BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2023

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

EXERCICE 1 – AUTOUR DE LA BIOSYNTHÈSE DE LA MÉLANINE (9 points)

Le terme « mélanine » regroupe un ensemble de pigments présents chez la plupart des êtres vivants. La mélanine est responsable de la coloration de la peau, des poils et des yeux chez tous les mammifères, mais se retrouve également dans les plumes des oiseaux, les ailes de certains papillons et même chez les champignons.
Il existe deux grands types de mélanines biologiques : l'eumélanine brune et la phéomélanine rouge. L'eumélanine est synthétisée dans les cellules à partir de tyrosinase grâce à l'enzyme tyrosinase.

L'objectif de cet exercice est l'étude du suivi de la synthèse de l'eumélanine assistée par de la tyrosinase extraite de champignons de Paris.

Étude des formes acide-base de la tyrosine.

En solution, la tyrosine existe sous quatre formes acide/base dont l'une est représentée figure 1.

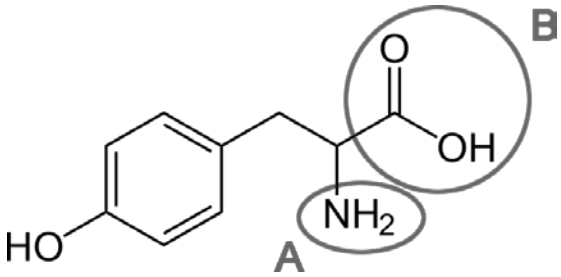


Figure 1. Représentation de l'une des formes de la tyrosine.

Q1. Indiquer le type de représentation de la tyrosine présente sur la figure 1.

Q2. Nommer les familles fonctionnelles associées aux groupes caractéristiques A et B mis en évidence dans la représentation de la forme de la tyrosine figure 1.

Le tableau de la figure 2 représente les quatre formes de la tyrosine.

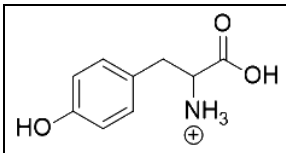
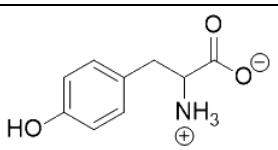
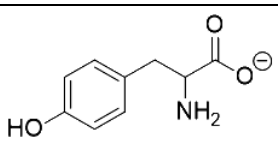
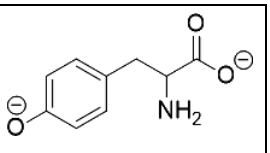
			
$TyrH_3^+$	$TyrH_2$	$TyrH^-$	Tyr^{2-}

Figure 2. Tableau récapitulatif des quatre formes de la tyrosine.

Données :
- La valeur du $pK_A(TyrH_3^+/TyrH_2)$ du couple $TyrH_3^+/TyrH_2$ est égale à 2,20.
- La valeur du $pK_A(TyrH_2/TyrH^-)$ du couple $TyrH_2/TyrH^-$ est égale à 9,11.
- La valeur du $pK_A(TyrH^-/Tyr^{2-})$ du couple $TyrH^-/Tyr^{2-}$ est égale à 10,07

Q3. Tracer le diagramme de prédominance des quatre formes associées à la tyrosine.

Q4. Déterminer la forme de la tyrosine prédominante dans une solution dont la valeur du pH est égale à 7.

Synthèse *in vitro* de la mélanine.

La synthèse au laboratoire de la mélanine se déroule comme suit :

- Une solution d'enzyme tyrosinase est obtenue par broyage de pieds de champignons de Paris puis filtration.
- Dans un tube à essais, introduire un volume V_{tyr} de solution de tyrosine de valeur égale à 3,0 mL de concentration en quantité de matière c_{tyr} de valeur égale à $2{,}6\times10^{-3}$ mol·L^{-1} et un volume de filtrat $V_{filtrat}$ de valeur égale à 2,0 mL.
- L'évolution de la coloration de la solution contenue dans le tube à essais, due à la transformation totale de la tyrosine en un premier intermédiaire appelé DOPAchrome, est suivi par spectrophotométrie.
- Si on prolonge l'expérimentation, environ 24 heures, des eumélanines noires insolubles précipitent.

