Chapitre D3.

Mouvements dans un champ uniforme

Se positionner (une ou plusieurs bonnes réponses)

1. Le travail d'une force dépend de la force et du déplacement du système.

① VRAI ② FAUX

2. Le travail d'une force s'exprime grâce à la relation :

① $\vec{F}.\vec{v}$ ② $F \times v$ ③ $\vec{F}.\overrightarrow{AB}$ ④ $F \times AB$

3. Une chute libre est :

① Une chute à la surface de la Terre
② Une chute sans frottement
③ Une chute à vitesse constante
④ Une chute verticale

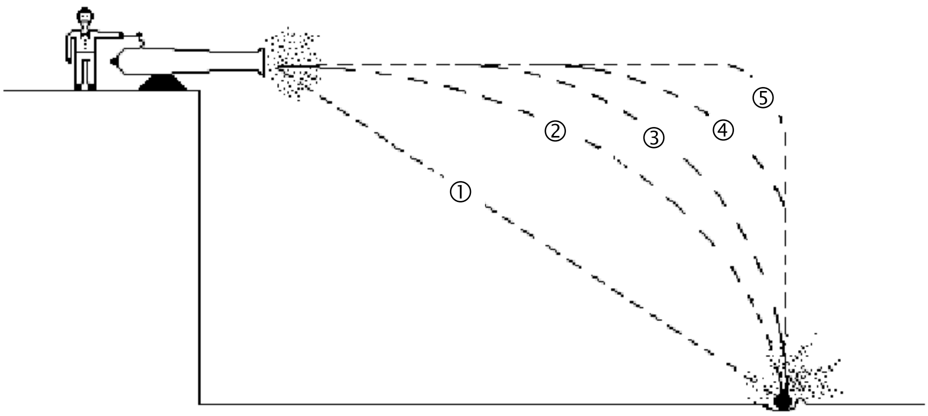
4. Dans le cas d'une chute verticale sans frottement, il y a conservation :

① de la vitesse
② de l'énergie cinétique
③ de l'énergie potentielle
④ de l'énergie mécanique
⑤ d'aucune de ces grandeurs

5. Deux billes métalliques de même taille dont l'une est deux fois plus lourde que l'autre sont lâchées en même temps. La durée nécessaire pour qu'elles touchent le sol :

① est deux fois plus grande pour la bille lourde
② est deux fois plus grande pour la bille légère
③ est plus grande pour la bille lourde mais pas forcément deux fois plus
④ est plus grande pour la bille légère mais pas forcément deux fois plus
⑤ est la même pour les deux billes

6. On lance un boulet de canon du haut d'une falaise. Quelle sera sa trajectoire ?



Activité 1- Les mouvements de chute selon vous, selon Galilée, puis selon Newton…

. . . .

PARTIE 1 : quel objet tombe le premier ?

	On lâche en même temps et de la même hauteur :	Prévision : *l'objet qui tombe en premier est…*	Observation : *l'objet qui tombe en premier est…*
A	*deux feuilles de papier identiques chiffonnées en boule, mais l'une est deux à trois fois plus grosse.*		
B	*deux ballons de diamètre voisin de 10 cm : un ballon de baudruche gonflé à l'air, un médecine-ball.*		
C	*un marteau et une plume sur la Lune.*		

Activité 1 - PARTIE 2 : les lois de Galilée sur les chutes

*Galileo Galilei, dit « Galilée », est le premier physicien, au tout début du XVIIème siècle, à étudier rigoureusement la chute des corps. Après avoir minutieusement étudié la chute de divers objets depuis la tour de Padoue, il écrit deux lois **empiriques*** :

❶	*« En un même lieu et pour tous les corps, l'accroissement de la vitesse en fonction du temps est constant. »*	
❷	*« Les espaces parcourus en chute libre sont proportionnels aux carrés des temps. »*	

1. Dans la colonne de droite, traduire chacun des énoncés à l'aide d'une relation.

2. Parmi les trois situations de la partie 1, laquelle est en accord avec la première loi de Galilée ?

3. En déduire une façon de définir la chute libre selon Galilée :

il y a chute libre lorsque . . . .

