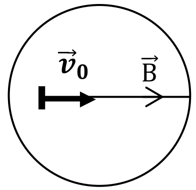
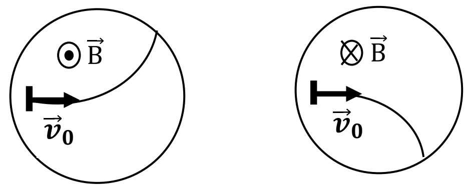
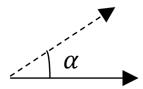
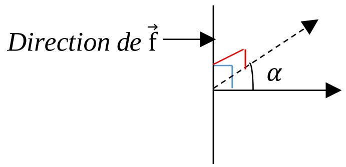
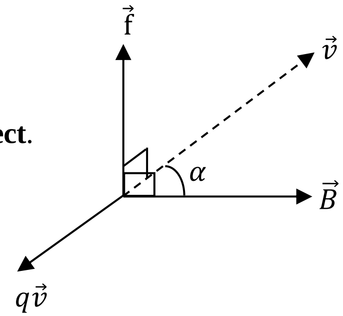
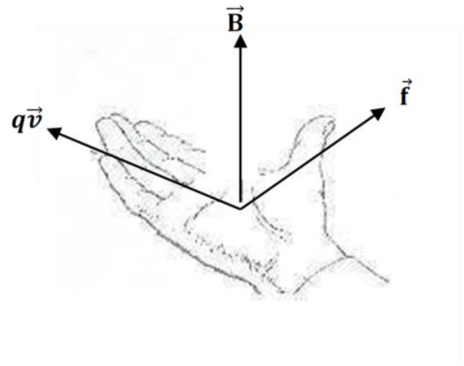
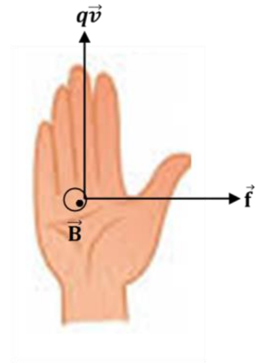
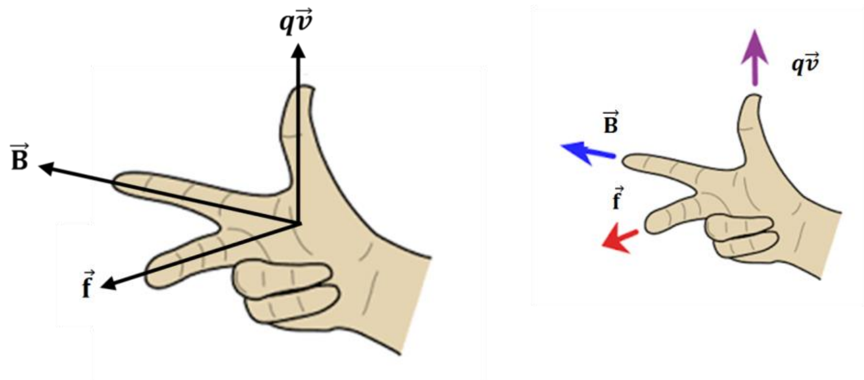
Moments didactiques/ Durée	Stratégies pédagogiques	Activités du Professeur	Activités des élèves	Trace écrite
Présentation	Questions /réponses	Rappels/pré requis	Par leurs réponses, les élèves amènent le professeur à donner le titre de la leçon	**MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE UNIFORME**
Développement	Questions –réponses Questions-réponses	Administration de la situation d'apprentissage Lisez la situation. Quelles actions les élèves veulent mener ? Le professeur définit le produit vectoriel	Les élèves lisent la situation. Ils veulent : - définir la force de Lorentz - déterminer ses caractéristiques - analyser le mouvement d'une particule chargée dans un spectromètre de masse, dans un cyclotron et dans un filtre de vitesses.	**<u>Rappel sur le produit vectoriel</u>** - **définition du produit vectoriel** Soient $\vec{U}$ et $\vec{V}$ deux vecteurs non nuls du plan. On appelle produit vectoriel de $\vec{U}$ et $\vec{V}$, noté $\vec{\boldsymbol{U}}\wedge\vec{\boldsymbol{V}}$ et lu « $\vec{\boldsymbol{U}}$ **vectoriel** $\vec{\boldsymbol{V}}$ » le vecteur $\vec{W}$ défini par $\vec{\boldsymbol{W}} = \vec{\boldsymbol{U}}\wedge\vec{\boldsymbol{V}}$. On a : $\|\vec{W}\| = \|\vec{U}\|.\|\vec{V}\|.\sin(\widehat{\vec{U},\vec{V}})$

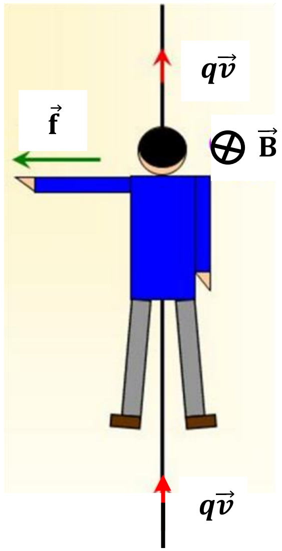
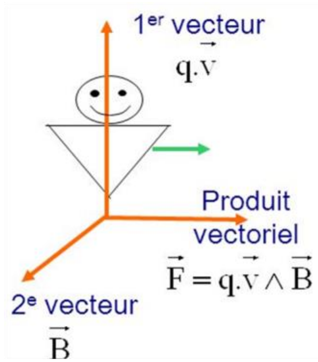
Développement (suite)				$\longrightarrow \mathbf{W = U.V.\sin\alpha}$ avec $\alpha = mes\,(\widehat{\vec{U},\vec{V}})$ *(ce vecteur a pour caractéristiques :* *♦ Direction : la perpendiculaire au plan formé par les vecteurs $\vec{U}$ et $\vec{V}$ (autrement dit $\vec{W} \perp \vec{U}$ et $\vec{W} \perp \vec{V}$)* *♦ Sens : tel que le trièdre $(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W})$ soit direct* *♦ Norme :* $\boldsymbol{W = U.V.}\sin(\widehat{\vec{U},\vec{V}})$ *Le point d'application est relatif ; ça dépend du point d'intersection (point commun entre $\vec{U}$ et $\vec{V}$)*
	Questions-réponses	Le professeur énonce ses principales propriétés du produit vectoriel		- **Quelques propriétés du produit vectoriel** ♦ $k\,\vec{U}\wedge\vec{V} = k(\vec{U}\wedge\vec{V})$ ♦ $\vec{U}\wedge\vec{V} = -\,\vec{V}\wedge\vec{U}$ *(car $\sin\alpha = -\sin -\alpha$) : le produit vectoriel n'est pas commutatif)* ♦ $\vec{T}\wedge(\vec{U}+\vec{V}) = \vec{T}\wedge\vec{U} + \vec{T}\wedge\vec{V}$: *le produit est distributif par rapport à l'addition* ♦ Si $\vec{U} \perp \vec{V}$ alors $\lVert\vec{U}\wedge\vec{V}\rVert = U.V$ ♦ Si $\vec{U}$ // $\vec{V}$ alors $\lVert\vec{U}\wedge\vec{V}\rVert = 0$
	Expérimentation	**<u>Activité :</u>** Force de Lorentz		**1. <u>Force de Lorentz</u>** *En classe de seconde, vous avez appris qu'un aimant dévie un faisceau d'électrons (tube de Crookes) (leçon : le courant électrique). Nous allons, dans cette leçon, préciser la nature de cette interaction et donner l'expression de la force qui en est responsable.*
	Travail de groupe	Soyez attentif et observez l'expérience	Les élèves observent attentivement l'expérience.	**1.1. <u>Mise en évidence de la force de Lorentz</u>** *(action d'un champ magnétique sur une particule chargée)* **1.1.1. <u>Expérience et observation</u>** On fait pénétrer un faisceau d'électrons avec une vitesse $\vec{v}_0$ dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$
	Travail individuel Questions-réponses			*(ce magnétique uniforme $\vec{B}$ est créé par deux (2) bobines de Helmholtz : les bobines de Helmholtz, du nom de Hermann Ludwig von Helmholtz, sont un dispositif constitué de deux bobines circulaires de même rayon, parallèles, et placées l'une en face de l'autre à une distance égale à leur rayon. En faisant circuler du courant électrique dans ces bobines, un champ magnétique est créé dans leur voisinage, qui a la particularité d'être relativement uniforme au centre du dispositif dans un volume plus petit que les bobines elles-mêmes.* *Ce type de bobines est souvent utilisé en physique pour créer des champs magnétiques quasi-uniformes relativement faibles avec peu de matériel. On peut par exemple s'en*

