## EXERCICE II : LES ACCÉLERATEURS MONTENT EN PUISSANCE (6 points)

Pour percer les secrets de la matière à l'échelle subatomique, les physiciens construisent depuis plus de cinquante ans, des collisionneurs de particules de plus en plus puissants. Le dernier né de cette famille est le Grand Collisionneur de Hadrons* : le LHC pour « Large Hadrons Collider » construit par le laboratoire européen de physique des particules, le CERN, situé près de Genève. C'est le plus puissant accélérateur de particules construit à ce jour. L'énergie acquise par un proton est supérieure à $10^{12}$ eV.

* Hadrons : Les hadrons (du grec « adros », qui signifie « épais ») sont des particules composées de quarks. Les protons et les neutrons, qui constituent les noyaux des atomes, appartiennent à cette famille.

### Accélérateurs de particules

Le gros avantage des accélérateurs est de pouvoir fournir des faisceaux de particules dont la nature est connue et l'énergie variable, dans la limite des performances du dispositif. Avec de tels outils, les chercheurs peuvent entreprendre des campagnes de mesures systématiques grâce à des expériences dont on changera à loisir les conditions de fonctionnement.
Alors qu'est-ce qu'un accélérateur ? C'est un dispositif construit pour augmenter la vitesse mais surtout l'énergie des particules. Pour augmenter l'énergie des particules, il existe une seule solution, il faut les soumettre à un champ électrique le plus intense possible. Seules les particules chargées et stables pourront être accélérées. En pratique, les premiers accélérateurs s'appliquèrent tant aux protons qu'aux électrons.

*D'après « Le vrai roman des particules élémentaires »*
*de François Vannucci professeur à l'université Paris 7-Denis Diderot*

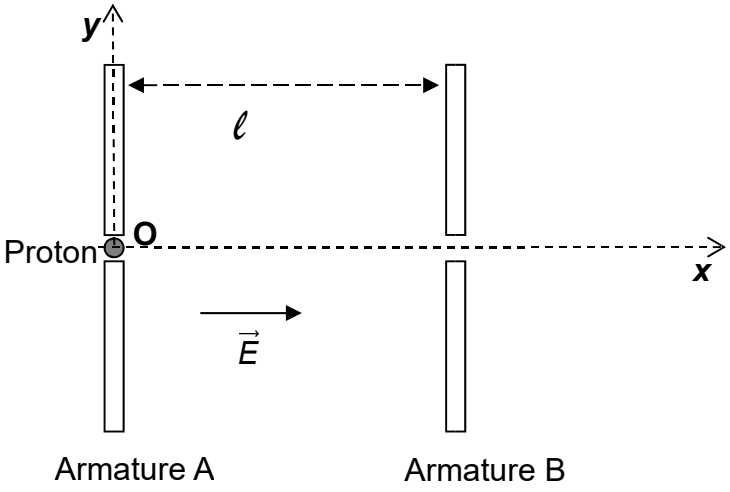
### Données :

- Masse d'un proton : $m_p = 1{,}7 \times 10^{-27}$ kg
- Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C
- 1 eV = 1,6 x $10^{-19}$ J

## 1. Étude simplifiée d'un accélérateur de protons

Un proton de charge $e$ et de masse $m_p$ pénètre dans un accélérateur linéaire de particules.
À $t$ = 0 s, le proton est situé en O et possède une vitesse initiale de valeur $v_0 = 2{,}0 \times 10^3$ m.s$^{-1}$ et de direction Ox (voir schéma ci-après).

Entre les armatures A et B, séparées d'une distance $\ell = 6{,}5$ cm, règne un champ électrostatique uniforme de valeur $E = 10{,}0$ kV.m$^{-1}$. On négligera le poids devant la force électrique.




1.1. Représenter, sans souci d'échelle, la force électrique $\vec{F}$ appliquée au proton ainsi que le vecteur accélération $\vec{a}$ de celui-ci sur le document de l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.** Justifier.

1.2. Vitesse et énergie du proton

1.2.1. Après avoir établi l'expression du vecteur accélération dans le repère (O,$x$,$y$) :

a) montrer que l'équation horaire $v_x(t)$ s'écrit de la forme :

$$v_x(t) = \frac{e \cdot E}{m_P} \cdot t + v_0 \ ;$$

b) déterminer l'équation horaire $v_y(t)$ et justifier le nom d' « accélérateur linéaire » attribué à cet accélérateur.

1.2.2. Le proton atteint l'armature B à la date $t_1 = 3{,}7 \times 10^{-7}$s.
Quelle est alors sa vitesse $v_1$ ?

1.2.3. Déterminer l'équation du second degré qui permet d'obtenir la valeur de $t_1$. Vérifier que cette équation est cohérente avec la valeur de $t_1$ donnée dans la question précédente.

1.2.4. Calculer l'augmentation d'énergie cinétique de ce proton entre les armatures A et B. Comparer avec l'énergie attendue dans le LHC. Comment peut-on atteindre la valeur attendue ?

1.3. On s'interroge sur le fonctionnement de ce dispositif avec d'autres particules.

1.3.1. Ce dispositif peut-il fonctionner avec un neutron ? Justifier votre réponse.

1.3.2. Que faudra-t-il modifier si l'on souhaite accélérer un électron ?

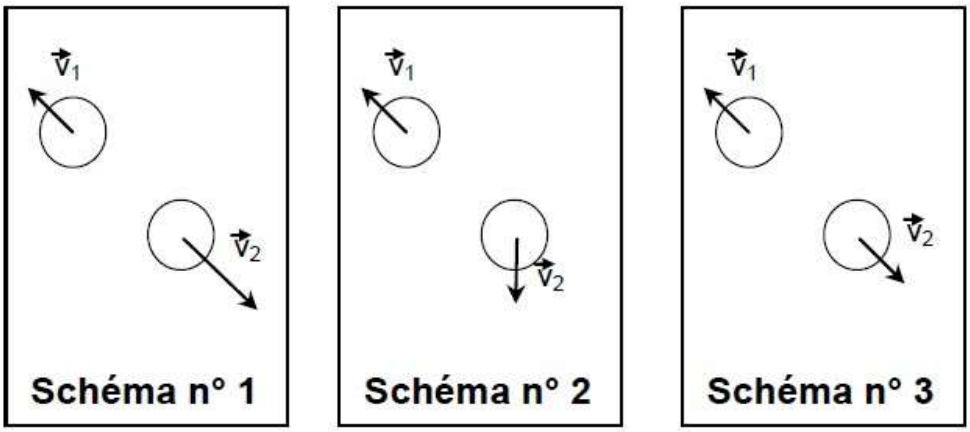
## 2. Collision entre deux protons

Dans le LHC, deux faisceaux de protons ayant la même énergie cinétique se percutent de manière frontale en des points où sont placés de gigantesques détecteurs.

2.1. Faire un schéma illustrant la situation avant la collision entre deux protons en représentant leur vecteur-vitesse.

2.2. Le système étudié, dans le référentiel terrestre, est constitué de l'ensemble des deux protons.
Déterminer le vecteur quantité de mouvement du système étudié avant la collision.

2.3. On considère que le système est isolé.
Choisir, parmi les trois schémas donnés ci-dessous, celui qui correspond à la situation après collision des protons. Justifier votre réponse.




Chaque disque symbolise un proton.

## ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

Question 1.1.