4. Étude expérimentale

La vidéo disponible est celle d'une chute verticale. Uniquement à l'aide des lois de Galilée, on se demande ici si cette chute peut être vue comme une chute libre.

a- Saisie des positions successives d'un point en fonction du temps

Avec le logiciel ***AviMéca2***, ouvrir le fichier vidéo « **chute_balle.avi» ou « chute_boule.avi »**.

Vous pouvez agrandir la vidéo avec le bouton : cocher *Adapter* puis confirmer.

Étalonnage : Choisir un **repère adapté à l'étude proposée** (de préférence de façon à ce que la coordonnée verticale augmente au cours du mouvement), positionner l'axe vertical à côté de la trajectoire pour ne pas être gêné pour le pointage. Définir l'échelle (la règle mesure 1,00m).

Mesures : le tableau de mesures doit être vide.

Pointer les positions successives de la bille. Si le pointage vous convient, copier dans presse-papier grâce à .

b- Exploitation des mesures

Dans Regressi, choisir Fichier → Nouveau → Presse-papier

Tracer la distance parcourue en fonction du temps puis modéliser numériquement pour tester la 2^{e} loi de Galilée.

Faire calculer la vitesse : Rappeler la définition puis créer une nouvelle grandeur Ajouter .

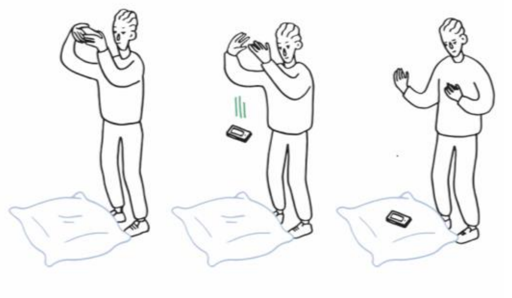
Tracer l'évolution de la vitesse puis indiquer si cette évolution est conforme à la 1ère loi de Galilée.

Conclure quant à la possibilité de modéliser la chute étudiée par une chute libre. Rédiger vos arguments.

5. Étude expérimentale : mon smartphone est-il en chute libre ?

Ouvrir l'application *Phyphox*. Pour apprendre éventuellement à utiliser l'accéléromètre, utiliser le QRcode ci-contre et regarder le début de la vidéo.

- Choisir sur l'application "Phyphox" l'expérience "Accélération sans g" ou, si elle n'est pas disponible sur votre smartphone, "Accélération avec g".
- Après avoir lancé l'enregistrement, lâcher le smartphone en le maintenant initialement horizontal à peu près à hauteur de vos yeux (bien respecter les consignes de sécurité).
- Utiliser les fonctionnalités de Phyphox pour déterminer la valeur de la durée de chute Δt. En observant la courbe obtenue, évaluer la durée de la chute en repérant la grande variation de la valeur de l'accélération lorsqu'on lâche le smartphone et celle observée lorsque le smartphone touche le sol.



Reproduire l'expérience une ou deux fois pour vérifier qu'on trouve toujours approximativement la même durée de chute.

1) Indiquer la valeur de la durée de chute notée Δt.

2) En déduire la hauteur de chute d'après la loi de Galilée écrite $h = \frac{1}{2} g t^2$ (on prendra $g = 10\ m.s^{-2}$) et comparer à la hauteur mesurée directement (entre le point d'impact et vos yeux)

3) Si on lâche d'une hauteur deux fois moins importante, que prévoit la loi de Galilée pour la nouvelle durée de chute ? Recommencer en lâchant d'une hauteur deux fois moins grande et vérifier que la prévision faite par la loi est approximativement vérifiée.

CONSIGNES DE SÉCURITÉ : ATTENTION À VOTRE SMARTPHONE !

Quand vous lâchez votre smartphone, prévoir un gros coussin bien mou et si possible épais

Éviter les matelas car le smartphone risque de rebondir !

