Chapitre C2. Les lois de Newton,

application aux situations dans le champ de pesanteur

<u>Activité 1</u> : mouvement d'un médecine-ball et actions exercées.

…………………………………………………………………………………………………

On lance un médecine-ball à la verticale et on le rattrape.

1- Repérer et noter le (ou les) moment(s) où vous exercez une action sur le médecine-ball, préciser chaque fois dans quelle direction et dans quel sens s'exerce cette action sur le médecine-ball (2e ligne du tableau).

2- Finir de compléter le tableau.

	Lancer	Montée	Descente	Réception
J'exerce une action sur le médecine-ball	❒ Oui ❒ Non Si oui, direction : sens :	❒ Oui ❒ Non Si oui, direction : sens :	❒ Oui ❒ Non Si oui, direction : sens :	❒ Oui ❒ Non Si oui, direction : sens :
Représentation des forces exercées sur le médecine-ball				
Représentation de la somme des forces				
Représentation du vecteur vitesse $\vec{v}$				
La vitesse :	❒ augmente ❒ diminue ❒ reste constante	❒ augmente ❒ diminue ❒ reste constante	❒ augmente ❒ diminue ❒ reste constante	❒ augmente ❒ diminue ❒ reste constante
Direction et sens du vecteur $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$				

3- Pour quelle phase la description précédente semble contradictoire avec un point de vue aristotélicien ?

Vérifier que la formulation de la 2e loi de Newton donnée dans le modèle est conforme avec l'analyse ci-dessus.

<u>Activité 2</u> : 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, très chiffonnées, mais l'une est dépliée et est donc 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 2 - 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*** :

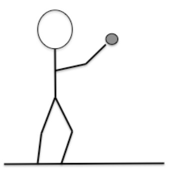
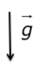
❶	« *En un même lieu et pour tous les corps, l'accroissement de la vitesse en fonction du temps est constant.* »	
❷	« *Les espaces parcourus en chute libre sont proportionnels aux carrés des temps.* »	

1. Traduire chacun des énoncés à l'aide d'une relation, avec les concepts que vous connaissez (colonne de droite).
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 caractériser la chute libre selon Galilée : *il y a chute libre lorsque….*

Activité 2 - PARTIE 3 : étude d'une chute libre à l'aide des lois de Newton

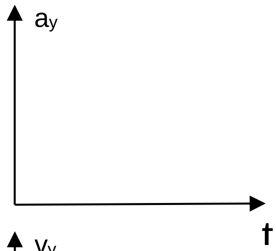
Un des grands succès de la physique de Newton est d'avoir pu démontrer les lois de Galilée sur les chutes libres. C'est ce que nous allons faire.

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
		

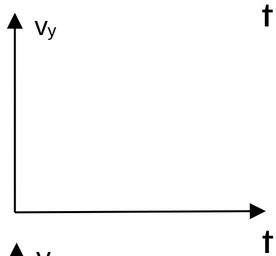
On étudie un objet solide de masse m, lâché sans vitesse initiale au-dessus du sol à une date $t = 0$. On suppose que son mouvement peut être modélisé par une chute libre. L'étude a lieu dans le référentiel terrestre, supposé galiléen et muni d'un repère d'axe (Oy), orienté vers le bas et tel que O coïncide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

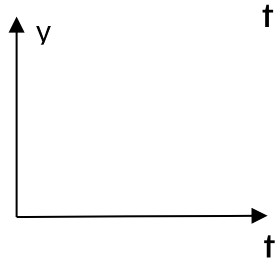


On va utiliser deux fois une méthode de résolution par intégration pour déterminer la coordonnée verticale du vecteur vitesse puis celle du vecteur position

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 3 : La balle est-elle en chute libre ?

Les situations de chutes sont extrêmement nombreuses. Il est facile de les analyser pour savoir si elles peuvent être décrites par le modèle de la chute libre.
On choisit ici d'analyser le mouvement de chute d'une balle en polystyrène ou d'une boule pétanque.

PARTIE 1 Saisie des positions successives d'un point en fonction du temps

Avec le logiciel ***AviMéca2***, ouvrir le fichier vidéo « **chute_tennis.avi»** **ou « chute_petanque.avi »** dans Groupe (S) : TS2/données/physique.

Vous pouvez agrandir la vidéo avec le bouton ci-contre : cocher *Adapter* puis confirmer.
Étalonnage : Choisir un repère adapté à l'étude proposée, 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.
Repérer avec soin les positions successives de la bille.

