

CONCOURS NATIONAL DEUG

---

Epreuve commune concours Physique et concours Chimie

PHYSIQUE

PARTIE I

Durée : 2 heures

---

Nb : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.

Si un candidat est amené à repérer ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

---

*Les calculatrices sont autorisées.*

*L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est interdit.*

---

*De très nombreuses parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.*

*Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.*

---

Les parties **A**, **B** et **C** sont totalement indépendantes.

### Partie A

#### Électromagnétisme

L'espace est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct  $(Ox, Oy, Oz)$  de base  $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ . Soit  $\vec{g} = -g \vec{e}_z$ , le champ de pesanteur (avec  $g > 0$ ).

Deux rails métalliques parallèles et distants de  $\ell$ , parfaitement conducteurs, sont reliés par une tige conductrice **CD** rectiligne, de résistance  $R$ . Ces conducteurs constituent un ensemble rigide et immobile.

Afin de fermer le circuit, une barre métallique, de masse  $m$ , parfaitement conductrice, est posée sur les rails, orthogonalement à ceux-ci. Soient **A** et **B** les points de contact entre la barre et les rails. Cette barre peut effectuer un mouvement de translation sans frottement sur les rails. L'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme et constant  $\vec{B}_o = B_o \vec{e}_z$ , avec  $B_o > 0$ .

#### I. Cadre horizontal dans un champ magnétique uniforme et constant

Le circuit **ABCD** est situé dans un plan horizontal et les rails sont maintenus parallèles à l'axe  $Ox$ . La barre est animée d'un mouvement de translation de vitesse  $\vec{v} = v \vec{e}_x$  (avec  $v > 0$ ) (figure 1).

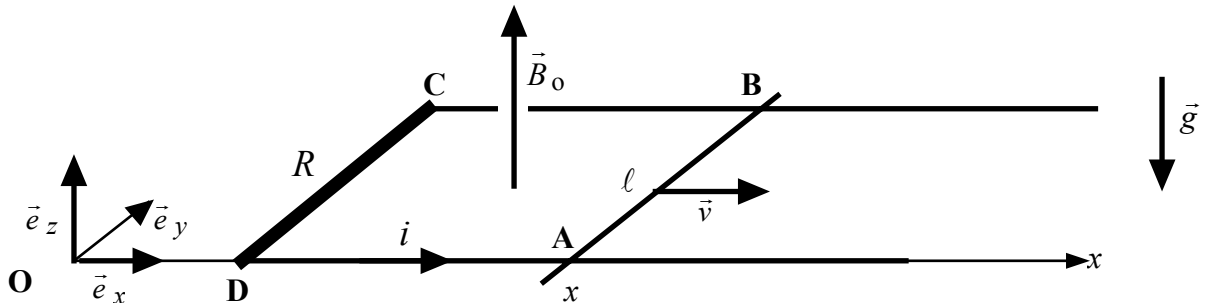


Figure 1

- 1) La position de la barre est repérée par son abscisse  $DA = x$ . Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, le flux  $\Phi$  du champ magnétique à travers le cadre **ABCD**.
- 2) Montrer que, dans la barre, les porteurs de charge sont soumis à l'action d'un champ électromoteur  $\vec{E}_m$ . Donner l'expression vectorielle de ce champ  $\vec{E}_m$ .
- 3) Prendre en compte l'orientation indiquée sur la figure (1) et préciser le signe du courant  $i$  induit dans le circuit **ABCD**.
- 4) Exprimer, en fonction de  $R$ ,  $v$ ,  $B_o$  et  $\ell$ , l'intensité du courant  $i$ .
- 5) Ce courant induit s'accompagne de forces dites « de Laplace » appliquées à toutes les portions du circuit. Recopier la figure (1) en précisant la direction et le sens de la résultante  $\vec{F}$  des forces d'induction appliquées à la barre **AB**.

- 6) A l'instant initial  $t = 0$ , la barre est lancée avec une vitesse initiale  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x$  (avec  $v_0 > 0$ ). Déterminer l'expression vectorielle de la vitesse  $\vec{v}(t)$  au temps  $t$ .
- 7) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction  $v(t)$ .
- 8) Une modification de la valeur de la résistance  $R$  peut-elle avoir une influence sur le mouvement de la barre ? Justifier.

