

**CONCOURS EXTERNE  
POUR LE RECRUTEMENT  
DE TECHNICIENS SUPÉRIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES**

*SESSION 2011*



ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ DU 23 FÉVRIER 2011



**PHYSIQUE**



(Durée : 3 heures - Coefficient : 2)

L'usage d'une calculatrice de poche est autorisé (standard, programmable ou alphanumérique) à condition qu'elle soit autonome et qu'elle ne comporte ni dispositif d'impression, ni dispositif externe de stockage d'information (cassette, bandes magnétiques, etc...).

Les notices de fonctionnement ne sont pas autorisées.

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 peut lui sembler 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.

**ATTENTION : LES CANDIDATS DEVRONT REMETTRE UN DOCUMENT (PAGE 7 DU SUJET) À INSÉRER DANS LEUR COPIE**

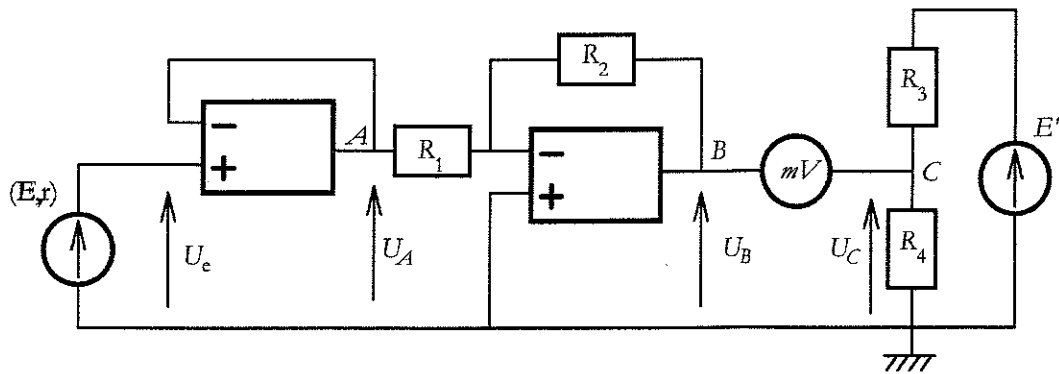
**REMARQUES IMPORTANTES :**

- les copies doivent être rigoureusement anonymes et ne comporter aucun signe distinctif ni signature, même fictive, sous peine de nullité.
- le candidat s'assurera, à l'aide de la pagination, qu'il détient un sujet complet.

**TOUTE NOTE INFÉRIEURE À 6 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE**

## Exercice I : Contrôle du pH d'eaux de rejets

Pour contrôler le pH d'eaux de rejets, on utilise un pH-mètre électronique. Il est constitué d'une électrode de verre et d'une électrode de référence reliée à la masse. Lorsque l'électrode de verre est plongée dans l'eau, on obtient une pile dont la fém (force électromotrice) dépend du pH. On réalise le montage suivant, dans lequel tous les AO (amplificateur opérationnel) sont parfaits et fonctionnent en régime linéaire.



- I.1. Établir l'expression de  $U_A$  en fonction des caractéristiques de la pile. Nommer le montage.
- I.2. On plonge successivement l'électrode de verre dans trois solutions tampons et l'on relève les valeurs suivantes :

pH	4,00	7,20	10,0
$U_A$ (mV)	174	-12,0	-174

Montrer que  $E = a \text{ pH} + b$ . Calculer  $a$  et  $b$ .

- I.3. Par la suite on prendra :  $E = 406 - 58 \text{ pH}$  en mV.

$$G = \frac{U_B}{U_A}$$

I.3.1. Exprimer le gain de l'étage intermédiaire soit

I.3.2. On fixe  $R_2 = 10,0 \text{ k}\Omega$  en déduire la valeur de  $R_1$  pour obtenir une variation de  $U_B$  de (+ ou -)  $1,00 \text{ V}$  quand le pH varie d'une unité.

I.3.3. En déduire l'expression numérique de  $U_B$  en fonction du pH.

- I.4. On désire faire une lecture directe du pH sur un millivoltmètre, de résistance interne très grande (supposée infinie).

I.4.1. Exprimer  $U_C$  en fonction de  $E'$ ,  $R_3$  et  $R_4$ .

I.4.2. En déduire l'expression de  $U_V = U_B - U_C$  en fonction de  $E'$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  et du pH.

I.4.3. On fixe  $R_4 = 470 \Omega$  et  $E' = -15,0 \text{ V}$ .