Si le pointage vous convient, copier dans presse-papier grâce à .

PARTIE 2 Exploitation des mesures

Dans Regressi, choisir Fichier → Nouveau → Presse-papier

1. **Évolution de la vitesse**
   Rappeler l'expression de la vitesse $v_y(t)$ en fonction de y(t). Dans <u>Grandeurs</u> créer cette nouvelle variable vy : Ajouter. Dans <u>Graphe</u> visualiser les valeurs de v_y en fonction du temps.

2. **Analyse du mouvement : discussion sur le modèle de la chute libre**
   À l'aide des points et de l'activité précédente, indiquer si on peut modéliser la chute étudiée par une chute libre. Rédiger vos arguments.

3. **Interprétation**
   Interpréter votre conclusion précédente en termes de forces exercées sur le système et proposer un schéma des forces.

Pour aller plus loin :

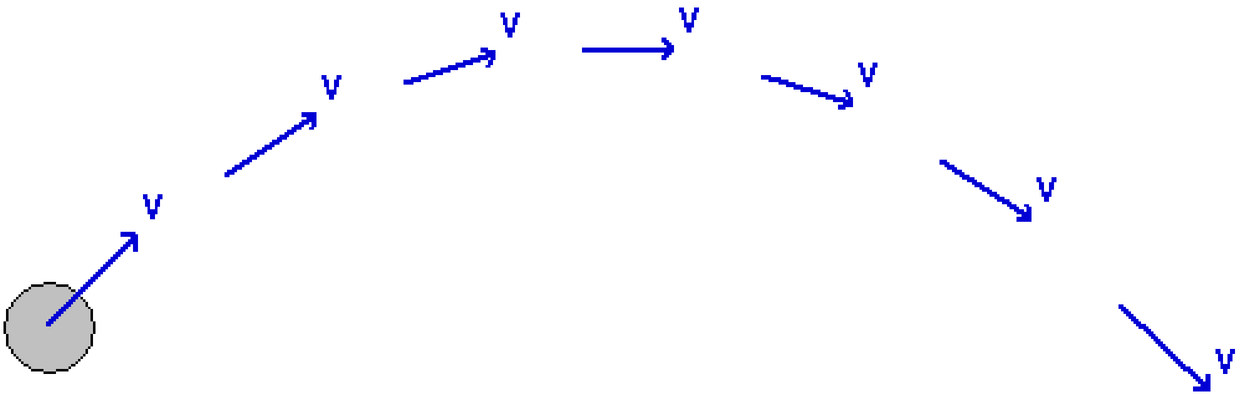
En utilisant les fonctionnalités de Regressi (en particulier la modélisation numérique et les bornes d'intervalles sur lesquelles on modélise), montrer que le début de la chute peut toujours être modélisée par une chute libre, dont on déterminera l'accélération, quel que soit l'objet qui chute.

<u>Activité 4</u> : Tir au pigeon

Cette activité a pour but d'étudier le mouvement 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 on peut négliger les frottements et pour lesquelles le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme (ce qui suppose des trajectoires pas trop grandes). On étudie donc encore des <u>chutes libres</u> (la seule force prise en compte est donc le poids) mais ici, <u>la vitesse initiale n'est plus nulle</u> !*

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. Les positions successives du centre d'inertie sont représentées ci-dessous. 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 certaine vitesse initiale modélisée par le vecteur $\overrightarrow{v_0}$.



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.

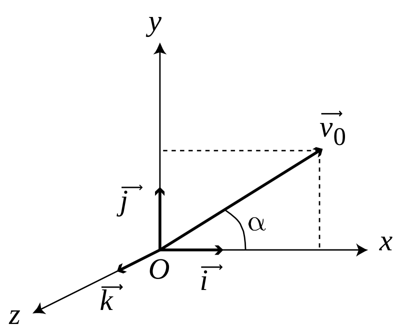
2. En appliquant la 2e loi de Newton au système étudié, en négligeant les frottements de l'air, déterminer l'expression et les caractéristiques du vecteur accélération instantanée du centre d'inertie du pigeon d'argile. Ce résultat est-il en accord avec les tracés précédents ?