La tyrosinase permet d'accélérer la réaction de synthèse sans pour autant modifier le bilan de matière.

Q5. Nommer le rôle joué par la tyrosinase.

Q6. Proposer une technique de séparation permettant de récupérer les molécules d'eumélanines insolubles présentes à la fin de la réaction en citant le matériel nécessaire.

Suivi spectrophotométrique de la synthèse.
On s'intéresse à la première étape de la synthèse, correspondant à la formation de DOPAchrome.

On représente le cercle chromatique en figure 3.

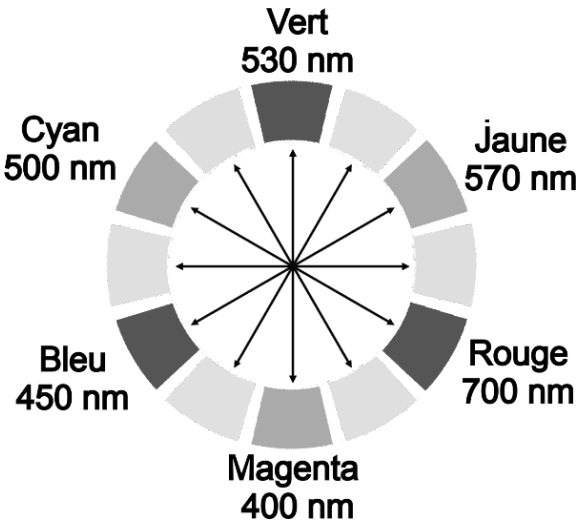


Figure 3. Cercle chromatique.

La figure 4 représente le spectre d'absorption de la molécule de DOPAchrome.

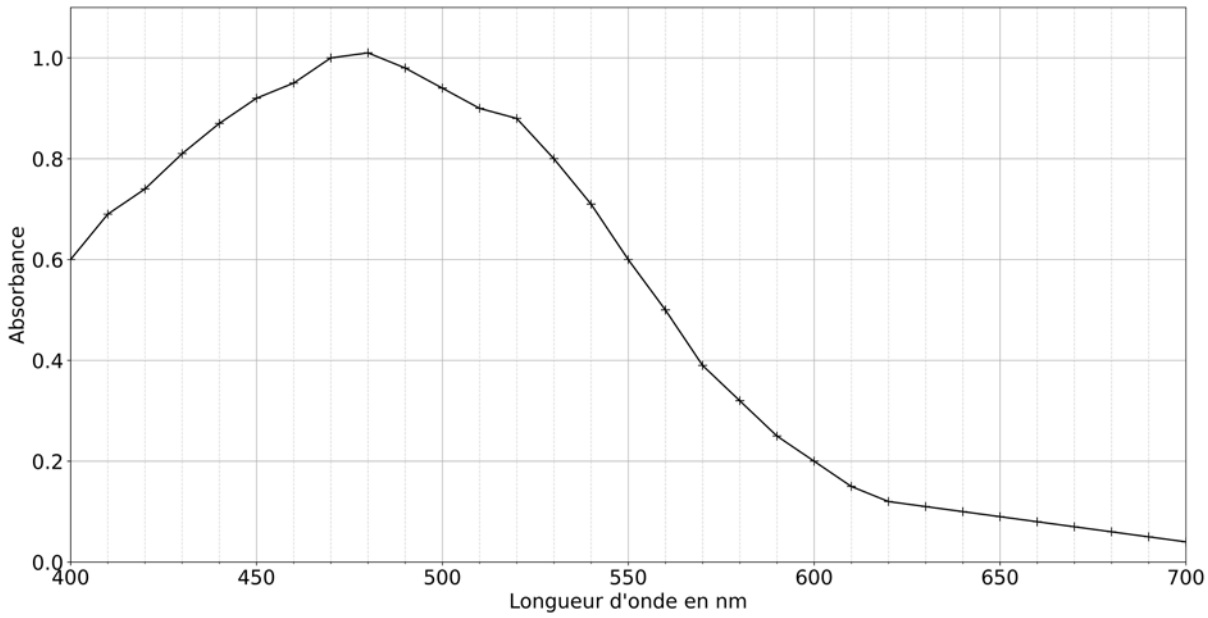


Figure 4. Spectre d'absorption de la molécule DOPAchrome.