## II. Cadre incliné dans un champ magnétique uniforme et constant

Le cadre plan **ABCD** est maintenant incliné d'un angle  $\alpha$  (constant) par rapport au plan horizontal. Les rails sont parallèles à l'axe  $Dx'$  (orienté par le vecteur unitaire  $\vec{e}_{x'}$ ) et la tige **CD** est maintenue parallèle à l'axe  $Oy$  (orienté par le vecteur unitaire  $\vec{e}_y$ ). La barre peut toujours effectuer un mouvement de translation sans frottement sur les rails (figure 2).

A l'instant initial  $t = 0$ , la barre est abandonnée sans vitesse initiale. Soit  $\vec{v}' = v' \vec{e}_{x'}$ , sa vitesse de translation au temps  $t$ .

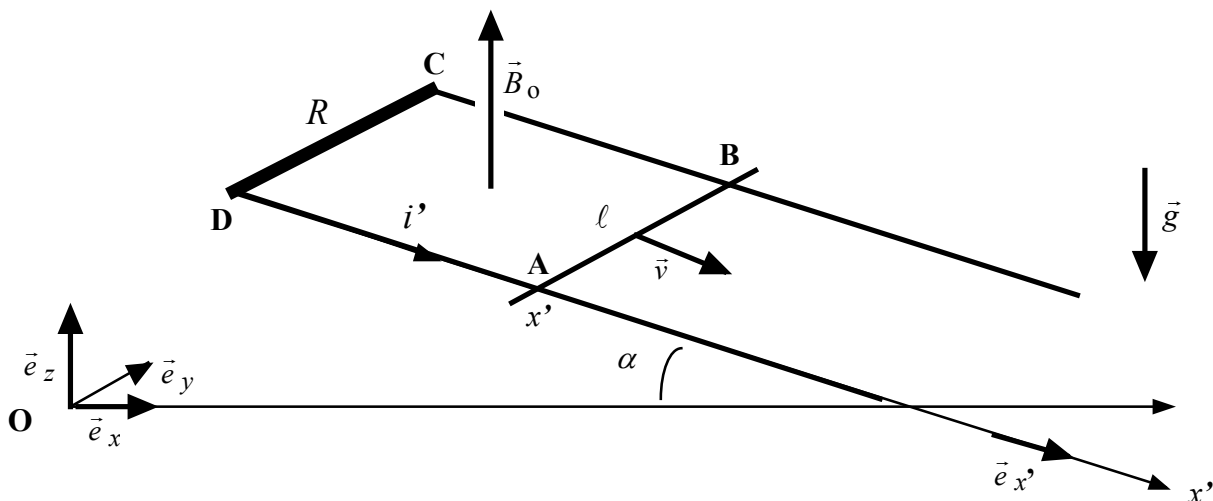


Figure 2

- 1) La position de la barre est repérée par son abscisse  $DA = x'$ . Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, le flux  $\Phi'$  du champ magnétique à travers le cadre **ABCD**.
- 2) Exprimer, en fonction de  $R$ ,  $v'$ ,  $B_0$ ,  $l$  et  $\alpha$ , l'intensité du courant induit  $i'$ .
- 3) Sur un schéma, faire l'inventaire, à  $t > 0$ , des forces qui s'exercent sur la barre.
- 4) Donner l'expression vectorielle de la résultante  $\vec{F}'$  des forces d'induction qui s'exercent sur la barre.
- 5) Établir l'équation différentielle liant la vitesse algébrique  $v'$  au temps  $t$ .
- 6) En déduire l'expression de  $v'(t)$ .
- 7) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction  $v'(t)$ .

## Partie B

### Thermodynamique

*Les données nécessaires à la résolution des applications numériques sont rassemblées à la fin de l'énoncé de l'exercice.*

On étudie la compression réversible d'un gaz dans un compresseur parfaitement calorifugé. Il s'agit de prélever du gaz situé dans un réservoir  $R_1$ , de grandes dimensions, maintenu à la pression  $P_1$  et à la température  $T_1$  constantes, de le comprimer, puis de le refouler dans un second réservoir  $R_2$ , lui aussi de grandes dimensions, maintenu à  $P_2$  et  $T_2$  constantes (figure 3). Le gaz est parfait, de masse molaire  $M$  et de caractéristique énergétique  $\gamma = c_{p,m} / c_{v,m}$  (rapport des coefficients thermiques molaires, respectivement isobare et isochore) constante. La transformation s'effectue en **trois étapes** :

#### (I) Étape d'admission

La soupape d'admission  $S_1$  est ouverte, et la soupape de refoulement  $S_2$  est fermée. Le piston  $\Pi$  est initialement au fond du cylindre (position extrême **A**) : le volume interne  $V_i$  du cylindre est alors considéré comme nul (volume résiduel). Par déplacement du piston, une masse  $m$  de gaz, initialement stockée dans le réservoir  $R_1$ , est aspirée dans le cylindre à pression  $P_1$  et température  $T_1$  constantes. Lorsque  $\Pi$  est en bout de course (position extrême **B**), le volume interne du cylindre est  $V_i = V_1$ .