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur montre l'influence des orientations des vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{B}$. Le professeur définit la force de Lorentz		*servir pour éliminer le champ magnétique terrestre afin qu'il ne perturbe pas une expérience.* *Les électrons sont émis par un canon à électrons puis accélérés par un générateur de tension continue)* On observe alors que : - Lorsque $\vec{B} = \vec{0}$ (ou $\vec{v}_0$ // $\vec{B}$), le faisceau *(les électrons)* n'est pas dévié *(les électrons sont animés d'un MRU)*  - Lorsque $\vec{B} \perp \vec{v}_0$, le faisceau est dévié *(les électrons ont en fait une trajectoire circulaire comme on le verra plus tard)*. Le mouvement *(la déviation)* change de sens quand on inverse le sens de $\vec{B}$ *(càd que le faisceau subit l'action d'une force dans le champ $\vec{B}$: c'est la force de Lorentz)*  - *Lorsque $\vec{v}_0$ est quelconque (càd $\vec{v}_0$ n'est ni parallèle ni perpendiculaire à $\vec{B}$), le faisceau une déviation et sa trajectoire est hélicoïdale)* **1.1.2. <u>Conclusion</u>** Une force magnétique $\vec{\mathbf{f}}$ agit sur les électrons en mouvement dans un champ magnétique si le vecteur vitesse (d'entrée de ces électrons dans le champ) n'est pas parallèle (ou colinéaire) au vecteur champ magnétique : c'est la **force de Lorentz** **<u>N.B.</u> :** Cette force est nulle si les vecteurs vitesse et champ magnétique sont parallèles ou si au moins l'un des deux vecteurs est nul.

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur donne l'expression de la force de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v}\wedge\vec{B}$. Le professeur donne les caractéristiques de la force de Lorentz		**1.2. <u>Expression de la force de Lorentz</u>** Une particule de charge électrique **q**, en mouvement à une vitesse $\boldsymbol{\vec{v}}$ dans (une région de l'espace où règne) un champ magnétique $\boldsymbol{\vec{B}}$ subit une force magnétique dite force de Lorentz et donnée par l'expression : $\mathbf{\vec{f}} = \boldsymbol{q\vec{v}}\wedge\mathbf{\vec{B}}$ *(si la particule est soumise à un champ magnétique $\vec{B}$ et à un champ électrostatique $\vec{E}$ alors la force agissant sur la particule de charge q est :* $\vec{f} = q\vec{E} + q\vec{v}\wedge\vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v}\wedge\vec{B})$ *)* **1.3. <u>Caractéristiques de la force de Lorentz</u>** ♦ Point d'application : Particule *(supposée ponctuelle)* de charge **q** *(animée d'une vitesse $\vec{v}$ qui fait un angle α avec le champ magnétique $\vec{B}$*  ♦ Direction : la perpendiculaire au plan formé par $\vec{v}$ et $\vec{B}$ ($\vec{f} \perp \vec{v}$ *et* $\vec{f} \perp \vec{B}$ *)*  ♦ Sens : tel que le trièdre *(* $q\vec{v}, \vec{B}, \vec{f}$) soit **direct**.  *(si q< 0 alors $q\vec{v}$ et $\vec{v}$ sont de sens contraires (or ici c'est le cas car il s'agit des électrons, d'où les sens sur le schéma illustratif* *si q> 0 alors $q\vec{v}$ et $\vec{v}$ sont de même sens)* ♦ Intensité : $\mathbf{f} = \boldsymbol{|q|v.B.\sin\alpha}$ où $\alpha = (\widehat{q\vec{v}, \vec{B}})$ *(et $0 < \alpha < \pi$: puisque la trajectoire est un cercle qu'on verra plus tard)*

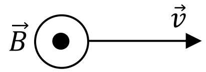
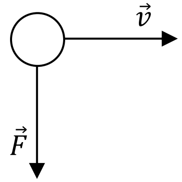
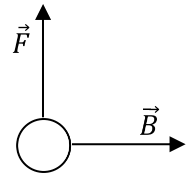
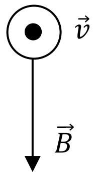
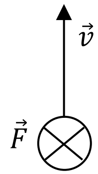
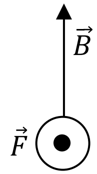
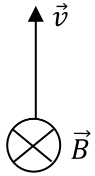
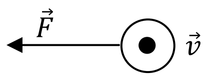
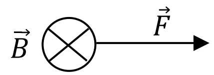
Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur énonce la règle de la main droite		**<u>Remarque :</u>** Le sens de $\vec{f}$ peut être déterminé par l'une des méthodes utilisées pour déterminer un trièdre direct. On distingue : - **La règle de la main droite** ♦ La main droite ouverte est placée telle que le vecteur $q\vec{v}$ (1er vecteur) *(du trièdre direct ($q\vec{v}$,$\vec{B}$, $\vec{f}$))* traverse la main *(droite ouverte)* du poignet à l'extrémité de ses *(4 autres)* doigts. ♦ La **paume** ouverte est orientée dans le sens du vecteur *(champ magnétique)* $\vec{B}$ (2ème vecteur) ♦ Le **pouce**, écarté des autres doigts *(en restant dans le plan de la main)* et tendu indique le sens de $\vec{f}$ (3ème vecteur)  $\odot$ *: vecteur sortant* $\otimes$*: vecteur sortant* *(donc pour déterminer le sens de* $\vec{f}$ *, on applique cette règle au trièdre direct (* $q\vec{v}$,$\vec{B}$, $\vec{f}$ *))* **<u>N.B. :</u>** Pour déterminer les sens des deux autres vecteurs, on utilise la **permutation circulaire**. Ainsi : • Pour le sens de $\vec{B}$ **,** on utilise le trièdre direct ($\vec{f}$, $q\vec{v}$,$\vec{B}$). Dans ce cas, $\vec{f}$ représente le 1er vecteur *(qui traverse la main droite ouverte du poignet à l'extrémité des doigts)*, $q\vec{v}$ représente le 2ème vecteur et $\vec{B}$ le 3ème vecteur. • Pour le sens de $\vec{v}$ **,** on utilise le trièdre direct (,$\vec{B}$, $\vec{f}$, $q\vec{v}$). Dans ce cas $\vec{B}$ représente le 1er vecteur *(qui traverse la main droite ouverte du poignet à l'extrémité des doigts)*, $\vec{f}$ représente le 2ème vecteur $q\vec{v}$ le 3ème vecteur.

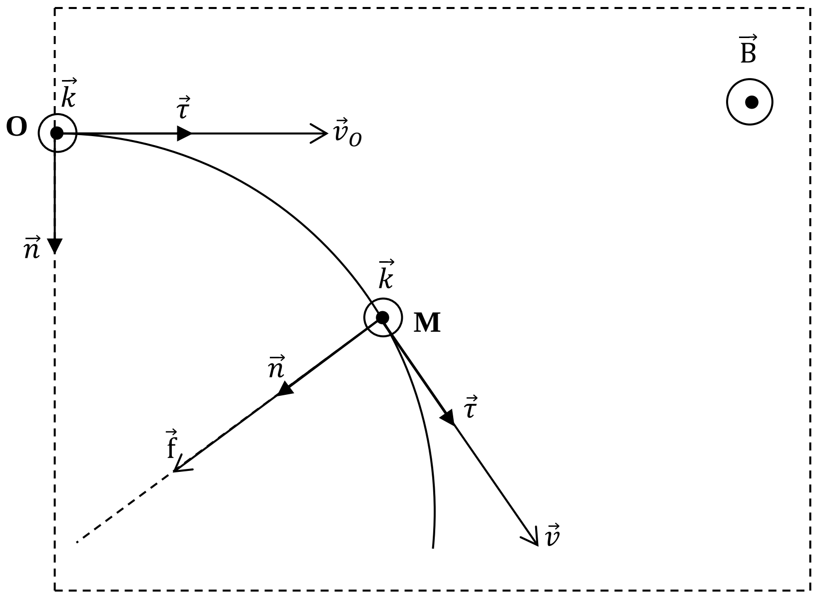
Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur énonce la règle des trois doigts de la main droite. Le professeur énonce la règle du bonhomme d'Ampère		*(et connaissant le sens de $q\vec{v}$, le signe de la charge permet de déterminer le sens de $\vec{v}$)* - **La règle des trois doigts de la main droite** *En général, avec cette règle, lorsqu'on a un produit vectoriel, le pouce représente le 1^er^ vecteur (la 1^ère^ composante du produit vectoriel), l'index représente le 2^ème^ vecteur (la 2^ème^ composante du produit vectoriel) et le majeur le 3^ème^ vecteur (la résultante du produit vectoriel)* *Pour le sens de $\vec{\mathbf{f}}$, on utilise le trièdre direct ($q\vec{v}$,$\vec{B}$, $\vec{\mathbf{f}}$). Ainsi :* On place le pouce *(de la main droite)* suivant $q\vec{v}$, l'index suivant $\vec{\mathrm{B}}$ et le majeur indique le sens de $\vec{\mathrm{f}}$ ***(N.B. :*** *• pour le sens de $\vec{\boldsymbol{B}}$, on utilise le trièdre direct ($\vec{f}$, $q\vec{v}$,$\vec{\boldsymbol{B}}$), et donc on a : pouce : $\vec{f}$; index : $q\vec{v}$ et majeur : $\vec{B}$* *• Pour le sens de $\vec{\boldsymbol{v}}$, on utilise le trièdre direct (,$\vec{B}$, $\vec{f}$, $\boldsymbol{q\vec{v}}$) et donc on a : pouce : $\vec{B}$; index : $\vec{f}$ et majeur : $q\vec{v}$)*  - **La règle du bonhomme d'Ampère** Le bonhomme d'Ampère est arrêté tel que : ♦ le vecteur $\boldsymbol{q\vec{v}}$ *(le 1^er^ vecteur du trièdre direct ($q\vec{v}$,$\vec{B}$, $\vec{\mathbf{f}}$))* lui entre par les pieds et sort par la tête. ♦ le bonhomme regarde dans la direction *(et le sens)* de $\vec{\mathbf{B}}$ *(le 2^ème^ vecteur)* ♦ son bras gauche tendu indique le sens de $\vec{\mathbf{f}}$ *(le 3^ème^ vecteur)* ***(N.B. :*** *• pour le sens de $\vec{\boldsymbol{B}}$, on utilise le trièdre direct ($\vec{f}$, $q\vec{v}$,$\vec{\boldsymbol{B}}$), et donc on a : $\vec{f}$: le 1^er^ vecteur ; $q\vec{v}$: le 2^ème^ vecteur et $\vec{B}$:le 3^ème^ vecteur (avec les mêmes rôles)*

