

Nom et prénom :

Activité réalisée avec :

Date :

Rappel des consignes (à lire intégralement, ainsi que le protocole, avant de commencer)

Veillez réaliser l'activité et le rapport manuscrit (un par élève, même si les deux élèves d'un binôme rendent des rapports identiques). Respectez les règles habituelles quant à la présentation et à l'orthographe, notamment : en-tête rempli, pas de crayon (sauf pour les dessins) ni d'effaceur (erreurs éventuelles à biffer proprement), soin de la langue française, protocole/graphique(s)/données à rendre avec le rapport, précision dans les dessins et les résultats (nombre pertinent de chiffres significatifs).

LE SAUT

Le but de cette activité est d'étudier le mouvement vertical du *centre de masse C* d'une personne pendant un saut sur place vertical.



Ce mouvement se partage en deux parties:

- La phase de *poussée* : la durée pendant laquelle les pieds sont en contact avec le sol ;
- La *chute libre* : la durée pendant laquelle les pieds ne sont pas en contact avec le sol et donc la seule force qui agit sur la personne est la gravité (interaction à distance avec la Terre). **Attention** : au début de cette deuxième phase la personne continue de monter, même s'il n'y a plus de poussée. (Savez vous expliquer pourquoi ?)

Pendant toute la durée du mouvement, nous négligeons la résistance de l'air.

I. Prise des mesures avec l'iPad

- a) Choisir un objet que la personne peut tenir près de son centre de masse, qui soit bien visible par rapport au fond (par exemple un morceau de papier blanc sur un T-shirt noir).
- b) Mettre en marche le iPad (*mot de passe: 0987*).

- c) Appeler le programme « Video Physics » (Icône: ).
- d) Débuter une nouvelle Expérience (+) et sélectionner « *Faire un film* ».
- e) Durant le film tenir le iPad de manière stable, de telle manière que toute la trajectoire à filmer soit dans le cadre; s'assurer que le corps filmé soit bien visible par rapport au fond.
- f) Débuter le film et l'arrêter immédiatement après que la personne ait touché le sol. Ensuite, appuyer sur l'option « *Utiliser* ».
- g) Cliquer en haut à gauche sur « *Expériences* » et enregistrer le nouveau film en cliquant sur « *i* » (= *informations*) puis en donnant un nom explicite comme: «**Saut Elève X** ».

II. Création des graphiques et extraction des données

Le film enregistré peut-être visualisé au ralenti et à répétition. Le but ici est d'analyser la trajectoire de C depuis son point le plus bas (le début de l'ascension) jusqu'à l'instant où la personne termine sa chute libre.

- a) Faire glisser le doigt sur le curseur afin de sélectionner l'image de l'objet suivi au début de sa trajectoire, dans son point le plus bas.
- b) Placer la cible précisément sur l'image de l'objet (régler sa taille, ni trop grande ni trop petite), puis appuyer sur « *Tracer* ». La cible suit automatiquement l'objet dans son mouvement.
- c) Ne garder que les points de la trajectoire avant que la personne ne touche le sol, les autres points pouvant être supprimés en les sélectionnant (ils deviennent alors bleus) et en cliquant « *Supprimer* ».
- d) Définir un repère ayant comme origine le premier point du traçage et l'axe des y orienté dans la direction verticale: nous pourrons ainsi étudier le mouvement en ne considérant que cette coordonnée.
- e) Définir l'échelle (par exemple avec la taille de la personne) puis visualiser les graphiques via l'icône . L'application donne le graphique de la trajectoire ($x ; y$), le *diagramme horaire* $y(t)$ et celui de la vitesse en fonction du temps $v_y(t)$. Elle donne aussi le diagramme horaire de $x(t)$ et de $v_x(t)$ représentant les oscillations perpendiculaires au mouvement, dont nous ne tenons pas compte.
- f) Pour visualiser les données et travailler avec les graphiques:
 - cliquer sur l'icône ,
 - puis sur « *Fichier Données* » + « *Ouvrir dans...* »,
 - choisir l'application *Graphical Analysis* (Icône : .
- g) L'application *Graphical Analysis* visualise les graphiques du mouvement. En cliquant sur les noms des paramètres observés sur l'axe vertical, les différents graphiques peuvent être sélectionnés ou non. En cliquant sur l'icône en bas à gauche  il est possible de choisir le format des points (« *Options graphe* »). Pour visualiser le tableau des données, cliquer sur la première icône en haut à droite  et choisir « *Tableau* ».