Déterminer la valeur à donner à  $R_3$  pour avoir  $U_V = \text{pH}$ .

## Exercice II : Traitements de fumées

La précipitation électrostatique est utilisée pour traiter les fumées rejetées par les centrales thermiques. Les gaz passent dans des canaux métalliques. Juste à l'entrée de ces canaux, un dispositif ionisant permet de charger négativement les particules en suspension dans le gaz. Les particules chargées sont déviées par les forces électrostatiques (ou électriques) vers les parois reliées à la terre. Par vibration, on provoque la chute des particules qu'on récupère pour les éliminer.

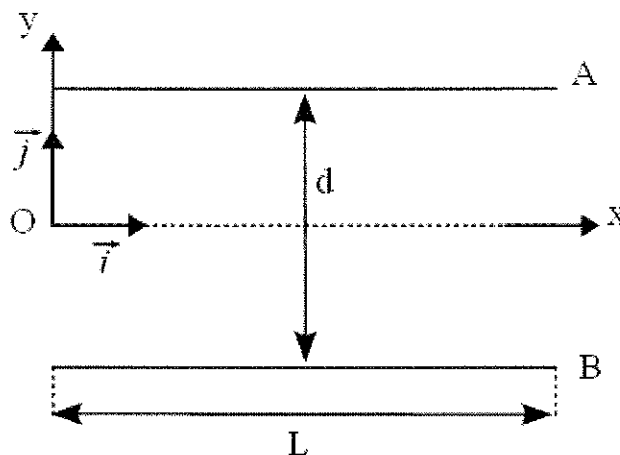
On se propose au cours de cet exercice d'étudier la déviation de particules chargées sous l'effet d'un champ électrique ou d'un champ magnétique. **Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.**

Données : masse de l'électron :  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg

charge de l'électron :  $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C

### II.1. Déviation par un champ électrique

On place dans le vide deux plaques métalliques parallèles A et B distantes de  $d = 5,0$  cm. L'ensemble forme un condensateur plan. Entre les plaques A et B, on établit une tension  $U_{AB} = V_A - V_B = 50$  V



On choisit un repère orthonormé  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  de telle sorte que O soit dans le plan médian des plaques A et B,  $\vec{i}$  et  $\vec{j}$  dans le plan de la figure.

**II.1.1.a.** Compléter la **figure 1** en annexe en y représentant, sans souci d'échelle, le vecteur champ électrique  $\vec{E}$  entre les plaques.

**II.1.1.b.** Quelles sont les composantes de  $\vec{E}$  dans le repère  $(O, \vec{i}, \vec{j})$  ? Calculer  $E$ .

**II.1.2.** A l'instant  $t = 0$ , un électron pénètre dans le condensateur en O avec une vitesse  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{i}$  suivant l'axe Ox ( $v_0 = 8,0 \cdot 10^6$  m.s<sup>-1</sup>).

Quelles sont à cet instant les composantes de son vecteur position et de son vecteur vitesse ?

**II.1.3.a.** Faire l'inventaire des forces agissant sur l'électron lorsqu'il se trouve dans le champ électrique  $\vec{E}$ .

II.1.3.b. Montrer que le poids est négligeable devant la force électrique. En déduire le sens de déviation de l'électron.

On prendra pour la valeur du champ de pesanteur  $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

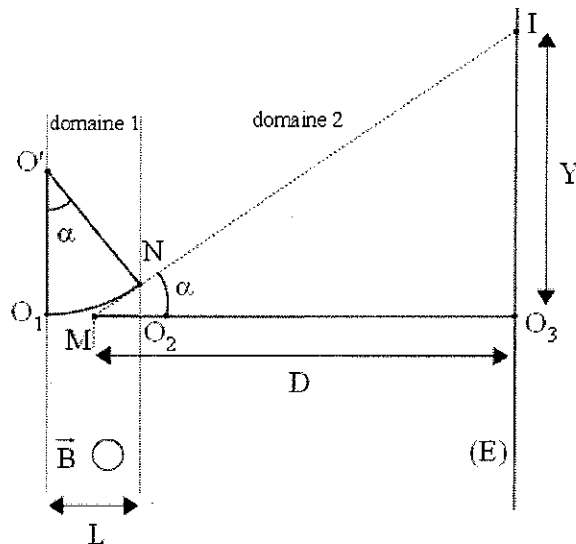
II.1.3.c. Déterminer les composantes du vecteur accélération  $\vec{a}$  subi par l'électron.

