Le solide **(S)** est soumis à l'action de forces de frottement visqueux dont la résultante est de la forme $\vec{f} = -h \cdot \vec{v}$ où h est une constante positive et à l'action d'une force excitatrice de la forme $\vec{F} = F_{\max} \sin(\omega \cdot t) \cdot \vec{i}$ exercée à l'aide d'un dispositif approprié.

Ainsi, à tout instant t , l'élongation x de **G**, sa dérivée première $\frac{dx}{dt}$ et sa dérivée seconde $\frac{d^2x}{dt^2}$

vérifient la relation (1) : $kx + h \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} = F_{\max} \sin(\omega \cdot t)$ dont la solution est :

$$x(t) = X_m \sin(\omega t + \varphi_x).$$

La figure -5- représente les variations des valeurs de $x(t)$ et de $F(t)$ au cours du temps.

1°) Montrer, en le justifiant, que la courbe (\mathcal{C}_1) correspond à $x(t)$.

2°) En exploitant la figure -1-, établir les expressions de $F(t)$ et de $x(t)$.

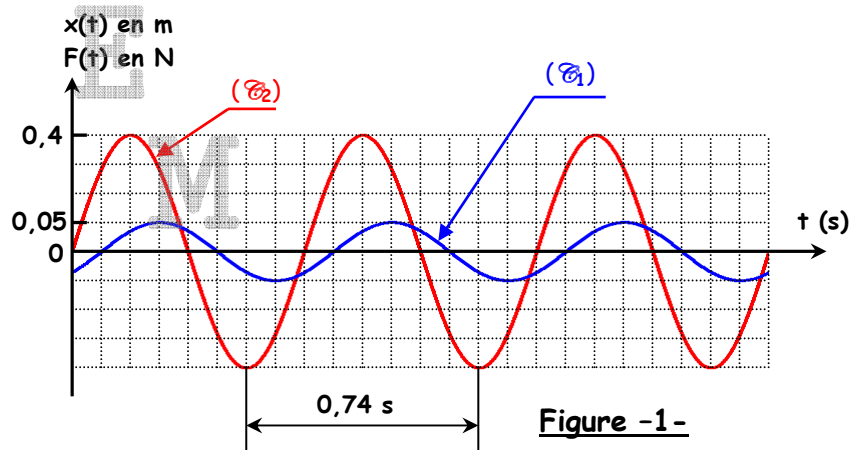


Figure -1-



3°) Sur la **figure - 2** , à remplir et à remettre avec la copie , sont représentés les vecteurs de Fresnel associés aux fonctions $k.x(t)$ et $F(t)$.