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses			• *Pour le sens de* $\vec{v}$ **,** *on utilise le trièdre direct (*,$\vec{B}$, $\vec{f}$, $q\vec{v}$ *) et donc on a* $\vec{B}$ *: le 1er vecteur ;* $\vec{f}$ *: le 2ème vecteur et* $q\vec{v}$ *: le 3ème vecteur (avec les même rôles))*  *Ou bien* 

<table>
<tr>
<td>Développement (suite)</td>
<td>Travail de groupe

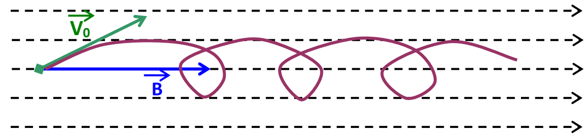
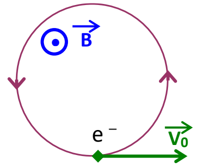
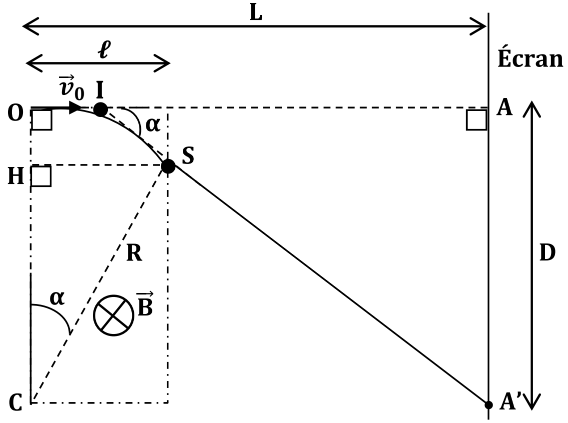
Travail individuel

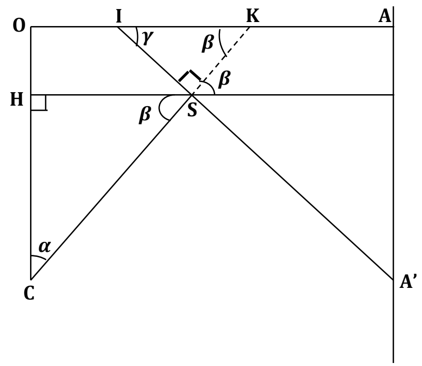
Questions-réponses</td>
<td>Représente dans ces différentes situations, la force de Lorentz, le vecteur champ magnétique et le vecteur- vitesse à partir des règles du bonhomme d’Ampère, de la main droite ou des trois doigts de la main droite.</td>
<td>Les élèves exécutent</td>
<td>
1.4. <u>Exemples de représentation</u> (de $\vec{f}$, de $\vec{B}$ et de $q\vec{v}$)
Sur les schémas ci-dessous doivent figurer $\vec{v}$, $\vec{B}$ et $\vec{F}$ (force de Lorentz).
Sachant que $\vec{v}$ est orthogonal à $\vec{B}$, représente le vecteur manquant.
<table>
<tr><th>Représentation de $\vec{F}$</th><th>Représentation de $\vec{B}$</th><th>Représentation de $\vec{v}$</th></tr>
<tr>
<td>q > 0

</td>
<td>q < 0

</td>
<td>q < 0

</td>
</tr>
<tr>
<td>q < 0

</td>
<td>q > 0

</td>
<td>q > 0

</td>
</tr>
<tr>
<td>q > 0

</td>
<td>q < 0

</td>
<td>q < 0

</td>
</tr>
</table>
</td>
</tr>
</table>

Développement (suite)	Expérimentation Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	**Activité :** Mouvement d'une particule dans un champ magnétique uniforme: (cas particulier où $\vec{B}\perp\vec{v}$) Soyez attentif et observez l'expérience	Les élèves observent attentivement l'expérience.	**2. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme** Á l'instant **t = 0 s**, une particule de masse **m** et de charge **q** pénètre avec une vitesse $\vec{v}_0$ par un point **O** dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. *(nous étudierons dans ce chapitre le cas où)* La vitesse initiale $\vec{v}_0$ de la particule est **perpendiculaire** au vecteur champ magnétique $\vec{B}$ Le poids de la particule est négligé. *(devant le poids car, pour un proton par exemple pour un champ B = 5 mT ; la force de Lorentz est 48 milliards de fois supérieure au poids ; d'où le poids d'une particule (élémentaire) sera négligé devant la force magnétique)*  *A t = 0 s, la particule a une vitesse* $\vec{v}_0$ *et subit une force* $\vec{f}_0 = q\vec{v}_0\wedge\vec{B}$ *avec* $f_0 = \lvert q\rvert v_0 B$ *A* $t \neq 0$ *s, la particule a une vitesse* $\vec{v}$ *et subit une force* $\vec{f} = q\vec{v}\wedge\vec{B}$ *avec* $f = \lvert q\rvert vB$ **2.1. Etude dynamique** - Système : particule de charge q et de masse m - Référence : terrestre supposé galiléen muni du repère $(O,\vec{\tau},\vec{n},\vec{k})$ - Bilan des forces extérieures : • la force de Lorentz : $\vec{f} = q\vec{v}\wedge\vec{B}$ • le poids de la particule : $\vec{P} = m\vec{g}$ (négligé) - Théorème du centre d'inertie : $\sum\vec{F}_{ext} = m.\vec{a}$

