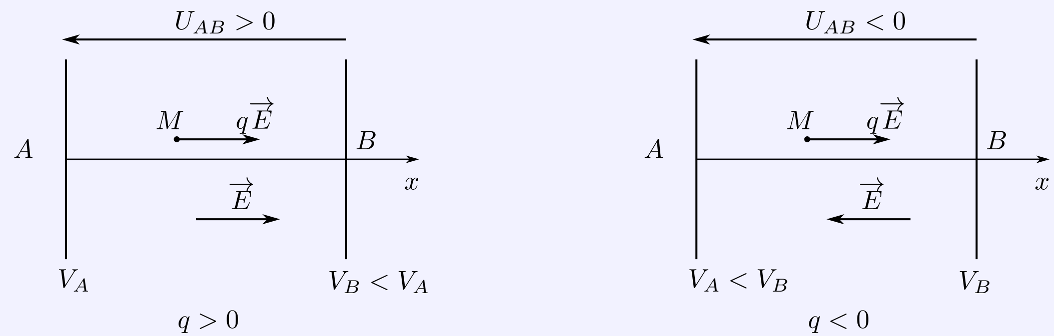
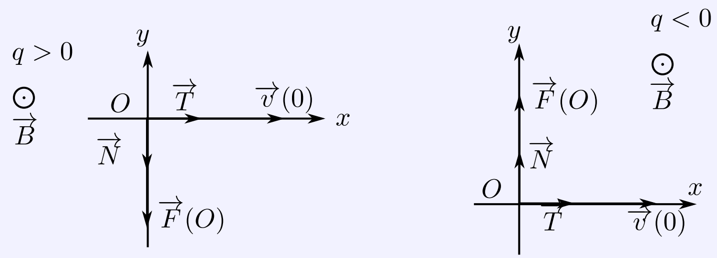
<table>
<tr><th>Notions et contenus</th><th>Capacités exigibles</th><th>Détail</th></tr>
<tr><td>Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champs électrique et magnétique.</td><td>Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.</td><td>Considérons un proton de masse $m = 1 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$ et de charge $q = e = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, alors son poids vaut $\boxed{P \approx 1 \times 10^{-26}\,\mathrm{N}}$.
Considérons la force électrique exercée sur ce proton par un champ $E \approx 1 \times 10^{4}\,\mathrm{V\,m^{-1}}$, alors $\boxed{F = qE \approx 1 \times 10^{-15}\,\mathrm{N} \gg P}$.
Considérons la force magnétique $\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{B}$ exercée sur ce proton de vitesse $v = 1 \times 10^{6}\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ dans un champ $B = 0{,}1\,\mathrm{T}$, alors $\boxed{F \approx evB \approx 1 \times 10^{-14}\,\mathrm{N} \gg P}$.
On constate que la force électrique et la force magnétique peuvent être du même ordre de grandeur. Par contre le poids est négligeable.</td></tr>
<tr><td>Puissance de la force de Lorentz.</td><td>Justifier qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.</td><td>A démontrer.
Soit une particule de charge q assimilable à un point matériel M de masse m. On considère qu'elle n'est soumis qu'à la force électrique $\overrightarrow{F} = qE$ dans un référentiel galiléen. D'après le théorème de la puissance cinétique,
$$\frac{\mathrm{d}E_c(M)}{\mathrm{d}t} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{v}(M) = q\overrightarrow{E} \cdot \overrightarrow{v}(M)$$
Ainsi si $\overrightarrow{E} \cdot \overrightarrow{v} \neq 0$, alors la force électrique peut modifier l'énergie cinétique de la particule.
On considère maintenant que la particule n'est soumis qu'à la force magnétique $\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{v}(M) \wedge \overrightarrow{B}$. D'après le théorème de la puissance cinétique
$$\frac{\mathrm{d}E_c(M)}{\mathrm{d}t} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{v}(M) = q(\overrightarrow{v}(M) \wedge \overrightarrow{B}) \cdot \overrightarrow{v}(M) = 0 \quad \text{car} \quad (\overrightarrow{v}(M) \wedge \overrightarrow{B}) \perp \overrightarrow{v}(M)$$
Ainsi la force magnétique ne modifie pas l'énergie cinétique. Le mouvement est donc uniforme. Cette force ne peut que courber la trajectoire à norme de vitesse constante.</td></tr>
</table>