II.1.4. Déterminer littéralement les équations horaires du mouvement de l'électron. En déduire l'équation et la nature de la trajectoire.

II.1.5. La longueur des plaques est  $L = 20 \text{ cm}$ . L'électron peut-il sortir du condensateur ?

## 2. Déviation par un champ magnétique

Un autre moyen de dévier des particules électriques chargées consiste à les placer dans un champ magnétique  $\vec{B}$ . On rappelle que la force s'exerçant sur une particule chargée  $q$  se déplaçant à la vitesse  $\vec{v}$  dans un champ magnétique  $\vec{B}$  est donnée par la force de Lorentz  $(\vec{f}) = q(\vec{v}) \wedge (\vec{B})$ .



II.2.1. Des électrons arrivent en  $O_1$  avec une vitesse horizontale de valeur  $v_0 = 4,2 \cdot 10^7 \text{ m.s}^{-1}$ . Ils subissent alors dans la zone grise de largeur  $L$  (domaine 1) l'action d'un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  perpendiculaire au plan de la figure.

Quel doit être le sens du vecteur  $\vec{B}$  pour que les électrons décrivent l'arc de cercle  $O_1N$ . On justifiera brièvement la réponse. Compléter alors la **figure 2** en indiquant le sens du vecteur  $\vec{B}$  dans le cercle blanc

II.2.2. On néglige le poids et les frottements. Montrer que le mouvement des électrons dans le **domaine 1** est circulaire uniforme et établir l'expression du rayon  $R = O_1O_2 = O_2N$  de cet arc de cercle. Calculer  $R$  pour  $B = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ .

II.2.3.a. Quelle est la nature du mouvement de l'électron dans le **domaine 2** où n'existe aucun champ ?

**II.2.3.b.** Le domaine 2 est limité par une plaque (E) sur laquelle arrivent les électrons.

Exprimer en fonction de  $m$ ,  $e$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $L$  et  $v_0$  la déflexion magnétique  $O_3I = Y$  subie par un électron à la traversée du système. La droite  $IN$  coupe l'axe  $O_1O_2$  au point  $M$  milieu de  $L$ .

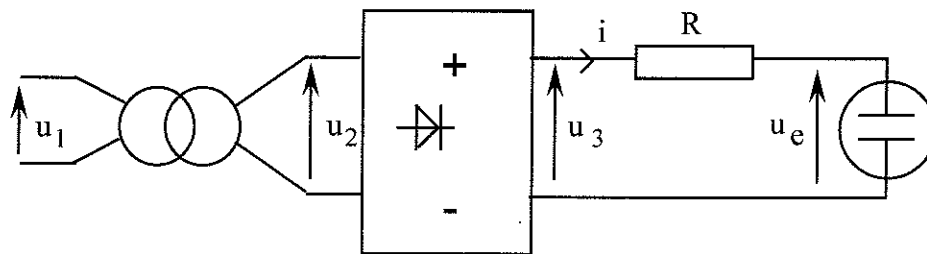
On fera les hypothèses simplificatrices suivantes :

- dans le domaine I de l'espace, on peut confondre la longueur de l'arc  $O_1N$  avec la longueur  $O_1O_2$  où règne le champ magnétique.
- on supposera la déviation angulaire faible.

**II.2.3.c.** Sachant que  $Y = 3,35 \text{ cm}$ , retrouver la valeur  $v_0$  de la vitesse de l'électron au point  $O_1$ . On donne  $D = 40 \text{ cm}$  ;  $L = 1,0 \text{ cm}$ .

### Exercice III : Alimentation d'un électrolyseur

Un électrolyseur est alimenté par une tension redressée obtenue à partir de l'alimentation du secteur selon le schéma suivant :



#### 1. Étude du transformateur

La plaque signalétique du transformateur monophasé, supposé idéal, porte les indications suivantes :

220 V / 24 V ; 50 Hz ; 200 VA

**III.1.1** Préciser la signification de chacune de ces indications.

**III.1.2** Calculer le rapport de transformation  $m$ .

**III.1.3** Calculer les intensités efficaces nominales  $I_1$  et  $I_2$  des courants primaire et secondaire.

#### 2. Étude du pont redresseur

Le secondaire du transformateur alimente un pont redresseur intégré constitué de quatre diodes supposées idéales.