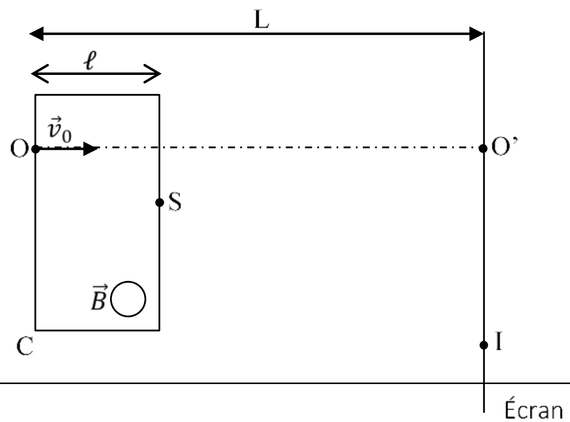
Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Déterminez la nature de la du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme (cas particulier où $\vec{B}\perp\vec{v}$).	Les élèves exécutent	$\longrightarrow \vec{f} = m.\vec{a} \longrightarrow q\vec{v}\wedge\vec{B} = m.\vec{a} \longrightarrow \boldsymbol{\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{v}\wedge\vec{B}} \longrightarrow$ *(càd $\vec{a} \perp \vec{v}$ et $\vec{a} \perp \vec{B}$)* *($\longrightarrow \vec{a} = \frac{1}{m}q\vec{v}\wedge\vec{B}$)* $\longrightarrow \boldsymbol{a = \frac{\lvert q\rvert}{m}vB} = \mathbf{Cte}$ *(car q, m, v et B sont toutes constantes)* **N.B. :** le vecteur accélération $\vec{a}$ est colinéaire au vecteur normal $\vec{n}$ *(càd $\vec{a}$ est suivant $\vec{n} \longrightarrow \vec{a} = a\,\vec{n}$ car selon $\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{v}\wedge\vec{B}$; ($\frac{q}{m}\vec{v}, \vec{B}, \vec{a}$) forment un trièdre direct donc $\vec{a}$ est suivant $\vec{n}$)* **2.2. Etude cinématique** **2.2.1. Nature du mouvement** *(On a : $\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{v}\wedge\vec{B} = \overrightarrow{cte}$, or $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc* *Le vecteur vitesse : $\vec{v} = \vec{a}.t + \overrightarrow{v_0}$* *Le vecteur position : $\overrightarrow{OM} = \frac{1}{2}\vec{a}.t^2 + \overrightarrow{v_0}.t + \overrightarrow{OM_0}$)* ♦ *(par Projection)* Dans le repère $(O, \vec{\tau}, \vec{n}, \vec{k})$, on a : à t = 0 s $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{o\tau} = v_0 \\ v_{on} = 0 \\ v_{oz} = 0 \end{cases}$ **et** $\overrightarrow{OM}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$ à t ≠ 0 s $\vec{a} \begin{cases} a_\tau = 0 \\ \boldsymbol{a_n} = a \\ a_z = 0 \end{cases}$; $\vec{v} \begin{cases} v_\tau = v_0 \\ v_n = at \\ v_z = 0 \end{cases}$ et $\overrightarrow{OM} \begin{cases} x = v_0 t \\ y = \frac{1}{2}at^2 \\ z = 0 \end{cases}$ *(car $\vec{a} = \overrightarrow{cte}$; $v_x = a_x t + v_{0x}$ et $x = \frac{1}{2}a_x t^2 + v_{0x}t + x_0$ (idem sur les autres axes))* Pour tout t, z = 0 ; donc le mouvement de la particule est **plan** *(le mvt a lieu dans le plan perpendiculaire à $\vec{B}$)* ♦ On sait que : $\vec{a} = a_t\vec{\tau} + a_n\vec{n}$ or $\vec{a}$ est colinéaire à $\vec{n}$ $\longrightarrow a_t = 0$ or $a_t = \frac{dv}{dt} \longrightarrow \frac{dv}{dt} = 0$; $v = cte = v_0$ Donc le mouvement de la particule est **uniforme**. *(ou bien on a : $P = \vec{F}\bullet\vec{V}$ or $\vec{F}\perp\vec{V}_0 \Rightarrow P = 0 = \frac{W}{t} = 0 \Rightarrow W = 0$ ainsi* $\Delta E_C = W_F = 0 \Rightarrow E_C = E_{C_0} \Rightarrow V = V_0$ *= cte alors Le mouvement est uniforme)*

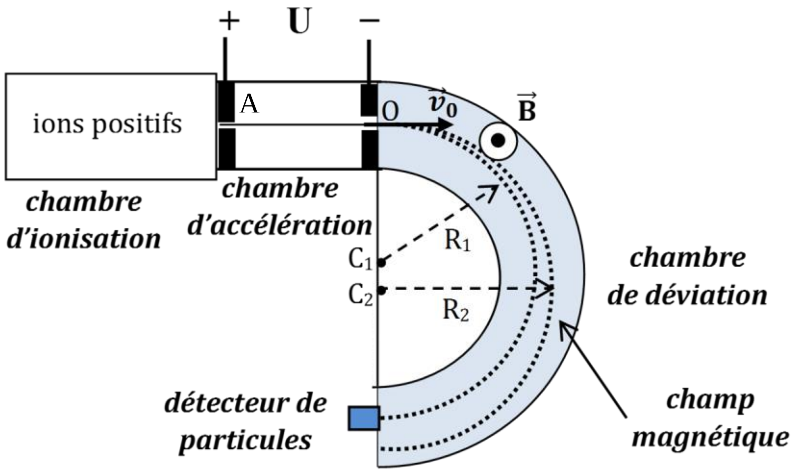
Développement (suite)	 Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Déterminez l'expression du rayon de la trajectoire et montrez que la trajectoire est circulaire. Tirez-en une conclusion	 Les élèves exécutent Le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme est plan, circulaire et uniforme	**2.2.2. <u>Nature de la trajectoire</u>** On a : $\vec{a} = \ a_t\vec{\tau} + a_n\vec{n} = a_n\vec{n} = a\,\vec{n} = \frac{q}{m}\vec{v}\wedge\vec{B} = \frac{\lvert q\rvert}{m}vB\,\vec{n}$ *(car $\vec{a}$ est suivant $\vec{n}$)* Or $\boldsymbol{a_n} = \frac{\boldsymbol{v^2}}{\boldsymbol{\rho}}$ **(**où ρ est le rayon de courbure du mouvement de la particule) $\longrightarrow\ \rho = \frac{mv}{\lvert q\rvert B}$ *(car $a_n = \frac{\lvert q\rvert}{m}vB$)* Or m, v, q et B sont des constantes ; ρ est une constante notée **R.** La trajectoire est donc un cercle *(de rayon $R = \frac{mv}{\lvert q\rvert B}$)* : le mouvement de la particule est **circulaire** **2.2.3. <u>Conclusion</u>** Le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme est **plan, circulaire et uniforme.** **2.2.4. <u>Autres caractéristiques du mouvement</u>** - Période et fréquence du mouvement ♦ La période est : $\boldsymbol{T} = \frac{\boldsymbol{2\pi m}}{\boldsymbol{\lvert q\rvert B}}$ *(car c'est la durée pour effectuer un tour ; or le mvt est circulaire uniforme d'équation horaire : s = vt et pour un tour (1 période), on a : s = $2\pi R$ (périmètre du cercle) et t = T (la période) donc $2\pi R = vT$ d'où $T = \frac{2\pi R}{v}$; or $R = \frac{mv}{\lvert q\rvert B}$ d'où : $T = \frac{2\pi m}{\lvert q\rvert B}$)* ♦ La fréquence est : $\boldsymbol{N} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{T}} = \frac{\boldsymbol{\lvert q\rvert B}}{\boldsymbol{2\pi m}}$ **<u>N.B.</u> :** La période (et donc la fréquence) est **indépendante** de la vitesse de la particule. - Vitesse angulaire de la particule On a : $v = R\omega \ \longrightarrow\ \boldsymbol{\omega} = \frac{\boldsymbol{v}}{\boldsymbol{R}} \ \boldsymbol{\longrightarrow}\ \boldsymbol{\omega} = \frac{\boldsymbol{\lvert q\rvert B}}{\boldsymbol{m}}$ *(car $R = \frac{mv}{\lvert q\rvert B}$ où $v = \frac{R\lvert q\rvert B}{m}$)* - *La vitesse linéaire est : $v = \frac{R\lvert q\rvert B}{m}$* - *Quantité de mouvement : $p = mv = R\lvert q\rvert B$ (car $v = \frac{R\lvert q\rvert B}{m}$)* **<u>Remarque :</u>** - Si $\boldsymbol{\vec{v}_0}$ est colinéaire à $\vec{B}$ *(de même sens ou de sens opposés)* ($\alpha = \widehat{\vec{v}_0, \vec{B}} = \mathbf{0}$ ou $\boldsymbol{\pi}$ **rad**) alors la particule n'est pas déviée *(càd la force de Lorentz est nulle et la particule a un MRU)* - Si $\boldsymbol{\vec{v}_0}$ fait un angle α quelconque avec $\vec{B}$ ($\alpha \neq 0;\ \pi;\ \pm\frac{\pi}{2}$) alors la particule a un mouvement uniforme hélicoïdal *(la trajectoire est une hélice)*

Développement (suite)	Expérimentation Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	**<u>Activité :</u>** Applications Soyez attentif et observez l'expérience	Les élèves observent attentivement l'expérience.	 - *Si $\vec{v}_0$ est perpendiculaire à $\vec{B}$ $(\alpha = \pm\frac{\pi}{2})$ alors la particule a un mouvement circulaire uniforme (cas étudié plus haut)*  **3. <u>Applications</u>** **3.1. <u>Déflexion magnétique</u>** Soit un électron de masse m et de charge q *$(q = -e < 0)$* qui pénètre en O dans un champ magnétique $\vec{B}$ de largeur ***l*** avec une vitesse $\vec{v}_0$ perpendiculaire à $\vec{B}$ et dirigée suivant (OA). Il décrit un arc de cercle entre O et S. Au-delà du point S, *(il n'est plus soumis à aucune force (son poids étant négligé) et)* son mouvement est rectiligne uniforme et il arrive en A' sur l'écran E distant du point O de **L**. En l'absence de champ magnétique, l'électron arrive en **A**. *(sur l'écran)* 