Ne pas lâcher de plus de 2 m de haut.

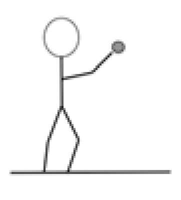
Ne pas ôter la coque ou toute protection si le smartphone en possède une.

Lâcher à plat écran vers le haut pour éviter le rebond.

Activité 1 - PARTIE 3 : étude d'une chute libre à l'aide des lois de Newton

Un des grands succès de la physique de Newton est d'avoir pu démontrer les lois de Galilée sur les chutes libres. C'est ce que nous allons faire.

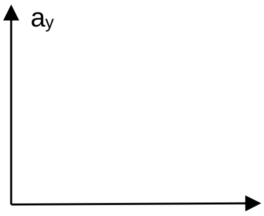
Une chute libre est une modélisation d'une chute réelle <u>où seul est pris en compte le poids du système étudié</u> : **la chute libre est bien un modèle** et pas un évènement !

Schéma de la situation	Champ de pesanteur	repère
	$\vec{g}$	 0 y

On étudie un objet solide de masse m, lâché sans vitesse initiale au-dessus du sol à une date $t = 0$. On suppose que son mouvement peut être modélisé par une chute libre. L'étude a lieu dans le référentiel terrestre, supposé galiléen et muni d'un repère d'axe (Oy), orienté vers le bas et tel que O coïncide avec la position initiale de *G*.

1. Écrire la 2^nde^ loi de Newton et en déduire les caractéristiques du vecteur accélération du solide étudié.

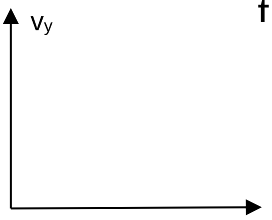
2. En déduire l'expression de a_y, coordonnée verticale de l'accélération et représenter son évolution ci-contre.



On va utiliser deux fois une méthode de résolution par intégration pour déterminer la coordonnée verticale du vecteur vitesse puis celle du vecteur position

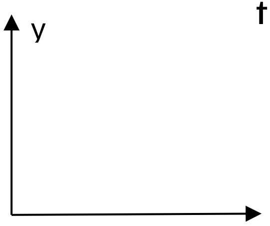
3. On rappelle que $a_y = \frac{dv_y}{dt}$ où v_y est la coordonnée verticale de la vitesse. En déduire une expression générale de $v_y(t)$ faisant intervenir g, t et une constante C indépendante du temps.

4. Déterminer la valeur de cette constante *C* satisfaisant la valeur de v_y à la date initiale puis représenter l'évolution de $v_y(t)$ ci-contre.



5. En utilisant $v_y = \frac{dy}{dt}$, trouver une expression générale de $y(t)$ faisant intervenir g, t et une constante C' indépendante du temps.

6. Déterminer la valeur de C' en utilisant le fait que $y(t = 0) = 0$, puis représenter l'évolution de y(t) ci-contre.



Pour aller plus loin : retour sur la partie 1…

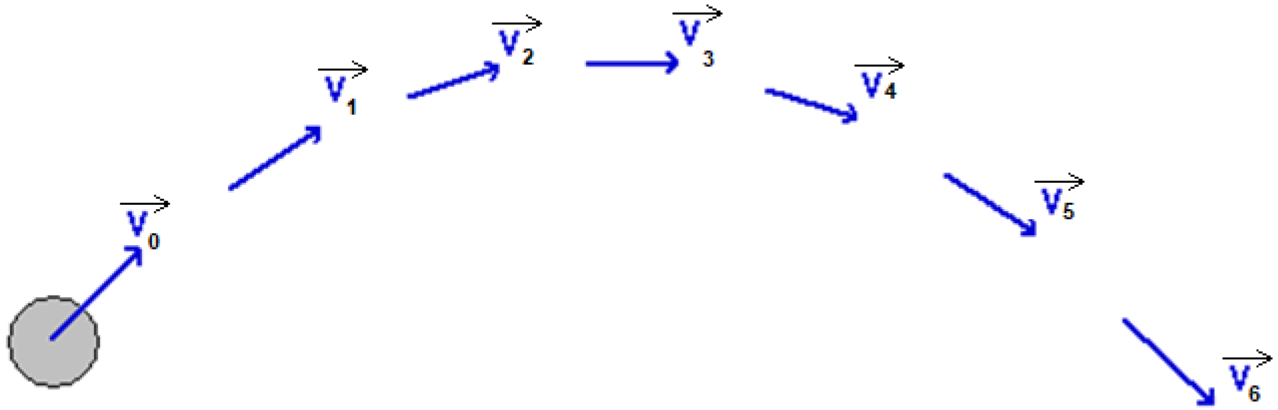
Pourquoi les équations précédentes permettent-elles d'interpréter les observations faites sur la Lune avec la plume et le marteau ?