3. Montrer à l'aide de l'enregistrement que le mouvement est uniforme selon la direction horizontale

Activité 4 - 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 4 - 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 :
   - ❒ A prendre un objet le plus léger possible
   - ❒ B prendre un objet le plus lourd possible
   - ❒ C peu importe la masse

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

a. À α constant,
- ❒ A v_0 soit le plus grand possible
- ❒ B v_0 soit le plus faible possible
- ❒ C ni l'un ni l'autre

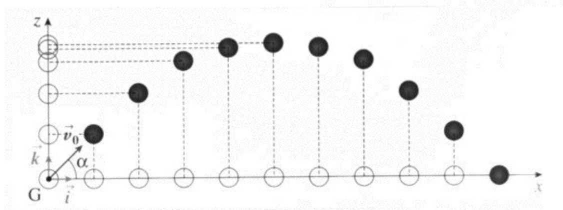
b.b. À v_0 constant,
- ❒ A α soit le plus grand possible
- ❒ B α soit le plus faible possible
- ❒ C ni l'un ni l'autre (proposer alors l'angle optimal)

On dispose d'un fichier Regressi (projectile.rw3) qui permet d'observer l'influence de la masse du projectile et des paramètres de tir α et v_0 sur la trajectoire. Cette trajectoire est calculée uniquement avec les lois de Newton (ce que vous allez faire dans la suite de l'activité !).

3. 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 4 - Partie 4- Étude théorique

1. 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. Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse v_x(t), v_y(t) et v_z(t).
3. 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

$$y(x) = \ldots\ldots\ x^2 + \ldots\ldots\ x + \ldots\ldots$$

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 ?

Partie 5- Étude expérimentale

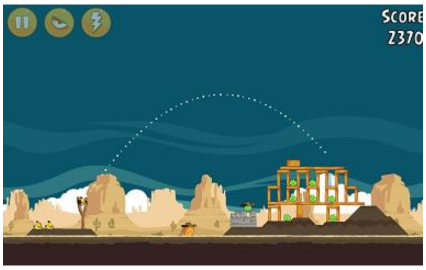
Vous disposez d'une vidéo d'un projectile lancé avec une vitesse initiale v_0 et avec un angle de lancer α inconnus. À l'aide d'un logiciel de pointage (Aviméca) et de traitement des données (Regressi), vous devez :

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

Application : résolution d'un problème…

Choisir un des deux problèmes suivants.

Vous disposez de toutes les ressources de votre choix liées à ce chapitre.

<table>
<tr>
<td>Problème n°1
Les oiseaux d'Angry Birds sont-ils sur une planète dont la pesanteur est comparable à celle de la Terre ?