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur définit la déflexion magnétique Etablissez l'expression de la déflexion magnétique	Les é »lèves exécutent	On a : $l \ll L$; α est très petit ($\alpha < 10°$) et $OI = \frac{l}{2}$ ♦ **Définition** La déflexion magnétique **D** est la distance entre le point d'impact de la particule sur l'écran et l'axe perpendiculaire à l'écran et porté par $\vec{v}_0$ *(c'est la distance entre le point d'impact de la particule sur l'écran et son point d'impact sur l'écran en l'absence de champ magnétique)* ♦ **Expression** Soit $\alpha = (\widehat{\overrightarrow{CO},\overrightarrow{CS}})$ la déviation angulaire Dans le triangle CHS, $\sin\alpha = \frac{HS}{CS} \longrightarrow \boldsymbol{\sin\alpha = \frac{l}{R}}$ Aussi $\alpha = (\widehat{\overrightarrow{IA'},\overrightarrow{IA}})$ *(c'est-à-dire* $\alpha = \left(\widehat{\overrightarrow{CO},\overrightarrow{CS}}\right) = (\widehat{\overrightarrow{IA'},\overrightarrow{IA}})$ *: 2 angle à côtés perpendiculaires)* *(démonstration :*  *Dans le triangle CHS rectangle en H, on a :* $\alpha = 180 - (90 + \beta) = 90 - \beta$ *Dans le triangle SIK rectangle en S, on a :* $\gamma = 180 - (90 + \beta) = 90 - \beta$ *Donc* $\alpha = \gamma$ *d'où* $\alpha = \left(\widehat{\overrightarrow{CO},\overrightarrow{CS}}\right) = (\widehat{\overrightarrow{IA'},\overrightarrow{IA}})$ *)* Et Dans le triangle IAA', $\tan\alpha = \frac{AA'}{IA} = \frac{D}{L-\frac{l}{2}} \longrightarrow \boldsymbol{\tan\alpha = \frac{D}{L}}$ *(car* $l \ll L$*)* Comme α est très petit (α < 10°), on a : $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ $\longrightarrow \frac{l}{R} = \frac{D}{L} \longrightarrow D = \frac{lL}{R}$ or $R = \frac{mv_0}{\lvert q\rvert B}$ d'où: $\boxed{\boldsymbol{D = \frac{\lvert q\rvert lL}{mv_0}.B}}$

Développement (suite) **Evaluation** **15 min**	Questions-réponses	**<u>Activité d'application</u>** Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice. Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève cherche les exercices au brouillon. Chaque élève prend la solution dans son cahier.	*(**<u>N.B.</u>** La déflexion magnétique est proportionnelle à B (donc à l'intensité du courant) La mesure de la déflexion magnétique D permet de calculer la charge massique $\frac{q}{m}$)* **<u>ACTIVITE D'APPLICATION</u>** *(S. voir cours physique)* *(Dev. N°20 p.158 Terminale S pdf)* Un faisceau *(homocinétique)* d'électrons de vecteur vitesse $\vec{v}_0$ pénètre en un point O dans une région où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Dans cette région de largeur ℓ, leur trajectoire est circulaire de centre O et de rayon R. Les électrons sortent de cette région en un point S. 1- Précise l'orientation du vecteur $\vec{B}$ 2- 2.1- Représente la trajectoire des électrons dans le champ $\vec{B}$ 2.2- On considère que l'angle $(\overrightarrow{CS}, \overrightarrow{CO}) = \alpha$. Montre que $\sin\alpha = \frac{\ell}{R}$. 3- Donne la nature du mouvement des électrons une fois sortis du champ magnétique 4- Les électrons heurtent en un point I, un écran situé à la distance L du point O. On suppose que $\ell \ll L$. 4.1- Représente la trajectoire des électrons entre les points S et I. 4.2- Exprime tan α en fonction de la déflexion magnétique D et de L. 5- On suppose que α est petit. 5.1- Exprime alors la déflexion D en fonction de q, m, v_0, B, ℓ et L. 5.2- Calcule la valeur de D. ***Données : masse d'un électron m = 9,1.10^{-31}kg ;*** ***charge d'un électron q = -e = -1,6.10^{-19}C ;*** ***B = 3,2.10^{-4}T ; ℓ = 2cm ; L = 30cm ; v_0 = 2,1.10^{7} m.s^{-1}.***



Développement (suite)	Expérimentation Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Soyez attentif et observez l'expérience Le professeur décrit le spectrographe de masse	Les élèves observent attentivement l'expérience.	**3.2. <u>Spectrographe de masse</u>** *(ou spectromètre de masse)* Le spectrographe de masse (l'appareil) permet de séparer les isotopes d'un même élément chimique par l'utilisation d'un champ magnétique et d'un champ électrique *(électrostatique)* ***Les isotopes*** *sont des nucléides possédant le même numéro atomique, (même nombre de protons) mais de masse atomique (ou nombre de masse) différente (nombre différent de neutrons)* *Pour cette séparation, les atomes sont d'abord ionisés dans une chambre dite chambre d'ionisation d'où les ions sortent avec une vitesse pratiquement nulle.* *Les ions sont alors accélérés par un champ électrique (une ddp) (la chambre d'accélération) (puis entrent dans un champ magnétique où ils sont accélérés) puis déviés par un champ magnétique (la chambre de déviation). Cette déviation est différente suivant l'isotope (suivant sa masse), ce qui permet de les séparer. Après séparation, les particules sont collectées ou recueillies par un collecteur ou détecteur. Un comptage électronique des impacts permet d'en déduire les proportions relatives de chaque isotope dans un échantillon donné.*  *(ions positifs pour justifier leur accélération, car vue la polarisation du générateur ici, seuls des ions positifs pourraient être repoussés par la borne positive vers la borne négative)* Il comprend : *(trois chambre où règne un vide très poussé)*

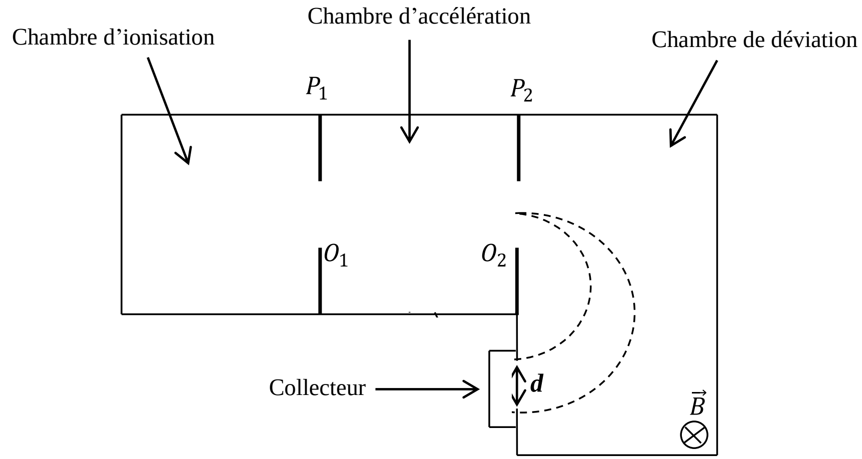
<table>
<tr>
<td>Développement (suite)</td>
<td>Travail de groupe

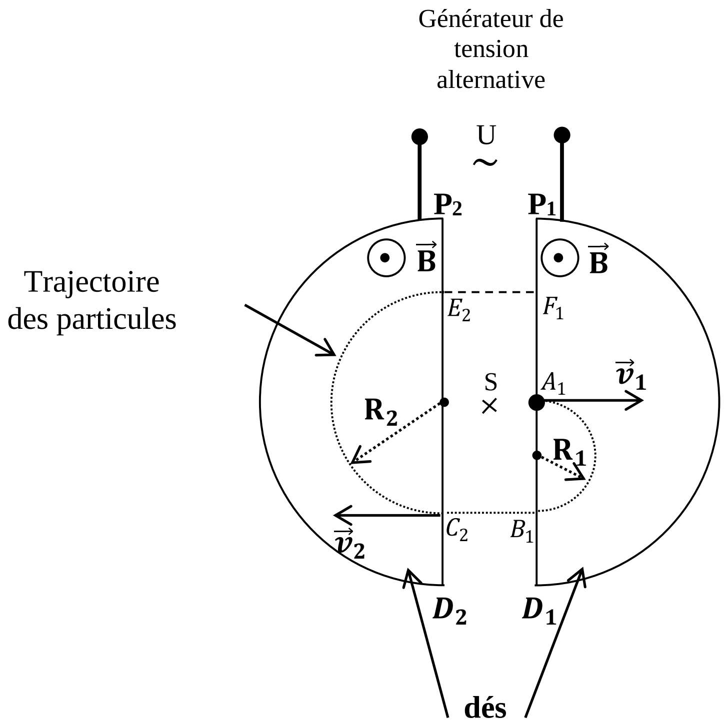
Travail individuel

Questions-réponses</td>
<td>Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un spectromètre de masse</td>
<td></td>
<td>
- Une chambre d'ionisation : où les ions sont produits (on y produit des ions de même charge mais de masse m_1 et m_2 différentes : des isotopes ; càd qu'on suppose qu'il y'a seulement deux isotopes ici)
- Une chambre d'accélération (où les ions sont à un champ électrique $\vec{E}$) : où les ions (pénétrant avec une vitesse pratiquement nulle) sont accélérés par une ddp (une tension) U et sortent avec une vitesse $\boldsymbol{v} = \sqrt{\frac{\mathbf{2|q|U}}{\boldsymbol{m}}}$
(démonstration : appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre A et O.
$E_{C_O} - E_{C_A} = W_{\vec{Fe}_{A\to B}} \longrightarrow \frac{1}{2}mv_0^2 = q(V_A - V_O) = qU_{AB} \longrightarrow v_0^2 = \frac{2|q|U_{AB}}{m}$
$\longrightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2|q|U_{AB}}{m}}$ et donc $v = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}}$)