#### (II) Étape de compression

Les deux soupapes sont fermées. La masse  $m$  de gaz est alors comprimée, par déplacement du piston, de l'état  $(P_1, V_1, T_1)$  à l'état  $(P_2, V_2, T_2)$ , avec  $0 < V_2 < V_1$ .

#### (III) Étape de refoulement

La soupape  $S_1$  reste fermée, mais la soupape  $S_2$  s'ouvre. Le gaz est refoulé à  $P_2$  et  $T_2$  constantes, dans le second réservoir  $R_2$ . Le piston  $\Pi$  se retrouve finalement dans sa position **A** initiale.

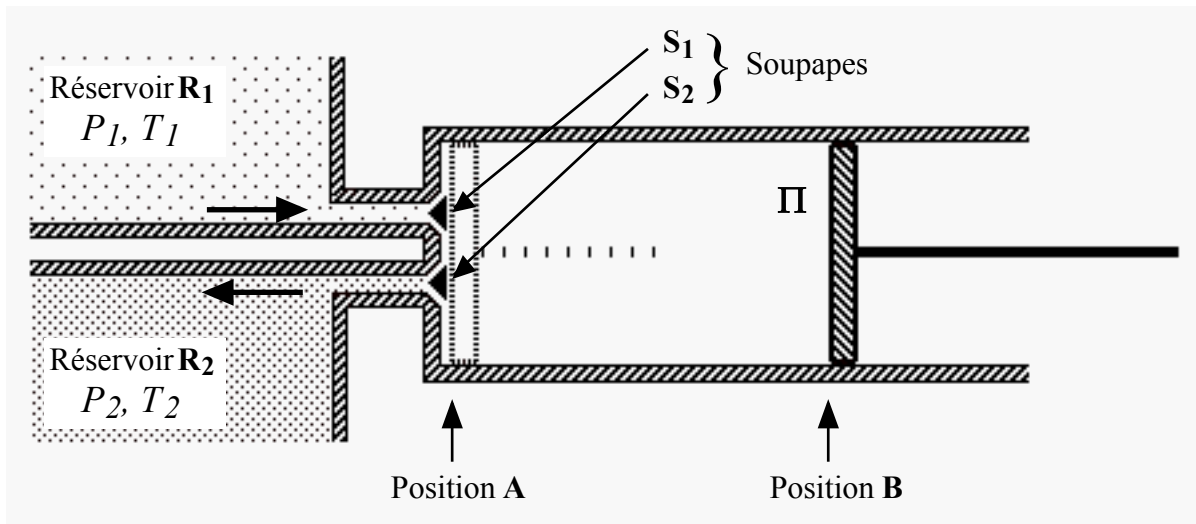


Figure 3

Les éventuelles variations d'énergie potentielle de pesanteur et d'énergie cinétique sont négligées.

## I. Etude énergétique des transformations

- 1) Préciser la nature de la transformation **(II)** subie par la masse  $m$  de gaz.
- 2) Représenter les trois étapes de fonctionnement du compresseur dans un diagramme donnant la pression intérieure  $P_i$  en fonction du volume intérieur  $V_i$  du cylindre.
- 3) Déterminer le travail reçu par la masse  $m$  de gaz **au niveau du piston**, au cours de chacune des trois étapes, pour un aller-retour de la paroi mobile **II**.
- 4) Faire apparaître, sur le diagramme de la question I.2, la représentation graphique du travail total de compression reçu par la masse  $m$ , au niveau de la paroi mobile.
- 5) Donner l'expression du travail massique  $w$  reçu, au niveau du piston, par l'unité de masse du fluide ayant transité dans le compresseur.
- 6) Montrer que ce travail  $w$  représente la variation d'une fonction d'état massique du fluide entre les états  $(P_1, T_1)$  et  $(P_2, T_2)$ .
- 7) Donner, en fonction de  $T_1, P_1, P_2$  et  $\gamma$ , l'expression de la température  $T_2$ .
- 8) *Application numérique* : calculer  $T_2$  et  $w$ .
- 9) Donner la variation d'entropie massique  $\Delta s$  du fluide lors de son passage du réservoir **R<sub>1</sub>** au réservoir **R<sub>2</sub>**.