Activité 2- Tir au pigeon

*Dans cette activité on étudie des **chutes libres** d'objets lancés **avec une vitesse initiale quelconque** à la surface de la Terre (on dit alors un **projectile**). On se limite aux situations pour lesquelles le champ de pesanteur peut être considéré uniforme (ce qui suppose des trajectoires pas trop grandes).*

Partie 1- Description cinématique d'un tir au pigeon

On suit des yeux l'évolution dans l'air d'un « pigeon » d'argile. On modélise le système étudié à savoir le « pigeon » par un point : son centre d'inertie. On note τ l'intervalle de temps écoulé entre deux positions successives. On suppose qu'à l'instant initial, le système est lancé avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$.



1. En utilisant uniquement vos connaissances du chapitre 1, déterminer graphiquement la direction et le sens du vecteur accélération en un point qui dépend de votre groupe.
Mutualiser les résultats en comparant vos tracés.

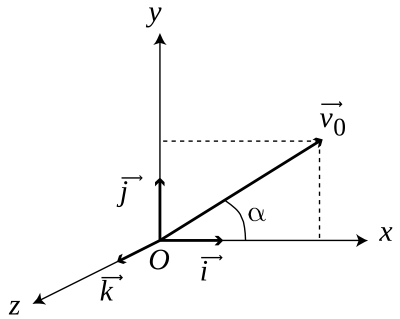
2. En appliquant la 2e loi de Newton au système étudié, en négligeant les frottements de l'air, déterminer le vecteur accélération instantanée du centre d'inertie du pigeon d'argile. Ce résultat est-il en accord avec les tracés précédents ?

Activité 2 - Partie 2- Description des conditions du lancer : premiers éléments de modélisation

On étudie le centre d'inertie du projectile dans le champ de pesanteur uniforme.
À une date $t = 0$, on lui communique une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$. Le repère d'étude est choisi de la façon suivante :

- axe (Oy) : selon la verticale et vers le haut ;
- axe (Ox) : tel que $\overrightarrow{v_0}$ soit contenu dans le plan (*xOy*) ;
- axe (Oz) : tel que le repère (O, x, y, z) soit orthonormé direct.

On peut alors repérer le vecteur vitesse initiale d'une part par sa valeur v_0 d'autre part par l'angle, noté α, qu'il fait avec l'horizontale (souvent appelé *angle de tir*).



1. A quelles situations correspondent les cas particuliers suivants ?
   - α = 90° : . . . .
   - α = 0° : . . . .
2. Exprimer les deux coordonnées v_{x0} et v_{y0} du vecteur $\overrightarrow{v_0}$ dans le repère choisi.