- Une chambre de déviation (où les ions sont à un champ magnétique $\vec{B}$) : où les ions sont déviés par un champ magnétique $\vec{B}$ et ont pour trajectoires des demi-cercles dont les rayons R_1 et R_2 , dépendant de leurs masses m_1 et m_2 , sont : $\boldsymbol{R_1} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{B}}\sqrt{\frac{\mathbf{2}\boldsymbol{m_1 U}}{|\boldsymbol{q}|}}$ et $\boldsymbol{R_2} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{B}}\sqrt{\frac{\mathbf{2}\boldsymbol{m_2 U}}{|\boldsymbol{q}|}}$
(démonstration : $R_1 = \frac{m_1 v_1}{|q|B} \longrightarrow R_1^2 = \frac{m_1^2 v_1^2}{|q|^2 B^2}$ or $v_1^2 = \frac{2|q|U}{m_1}$ d'où $R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_1 U}{|q|}}$ et de même pour R_2)

<u>N.B. :</u>
♦ le rayon de la trajectoire augmente avec la masse
♦ on a : $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$. Si $m_1 < m_2$ alors $R_1 < R_2$: la particule qui a la plus grande masse a la trajectoire de plus grand rayon.
- Un collecteur ou détecteur : où les ions sont recueillis (avec des points d'impacts distincts donc séparés)
(les ions de même masse ayant le même impact car les impacts dépendent des rayons des trajectoires donc des masses des ions. Les isotopes (du même élément chimique) sont ainsi séparés (car recueillis séparément selon leurs points d'impact)
<u>N.B. :</u>
♦ Le spectrographe de masse permet de séparer des particules en fonction de leurs masses (d'où le nom spectrographe de masse)
♦ Dans la pratique, la position du détecteur (point d'impact) permet de déterminer le rayon R de la trajectoire. Connaissant la charge q, on détermine la masse de la particule
</td>
</tr>
</table>

Développement (suite)		**<u>Activité d'application</u>** Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions	Chaque élève cherche les exercices au brouillon.	**<u>ACTIVITE D'APPLICATION</u>** *(S. voir cours physique ou AEC)* À l'aide du spectrographe de masse schématisé ci-dessous, un groupe d'élèves se propose de séparer des ions $79_{Br}{}^{-}$ et $81_{Br}{}^{-}$ de masse respectives m_1 et m_2. Les ions Br^- pénètrent en O_1 avec des vitesses négligeables dans un champ électrique uniforme et constant créé par une tension $U_0 = V_{O_2} - V_{O_1}$ appliquée entre les deux plaques verticales P_1 et P_2 pour y être accélérés jusqu'en O_2. Les ions sortent en O_2 avec des vitesses respectives $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$. Le poids est négligé devant les autres forces.
Evaluation 15 min	Questions-réponses	Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice.		
		Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève prend la solution dans son cahier.	1. Exprime littéralement les valeurs v_1 et v_2 des vitesses des ions 2. Les ions Br^- pénètrent en O_2 dans un champ magnétique $\vec{B}$ orthogonal aux vecteurs vitesses $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ et parviennent, après déviation, au collecteur. 2.1. Montre que la trajectoire de chacun des ions est un arc de cercle 2.2. Exprime R_1, rayon de courbure de l'ion $79_{Br}{}^{-}$ en fonction de B, m_1, U_0 et e puis R_2, rayon de courbure de l'ion $81_{Br}{}^{-}$ en fonction de B, m_2, U_0 et e 2.3. Exprime d la distance séparant les points d'impact des deux types d'ions : 2.3.1. en fonction de R_1 et R_2 2.3.2. en fonction de B, m_1, m_2, U_0 et e 2.3.3. calcule sa valeur

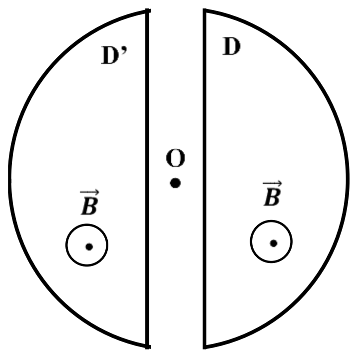
Développement (suite)	Expérimentation Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Soyez attentif et observez l'expérience Le professeur décrit le cyclotron	Les élèves observent attentivement l'expérience.	**Données :** $\lvert U_0 \rvert = 4000\ V$, $B = 10^{-2}\ T$, $m_1 = 79\ \mu$, $m_2 = 81\ \mu$, $1\ \mu = 1{,}67.10^{-27}\ kg$, $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$ **3.3. <u>Le cyclotron</u>** *(découvert en 1929 par E. O. LAWRENCE aux USA)* Le cyclotron est un accélérateur de particules *(des protons par exemple)* utilisant un champ électrique $\vec{E}$ *(accélérateur)* et un champ magnétique $\vec{B}$ *(déviateur)*. Il comporte deux demi-cylindres *(conducteurs)* plats en forme de *(la lettre)* **D** appelés « **dés** » *(en français)* ou « **dee** » *(en anglais)* où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Entre les dés, *(intervalle étroit)*, règne un champ électrostatique $\vec{E}$ variable *(qui s'inverse (change de sens) périodiquement)* grâce à une tension alternative *(de valeur maximale)* **U** *(qui y est appliquée)*. Il permet d'augmenter la vitesse des particules à chaque fois qu'elles pénètrent dans cet intervalle. Au centre (S) du dispositif, une source émet des particules de vitesse initiale nulle. 

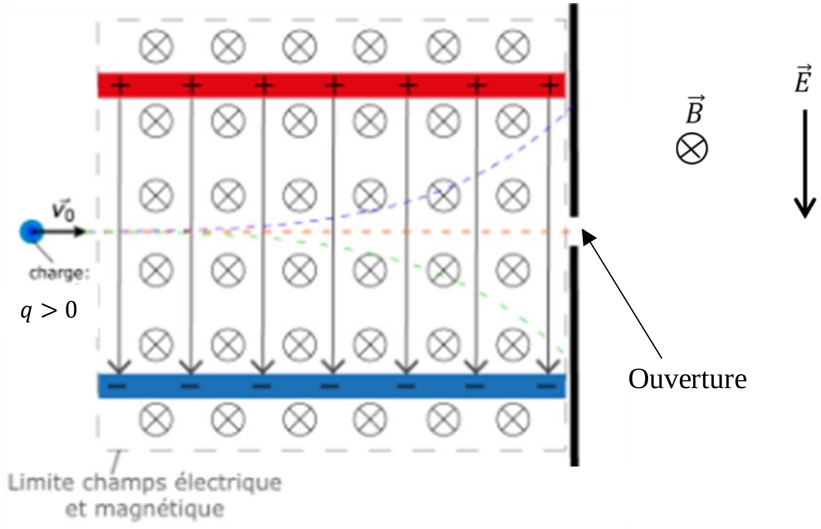
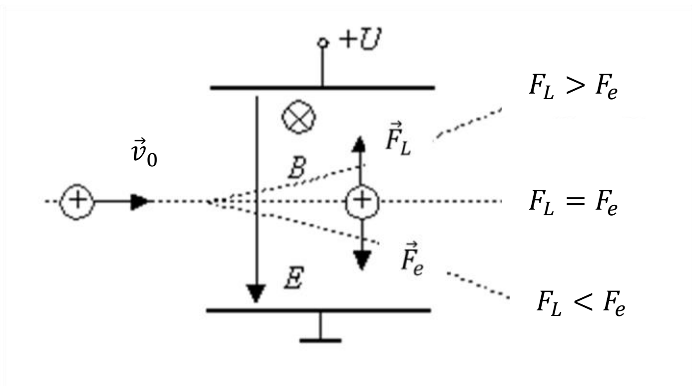
Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un cyclotron		*Ces particules (émises sans vitesse initiale) sont accélérés (par le champ $\vec{E}$) vers le ''dé'' (supérieur) $\boldsymbol{D_1}$, où elles arrivent en A_1 avec une vitesse V_1. Elles décrivent alors avec la vitesse* $\boldsymbol{V_1}$ *constante un demi-cercle. Au moment précis où elles s'apprêtent à sortir du dé* $\boldsymbol{D_1}$ *(point B_1), la tension appliquée entre les deux ''dés'' a changé de signe : les particules sont accélérés vers le ''dé''* $\boldsymbol{D_2}$ *(inférieur) (entre B_1 et C_2) : sa nouvelle vitesse est* $\boldsymbol{V_2} > \boldsymbol{V_1}$*. Dans le ''dé''* $\boldsymbol{D_2}$ *(inférieur) les particules décrivent aussi un demi-cercle, de rayon supérieur au précédent, avec la vitesse* $\boldsymbol{V_2}$ *constante.* *Lorsqu'elles sortent de* $\boldsymbol{D_2}$ *(point E_2) la polarité des ''dés'' a encore changé : les particules sont accélères vers le ''dé''* $\boldsymbol{D_1}$ *(supérieur) (entre E_2 et F_1) et entrent dans ce ''dé''* $\boldsymbol{D_1}$ *avec la vitesse* $\boldsymbol{V_3 > V_2}$**.** *A chaque traversée de l'intervalle entre les ''dés'', la tension appliquée accélère les particules. Lorsque les particules sont à l'intérieur des ''dés'', elles décrivent des demi-cercles avec des vitesses de plus en plus grandes et donc avec des rayons de plus en plus grands.* **3.3.1. <u>Action du champ $\vec{E}$</u>** ♦ Entre les dés (dans l'intervalle étroit), il existe un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ constant pendant la courte durée d'une traversée. La particule est soumise à la force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$ *(= cte)* Théorème du centre d'inertie : $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \longrightarrow \vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a} \longrightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$ $\longrightarrow \boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{\vert q\vert E}}{\boldsymbol{m}} = cte$ La vitesse initiale étant nulle, la particule est donc animée d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré. ♦ La vitesse v_1 de la particule au moment de sa pénétration dans le 1er dé (D_1) Théorème de l'énergie cinétique : $\Delta E_C = W_{\vec{F}_{ext}} = qU$ *(car $W_{\vec{F}} = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = q\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$)* $\longrightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}m0^2 = \vert qU\vert$ (car vitesse initiale nulle) $\longrightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 = \vert qU\vert$ $\longrightarrow \boldsymbol{v_1} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{2\vert qU\vert}}{\boldsymbol{m}}}$ ♦ Son énergie cinétique vaut alors :$E_{C_1} = \frac{1}{2}mv_1^2 \longrightarrow E_{C_1} = \vert qU\vert$ Ainsi à chaque passage entre les dés, la particule acquiert une énergie cinétique $E_C = \vert qU\vert$

