



# Bon courage!

Durée 4h

Le sujet est constitué de quatre exercices indépendants. N'hésitez pas à tous les aborder tout en faisant apparaître clairement sur votre copie le passage d'un exercice à l'autre. Bon courage!

---

**L'usage de calculatrices est autorisé.**

## Conseils pour aborder le devoir

- ★ Lire le sujet en entier avant d'écrire quoi que ce soit
- ★ Le sujet est long, comme le seront les sujets des concours : l'objectif n'est donc pas de le terminer mais de faire le maximum le plus proprement et le plus rigoureusement possible
- ★ Les parties peuvent être abordées dans n'importe quel ordre. En revanche, dans une partie donnée, les questions seront traitées dans l'ordre (mais vous pouvez passer des questions)
- ★ La rédaction (clarté, précision,...) et la présentation doivent être particulièrement soignées
- ★ N'oubliez pas d'encadrer les expressions littérales et de souligner les applications numériques
- ★ Si vous n'arrivez pas à démontrer un résultat dont vous avez besoin pour les questions suivantes, vous pouvez l'admettre, mais il faut bien le préciser sur votre copie
- ★ N'oubliez pas d'écrire un minimum français. Le correcteur a un seuil de tolérance qu'il s'agirait de ne pas dépasser...

## I - Autour de l'azote

## A) Architecture de la matière

- 1/ Intéressons-nous à l'atome d'azote.
  - (a) Donner la configuration électronique de l'atome d'azote.
  - (b) Quels sont ses électrons de valence ? Représenter ces électrons à l'aide des cases quantiques. Justifier soigneusement le remplissage.
  - (c) Combien de liaisons l'azote peut-il effectuer ?
  - (d) Où se situe l'arsenic ( $Z = 33$ ) dans la classification périodique par rapport à l'azote ? Justifier.
- 2/ On s'intéresse au diazote.
  - (a) Proposer une structure de Lewis du diazote  $N_2$ .
  - (b) Que peut-on dire au sujet du moment dipolaire moléculaire de la molécule d'azote.
- 3/ Épeler diazote

B) Étude d'un acide  $\alpha$ -aminé : la glycine

À  $pH = 6$ , la glycine est en solution aqueuse principalement sous forme d'amphion  $H_3N^+ - CH_2 - COO^-$ .

- 4/ Écrire l'équation de la réaction qui se produit entre l'acide  $RCO_2H$  (couple  $RCO_2H/RCO_2^-$ ) et la base  $R' - NH_2$  (couple  $R' - NH_3^+/R' - NH_2$ ).
- 5/ En déduire pourquoi la glycine de formule  $H_2NCH_2CO_2H$  à l'état solide se trouve en solution aqueuse sous forme d'amphion  $H_3N^+ - CH_2 - COO^-$ .

On note la glycine dans l'eau  $HA^-$  (amphion), elle appartient aux couples  $H_2A/HA^-$  et  $HA^-/A^{2-}$ .

- 6/ Comment peut-on qualifier la glycine dans l'eau  $HA^-$  ?
  - 7/ Écrire les équilibres acido-basiques de la glycine dans l'eau et attribuer les  $pK_a$  :  $pK_{a1} = 2,34$  et  $pK_{a2} = 9,60$ .
  - 8/ Construire le diagramme de prédominance des couples de la glycine dans l'eau.
- On dissout 1,50 g de glycine dans 100,0 mL d'eau : solution  $A$ .
- 9/ Quelle est la concentration de  $HA^-$  en solution avant transformation ?
  - 10/ Donner la(les) forme(s) prédominante(s) de la glycine dans cette solution. Calculer le  $pH$  de la solution  $A$ .
  - 11/ On dissout 2,23 g de chlorhydrate de glycine  $HOOC - CH_2 - NH_3^+ Cl^-$  dans 100,0 mL d'eau : on obtient ainsi la solution  $B$  (on rappelle qu'on a noté  $H_2A$  l'ion  $HOOC - CH_2 - NH_3^+$ ). Calculer le  $pH$  de la solution  $B$ .