Q7. À l'aide de la figure 4, indiquer la longueur d'onde λ_m la plus adaptée au suivi spectrophotométrique.

Q8. À l'aide des figures 3 et 4, déterminer la couleur de la molécule DOPAchrome.

Le suivi spectrophotométrique de la réaction de formation de DOPAchrome à la longueur d'onde λ_m est représenté figure 5.

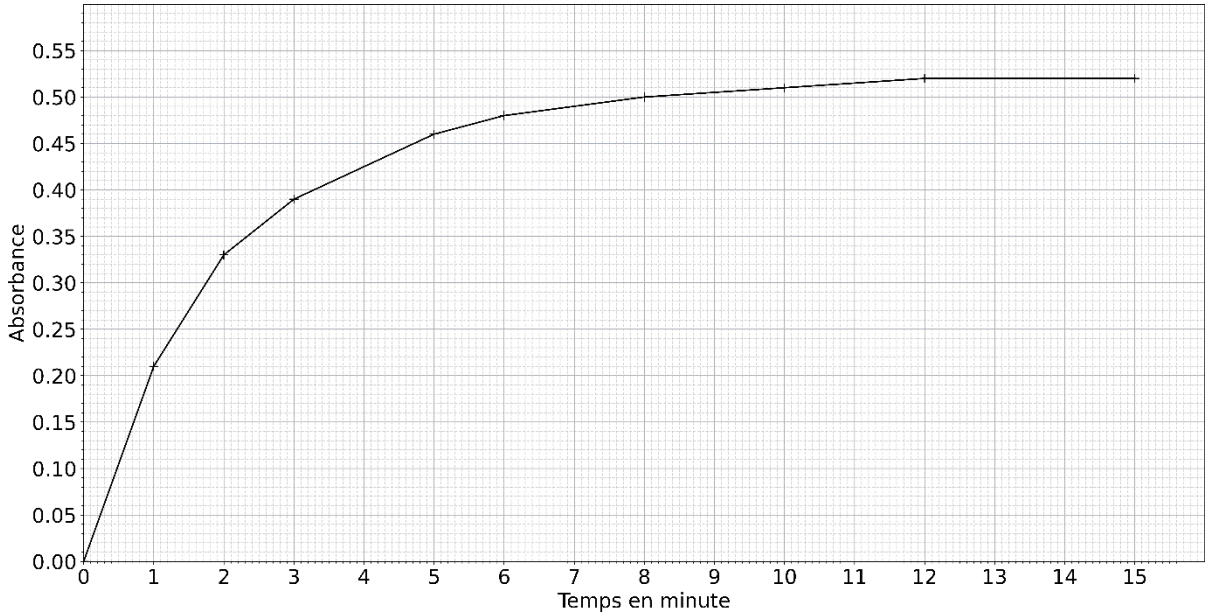


Figure 5. Suivi spectrophotométrique de la réaction de formation de DOPAchrome.

Q9. Exprimer la loi de Beer-Lambert reliant l'absorbance A de la solution et la concentration en espèce chimique formée c_{DOPA}.

Q10. Expliquer pourquoi l'absorbance A de la solution augmente au cours de cette réaction.

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Donnée :
Le coefficient de proportionnalité de la loi de Beer-Lambert pour le dosage de la DOPAchrome à la longueur d'onde λ_m possède une valeur égale à $3{,}6\times10^{3}$ L·mol^{-1}.

Q11. Exprimer puis calculer la valeur de la quantité en DOPAchrome n_{DOPA} formée à l'issue de la réaction suivie figure 5.

On considère qu'à l'issue de la réaction suivie figure 5, une quantité de matière de DOPAchrome n_D de valeur égale à $7{,}2\times10^{-7}$ mol s'est formée pour une quantité de matière de tyrosine n_T de valeur égale à $7{,}8\times10^{-6}$ mol.