Activité 2 - Partie 3- Prévision

1. A votre avis, pour lancer un projectile le plus loin possible, avec un vecteur vitesse initiale donné (α et v_0 fixés), il faut :
   1- ☐ prendre un objet le plus léger possible
   2- ☐ prendre un objet le plus lourd possible
   3- ☐peu importe la masse

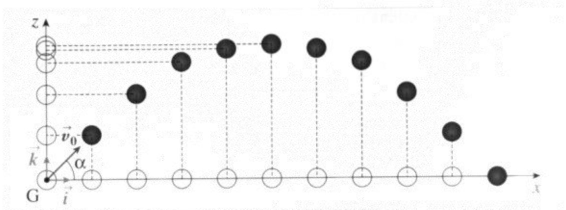
2. A votre avis, pour lancer un projectile de masse donnée le plus loin possible, il faut que :

a. À α constant,
1☐ v_0 soit le plus grand possible
2☐ v_0 soit le plus faible possible
3☐ ni l'un ni l'autre

b.b. À v_0 constant,
1☐ α soit le plus grand possible
2☐ α soit le plus faible possible
3☐ ni l'un ni l'autre (proposer alors l'angle optimal)

Activité 2 - Partie 4- Étude théorique

1. **Le vecteur accélération.** En appliquant la 2ème loi de Newton au projectile, donner les 3 coordonnées du vecteur accélération du centre d'inertie du système dans le repère décrit précédemment.
2. **De l'accélération à la vitesse.** Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse v_x(t), v_y(t) et v_z(t).
3. **De la vitesse à la position.** Déterminer les coordonnées de la position du centre d'inertie : x(t), y(t) et z(t)), dites **équation-horaires**.
4. Montrer que ces équations sont en accord avec le fait que le mouvement est plan.



5. Comment peut-on qualifier le mouvement
   - selon l'axe horizontal Ox ? . . . .
   - selon l'axe vertical Oy ?. . . . .

L'équation de la trajectoire est la fonction associant y à x.

6. A l'aide des deux équations horaires x(t) et y(t), en éliminant t, établir l'équation de la trajectoire sous la forme

$$y(x) = ... x^2 + ... x + ...$$

Pour aller plus loin :
On appelle « portée du tir » la distance horizontale parcourue par le projectile lorsqu'il est de nouveau à une altitude $y = 0$. Sur la trajectoire, représenter la portée du tir. Déterminer son expression en exploitant l'équation de la trajectoire. Pour quelle valeur de l'angle α la portée est-elle maximale ?

Retour sur les prévisions

On dispose d'un d'un simulateur qui permet d'observer l'influence de la masse du projectile et des paramètres de tir α et v_0 sur la trajectoire. La trajectoire observée est celle qu'on vient de calculer.

Valider ou invalider vos prévisions en observant les effets des trois grandeurs physiques évoquées ; indiquer pour quelle valeur de α on lance le plus loin (à v_0 constant) : α = ...

Activité 2 - Partie 5- Étude expérimentale

Vous disposez d'une vidéo d'un projectile lancé avec une vitesse initiale v_0 et avec un angle de lancer α inconnus. À l'aide d'un logiciel de pointage (Aviméca) et de traitement des données (Regressi), vous devez :

1. faire afficher les graphes d'évolution de x (coordonnée horizontale du point) et v_y (coordonnée verticale de la vitesse) en fonction du temps.
2. modéliser numériquement ces évolutions afin de montrer que le mouvement est bien un mouvement de chute libre ($\vec{a} = \vec{g}$).
3. calculer les valeurs de v_0 et α à partir des modélisations numériques de v_x et v_y (aide : $\frac{v_{0y}}{v_{0x}} = \tan\alpha$).

Activité 3 : Et du côté de l'énergie ?

. . . .

On étudie de nouveau le mouvement précédent, dans le champ de pesanteur uniforme en considérant que le point d'arrivée est à la même altitude que le point de départ. On suppose toujours que le mouvement s'effectue sans frottement. On adopte cette fois-ci un regard différent : celui de l'énergie.

1. Rappeler l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur du système en considérant que l'énergie potentielle est nulle lorsque y = 0.
2. Remplir le tableau suivant en respectant bien les consignes de la première ligne.