## II. Compresseurs et détendeurs

- 1) Existe-t-il des compresseurs isenthalpiques calorifugés ?
- 2) Expliquer, sans calcul, pourquoi les détendeurs calorifugés, du type « paroi poreuse » (figure 4), sont généralement qualifiés de détendeurs isenthalpiques ?

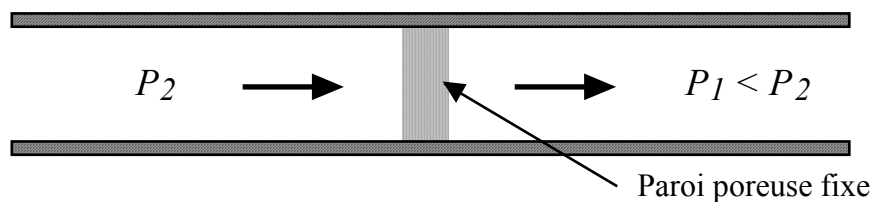


Figure 4

Données :  $T_1 = 300 \text{ K}$  ;  $P_1 = 10^5 \text{ Pa}$  ;  $P_2 = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ;  $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ;  
 $M = 29,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$  ;  $\gamma = 1,40$ .

## Partie C

### Électrocinétique

Un dipôle électrocinétique **AB** est constitué d'un condensateur de capacité  $C$ , d'une bobine  $\mathcal{B}$  et d'un conducteur ohmique de résistance  $R$ , montés en série. Ce dipôle **AB** est alimenté par un générateur de tension alternative sinusoïdale  $u_e(t) = U_m \cos \omega t$ , de période  $T$  et de pulsation  $\omega$ .

Tournez la page S.V.P.

## I. Filtre « passe-bande »

La bobine  $\mathcal{B}$ , d'inductance  $L$ , est supposée sans résistance. Soit  $u_s(t) = V_M - V_B$ , la tension de sortie aux bornes du résistor (figure 5).