Données :
- Masse molaire M_{DOPA} de la DOPAchrome : M_{DOPA} = 193 g·mol^{-1} ;
- Masse molaire M_T de la tyrosine : M_T = 181 g·mol^{-1}.

Q12. Déterminer la masse de tyrosine m'_{tyr} nécessaire à la synthèse d'une masse m'_{DOPA} égale à 1,0 mg de DOPAchrome.

Q13. À l'aide de la figure 5, déterminer la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

Q14. Indiquer comment évolue la vitesse volumique de réaction au cours du temps, et expliquer cette variation.

On effectue la même expérience à partir d'une autre solution obtenue par dilution de la solution de tyrosine utilisée précédemment.

Q15. Comparer qualitativement la vitesse volumique initiale au cours de cette expérience à celle obtenue lors de l'expérience précédente.

EXERCICE 2 – MICROPHONE ÉLECTROSTATIQUE (5 points)

Le capteur des microphones électrostatiques est modélisable par un condensateur plan. En effet la vibration d'une membrane chargée électriquement à proximité d'une plaque fixe chargée électriquement entraine la variation de la capacité du dipôle ainsi formé. Dans le modèle du condensateur plan, la membrane constitue alors l'une des armatures et la plaque fixe constitue la seconde armature comme illustre la figure 1.
L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'un microphone électrostatique.

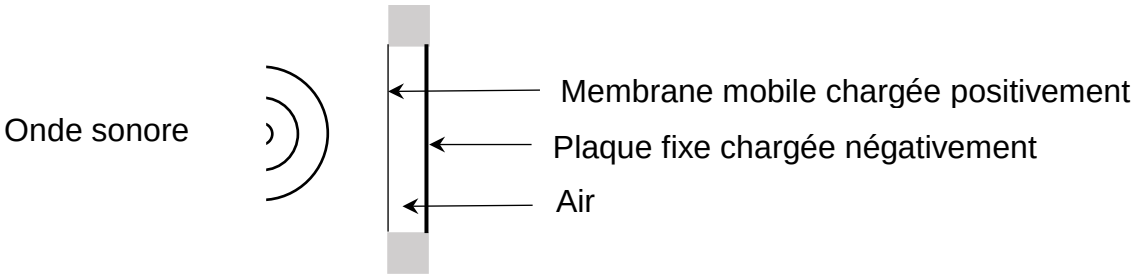


Figure 1 : Schéma de principe du capteur d'un microphone électrostatique.

Polarisation du capteur capacitif d'un microphone électrostatique.

Le circuit permettant la polarisation de la membrane et de la plaque fixe est modélisable par un circuit RC. On étudiera le circuit RC représenté sur la figure 2 avec R la résistance d'un conducteur ohmique, C la capacité du condensateur et E la tension aux bornes du générateur d'une valeur de 200 V.
À la date t = 0 s, l'utilisateur ferme l'interrupteur et déclenche la charge du condensateur de capacité C considéré comme initialement totalement déchargé.

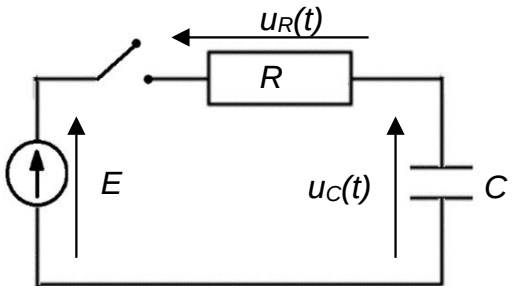


Figure 2. Circuit RC modélisant le fonctionnement du microphone.

Q1. À l'aide de la loi des mailles, montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge est :

$$\frac{du_C(t)}{dt} + \frac{u_C(t)}{R \cdot C} = \frac{E}{R \cdot C}$$

Q2. Vérifier que la solution de cette équation différentielle est $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ en précisant l'expression et l'unité de la constante τ.

La figure 3 représente la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.