	Instant initial (y = 0) (mettre nulle, minimale ou maximale)	Pendant la montée (mettre ↗, ↘ ou →)	Au sommet de la trajectoire (mettre nulle, minimale ou maximale)	Pendant la descente (mettre ↗, ↘ ou →)	Instant final (y = 0) (mettre nulle, minimale ou maximale)
Altitude					
Vitesse					
Énergie cinétique $E_C = \frac{1}{2}mv^2$					
Énergie potentielle de pesanteur Ep					
Énergie mécanique Em = Ec + Ep					

Étude expérimentale :

À l'aide du pointage de l'activité précédente, faire calculer puis tracer les trois énergies en fonction du temps et vérifier ou corriger vos réponses. On choisira une masse arbitrairement égale à 1 kg.

Indiquer ci-dessous, les expressions saisies dans Regressi pour les énergies :

Ec = Ep = Em =

Après validation par le professeur, imprimer le graphe donnant les trois énergies en fonction du temps.

3. A l'aide du modèle, déterminer l'expression du travail du poids du projectile pendant la phase de montée. Application numérique : AB = 1,50 m ; m = 2,0 kg.
4. Le poids est-il moteur ou résistant pendant la phase de montée ? Justifier à l'aide du modèle et des résultats précédents.
5. Expliquer la phrase suivante : « Pendant la phase de montée, le travail effectué par le poids correspond à la quantité d'énergie qui change de forme au sein du système ».
6. Reprendre les questions 3, 4 et 5 pour la phase de descente.
7. Si les frottements n'étaient pas négligeables quelles seraient les variations d'énergie qui changeraient (par rapport à la situation sans frottement) : ΔEp ? ΔEc ? ΔEm ?
8. Justifier alors que les forces de frottements soient qualifiées de forces non conservatives.

Activité 4- Et dans un champ électrique ?

. . . .

Cette activité a pour but d'étudier le mouvement de systèmes portant une charge électrique dans un champ électrostatique uniforme. Ces systèmes étant souvent des particules élémentaires, on parle de particule chargée, qu'on peut considérer ponctuelle ; on confond donc sa position avec celle de son centre d'inertie.

Partie 1- Description des conditions du lancer : premiers éléments de modélisation

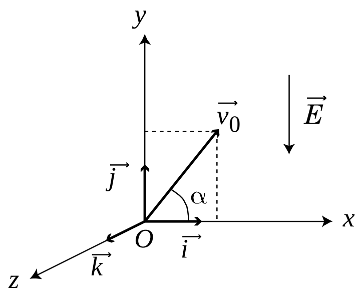
Système étudié : . . . .

Référentiel d'étude : . . . ., supposé galiléen pour le mouvement étudié.

On suppose qu'à la date $t = 0$, la particule entre avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ dans la zone de champ électrostatique.

Le repère d'étude est choisi de la façon suivante :

- le plan (Oxy) contient les vecteurs $\overrightarrow{v_0}$ et $\vec{E}$.
- L'axe (Oy) est selon la direction de $\vec{E}$.
- L'axe (Oz) est tel que le repère (O, x, y, z) soit orthonormé direct.



Pour des raisons de commodité, on traitera du cas où le champ $\vec{E}$ est vertical. Si tel n'est pas le cas, il convient alors de changer l'orientation du repère. Comme pour la chute dans un champ de pesanteur, on peut repérer le vecteur vitesse initiale par sa norme et par l'angle α qu'il fait avec l'horizontale.

Partie 2- Utilisation de la 2^{e} loi de Newton

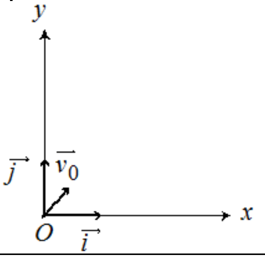
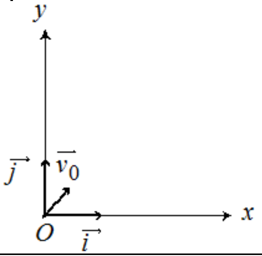
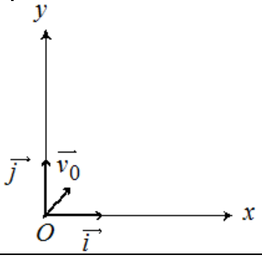
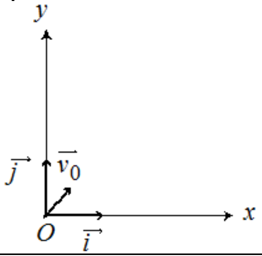
Les champs électrostatiques couramment utilisés ont des valeurs voisines de 10^4 V.m^{-1}.