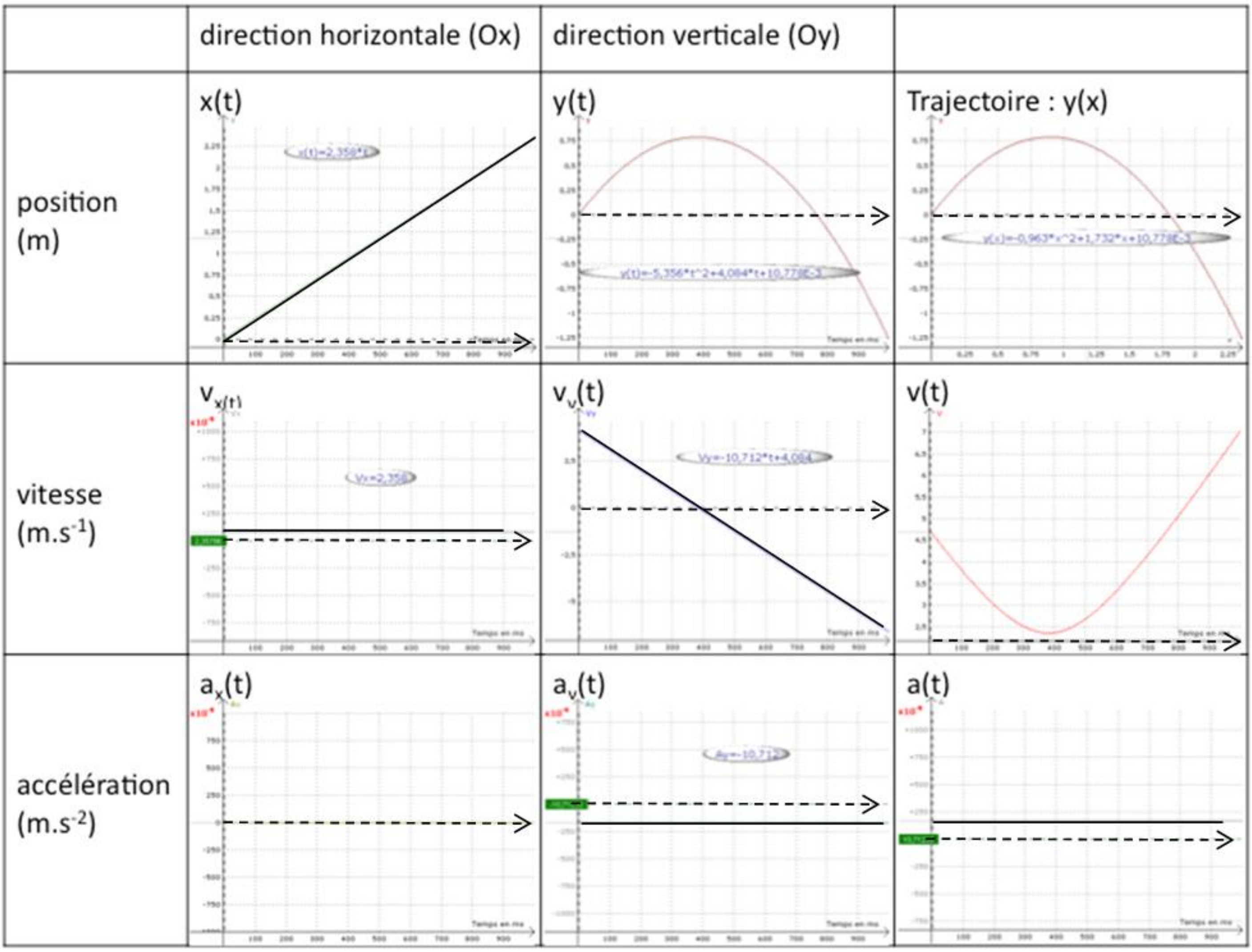
Vous disposez :
- de la vidéo
- du logiciel Aviméca
- de regressi</td>
<td>Problème n°2
Quelle est la vitesse d'éjection du jet d'eau continu si sa hauteur vaut 1,0m.

Vous disposez :
- de la photo
- du logiciel regressi (en utilisant la fonction Fichier-Nouveau-Image-Chronophotographie)</td>
</tr>
</table>

Vous devez exposer votre réponse en détaillant clairement les étapes de la résolution.

À l'aide des courbes ci-dessous correspondant à une chute libre, indiquer si les propositions ci-dessous sont vraies ou fausses.

a. La trajectoire est une parabole.	❒ vrai	❒ faux
b. La valeur de l'accélération diminue puis augmente.	❒ vrai	❒ faux
c. La vitesse est nulle au sommet de la trajectoire.	❒ vrai	❒ faux
d. Le mouvement est uniforme horizontalement.	❒ vrai	❒ faux
e. La vitesse de la balle est constante.	❒ vrai	❒ faux
f. L'évolution de v_y permet de justifier que l'objet change de sens	❒ vrai	❒ faux



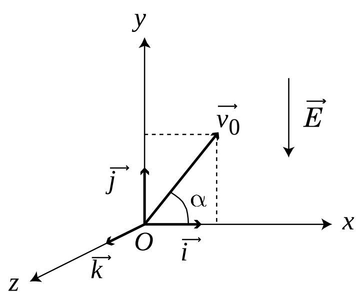
<u>Activité 5</u> : Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme

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.

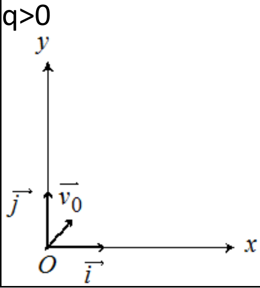
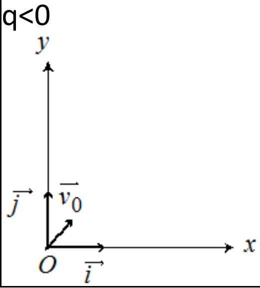
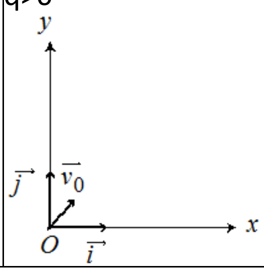
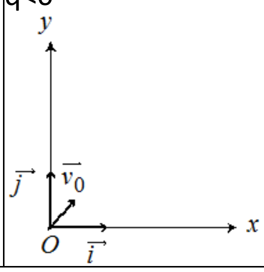


Pour des raisons de commodité, on traitera du cas où le champ $\vec{E}$ est vertical. Si tel n'est pas le cas, il convient alors de changer l'orientation du repère. Comme pour la chute dans un champ de pesanteur, on peut repérer le vecteur vitesse initiale par sa norme et par l'angle α qu'il fait avec 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 = $1{,}6 \times 10^{-19}$ C. Un électron a une charge q = –e et une masse m = $9{,}3 \times 10^{-31}$ kg.