On mélange les deux solutions précédentes pour obtenir la solution  $C$ .

- 12/ Quelle est la concentration totale en espèces associées à la glycine ?
  - 13/ Justifier que le  $pH$  de la solution  $C$  vaille 2,46 après mélange.
- À la solution  $C$  de la question ??, on ajoute 4,0 mL de soude à  $10,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  pour obtenir la solution  $D$ . On mesure le  $pH$  et on obtient 8,5.
- 14/ Écrire la(les) forme(s) prédominante(s) de la glycine dans la solution  $D$ . Calculer le  $pH$  de cette solution.
  - 15/ Donner la composition finale de la solution  $D$ .
  - 16/ Quel est le nom de la molécule de  $CO_2$  ?

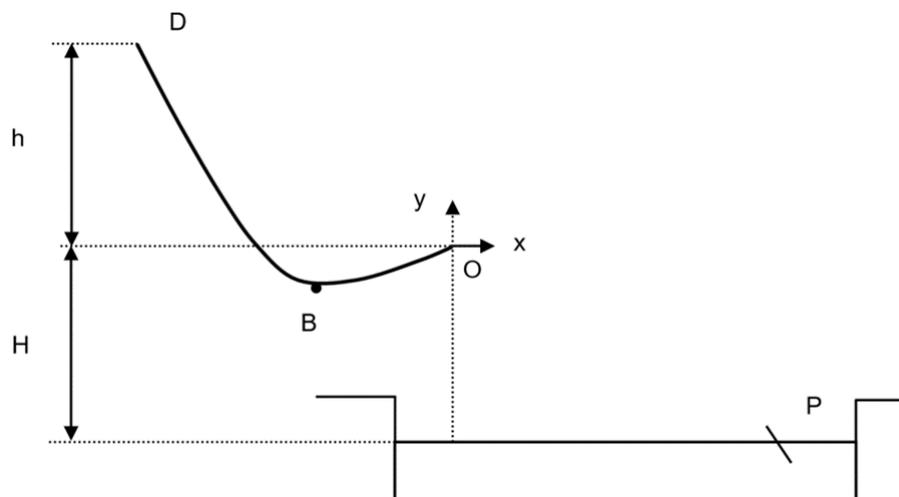
Données :  $Z(N) = 7$ ,  $M(H) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(H) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(H) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(C) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

## II - Le grand plongeon

Un enfant glisse le long d'un toboggan de piscine dans le référentiel terrestre supposé galiléen. L'enfant sera assimilé à un point matériel  $M$  et on négligera, sauf dans la partie 2, tout type de frottement ainsi que toutes les actions dues à l'air.

Un toboggan de piscine est constitué par :

- Une piste  $DO$  qui permet à un enfant partant de  $D$  sans vitesse initiale d'atteindre le point  $O$  avec un vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale ;
- Une piscine de réception : la surface de l'eau se trouve à une distance  $H$  au-dessous de  $O$ .



Données :

- Masse de l'enfant :  $m = 35 \text{ kg}$  ;
- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- Dénivellation  $h = 5,0 \text{ m}$  ;
- Hauteur  $H = 0,50 \text{ m}$  ;
- Longueur du trajet  $DO$  :  $L = 15,0 \text{ m}$
- Angle  $\alpha = 30^\circ$  ;
- On choisit l'altitude du point  $O$  comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur de l'enfant :  $E_{ppO} = 0$  pour  $y_0 = 0$ .

A) Mouvement de l'enfant entre  $D$  et  $O$

- 17/ **Redémontrer** l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur.
- 18/ Déterminer l'expression de la vitesse  $v_0$  en justifiant le raisonnement.
- 19/ Calculer la valeur de la vitesse  $v_0$  de l'enfant en  $O$ .
- 20/ En réalité, la vitesse en ce point est nettement inférieure et vaut  $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Comment expliquez-vous cette différence ?