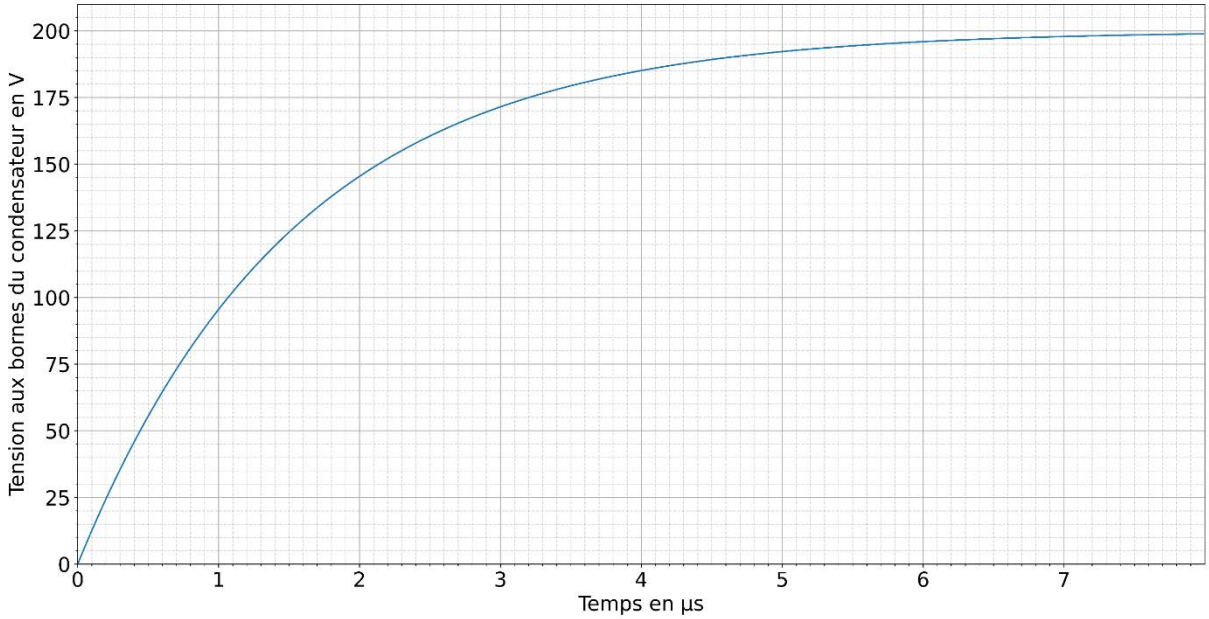


Figure 3. Évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de la charge en fonction du temps.

Q3. Déterminer, à l'aide de la figure 3, le temps caractéristique τ en expliquant votre démarche.

Q4. En déduire la capacité C du condensateur sachant que la valeur de la résistance R du conducteur ohmique est égale à $1{,}0\times10^{5}\ \Omega$.

Fonctionnement du capteur capacitif du microphone électrostatique.
Dans cette partie, on s'intéresse au fonctionnement du capteur capacitif d'un microphone électrostatique représenté sur la figure 1.

Données :
- Caractéristiques du microphone :

Surface S de la plus petite des armatures du condensateur : $S = 3{,}60\times10^{-5}\ m^2$.
Distance e entre les armatures du condensateur au repos : $e = 20{,}77\ \mu m$.
- Permittivité ε_{air} diélectrique de l'air $\varepsilon_{air} = 8{,}9\times10^{-12}\ F\cdot m^{-1}$.
- La capacité C d'un condensateur plan idéal en farads s'exprime en fonction de la distance e entre les armatures en mètres, de la surface S des armatures en regard en mètres carrés et de la permittivité de l'air ε_{air} situé entre les armatures en farads par mètre carré. Son expression est : $C = \varepsilon_{air} \times \frac{S}{e}$.
- La relation entre le niveau d'intensité sonore L (dB) et l'intensité sonore I ($W\cdot m^{-2}$) :

$$L = 10\times\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

- La valeur de l'intensité sonore de référence I_0 est égale à $1{,}0\times10^{-12}\ W\cdot m^{-2}$.

Q5. Calculer la valeur de la capacité C_0 du condensateur modélisant le microphone au repos.

Lorsqu'une onde sonore exerce une pression sur la membrane du microphone électrostatique, sa capacité varie.