1. Montrer que pour un électron présent dans un tel champ, le poids est négligeable devant la force électrostatique subie par l'électron. On généralisera ce résultat à toutes les situations étudiées dans cette activité.
2. 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.
3. En déduire les coordonnées du vecteur accélération de la particule.
4. Pour pouvoir exploiter les résultats de l'activité 4, par quelle expression convient-il de remplacer g ?
5. Compléter alors le tableau suivant, sans refaire les calculs de l'activité 4.

<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 6 – Se propulser ou être propulser, telle est la question

*Un **système isolé** est un système soumis à aucune force. À la surface de la Terre, une telle situation relève de l'expérience de pensée.*
*Un **système pseudo-isolé** est un système subissant des forces qui se compensent.*

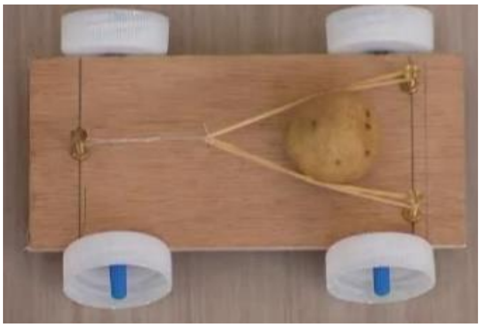
1) Citer des exemples de systèmes pseudo-isolés à la surface de la Terre.
2) Montrer à l'aide de la 2e loi de Newton que le vecteur quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un tel système est constant.

Activité 6 - 1ère situation d'étude

Nathalie et Fabian, équipées de patins à glace, initiallement immobiles, s'apprêtent à se pousser pour s'éloigner l'un de l'autre.
On étudie le système « Nathalie et Fabian » dans le référentiel terrestre.
On admet que la somme des forces qui s'exercent sur le système n'a pas changé lors de la mise en mouvement.
Nathalie, de masse m_1, se déplace alors avec un vecteur vitesse $\overrightarrow{v_1}$.
Fabian, de masse m_2 supérieure à m_1, se déplace avec un vecteur vitesse $\overrightarrow{v_2}$.
La quantité de mouvement totale du système est égale à la somme de la quantité de mouvement de Nathalie et de celle de Fabian.

3) Exprimer et donner la valeur de la quantité de mouvement du système lorsque chacun des patineurs est en mouvement.
4) Faire un schéma de la situation en représentant la patineuse et le patineur chacun(e) par un point.
5) Utiliser les résultats des questions 3) et 4) pour trouver la relation liant m_1, $\vec{v}_1$, m_2 et $\vec{v}_2$.
6) En déduire qui va le plus vite.

Activité 6 - 2e situation d'étude

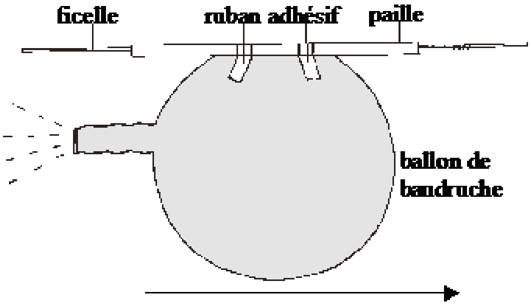


Un lance patate est un jouet qui consiste à faire avancer un petit véhicule en expulsant une patate grâce à un élastique (lorsque le fil est coupé).

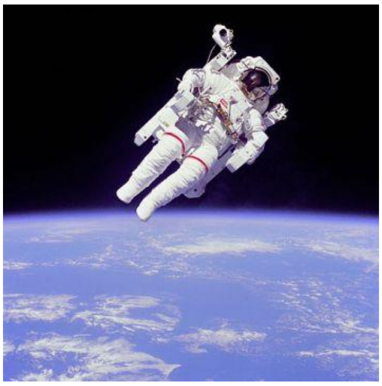
7) Indiquer jusqu'à quel instant on peut considérer le système {véhicule + patate} comme pseudo-isolé.
8) Expliquer pourquoi, si on tend davantage l'élastique (en gardant la même patate), la voiture ira plus vite au démarrage.