B) Détermination de forces inconnues

- 21/ Quelle est l'expression de la force de réaction d'un support sur une masse en contact avec ce support et en mouvement à la vitesse  $\vec{v}$  par rapport à celui-ci dans le cas général ? Présenter les termes de cette expression.
- 22/ Le frottement exercé par le toboggan sur l'enfant est modélisé par une force opposée à la vitesse et de norme  $F$  constante.
  - (a) Justifier soigneusement que le travail de cette force de frottement  $\vec{F}$  sur l'enfant entre  $D$  et  $O$  a pour expression  $W_{DO}(\vec{F}) = -FL$ .
  - (b) En déduire l'expression de  $F$ .

(c) Faire l'application numérique.

23/ La fin du toboggan en  $O$  est quasi-rectiligne.

(a) Quel est l'angle fait par cette dernière ligne droite avec l'horizontale ?

(b) Déterminer l'expression de  $R_O$  la norme de la réaction normale du toboggan sur l'enfant juste avant qu'il ne quitte le toboggan en  $O$ .

(c) Faire l'application numérique.

24/ Au niveau du point  $B$ , le toboggan a une forme quasi circulaire de rayon  $a = 0,3$  m. On mesure la vitesse en  $B$  :  $v_B = 6,0$  m  $\cdot$  s $^{-1}$ .

(a) Faire un schéma du toboggan autour du point  $B$  et représenter les forces exercées sur l'enfant en  $B$ .

(b) Exprimer alors  $R_B$  la norme de la réaction normale du support en  $B$ .

(c) Faire l'application numérique.

### C) Étude de la chute de l'enfant dans l'eau

En  $O$ , origine du mouvement dans cette partie, on prendra  $v_0 = 5,0$  m  $\cdot$  s $^{-1}$ .

25/ On note  $h_s$  l'altitude maximale atteinte par l'enfant dans l'air sans considérer les frottements dans le toboggan et  $h_a$  l'altitude maximale en considérant les frottements dans le toboggan. Calculer ces deux altitudes.

26/ Établir l'expression de la trajectoire  $y(x)$  de l'enfant entre le moment où il quitte le toboggan et celui où il arrive dans la piscine. On exprimera  $y$  à l'aide de  $g$ ,  $v_0$ ,  $\alpha$  et  $x$ . Retrouve-t-on le résultat de la question précédente ?

27/ Montrer que la valeur de l'abscisse  $x_P$  du point d'impact  $P$  de l'enfant dans l'eau est donnée par l'équation numérique suivante :

$$-0,27 \cdot x_P^2 + 0,58 \cdot x_P + 0,50 = 0$$

28/ Déterminer alors la valeur de  $x_P$ .

29/ Calculer l'angle d'entrée dans l'eau et la norme de la vitesse d'entrée dans l'eau.

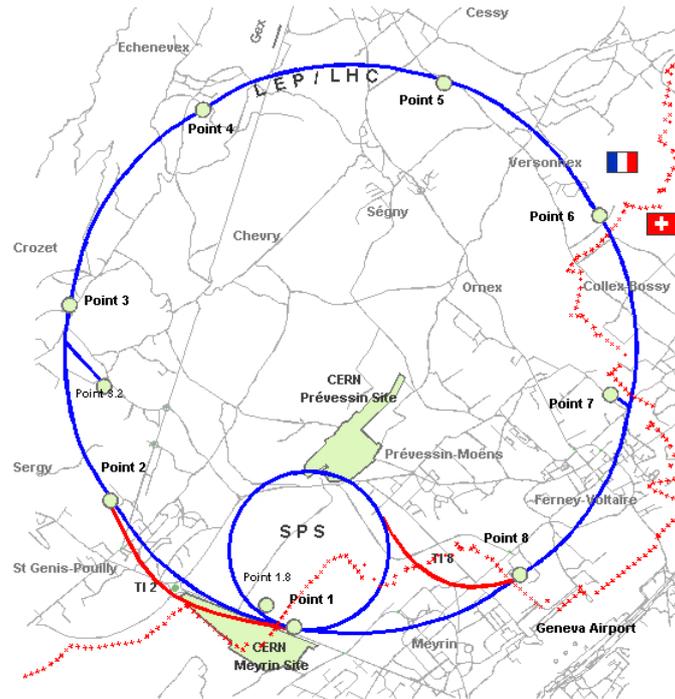
30/ Quel est l'âge de l'enfant ?