**III.2.1** Tracer la caractéristique et donner les schémas équivalents direct et inverse d'une diode idéale.

**III.2.2** Préciser, par un schéma, la disposition interne des quatre diodes permettant un redressement bi-alternance et indiquer clairement par des flèches les tensions d'entrée et de sortie.

**III.2.3** Sur l'intervalle  $[ 0 ; 20 \text{ ms } ]$ , représenter la tension  $u_3(t)$  avec les échelles suivantes : en abscisse,  $1 \text{ cm}$  correspond à  $2 \text{ ms}$  et en ordonnée,  $1 \text{ cm}$  correspond à  $5 \text{ V}$ .

III.2.4 Calculer la période  $T$  de la tension de sortie du pont redresseur.

### 3. Étude du circuit de l'électrolyseur

A la sortie du pont redresseur sont reliés en série un conducteur ohmique de résistance  $R$  et un électrolyseur de force contre électromotrice  $E = 6,0 \text{ V}$  et de résistance interne  $r = 6,0 \Omega$

III.3.1 En utilisant la loi des mailles, écrire l'expression de  $u_3$  en fonction de  $r$ ,  $R$ ,  $E$  et  $i$ .

III.3.2 En déduire l'expression de  $i$  en fonction de  $u_3$ ,  $E$ ,  $R$  et  $r$ .

III.3.3 Préciser à quelle condition le courant  $i$  circule dans l'électrolyseur.

III.3.4 Le conducteur ohmique de résistance  $R$  est chargé de limiter l'intensité du courant dans l'électrolyseur.

III.3.4.a En utilisant le résultat de la question 3.2 et les données du texte, exprimer la valeur maximale  $i_m$  de  $i$  en fonction de  $u_3$ ,  $E$ ,  $R$  et  $r$ .

III.3.4.b Calculer la valeur de  $R$  pour laquelle  $i_m = 2,0 \text{ A}$ .

### Exercice IV : Station de pompage

Dans une usine de production d'eau potable, la station de pompage comporte trois pompes assimilables à une pompe unique. La station de pompage a pour rôle d'amener l'eau de la cuve de stockage au réseau par l'intermédiaire d'une canalisation de refoulement. Dans ce type de montage on suppose que la hauteur manométrique totale de la pompe est égale à la hauteur manométrique totale HMT du circuit.

La longueur de la canalisation de refoulement est égale à  $L = 2,5 \times 10^3 \text{ m}$  pour un diamètre  $D = 40 \text{ cm}$ . Les pertes de charge **singulières** (dues aux coudes de la canalisation), représentent **10% de la perte de charge régulière**. Le niveau dans la cuve de stockage est constant. La différence d'altitude entre le niveau dans la cuve de stockage et l'extrémité de la canalisation de refoulement est  $h = 25 \text{ m}$ . Le débit de la canalisation de refoulement est  $Q_v = 1,5 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

#### IV.1

IV.1. a. Exprimer le débit volumique  $Q_v$  en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

IV.1. b. Exprimer la vitesse moyenne  $u$  du fluide dans la canalisation. Vérifier que sa valeur est  $u = 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

IV.2. Calculer la perte de charge totale du circuit  $J_t$  sachant que la perte de charge régulière

$$J = \lambda \frac{Lu^2}{2gD}$$
  
J peut être calculée par la relation : . Justifier l'unité de  $J_t$  par une analyse dimensionnelle.

*L* : longueur de canalisation

*D* : diamètre moyen de la canalisation

*u* : vitesse moyenne du fluide

*g* : accélération de la pesanteur avec  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

On prend :  $\lambda = \frac{0.32}{Re^{0.25}}$  où  $Re$  est le nombre de Reynolds :  $Re = \frac{\rho u D}{\eta}$

$\rho$  : masse volumique du fluide avec  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$   
 $\eta$  : viscosité dynamique du fluide avec  $\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$

- IV.3.** Calculer la hauteur manométrique totale du circuit sachant que la cuve d'aspiration et le réservoir de refoulement sont à la pression atmosphérique.  
Pour un circuit entre deux points A et B comportant une pompe, la relation de Bernoulli donne :

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} + z_A + HMT = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{u_B^2}{2g} + z_B + J_t$$

**IV.4.**

**IV.4.a.** Calculer la puissance mécanique  $P_m$  de l'ensemble des trois pompes.

**IV.4.b.** Calculer la puissance électrique  $P_{el}$  installée pour l'ensemble des trois pompes sachant que le rendement global est de 66%.