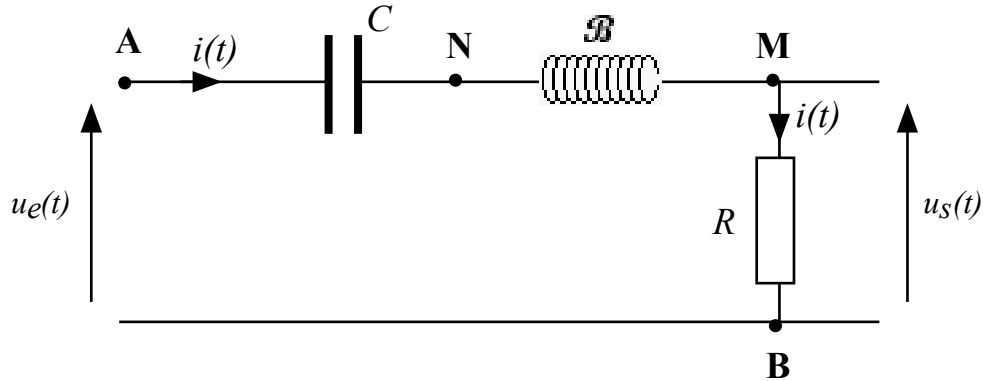


Figure 5

- 1) Soient  $\underline{u}_s$  et  $\underline{u}_e$  les amplitudes complexes respectives des tensions de sortie et d'entrée.
  - 1.1. Écrire l'impédance complexe  $Z_{AB}(j\omega)$  du dipôle **AB**. On rappelle l'égalité  $j^2 = -1$ .
  - 1.2. Exprimer, en fonction de  $R$ ,  $L$ ,  $C$  et  $\omega$ , la fonction de transfert (ou transmittance) définie par le rapport complexe  $\underline{H}(j\omega) = \underline{u}_s/\underline{u}_e$ .
- 2) On pose  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  (pulsation propre),  $x = \omega/\omega_0$  (variable sans dimension) et  $Q = L\omega_0/R$  (facteur de qualité).
  - 2.1. Donner, en fonction de  $Q$  et  $x$ , une expression simplifiée  $\underline{H}(jx)$  de la fonction de transfert.
  - 2.2. Cette fonction  $\underline{H}(jx)$  est caractérisée par son argument  $\varphi(x)$  (ou déphasage entre les deux tensions  $u_s$  et  $u_e$ ). Déterminer la valeur de  $x$  pour laquelle ces deux tensions sont en phase.
  - 2.3.  $\underline{H}(jx)$  est aussi caractérisée par son gain (ou module)  $G(x)$ . Montrer que, quelle que soit la valeur de  $Q$ ,  $G(x)$  admet une même valeur maximale  $G_{max}$ .
- 3) La bande passante de ce circuit est le domaine de  $x$  pour lequel  $(G_{max}/\sqrt{2}) \leq G(x) \leq G_{max}$ .
  - 3.1. Exprimer, en fonction de  $Q$ , l'étendue  $\Delta x$  de cette bande passante.
  - 3.2. En déduire que la sélectivité du filtre « passe-bande » (bande passante  $\Delta\omega$  étroite) est liée au facteur de qualité  $Q$ , et donc à la valeur de  $R$  pour une inductance donnée.
  - 3.3. Soient  $Q_a$  et  $Q_b$  deux valeurs de  $Q$  telles que  $Q_a > Q_b$ . Tracer l'allure des courbes représentatives des fonctions  $G_{Q_a}(\omega)$  et  $G_{Q_b}(\omega)$ , et faire apparaître les bandes passantes  $\Delta\omega_a$  et  $\Delta\omega_b$  correspondantes.

## II. Détermination des caractéristiques de la bobine $\mathcal{B}$

Le filtre précédent (§ C.I.) ne donne pas entière satisfaction. La cause est attribuée à une résistance  $r$  non nulle de la bobine  $\mathcal{B}$ , hypothèse qu'on se propose de vérifier.

Un oscillographe bicourbe permet d'étudier :

- sur la voie I, la tension  $u_I(t) = V_M - V_B$  aux bornes du résistor ;
- sur la voie II, la tension  $u_{II}(t) = V_A - V_B$  aux bornes du dipôle **AB** (figure 6).

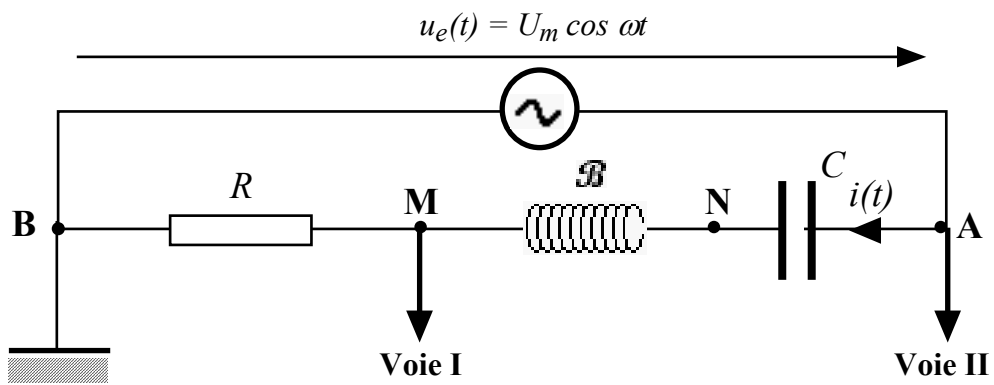


Figure 6

L'oscillogramme (ou copie d'écran de l'oscilloscope), ainsi que les indications sur l'échelle commune utilisée pour les deux voies, sont reproduites sur la figure 7.