## III - Le LHC

Le Grand Collisionneur de Hadrons (Large Hadron Collider ; LHC) est entré en fonctionnement en 2008. Il est situé dans un anneau de **27 kilomètres de circonférence** et enterré à 100 m sous terre à la frontière franco-suisse, près de Genève. Le LHC est désormais le plus puissant des accélérateurs de particules au monde. Dans les accélérateurs de particules, des protons (ou des ions) de très haute énergie circulant dans deux faisceaux tournant à contre-sens se choquent les uns contre les autres, dans le but de rechercher des indices de la supersymétrie, de la matière noire et de l'origine de la masse des particules élémentaires. Les faisceaux se composent de paquets contenant des centaines de milliards de protons chacun.

Voyageant quasiment à la vitesse de la lumière, ils sont injectés, accélérés, et maintenus en circulation pendant des heures, guidés par des milliers d'aimants supraconducteurs puissants.

L'**énergie cinétique des protons (7 TeV)** est transformée au moment du choc en une myriade de particules exotiques, que les détecteurs observent avec attention. Le 04 juillet 2012, les chercheurs ont annoncé l'observation du boson de Higgs dont l'existence était prédite par le modèle standard.



Nous étudions ici la trajectoire des protons dans le Large Hadron Collider. Le LHC est formé d'une succession d'accélérateurs, d'énergies toujours croissantes. Chaque accélérateur injecte un faisceau dans la machine suivante, qui prend le relais pour porter ce faisceau à une énergie encore plus élevée, et ainsi de suite. Tous les accélérateurs de particules sont composés de la même façon : une source de particules, des champs électriques accélérateurs, des champs magnétiques de guidage et finalement des détecteurs pour observer les particules et leurs collisions.

Données :

- Masse d'un électron  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg
- Charge de l'électron  $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C

A) Particule dans un champ électrique constant et uniforme

- 31/ Quelle est la force que subit un proton plongé dans une région de l'espace où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$  ?
- 32/ Montrer que l'on peut négliger le poids du proton devant la force générée par un champ  $E = 100$  kV.m<sup>-1</sup>. On prendra  $g = 10$  N.kg<sup>-1</sup>.
- 33/ En utilisant le principe fondamental de la dynamique appliqué à un proton, exprimer l'accélération que ressent un proton dans une zone de l'espace où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$ .
- 34/ En considérant que le potentiel  $V_0$  du plan  $x = 0$  est nul, exprimer le potentiel  $V_L$  du plan  $x = L$ .
- 35/ En supposant que le proton entre dans la zone de champ avec une énergie cinétique négligeable, exprimer l'énergie cinétique du proton sortant de la zone d'accélération, en fonction de  $U = V_0 - V_L$ .

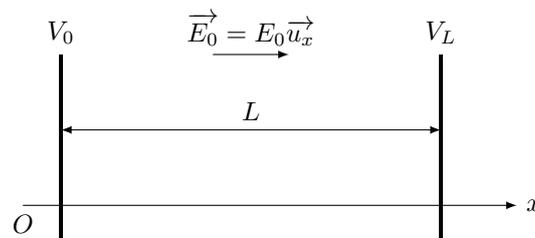


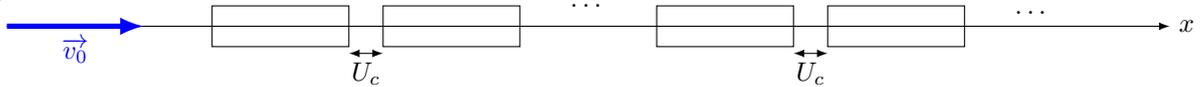
Schéma du dispositif d'accélération des protons

B) Un accélérateur linéaire de particules : le Linac 2

L'accélérateur linéaire 2 (Linac 2) constitue le point de départ des protons utilisés dans les expériences menées au CERN.