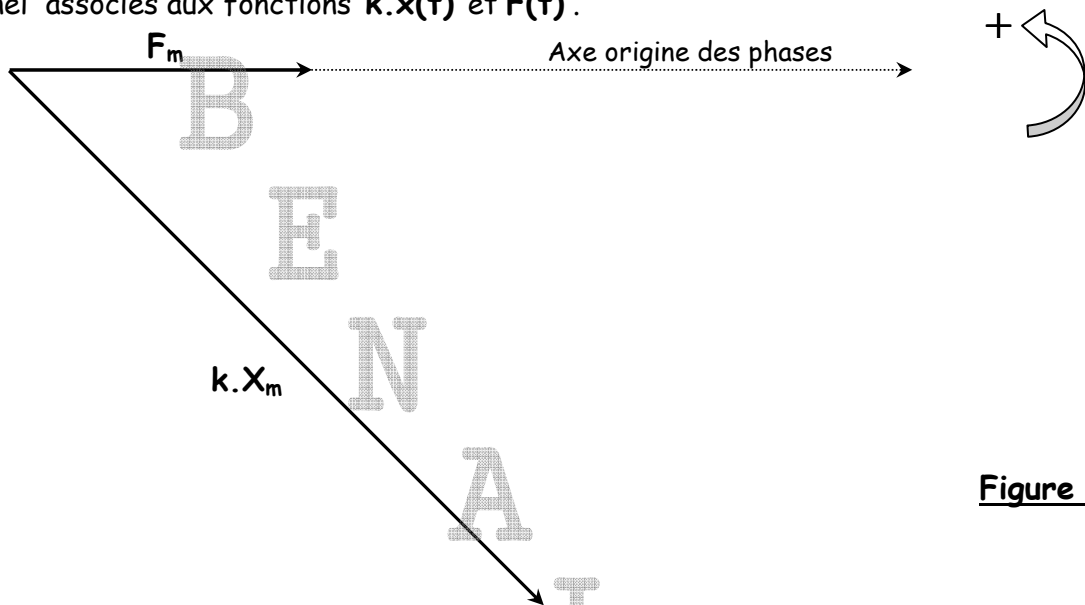


Figure 2

- a) Compléter la construction de Fresnel relative à l'équation (1) en traçant sur la **figure -2-** et dans l'ordre suivant les vecteurs correspondant respectivement aux fonctions $h \frac{dx}{dt}$ et $m \frac{d^2x}{dt^2}$ en prenant pour échelle : **10 cm \leftrightarrow 1 N** .
- b) Dédire à partir de cette construction les valeurs de **m** et de **h** .
- 4°) a) A l'aide de la construction de Fresnel , déterminer l'expression de **X_m** en fonction de **F_{max}** , **h** , **ω** , **k** et **m** .
- b) Etablir , à l'aide de l'analogie mécanique - électrique que l'on précisera , l'expression de l'amplitude **Q_{max}** des oscillations électriques forcées . Tracer l'allure des variations de **Q_{max}** en fonction de la pulsation **ω** ; on notera , approximativement sur le tracé , la position de la fréquence **ω_r** correspondant à la résonance de charge par rapport à la pulsation propre **ω_0** de l'oscillateur .

Exercice 10 (Etude d'un document scientifique)

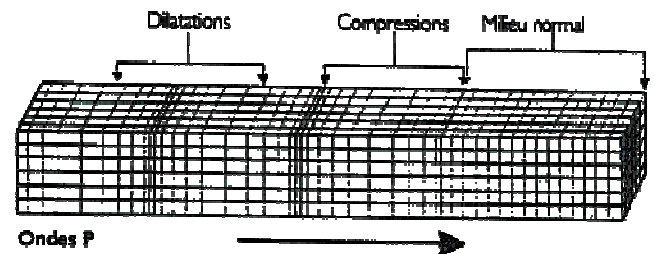
LES ONDES SISMIQUES

Les ondes sismiques sont des ondes élastiques . L'onde peut traverser un milieu sans modifier durablement ce milieu . L'impulsion de départ va "pousser" des particules élémentaires , qui vont "pousser" d'autres particules et reprendre leur place . Ces nouvelles particules vont "pousser" les particules suivantes et reprendre à leur tour leur place , etc ...

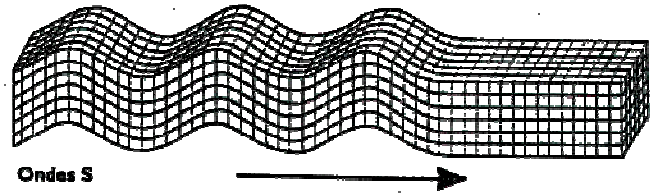
Les vibrations engendrées par un séisme se propagent dans toutes les directions . On distingue :

- ❖ *Les ondes **P** ou ondes primaires appelées aussi ondes de compression . Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives , parallèlement à la direction de propagation de l'onde . Ce sont les plus rapides (6 km.s⁻¹ près de la surface) et sont enregistrées en premier sur un sismogramme . Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre .*
- ❖ *Les ondes **S** ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement . A leur passage , les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde . Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides , elles sont en particulier arrêtées par le noyau de la Terre . Leur vitesse est plus lente que celle des ondes **P** , elles apparaissent en second sur les sismogrammes .*

L'onde **P** comprime et étire alternativement les roches. On l'enregistre bien sur la composante verticale du sismomètre.