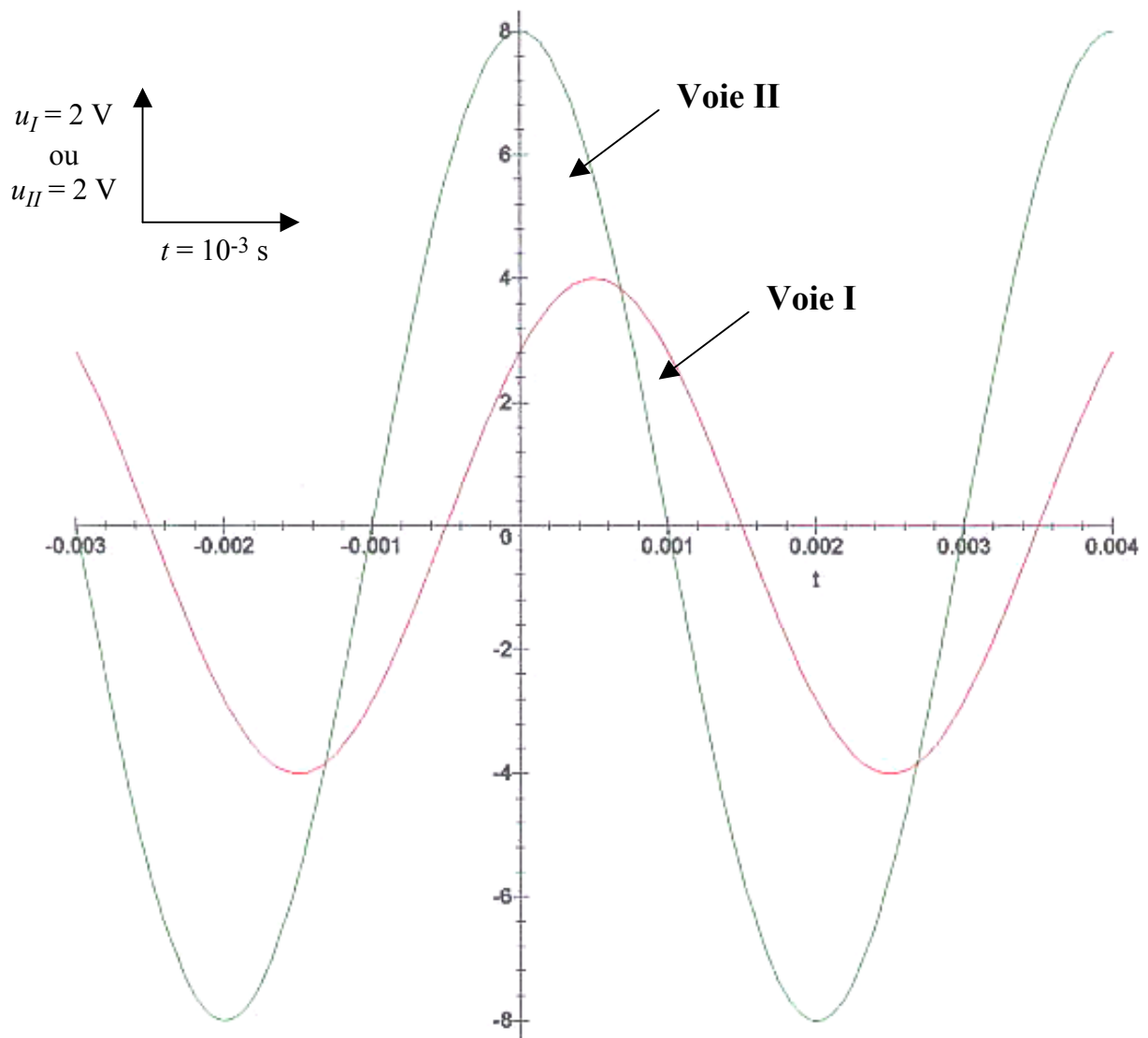


Figure 7

Données :  $R = 20\Omega$ ;  $C = 10\ \mu\text{F}$ .

- 1) L'oscillogramme permet de calculer les valeurs de la période  $T$ , de la pulsation  $\omega$ , des amplitudes  $U_m$  et  $I_m$ , et de l'impédance réelle  $Z_{AB}$ . Déterminer ces valeurs numériques et **recopier, en le complétant**, le tableau suivant (figure 8) :

Grandeur	$T$ (s)	$\omega$ (rad s <sup>-1</sup> )	$I_m$ (A)	$U_m$ (V)	$Z_{AB}$ ( $\Omega$ )
Valeur numérique					

Figure 8

- 2) Des deux tensions  $u_I$  et  $u_{II}$ , quelle est celle qui est en avance de phase sur l'autre ?
- 3) Calculer le déphasage  $\varphi$  entre la tension  $u_e(t) = U_m \cos \omega t$  et l'intensité du courant  $i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$ .
- 4) Montrer que, dans l'hypothèse d'une bobine idéale  $\mathcal{B}$  de résistance  $r$  nulle, les valeurs numériques de  $Z_{AB}$ ,  $\varphi$  et  $R$  (donnée de l'énoncé) sont incohérentes.
- 5) Il est donc nécessaire de prendre en compte la résistance  $r$  de la bobine. Calculer  $r$ .
- 6) En déduire la valeur numérique de l'inductance  $L$ .

**Fin de l'énoncé**