Activité 6 - 3e situation d'étude

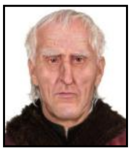
On guide grâce à un fil un ballon de baudruche en train de se dégonfler.



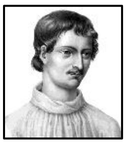
9) Quel est le système pseudo-isolé ?
10) Pour utiliser ce principe de déplacement dans le vide, que vaut-il faire (voir photo ci-dessous) ?



Introduction à la notion de référentiel galiléen : l'expérience du boulet



Nicolas Copernic (1473 – 1543), moine et astronome polonais, est l'un des premiers à avoir pensé que la Terre était en mouvement autour du Soleil et non l'inverse. Ses détracteurs ont notamment utilisé l'argument suivant, issu de la physique d'Aristote : « si la terre était en mouvement, un solide lâché sans vitesse initiale tomberait vers l'arrière. Le fait que la chute soit verticale prouve que la Terre est bien immobile. »

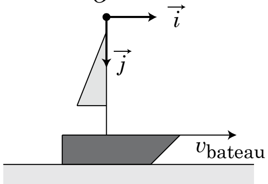


Giordano Bruno, moine et philosophe du XVI[ème] *siècle, dément ce raisonnement. Il écrit : « Toutes choses qui se trouvent sur la Terre se meuvent avec la Terre. Un boulet de canon lâché du haut du mât d'un bateau reviendra au pied du mât, de quelque façon que le navire se meuve. »*
Les idées de Giordano Bruno le conduisent à être condamné et être brûlé vif publiquement…

Cette activité propose d'examiner l'expérience du boulet lâché du haut du mat d'un bateau à la lumière de la mécanique de Newton, établie deux siècles plus tard, afin d'introduire la notion de référentiel galiléen.

PARTIE 1 : étude dans le référentiel terrestre

Un bateau est en mouvement rectiligne uniforme avec une vitesse notée v_{bateau} par rapport au sol terrestre. Du haut du mât de ce bateau, un boulet est lâché. On étudie le boulet, représenté par son centre d'inertie G, *dans le référentiel terrestre* supposé galiléen, muni du repère $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$ représenté ci-dessous :



1. En suivant une démarche analogue à celle employée dans l'activité 4, exprimer :
   - les coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération de G ;
   - les coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse de G à t=0s puis pout tout t ;
   - les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.
2. D'après ces équations, le boulet tombe-t-il au pied du mât, devant ou derrière ?

PARTIE 2 : étude dans le référentiel lié au bateau

1. On étudie la même situation mais dans le référentiel lié au bateau. Déterminer, dans ce nouveau référentiel :
   - les expressions des coordonnées a'_x et a'_y du vecteur accélération de G ;
   - les expressions des coordonnées $v'_x(t)$ et $v'_y(t)$ du vecteur vitesse de G à t=0s puis pout tout t ;
   - les équations horaires $x'(t)$ et $y'(t)$.
2. Montrer que les conclusions qu'on peut tirer de ces équations sont exactement les mêmes que si l'étude est réalisée dans le référentiel terrestre.

PARTIE 3 : référentiels « galiléens »

Un référentiel *galiléen* est un référentiel dans lequel les lois de Newton telles que nous les énonçons dans ce chapitre sont valides. On admet que c'est le cas du référentiel terrestre.

1. On considère désormais que le bateau est en train de freiner lorsque le boulet est lâché. Si on applique les lois de Newton dans le référentiel terrestre, où prévoit-on que le boulet va tomber ?
2. Même question si on applique les mêmes lois de Newton dans le référentiel *bateau*.
3. Les conclusions des questions 1 et 2 sont désormais différentes… laquelle correspond à ce qu'on observera ?
4. Conclusion : le référentiel bateau, lorsque celui-ci freine, est-il galiléen ?
5. À votre avis, l'affirmation selon laquelle le référentiel terrestre est galiléen est-elle rigoureusement exacte ? Pourquoi ? À quelle condition sur le mouvement étudié peut-on tout de même le supposer ?