Q6. Identifier le paramètre géométrique responsable de cette variation. En déduire si la valeur de la capacité C aux bornes du capteur augmente ou diminue lors d'une surpression.

Les caractéristiques du capteur induisent des limites sur le temps de réponse et sur la plage de niveaux d'intensité sonore mesurables.
On cherche à vérifier si le microphone étudié permet d'acquérir un son dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Valeur de la fréquence du son f égale à 440 Hz.
- Valeur de l'intensité sonore I égale à $4{,}7\times10^{-6}$ W·m^{-2}.

Q7. Calculer la période T du son. Commenter la possibilité d'acquérir fidèlement le son en comparant la période T au temps de réponse du capteur qui est de l'ordre de 1 µs.

D'après la notice du constructeur, le domaine d'utilisation du microphone est compris entre 32 dB à 160 dB.

Q8. Vérifier si le niveau d'intensité sonore L du son peut être mesuré par le microphone étudié.

EXERCICE 3 : PRINCIPE DE L'ACCÉLÉRATEUR DE VAN DE GRAAFF (6 points)

Dans les années 30, le physicien américain Van de Graaff invente un accélérateur électrostatique de particules. Ce type d'accélérateur qui porte son nom est toujours utilisé de nos jours dans des domaines aussi variés que la médecine, le traitement de l'eau, l'expertise d'objets d'art...

L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement de l'accélérateur de Van de Graaff afin de vérifier si la vitesse d'un proton à sa sortie est suffisante pour être utilisée dans l'analyse d'objet d'art.

Ce type d'accélérateur est modélisable par une succession de condensateurs plans. Nous étudions dans un premier temps l'accélération par l'un des condensateurs plans puis par l'accélérateur dans son ensemble.

Données :

- Charge élémentaire : $e = 1{,}6\times10^{-19}$ C ;
- Masse du proton : $m_p = 1{,}67\times10^{-27}$ kg ;
- Champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81$ m·s^{-2} ;
- Champ électrique au sein du condensateur : $E = 1{,}5\times10^{6}$ V·m^{-1} ;
- Distance entre deux plaques : $d = 2{,}9\times10^{-2}$ m ;
- Formule du travail de la force électrostatique pour un champ uniforme :

$$W(\vec{F}) = q\cdot U$$

- 1 MV = 10^6 V ;
- L'analyse d'objets d'art nécessite l'utilisation de protons ayant une vitesse comprise entre $2{,}3\times10^{7}$ m·s^{-1} et $3{,}1\times10^{7}$ m·s^{-1}.

Dans cet exercice, le mouvement du proton est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Mouvement du proton à l'entrée du condensateur plan.

La source de protons libère un proton sans vitesse initiale au point O de la figure 1.

Le proton est ensuite soumis à un champ électrique $\vec{E}$ uniforme associé à une tension imposée entre les plaques 1 et 2 situées à une distance d l'une de l'autre. On définit le repère (O, z) perpendiculaire aux plaques du condensateur et orienté de la plaque 1 vers la plaque 2 comme l'illustre la figure 1.

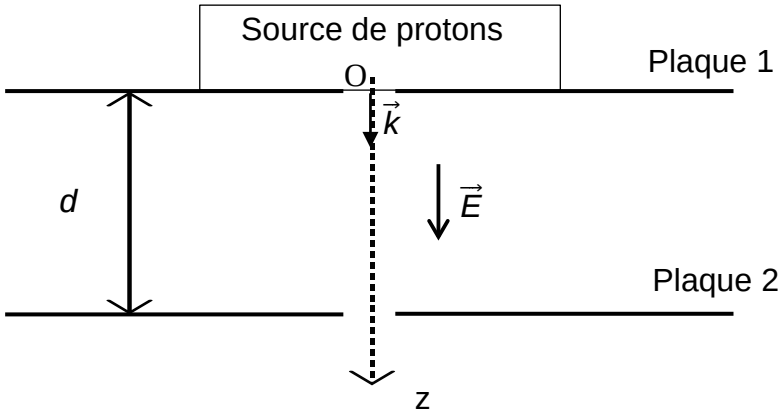


Figure 1. Schéma d'un accélérateur constitué du condensateur plan.