L'onde **S** se propage en cisailant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation. On l'enregistre bien sur les composantes horizontales du sismomètre.



| Questions | Réponses |
|---|---|
| A partir de l'épicentre, les ondes sismiques se propagent-elles dans une direction privilégiée ? | |
| Les ondes sismiques se propagent-elles avec transport de matière ? Relever du texte une phrase justifiant la réponse. | |
| Dans le texte, on évoque la vitesse de propagation d'une onde. Quel autre terme utilise-t-on pour désigner le mot "vitesse" ? Justifier. | |
| Définir une onde transversale. Laquelle parmi les ondes P et S celle qui correspond à une onde transversale ? Justifier. | |

Exercice 11

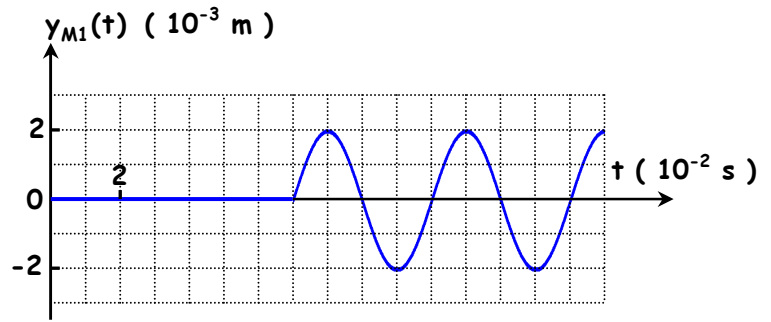
Une lame vibrante est animée d'un mouvement rectiligne sinusoïdal de fréquence **N**. Elle est munie d'une pointe qui frappe verticalement la surface libre d'une nappe d'eau au repos en un point **S**. La source commence à vibrer à l'instant **t = 0 s** ;
On néglige l'amortissement et la réflexion des ondes.



L'analyse du mouvement d'un point M_1 situé à la distance x_1 de S , donne le digramme suivant :

1°) Déterminer à partir du graphe de la figure ci-contre :

- La fréquence N .
- L'instant t_1 début du mouvement du point M_1 .
- La distance x_1 , sachant que l'onde se propage avec une célérité $V = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$.



2°) Déduire la valeur de la longueur d'onde λ .

3°) a) Déterminer l'équation horaire du mouvement du point M_1 .

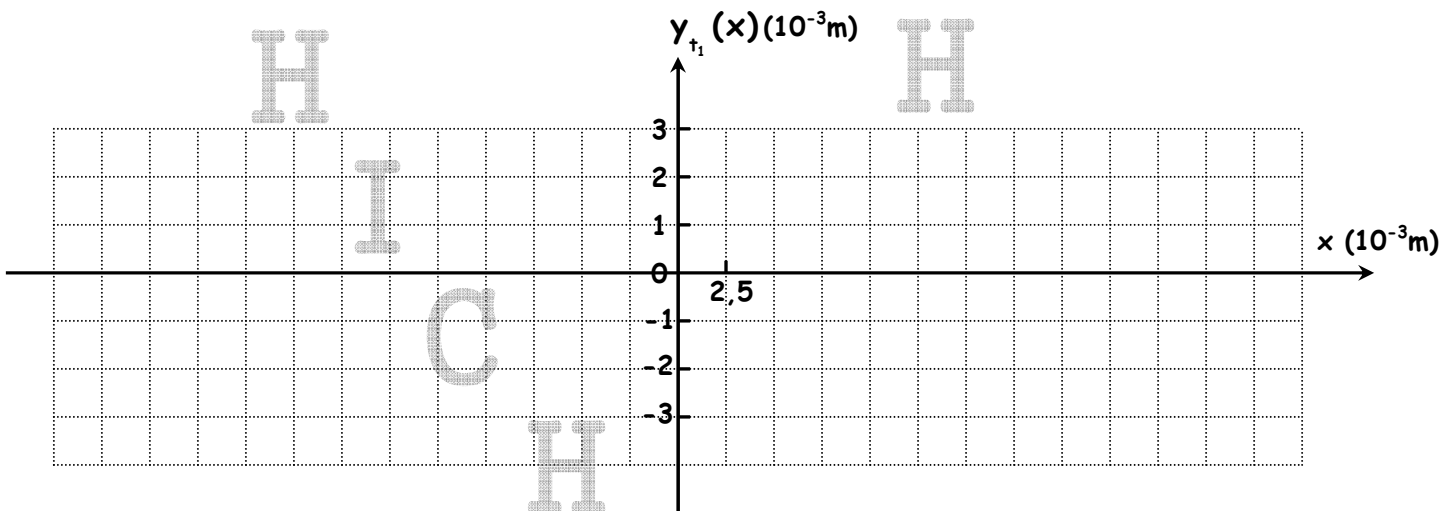
b) Déduire l'équation horaire du mouvement de la source S .