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un cyclotron		Donc après chaque tour, la variation de l'énergie cinétique acquise par la particule est : $\Delta E_C = 2\,\lvert qU\rvert$ *(car 1 tour de la particule correspond à 2 passages entre les dés : en fait c'est :* $\Delta E_C = 2 \times \mathbf{1}\,\lvert qU\rvert$ *)* Ainsi après n tours, on a : $\Delta E_C = 2n\,\lvert qU\rvert$ **3.3.2. <u>Action du champ $\vec{B}$</u>** ♦ Dans un dé *(D_1 ici)* , le mouvement de la particule est circulaire uniforme *(comme montré plus haut)* ♦ Le rayon de sa 1ère trajectoire semi-circulaire dans le D_1 est : $\boldsymbol{R_1} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{B}}\sqrt{\frac{\mathbf{2}\boldsymbol{m}\lvert\boldsymbol{U}\rvert}{\lvert\boldsymbol{q}\rvert}}$ *(car* $v_1 = \sqrt{\frac{2\lvert qU\rvert}{m}}$ *or* $R_1 = \frac{mv_1}{\lvert q\rvert B}$ *)* ♦ Le temps (t_1) de transit de la particule dans le dé D_1 *(durée du parcours dans un dé : on a :* $s_1 = v_1 t_1$ *(car* $= \frac{longueur\ de\ la\ trajectoire\ (s_1)}{durée\ de\ semi-rotation\ (t_1)}$ *)* On a : $\pi R_1 = v_1 t_1$ *(car longueur = périmètre du* $\frac{1}{2}$ *cercle de rayon* R_1*)* $\longrightarrow t_1 = \frac{\pi R_1}{v_1}$ or $R_1 = \frac{mv_1}{\lvert q\rvert B}$ d'où : $\boldsymbol{t_1} = \frac{\boldsymbol{\pi m}}{\lvert\boldsymbol{q}\rvert\boldsymbol{B}}$ **<u>N.B.:</u>** Ce temps de transit (t_1) est indépendant de v_1 *(vitesse acquise par la particule : càd la durée de parcours dans un dé est indépendante de la vitesse acquise par la particule. Ceci permettra une synchronisation des accélérations successives)* Ainsi dans le dé D_2 , on a : $\boldsymbol{t_2} = \frac{\boldsymbol{\pi m}}{\lvert\boldsymbol{q}\rvert\boldsymbol{B}}$ *(durée de parcours dans* D_2 *)* ♦ En négligeant le temps de passage entre les 2 dés *(car ils sont très proches)*, la période du mouvement de la particule est *(les particules font un tour en)* : $T = t_1 + t_2 = \frac{\pi m}{\lvert q\rvert B} + \frac{\pi m}{\lvert q\rvert B} \longrightarrow \boldsymbol{T} = \frac{\mathbf{2}\boldsymbol{\pi m}}{\lvert\boldsymbol{q}\rvert\boldsymbol{B}}$ Sa fréquence vaut alors : $N = \frac{1}{T} = \frac{\lvert\boldsymbol{q}\rvert\boldsymbol{B}}{\mathbf{2}\boldsymbol{\pi m}}$ **<u>N.B :</u>** Cette fréquence est identique à cette de la tension alternative appliquée entre les dés. *(pour une synchronisation des accélérations successives)* **3.3.3. <u>Effet cyclotron</u>** Lorsque la particule quitte le dé D_1, le sens de $\vec{E}$ est inversé. Á la sortie de D_2, le sens de $\vec{E}$ est encore inversé. Ainsi de suite….. *(d'où le mvt des particules et la tension alternative engendrant* $\vec{E}$ *doivent avoir la même fréquence pour synchroniser ces accélérations)*

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un cyclotron		♦ La vitesse v_2 de pénétration de la particule pour la 1ère fois dans le dé (D_2) TEC entre D_1 et D_2 : $\Delta E_C = W_{\vec{F}_{ext}} = qU$ $\longrightarrow \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \lvert qU \rvert$ *(en multipliant tout par $\frac{2}{m}$)* $\longrightarrow v_2^2 - v_1^2 = \frac{2\lvert qU\rvert}{m}$ $\longrightarrow v_2^2 - v_1^2 = v_1^2$ *(car $v_1 = \sqrt{\frac{2\lvert qU\rvert}{m}}$)* $\longrightarrow$ $v_2^2 = \mathbf{2}\ v_1^2$ Cette vitesse v_2 correspond au **2ème** passage de la particule dans un dé et on a : $v_2^2 = \mathbf{2}\ v_1^2$ *(ainsi au 3ème passage dans un dé (càd à son 2ème passage dans le dé D_1), on a : TEC entre D_2 et D_1 : $\Delta E_C = W_{\vec{F}_{ext}} = qU$* $\longrightarrow \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \lvert qU \rvert$ *(en multipliant tout par $\frac{2}{m}$)* $\longrightarrow v_3^2 - v_2^2 = \frac{2\lvert qU\rvert}{m}$ $\longrightarrow v_3^2 - v_2^2 = v_1^2 \longrightarrow v_3^2 = v_2^2 + v_1^2$ *or* $v_2^2 = 2\ v_1^2 \longrightarrow v_3^2 = \mathbf{3}\ v_1^2$ *)* *aussi au 4ème passage dans un dé (càd à son 2ème passage dans le dé D_2, on a $v_4^2 = \mathbf{4}\ v_1^2$* Ainsi pour le $n^{ième}$ passage de la particule dans un dé avec une vitesse v_n ; on a : $v_n^2 = \boldsymbol{n}\ v_1^2 \ \longrightarrow\ \boldsymbol{v_n = v_1\sqrt{n}}$ Aussi le rayon de la trajectoire de la particule pour le $n^{ième}$ passage *(dans un dé avec une vitesse v_n)* est : $R_n = \frac{mv_n}{\lvert q\rvert B} \longrightarrow \boldsymbol{R_n = R_1\sqrt{n}}$ *(car $v_n = v_1\sqrt{n}$ et $R_1 = \frac{mv_1}{\lvert q\rvert B}$* En outre le nombre $\boldsymbol{n}$ de passage de la particule dans un dé est : $\sqrt{n} = \frac{R_n}{R_1}$ $\longrightarrow\ \boldsymbol{n = (\frac{R_n}{R_1})^2}$ Dans ce cas, le nombre de tours effectués par la particule est : *(comme il y'a 2 passages par tour)* $\boldsymbol{n' = \frac{n}{2} = \frac{1}{2}(\frac{R_n}{R_1})^2}$ ♦ Après plusieurs tours (des centaines de tours) la particule arrive à la périphérie des dés de rayon $\boldsymbol{R_D}$ et sort *(tangentiellement à la trajectoire) (càd expulsée des dés)* avec la vitesse maximale acquise donnée par : *(on a $R_n = \frac{mv_n}{\lvert q\rvert B}$ donc $R_D = \frac{mv_{max}}{\lvert q\rvert B}$ d'où)* $\boldsymbol{v_{max} = \frac{\lvert q\rvert B R_D}{m}}$ (où $\boldsymbol{R_D}$ est le rayon *(maximal)* des dés *(rayon des demi-cercles que constituent les dés)* Et l'énergie cinétique correspondant vaut : $E_{C_{max}} = \frac{1}{2}mv_{max}^2$ $\longrightarrow\ \boldsymbol{E_{C_{max}} = \frac{1}{2}\ \frac{\lvert q\rvert^2 B^2 R_D^2}{m}}$ **<u>N.B. :</u>** Pourvues de cette énergie ($E_{C_{max}}$), les particules peuvent alors être utilisées comme des projectiles *(corpusculaires)* de haute énergie.

