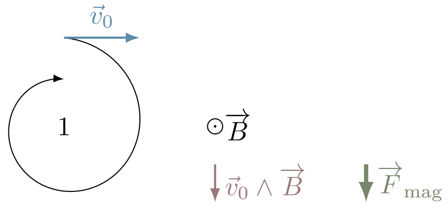
TD 15 — Mouvements de particules chargées

SAVOIR-FAIRE

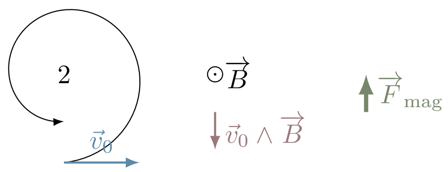
Savoir-faire 1 - Connaître les trajectoires d'une particule chargée dans un champ électromagnétique

1/ Trajectoire 1 :



La particule tourne dans le sens horaire et sa vitesse initiale est donnée par le schéma ci-dessus. Le produit vectoriel $\vec{v}_0 \wedge \overrightarrow{B}$ est donc orienté vers le bas (on s'en convainc à l'aide de la règle des trois doigts).
Or, la particule s'enroule dans le sens de ce vecteur $\vec{v}_0 \wedge \overrightarrow{B}$ on en déduit donc que la force subie par la particule est orientée dans le même sens que ce vecteur. Ainsi, au vu de la formule $\overrightarrow{F}_{\text{mag}} = q(\vec{v} \wedge \overrightarrow{B})$, on en déduit que q la charge de la particule est **positive**.

Trajectoire 2 :



La particule tourne dans le sens anti-horaire et sa vitesse initiale est donnée par le schéma ci-dessus. Le produit vectoriel $\vec{v}_0 \wedge \overrightarrow{B}$ est toujours orienté vers le bas (on s'en convainc à l'aide de la règle des trois doigts).
Or, la particule s'enroule dans le sens opposé à celui de ce vecteur $\vec{v}_0 \wedge \overrightarrow{B}$ on en déduit donc que la force subie par la particule est orientée dans le sens opposé à ce vecteur. Ainsi, on en déduit que q la charge de la particule est **négative**.

Trajectoire 3 :

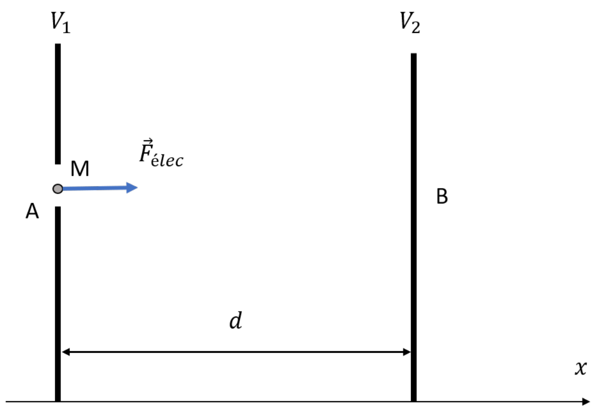
La particule n'est pas déviée mais a une vitesse, on peut en déduire qu'elle n'est donc pas chargée. Sa charge est **nulle**.

2/ Dans le texte, il est mentionné que le liquide freine les particules. Cela est dû à une interaction entre les particules étudiées et le fluide. Cette interaction crée des bulles, il y a donc une perte d'énergie qui est liée à une décélération des particules.

On sait que plus la vitesse diminue, plus le rayon diminue ($v = \omega R$), donc en perdant de la vitesse, les particules s'enroulent en spirales dont le rayon diminue.

Savoir-faire 2 - Déterminer la vitesse d'une particule en sortie d'une différence de potentiel

Système étudié : proton de masse m et de charge $q = e$ assimilé au point M.
Référentiel : Terrestre supposé galiléen.
Repère : Cartésien car le mouvement sera rectiligne.
Schéma ci-dessous :



Bilan des forces :

- Force de Lorentz : $\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{E} + q\underbrace{\vec{v} \wedge \overrightarrow{B}}_{=\vec{0}} = \overrightarrow{F}_{\text{élec}}$ car il n'y a pas de champ magnétique.
- Poids du proton qu'on néglige par rapport à la force de Lorentz
- Interaction avec les particules d'air qu'on néglige car on se place sous vide

On est dans un référentiel galiléen, on peut donc appliquer le théorème de l'énergie mécanique au proton sous forme intégrale entre les points A et B :

$$\Delta E_m = W_{AB}(\overrightarrow{F}_{\text{NC}}) = 0 \qquad \text{car le proton n'est soumis qu'à une seule force qui est conservative}$$

En A	**En B**
$E_c(A) = 0$ car le proton est au repos	$E_c(B) = \dfrac{1}{2}mv^2$ avec v la vitesse du proton en sortie de l'accélérateur
$E_p(A) = eV_1$	$E_p(B) = eV_2$

On en déduit donc :

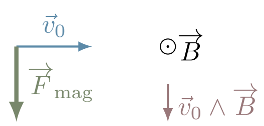
$$eV_1 = eV_2 + \frac{1}{2}mv^2 \qquad \text{soit} \qquad \boxed{v = \sqrt{\frac{2e}{m}(V_1 - V_2)}}$$

Savoir-faire 3 - Déterminer le rayon de la trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétique stationnaire et

On a admis dans le cours que la trajectoire était circulaire. C'est du cours !

Pour le reste, c'est une démonstration de cours.

Système étudié : proton de masse m et de charge $q = e$ assimilé au point M.
Référentiel : Terrestre supposé galiléen.
Repère : Polaire car le mouvement sera circulaire !
Schéma ci-dessous :



Bilan des forces :

- Force de Lorentz : $\overrightarrow{F} = e\underbrace{\overrightarrow{E}}_{=\vec{0}} + e\vec{v} \wedge \overrightarrow{B} = \overrightarrow{F}_{\text{mag}}$ car il n'y a pas de champ électrique.
- Poids du proton qu'on néglige par rapport à la force de Lorentz
- Interaction avec les particules d'air qu'on néglige car on se place sous vide

En calculant la puissance fournie par le champ magnétique à la particule, on montre que sa vitesse est constante :

$$\mathcal{P}(\overrightarrow{F}_{\text{maq}}) = e(\vec{v} \wedge \overrightarrow{B}).\vec{v} = \vec{0}$$

On montre ainsi que la force magnétique ne travaille pas, la vitesse de la particule reste donc constante au cours du temps : c'est un mouvement uniforme.

Le référentiel d'étude est galiléen. On peut donc appliquer le PFD au proton :

$$m\vec{a} = e\vec{v} \wedge \overrightarrow{B}$$

En prenant la norme de cette expression :

$$m||\vec{a}|| = e||\vec{v} \wedge \overrightarrow{B}|| = e||\vec{v}||.||\overrightarrow{B}|| \qquad \text{car } \overrightarrow{B} \text{ et } \vec{v} \text{ sont orthogonaux.}$$

Or, le mouvement étant circulaire uniforme, on a : $||\vec{a}|| = \frac{||\vec{v}||^2}{R}$ avec R le rayon du cercle. De plus, $||\vec{v}|| = |v_0|$ et $||\overrightarrow{B}|| = B_0$ d'après l'énoncé.

On obtient donc :

$$\boxed{R = \frac{|v_0|m}{eB_0}}$$

Le mouvement étant circulaire, on sait aussi que $|v_0| = \omega_c R$, soit :

$$\boxed{\omega_c = \frac{eB_0}{m}}$$