4°) a) Soit M un point appartenant à la surface du liquide et situé à une distance x de S .

Monter que l'équation horaire du mouvement de M lorsqu'il est atteint par l'onde issue de S s'écrit : $y_M(t, x) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(50\pi t - 200\pi x)$ (m) pour $t \geq 0$.

b) Représenter l'aspect d'une coupe fictive de la nappe du liquide par un plan vertical contenant S à l'instant de date $t_1 = 0,1 \text{ s}$.

Le travail demandé sera schématisé sur la figure ci-dessous « à remplir par le candidat et à remettre avec la copie », conformément à l'échelle indiquée.



c) Placer sur le tracé précédent les points possédant à l'instant t_1 une elongation égale à -1 mm et se déplaçant dans le sens ascendant.

Exercice 12

Deux microphones M_1 et M_2 , distants de d , sont placés dans l'axe d'un haut parleur émettant un son sinusoïdal de fréquence N comme l'indique la figure - 1 - ci-dessous :

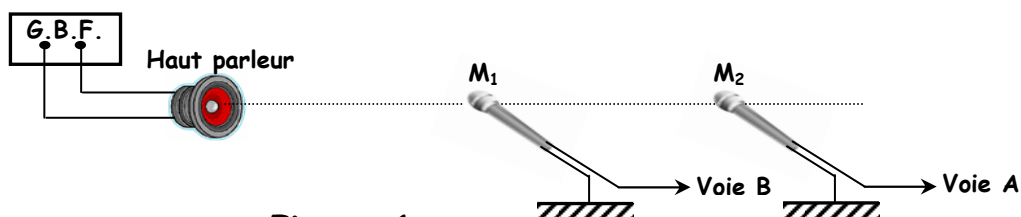


Figure -1-



Les microphones M_1 et M_2 sont connectés respectivement aux voies B et A réglées sur la même sensibilité verticale. La sensibilité horizontale est : **0,25 ms/div**.

On obtient alors l'oscillogramme représenté sur la **figure - 2**.

1°) Identifier la voie correspondant à chaque courbe de l'oscillogramme de la **figure - 2**.

Justifier votre réponse.

2°) Déterminer la fréquence **N** de l'onde sonore.

3°) a) La distance minimale entre les microphones pour que laquelle les deux courbes sont en phase est $d_{\min} = 42,5 \text{ cm}$. Déterminer la longueur d'onde λ de l'onde sonore.

b) Dédurre la célérité **V** du son dans l'air.

4°) Sans déplacer le dispositif expérimental précédent, on modifie la fréquence **N** du son émis par le haut parleur. La nouvelle valeur de la fréquence est $N' = \frac{N}{2}$.

Représenter les courbes observées sur la **figure - 3**

« à remplir par le candidat et à remettre avec la copie ».

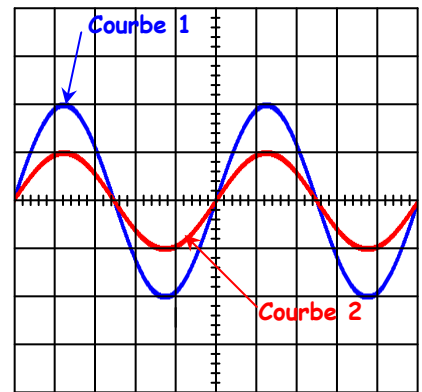


Figure 2

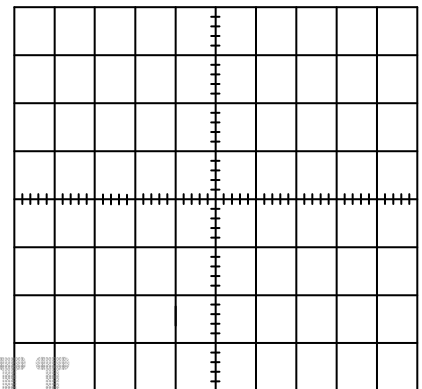


Figure 3

Exercice 13 (Etude d'un document scientifique)