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur-accélération constant.	On précisera les trajectoires possibles. On pose l'accélération $\overrightarrow{a} = a\overrightarrow{e}_x = \overrightarrow{\text{cste}}$. Par intégrations successives, $$\overrightarrow{v} = at\overrightarrow{e}_x + \overrightarrow{v}(t=0) \quad \text{et} \quad \overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}gt^2\overrightarrow{e}_x + \overrightarrow{v}(t=0)t + \overrightarrow{OM}(t=0)$$ • Si $\overrightarrow{v}(t=0) \parallel \overrightarrow{a}$, alors la trajectoire est rectiligne. • Sinon, la trajectoire est parabolique. Posons $\overrightarrow{v}(t=0) = v_{0x}\overrightarrow{e}_x + v_{0y}\overrightarrow{e}_y$, alors les équations horaires sont $$\begin{cases} x(t) &= \frac{1}{2}gt^2 + v_{0x}t + x_0 \\ y(t) &= v_{0y}t + y_0 \end{cases}$$ On établit l'équation de la trajectoire, en posant $t = (y-y_0)/v_{0y}$: $$x(y) = \frac{1}{2}g\left(\frac{y-y_0}{v_{0y}}\right)^2 + v_{0x}\left(\frac{y-y_0}{v_{0y}}\right) + x_0$$
	Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.	Rappeler la définition de l'énergie électrique. Dans le cas d'un champ électrique uniforme, démontrer la relation entre $\overrightarrow{E}$ et le potentiel V. Comment est orienté le champ électrique par rapport au potentiel ? Par définition de l'énergie électrique $E_p(M) = qV(M)$ avec $V(M)$ le potentiel électrique en M où se trouve la charge q. La force électrique est $\overrightarrow{F}(M) = q\overrightarrow{E}(M)$, avec $\overrightarrow{E}(M)$ le champ électrique en M. La force électrique est une force conservative, donc $\overrightarrow{F}(M) = -\overrightarrow{\text{grad}}E_p$, on en déduit $q\overrightarrow{E}(M) = -\overrightarrow{\text{grad}}(qV(M))$, soit $\boxed{\overrightarrow{E}(M) = -\overrightarrow{\text{grad}}V(M)}$. $\boxed{\text{Le champ électrique est toujours orienté vers les potentiels décroissants.}}$ Dans le cas d'un champ électrique uniforme $\overrightarrow{E}(M) = E_0\overrightarrow{e}_x = \overrightarrow{\text{cste}}$, $\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$ donne en coordonnées cartésiennes $$E_0 = -\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}x} \quad \text{soit} \quad \boxed{V(x) = -E_0x + \text{cste}}$$

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.	Soit U_{AB} la différence de potentiel entre les points A et B. Une particule de charge q est en A sans vitesse. Déterminer sa vitesse $v(B)$ en B. Sur un schéma, préciser le signe de U_{AB}, le sens du champ électrique $\overrightarrow{E}$ et la force électrique pour que la particule soit accélérée. On distinguera les cas $q > 0$ et $q < 0$. On veut une force selon $\overrightarrow{e}_x$. Selon le signe de q, on en déduit le sens de $\overrightarrow{E}$. On en déduit l'inégalité sur les potentiels et donc le signe de U_{AB}.  On étudie la particule M de masse m et de charge q dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. Elle est soumise à la seule force électrique qui est conservative. Donc le système est conservatif. $$E_m(A) = E_m(B) \quad \text{soit} \quad qV_A = \frac{1}{2}mv(B)^2 + qV_B \quad \text{donc} \quad \boxed{v(B) = \sqrt{\frac{2qU_{AB}}{m}}}$$
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.	Sur un schéma, placer la force de Lorentz et le repère de Frenet au point O où la particule possède une vitesse $\overrightarrow{v}_0$. Distinguer les cas $q > 0$ et $q < 0$. $\overrightarrow{T}$ est le vecteur unitaire associé à $\overrightarrow{v}(0)$. Le vecteur $\overrightarrow{N}$ est normal à $\overrightarrow{T}$ et orienté selon $\overrightarrow{F}(O)$ car $$\overrightarrow{a}(O) = \frac{v(O)^2}{r(O)}\overrightarrow{T} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\overrightarrow{T} = \frac{\overrightarrow{F}(O)}{m}$$ 

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Mouvement 'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur-vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.	Montrer que la trajectoire est plane, circulaire uniforme. Préciser la pulsation cyclotron et le rayon de la trajectoire. On étudie la particule M de masse m et de charge q dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen, plongée dans une zone où règne un champ magnétique uniforme et stationnaire $\overrightarrow{B} = B_0 \overrightarrow{e}_z$. Elle est soumis à la force $\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{v}(M) \wedge \overrightarrow{B}$. Par propriété du produit vectoriel, $\overrightarrow{F} \perp \overrightarrow{e}_z$. Par application de la seconde loi de Newton selon $\overrightarrow{e}_z$, on a $$m\overrightarrow{a}(M) \cdot \overrightarrow{e}_z = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{e}_z \quad \text{soit} \quad \boxed{\ddot{z} = 0}$$ Comme la vitesse initiale est perpendiculaire à $\overrightarrow{B}$, on en déduit $\dot{z} = \text{cste} = \overrightarrow{v}(0) \cdot \overrightarrow{e}_z = 0$. Donc le mouvement est plan, dans le plan $Oxyz$. On pose alors la base de Frenet. On a alors $\overrightarrow{a} = \dfrac{v^2}{R}\overrightarrow{N} + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\overrightarrow{T}$, avec $v = \vert\vert\overrightarrow{v}\vert\vert$. La force s'exprime $$\overrightarrow{F} = qv\overrightarrow{T} \wedge (B_0\overrightarrow{e}_z) = \vert q\vert vB_0\overrightarrow{N}$$ Par projection de la seconde loi de Newton selon $\overrightarrow{T}$, on en déduit $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc le mouvement est uniforme de vitesse v_0. En projetant selon $\overrightarrow{N}$, on a $$m\frac{v^2}{R} = \vert q\vert vB_0 \quad \text{donc} \quad \boxed{R = \frac{mv_0}{\vert q\vert B_0}}$$ On définit la pulsation cyclotron telle que $v_0 = R\omega_c$: $$\boxed{\omega_c = \frac{\vert q\vert B_0}{m}}$$ On constate que cette pulsation est indépendante de la vitesse v_0.