La charge élémentaire vaut e = 1,6x10^{-19} C. Un électron a une charge q = –e et une masse m = 9,3 x 10^{-31} kg.

Hypothèse : on suppose que pour un électron présent dans un tel champ, le poids est négligeable devant la force électrostatique subie par l'électron.

1. Appliquer alors la deuxième loi de Newton à une particule de charge q dans le cas d'un champ électrostatique vertical et dirigé vers le bas.
2. En déduire les coordonnées du vecteur accélération de la particule.
3. Pour pouvoir exploiter les résultats de l'activité 4, par quelle expression convient-il de remplacer g ?
4. Compléter alors le tableau suivant, sans refaire les calculs de l'activité 2.

Pour aller plus loin : vérifier par un calcul l'hypothèse faite au début de cette étude (poids négligeable devant la force électrostatique).

<table>
<tr><th>$\vec{E}$</th><th colspan="2">Vers le bas</th><th colspan="2">vers le haut</th></tr>
<tr><td>$\overrightarrow{a_G}$ $a_x(t)$ =
$a_y(t)$ =</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>$\overrightarrow{v_G(t)}$ $v_x(t)$ =
$v_y(t)$ =</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>$\overrightarrow{OG}(t)$ x(t) =
y(t) =</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>y en fonction de x
y(x) =</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Trajectoire</td><td>q>0
</td><td>q<0
</td><td>q>0
</td><td>q<0
</td></tr>
</table>

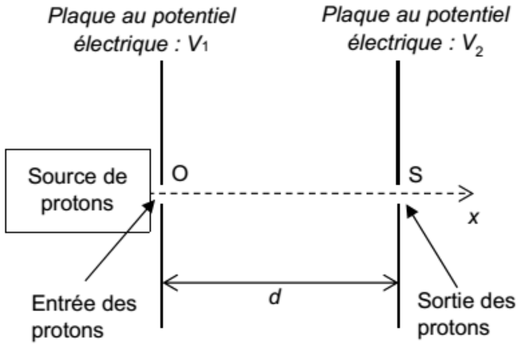
Vérifier vos réponses à l'aide de la simulation **mvt_charge.swf** disponible sur www.prof-vince.fr

Activité 5 : Toujours plus vite !

Les accélérateurs linéaires sont utilisés de nos jours en médecine (radiothérapie et diagnostic médical par rayons X) mais aussi pour des analyses dans le domaine de l'art, de l'industrie automobile ou du nucléaire. On modélise ici l'accélérateur linéaire Linac2 du CERN. Il est constitué d'une série de condensateurs plans C_n, alimentés par un générateur, espacés par des zones où ne règne aucun champ électrique. Pour l'étude, on choisit de travailler avec les caractéristiques suivantes :

- Particule accélérée : proton de masse $m_{proton} = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg et de charge $q = + e = + 1{,}60 \times 10^{19}$ C ;
- Tension aux bornes du générateur : U = 24 V
- Taille des condensateurs L = 2,7 cm ;
- Le proton est introduit en O à l'instant initial t = 0 sans vitesse initiale.