Développement (suite) **Evaluation** **15 min**	Questions-réponses	**<u>Activité d'application</u>** Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice. Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève cherche les exercices au brouillon. Chaque élève prend la solution dans son cahier.	**<u>ACTIVITE D'APLLICATION</u>** *(S. voir Tle S pdf n°24 ; p.181* Un cyclotron est constitué par deux demi- boites cylindriques D et D' à l'intérieur desquels on établit un champ magnétique $\vec{B}$. Dans l'espace compris entre les deux, on établit une tension $U_{DD'}$ alternative sinusoïdale de valeur maximale U. Des ions positifs de charge q, de masse m sont injectés en O avec une vitesse négligeable. I.1. Donne le rôle du champ magnétique $\vec{B}$ uniforme. 2. Donne l'expression de la force subie par une particule chargée dans le champ magnétique. Dis pourquoi l'action du champ magnétique ne peut pas faire varier l'énergie cinétique d'une particule chargée 3. Donne la cause de l'augmentation de la valeur de la vitesse d'une particule chargée dans un accélérateur comme le cyclotron Dis pourquoi il faut changer le signe de la tension appliquée entre les électrodes après chaque demi-tour d'une particule chargée II. 1.Sachant que $U_{DD'}>0$, établis l'expression littérale de l'énergie cinétique E_{C1} en fonction de q, U et de la vitesse v_1 de ses ions à leur première arrivée en D' en fonction de q, U et m. Calcule E_{C1} ainsi que la vitesse v_1. 2. Ces ions pénètrent alors dans D'. a) Montre que, dans le Dé D' le mouvement d'ion est circulaire uniforme. b) Exprime le rayon R_1 de leur trajectoire en fonction de B, q, U et m. Calcule la valeur de R_1. c) Exprime littéralement le temps t mis par un ion pour effectuer un demi-tour. Calcule sa valeur numérique. d) En déduis la valeur de la fréquence N de la tension. 3. Les ions ressortent de D'.On inverse alors la tension $U_{DD'}$ en gardant sa même valeur U. Etablis les expressions littérales: a) de leur vitesse V_2 à l'entrée de D et leur énergie cinétique; b) du rayon R_2 de leur trajectoire dans D. c) du rayon de la trajectoire des ions en fonction de n, nombre de tours de passage entre D et D' et de R_1. 4. Les particules chargées sont extraites lorsqu'elles parviennent à l'extrémité de l'enceinte de rayon $Rmax$.Etablis l'expression de l'énergie cinétique maximale des particules. Calcule sa valeur pour $Rmax = 40$ cm

Développement (suite)	Expérimentation	Soyez attentif et observez l'expérience	Les élèves observent attentivement l'expérience.	***Données:*** B =1T ; $q = 3{,}2.10^{-19}\ C$; $m = 0{,}33.10^{-26}\ kg$; $U = 10^5\ V$ 
	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur décrit le filtre de Wien		**3.4. <u>Filtre de Wien (ou filtre de vitesse)</u>** *(par Max Wien (1866-1938) Physicien Allemand)* Le filtre de Wien est un dispositif qui permet de séparer des particules *(des isotopes par exemple)* en fonction de leurs vitesses *(c'est un moyen de sélectionner des particules chargées à une vitesse spécifique)* Il est constitué par des champs électrique $\vec{E}$ et magnétique $\vec{B}$ perpendiculaires *(ou orthogonaux)* *(ce dispositif est obtenu en plaçant dans un champ magnétique $\vec{B}$, un condensateur à plaques produisant un champ électrique $\vec{E}$. Au bout de la plaque de condensateur se trouve une ouverture qui laisse passer les particules se trouvant au milieu du condensateur)* Les particules de charges q entrent avec une vitesse $\vec{v}_0$ dans le filtre de telle sorte que la direction de leur mouvement, le champ électrique $\vec{E}$ et le champ magnétique $\vec{B}$ soient deux à deux perpendiculaires *($\vec{v}_0 \perp \vec{E}$; $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ et $\vec{B} \perp \vec{E}$)*

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un filtre de Wien		 En pénétrant dans le filtre de Wien, les particules sont soumises à deux forces différentes (le poids étant négligé) : - La force électrique engendrée par le champ $\vec{E}$: $\vec{F_e} = q\vec{E}$ - La force de Lorentz *(magnétique)* engendrée par le champ $\vec{B}$: $\vec{F_L} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B}$ 

Développement (suite)	Travail de groupe Travail individuel Questions-réponses	Le professeur analyse le mouvement d'une particule chargée dans un filtre de Wien		Seules les particules, pour lesquelles la force électrique et la force de Lorentz sont égales *(en module)* et de sens contraires, ne sont pas déviées dans le filtre. *(ces particules ont donc un mouvement rectiligne uniforme)* Pour ces particules, on a : $\vec{F}_L + \vec{F}_e = \vec{0}$ $\longrightarrow F_L = F_e \longrightarrow \lvert q\rvert v_0 B = \lvert q\rvert E \longrightarrow v_0 = \frac{E}{B}$ La vitesse des particules pouvant passer le filtre de Wien sans être déviées est : $\boldsymbol{v_{passage} = v_p = \frac{E}{B}}$ $\quad$ *(or* $E = \frac{\lvert U\rvert}{d} \longrightarrow v_p = \frac{\lvert U\rvert}{B.d}$ *)* **<u>Remarque :</u>** - Si des particules ont une vitesse $v_0 < v_p$, la force électrique F_e est plus grande que la force de Lorentz F_L *(en module)*, alors ces particules sont déviées vers la plaque sur laquelle est orientée la force électrique $\vec{F}_e$ *(en effet dans ce cas,* $F_L = \lvert q\rvert v_0 B < \lvert q\rvert v_p B$ *(puique* $v_0 < v_p$*)* *or* $\lvert q\rvert v_p B = \lvert q\rvert E = F_e \longrightarrow F_L = \lvert q\rvert v_0 B < F_e \longrightarrow F_L < F_e \longrightarrow F_e > F_L$ *)* - Si des particules ont une vitesse $v_0 > v_p$, la force de Lorentz est plus grande que la force électrique, alors ces particules sont déviées vers la plaque sur laquelle est orientée la force de Lorentz $\vec{F}_L$ *(les particules ne passent sans être déviées que si leur vitesse* $v_0 = v_p$ *)* ***<u>Limites :</u>*** *Ni la masse des particules, ni leur charge ne sont importantes pour ce filtre de vitesse. Toutes les particules à vitesse* $v_0 = v_p$ *passent le filtre de Wien quel que soit leur masse et leur charge.* *Aussi toutes les particules non chargées passent le filtre, quel que soit leur vitesse.*

Développement (suite)		**<u>Activité d'application</u>** Le professeur donne un temps de recherche aux élèves et contrôle leurs productions	Chaque élève cherche les exercices au brouillon.	**<u>ACTIVITE D'APPLICATION</u>** *(S. voir cours pyhsique : Tle S pdf n°14)* Dans l'exercice on néglige l'action de la pesanteur. On utilise le filtre de vitesse schématisé ci-dessous. Une source d'ions émet les deux isotopes ${6_{Li}}^{+}$ et ${7_{Li}}^{+}$. Les ions pénètrent en O_1 dans une zone où règnent simultanément un champ électrique uniforme vertical $\vec{E}$ et un champ magnétique uniforme horizontal $\vec{B}$. Les vitesses d'entrées des ions en O_1 ont la même direction (O_1x) mais des valeurs différentes (voir figure). 1) Donne les caractéristiques de la force électrostatique $\vec{F_e}$ s'exerçant sur un ion de charge q 2) Donne les caractéristiques de la force magnétique $\vec{F_m}$ s'exerçant en O_1 sur un ion possédant un vecteur vitesse $\vec{v}$. En déduis le sens du vecteur champ $\vec{B}$. 3) Montre que seuls les ions pénétrant en O_1 avec la vitesse v_0 sortiront en O_2 en n'ayant subi aucune déviation. Calcule v_0. 4) Dis ce qu'il advient des ions ayant une vitesse $v_1 > v_0$ et de ceux ayant une vitesse $v_2 < v_0$. Justifie le nom du dispositif ***Données :*** B = 0,2 T ; $E = 1{,}2.10^{4} V.m^{-1}$; $e = 1{,}6.10^{-19}\ C$
Evaluation (15 min)	Questions-réponses	Le professeur envoie un élève au tableau pour chaque exercice. Le professeur valide la réponse avant la prise de note par les autres élèves.	Chaque élève prend la solution dans son cahier