Q1. Reproduire le schéma du condensateur plan et représenter sans souci d'échelle la force électrostatique $\vec{F}$ exercée sur le proton à un endroit quelconque de sa trajectoire.

Q2. Vérifier que l'influence du poids $\vec{P}$ du proton est négligeable par rapport à la force électrostatique $\vec{F}$ dans la situation présente, en calculant la valeur du poids P du proton et la valeur de la force électrostatique F appliquée au proton.

On négligera dans la suite de l'exercice l'influence du poids $\vec{P}$ du proton devant la force électrostatique $\vec{F}$.

Q3. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression littérale du vecteur accélération du proton $\vec{a}$.

Q4. Montrer que dans le repère (O, z) la coordonnée du vecteur vitesse $v_z(t)$ du proton est :

$$v_z(t) = \frac{e \times E}{m_p} \times t$$

Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Q5. Déterminer la valeur de la vitesse v_2 du proton au niveau de la plaque 2 à la sortie du premier condensateur plan et vérifier qu'elle est insuffisante pour analyser un objet d'art.

Accélérateur de Van de Graaff.

Le proton arrive ensuite dans un second condensateur plan dans lequel il est soumis au même champ électrique uniforme $\vec{E}$ comme l'illustre la figure 2.

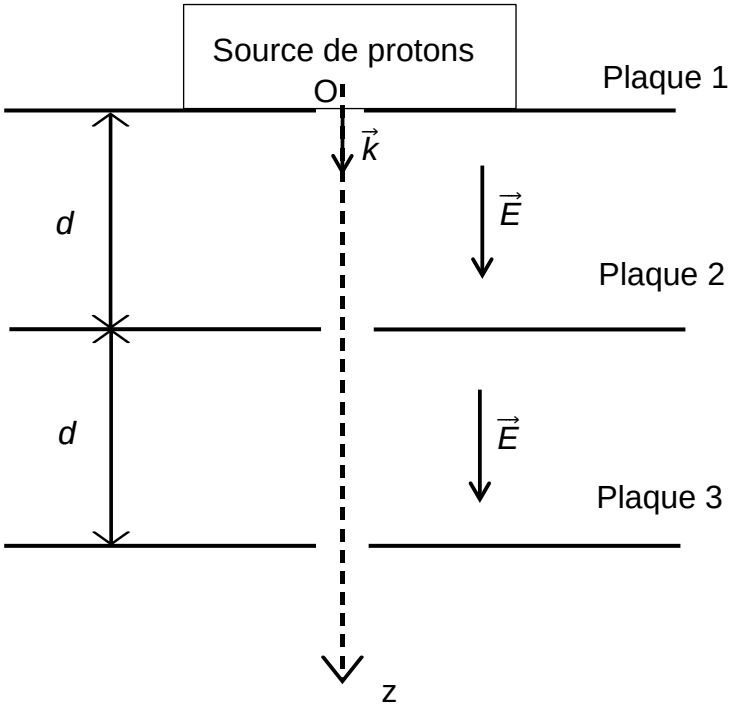


Figure 2. Schéma d'un accélérateur constitué de deux condensateurs plans.

L'origine du temps est conservée au point O correspondant à la sortie de la source de proton.

Q6. Donner un argument montrant que l'expression de la coordonnée du vecteur vitesse $v_z(t)$ dans le deuxième condensateur est la même qu'à la question 4.

L'accélérateur de Van de Graaff considéré par la suite est constitué de 69 condensateurs plans successifs. La valeur de la tension U entre la première plaque et la dernière plaque est de 3,0 MV.

Q7. Montrer en appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre l'entrée de la première plaque et la sortie de la dernière plaque que l'expression de l'énergie cinétique au niveau de la dernière plaque $E_c(final)$ peut s'exprimer sous la forme :

$$E_c(final) = e \times U$$

Q8. Calculer la valeur de la vitesse v_f du proton au niveau de la dernière plaque à la sortie de l'accélérateur et déterminer si ce proton permet l'analyse d'un objet d'art.