« Comme toute étoile, le Soleil est une énorme sphère de gaz très chaud qui produit de la lumière. [...] »

La photosphère (surface du Soleil), bien observable en lumière visible, est à une température d'environ 5500°C .

Si le Soleil était sans atmosphère, le spectre de la lumière émise serait continu.

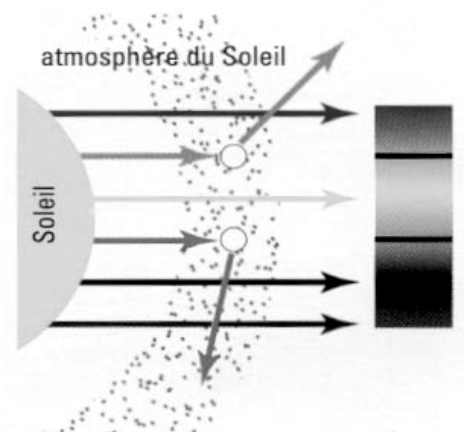
En 1814, le physicien allemand J. FRAUNHOFER remarque dans le spectre du Soleil, une multitude de raies noires dues à la présence d'une atmosphère autour du Soleil, appelée chromosphère, qui s'étend sur 2000 km d'épaisseur environ.

Les atomes présents dans cette chromosphère « interceptent » leurs radiations caractéristiques qui seront donc absentes du spectre vu depuis la Terre.

Entre 300 nm et 700 nm, il existe plus de 20000 raies répertoriées.

L'analyse spectrale permet de connaître la composition chimique détaillée et précise du Soleil. Tous les éléments connus sur Terre y sont présents, certains à l'état de trace.

En fraction de masse, les deux éléments les plus abondants sont l'hydrogène (78,4 %), l'hélium (19,6 %) et 2% d'autres éléments ».



Extrait de « L'astronomie » de Michel MARCEUN ; Éd. Hachette



Partie A

- 1°) En se référant au texte, donner la raison pour laquelle le spectre du Soleil présente une multitude de raies noires.
- 2°) Le spectre d'émission ou d'absorption constitue la « carte d'identité » d'un élément chimique. Relever du texte la phrase qui traduit cette affirmation.
- 3°) Nommer l'appareil qu'on utilise pour obtenir un spectre de raies. Préciser la pièce maîtresse (indispensable) faisant partie des éléments de cet appareil.

Partie B

- 1°) On s'intéresse maintenant, au spectre de l'atome d'hydrogène, élément le plus abondant dans la chromosphère.
On rappelle que la quantification de l'énergie de l'atome d'hydrogène se traduit par la relation :
$$E_n = -\frac{E_0}{n^2} \text{ avec } -E_0 = -13,6 \text{ eV et } n \in \mathbb{N}^*.$$
 - a) Donner la signification physique du terme « **quantification** » de l'énergie.
 - b) Représenter le diagramme des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène.
On se limitera aux 4 premiers niveaux d'énergie et au niveau $n = \infty$.
 - c) Préciser sur le diagramme précédent, les états dans lequel se trouve l'atome d'hydrogène.
- 2°) Déterminer la fréquence ν de la radiation correspondant au passage de l'électron de l'atome d'hydrogène du niveau d'énergie E_4 au niveau E_3 . Préciser s'il s'agit d'une émission ou d'une absorption de photon.
- 3°) L'atome d'hydrogène étant dans l'état correspondant au niveau d'énergie E_3 , il reçoit un photon d'énergie $W = 3,51 \text{ eV}$.
Montrer que l'électron est arraché. Déterminer en eV son énergie cinétique E_c .
On donne : constante de Planck $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$;
célérité de la lumière $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Bon travail à tous mes bien-aimés élèves