Les protons passent dans une série de conducteurs métalliques coaxiaux. On considère que le champ est nul à l'intérieur des conducteurs. Ces protons sont accélérés par une tension maximale  $U_c$  toutes les fois qu'ils passent d'un tube à l'autre. On considérera que la distance entre deux tubes est négligeable par rapport à la longueur des tubes. Les protons sont injectés en  $O$  avec une vitesse  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_x$  parallèle à l'axe de l'accélérateur et générée par une tension pré-acceleratrice  $U_0$ .

Source de protons  
pré-accelérés par une  
tension  $U_0$



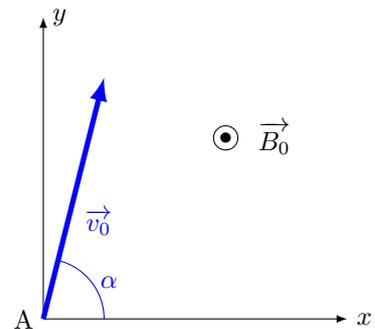
### Le linac 2

- 36/ Quel est l'accroissement d'énergie cinétique de ces protons au passage entre deux tubes voisins ?  
 37/ Exprimer leur énergie cinétique à la sortie du  $n$ -ième tube en fonction de  $U_c$  et  $U_0$ .  
 38/ Calculer la valeur de la vitesse des protons à la sortie du 11<sup>ème</sup> tube pour  $U_0 = 200$  kV,  $U_c = 2000$  kV.  
 39/ Sachant qu'une particule est considérée comme relativiste lorsque sa vitesse atteint le tiers de la vitesse de la lumière, ces protons sont-ils relativistes ?

### C) Du linac 2 au synchrotron à protons (PS)

Un élément fondamental du complexe accélérateur est le synchrotron à protons (PS).

Pendant une courte période de l'histoire des grands instruments, le PS a été l'accélérateur produisant les plus hautes énergies du monde. Aujourd'hui, il sert principalement à alimenter le LHC. On considère un proton injecté en  $A$  dans le synchrotron où règne un champ magnétique statique et uniforme  $\vec{B}_0 = B_0 \vec{u}_z$ . À  $t = 0$  sa vitesse  $\vec{v}_0$  est perpendiculaire au champ magnétique conformément à la figure ci-contre.



### Vitesse du proton dans le champ magnétique

- 40/ Donner le nom et l'expression vectorielle de la force que subit le proton soumis au champ magnétique  $\vec{B}_0$ .  
 Pour les questions suivantes, on considère que le proton n'est soumis qu'à cette force.  
 41/ Représenter la force magnétique subie par le proton en  $A$  sur le document 2 de l'annexe. Exprimer la norme de cette force. En calculer un ordre de grandeur et conclure à l'action du poids sur le mouvement du proton.  
 42/ Montrer que le travail associé à cette force est nul. En déduire une caractéristique du mouvement du proton.  
 Le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique. On admet que la trajectoire du proton est circulaire.  
 43/ Représenter la trajectoire du proton sur l'annexe.  
 44/ Exprimer le rayon de la trajectoire en fonction de  $m_p$ ,  $B_0$ ,  $e$  et  $v_0$  ; puis en fonction de  $B_0$ ,  $e$  et de la norme de la quantité de mouvement  $p$  du proton.  
 45/ Quelle est la nature du mouvement du proton après sa sortie de la zone de champ magnétique ?  
 46/ La tomate est-elle un fruit ?

Annexes à rendre avec la copie

---