- h) Nous appelons le temps du début de la mesure t_0^1 (et la position initiale $y(t_0) = y_0$), t_1 l'instant à partir duquel les pieds *ne touchent plus le sol* et t_2 le *dernier instant avant* que la personne *touche à nouveau le sol*. De plus, nous appelons y_{max} la hauteur maximale atteinte lors du saut et t_{max} l'instant correspondant : $y_{max} = y(t_{max})$.
- i) Dans le tableau des données, repérer t_0 , t_1 , t_{max} et t_2 ; les noter dans le tableau récapitulatif suivant. *Arrondir les données à trois chiffres significatifs.*

t [s]	y [m]	v_y [m/s]
$t_0 =$	$y_0 =$	$v_{y0} =$
$t_1 =$	$y_1 =$	$v_{y1} =$
$t_{max} =$	$y_{max} =$	$v_y(t_{max}) =$
$t_2 =$	$y_2 =$	$v_{y2} =$

- j) **Important** : envoyer les graphiques terminés et le tableau des données par email à votre adresse favorite afin de pouvoir les joindre à votre analyse par la suite.

III. Analyse

i) Phase de poussée (entre t_0 et t_1)

Le but ici est de déterminer quelle est la force moyenne exercée par la personne sur le sol $\vec{F}_{p/sol}$ pendant la poussée. Nous prenons comme positif le sens vers le haut (défini par l'orientation de l'axe des y).

- a) En observant les graphiques du mouvement, quel type de mouvement a-t-on entre t_0 et t_1 ? *Justifier.*
- b) Utiliser les données du tableau rempli au point II(i) pour calculer *l'accélération moyenne* entre t_0 et t_1 . En déduire la *force résultante* dans cette phase.
- c) À partir de la masse de la personne, calculer sa *force de pesanteur* (attention au signe !).
- d) De plus que la force de pesanteur, quelle(s) autre(s) force(s) agit(ssent) sur la personne entre t_0 et t_1 ? De quel signe ?
- e) Dessiner le schéma des forces agissantes sur la personne entre t_0 et t_1 , appliquées à C, et tracer la force résultante en rouge. *Pas d'échelle à définir, mais les forces de même intensité doivent avoir la même longueur.*

¹ Le temps t_0 n'est pas forcément égal à 0s.

- f) En utilisant la formule qui lie la force résultante aux autres forces et les valeurs obtenus pour $\vec{F}_{rés}$ et \vec{F}_g , déterminer $\vec{F}_{sol/personne}$ (le signe en définit le sens).
- g) En déduire $\vec{F}_{personne/sol}$ (le signe en définit le sens). *Justifier en utilisant les lois de Newton appropriées.*

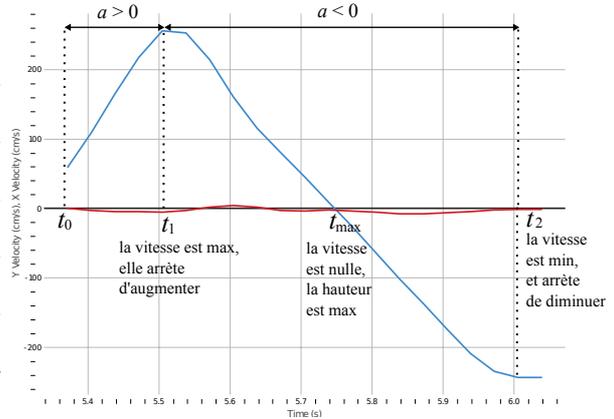
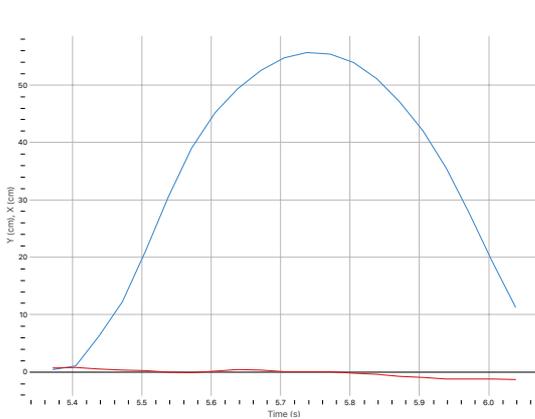
ii) Phase de chute libre (entre t_1 et t_2)

- h) Dessiner le schéma des forces agissantes sur la personne entre t_1 et t_2 , appliquées à C, tracer la force résultante en rouge (sans échelle). Quelle est la différence entre ce diagramme et celui dessiné pour la phase de poussée ? (Point III(e))
- i) Pendant la phase de *chute libre* quelle sont les valeurs (théoriquement)
- de la force résultante et
 - de l'accélération
- de C ? *Attention au signe.*
- j) Utiliser les données du tableau rempli au point II(i) pour calculer l'accélération moyenne entre t_1 et t_2 . Comparer cette valeur avec celle prédite au point III(i).
- k) En connaissant la vitesse initiale (v_{y1} du tableau au point II(i)) et l'accélération entre t_1 et t_2 , utiliser les équations du MRUA pour calculer :
- le temps $t_{max\ pred}$ pour atteindre la hauteur maximale et
 - la hauteur maximale $y_{max\ pred}$.
- (Cf. l'exemple 27 du cours ou de l'exercice du jet d'eau.)
- l) Comparer les prévisions théoriques faites au point III(k) avec les données de y_{max} et de t_{max} du tableau au point II(i). Quelle est la précision de vos prédictions ?