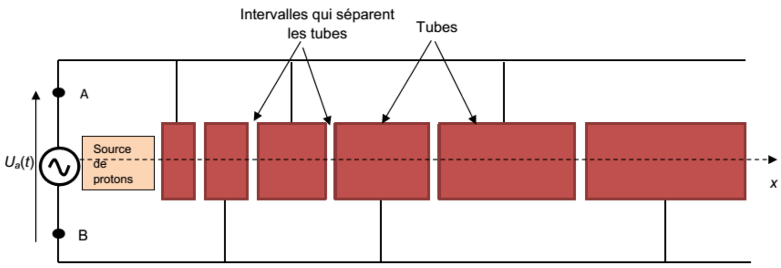
Accélération par un condensateur



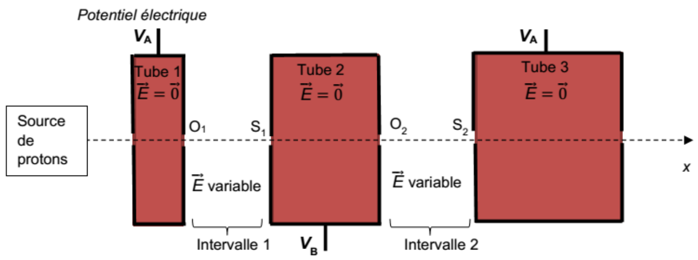
Un proton entre dans le condensateur plan avec une vitesse initiale nulle en O. Une tension électrique positive $U = V_1 - V_2 = 2{,}00$ MV est appliquée entre les plaques du condensateur séparées d'une distance $d = 10{,}0$ cm. Le champ électrique E créé entre les plaques est supposé uniforme, dirigé dans le sens de l'axe Ox et de norme E = U/d. Les plaques sont percées en O et S pour laisser passer les protons. On étudie le proton dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le poids est considéré négligeable.
Représenter le champ électrique sur la figure ci-contre, ainsi que la force exercée, sans souci d'échelle.

1. Le proton entre dans le condensateur à t=0s. En appliquant la 2e loi de Newton, donner l'expression de l'accélération du proton puis celle de la vitesse en fonction du temps.
2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer la vitesse du proton v_1 quand il sort du condensateur à l'instant t_1.
3. Déduire des deux questions précédente la valeur de t_1.

Principe du Linac2, accélérateur linéaire

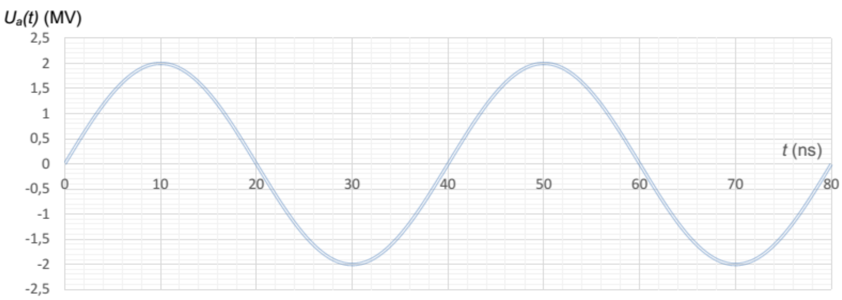


Dans une enceinte où règne un vide poussé, on fait passer les protons dans une série de tubes métalliques reliés alternativement à l'une ou à l'autre des bornes d'un générateur de tension alternative $U_a(t)$, de période T. Cette tension crée, dans les intervalles qui séparent les tubes, un champ électrique dans la direction de l'axe Ox.



Le champ électrique régnant dans les intervalles étant variable au cours du temps, la fréquence de la tension et la longueur des tubes sont choisies très précisément pour que les protons arrivent dans chaque intervalle à l'instant où le sens du champ est tel qu'il permet leur accélération.

On accélère les protons pendant un quart de période dans chaque intervalle et chaque passage dans un tube dure une demi-période.



4. En supposant qu'un proton entre dans l'intervalle 1 à t = 0s, préciser où il se situe :
   - entre 0 et 10 ns
   - entre 10 et 30 ns
   - entre 30 et 40 ns.
5. Justifier qu'avec une telle contrainte, le champ électrique a toujours le même sens dans chaque intervalle. Représenter le champ dans l'intervalle 1 et dans l'intervalle 2.
6. Expliquer qualitativement pourquoi les tubes du Linac sont de plus en plus longs