LE SAUT - Exemple de corrigé

Exemple de mesures

Time (s)	X (cm)	Y (cm)	VX (cm/s)	VY (cm/s)
t_0 5.371667	0.673641	0.380284	-0.111874	59.270175
5.405	0.751194	1.064852	-2.729756	109.243505
5.438333	0.517813	6.244227	-4.662729	165.343323
5.471667	0.376024	12.189445	-4.858927	217.179152
5.505	0.21845	21.100331	-5.14489	255.923739 v_{y1}
5.538333	-0.037338	30.489041	-3.055137	252.745883
5.571667	-0.097209	39.017769	1.773296	214.344373
5.605	0.142651	45.156357	4.529009	160.943623
5.638333	0.392696	49.381612	2.058642	115.806403
5.671667	0.361342	52.553005	-2.774593	80.223547
5.705	0.04808	54.766203	-3.705682	45.458706
5.738333	0.028948	55.641595 y_{max}	-2.238314	9.43104
5.771667	0.015927	55.368987	-3.562073	-26.452033
5.805	-0.182317	53.94736	-5.673719	-64.09324
5.838333	-0.372923	51.090733	-7.626769	-101.574154
5.871667	-0.748751	47.085087	-7.757241	-136.972529
5.905	-0.927643	42.028126	-6.445498	-173.718543
5.938333	-1.194565	35.535655	-4.501918	-209.345051
5.971667	-1.263532	27.800535	-1.769299	-234.443725 v_{y2}
6.005	-1.232759	19.300592	-1.092813	-243.209819 v_{y2}
6.038333	-1.300199	11.278472	-1.370992	-243.370749



II.

(i) Tableau récapitulatif :

t [s]	y [m]	v_y [m/s]
$t_0 = 5,37$	$y_0 = 0,0038$	$v_{y0} = 0,5927$
$t_1 = 5,51$	$y_1 = 0,2110$	$v_{y1} = 2,5592$
$t_{max} = 5,74$	$y_{max} = 0,5564$	$v_y(t_{max}) = 0,0943$
$t_2 = 6,01$	$y_2 = 0,1930$	$v_{y2} = -2,4321$

III. Analyse

i) Phase de poussée (entre t_0 et t_1)

a) En observant les graphiques du mouvement, quel type de mouvement a-t-on entre t_0 et t_1 ?
Il s'agit d'un MRUA car la vitesse augmente *proportionnellement* à la durée. Avec a positive (vers le haut).

b) Utiliser les données du tableau rempli au point II(i) pour calculer l'accélération moyenne entre t_0 et t_1 . En déduire la force résultante dans cette phase.

Le mouvement a seulement de composante y , nous délaissions la flèche indiquant la grandeur vectorielle :

$$a = \frac{v_{y1} - v_{y0}}{t_1 - t_0} = \frac{255,92 - 59,27}{5,51 - 5,37} = \frac{196,65 \text{cm/s}}{0,14 \text{s}} = \frac{1,9665 \text{m/s}}{0,14 \text{s}} = 14 \text{m/s}^2.$$

Dans notre cas, la personne a une masse $m = 35 \text{kg}$, donc pour la 2^{ème} loi de Newton $F_{rés} = ma = 35 \text{kg} \cdot 14 \text{m/s}^2 = 490 \text{N} = 4,9 \cdot 10^2 \text{N}$.

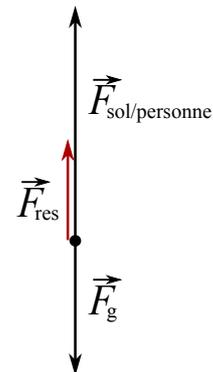
Résultat arrondi à 2 chiffres significatifs, car 0,14s a 2 chiffres significatifs.

c) À partir de la masse de la personne, calculer sa force de pesanteur (attention au signe !).

$$F_g = mg = 35 \text{kg} \cdot (-9,81 \text{m/s}^2) = -343 \text{N} = -3,4 \cdot 10^2 \text{N}. \text{ Négative car vers le bas.}$$

d) De plus que la force de pesanteur, quelle(s) autre(s) force(s) agit(ssent) sur la personne entre t_0 et t_1 ? De quel signe ?

e) Dessiner le schéma des forces agissantes sur la personne entre t_0 et t_1 , appliquées à C, et tracer la force résultante en rouge. Pas d'échelle à définir, mais les forces de même intensité doivent avoir la même longueur.



$$\vec{F}_{rés} = \underbrace{\vec{F}_g}_{<0} + \underbrace{\vec{F}_{sol/personne}}_{>0}$$

f) En utilisant la formule qui lie la force résultante aux autres forces et les valeurs obtenus pour $\vec{F}_{rés}$ et \vec{F}_g , déterminer $\vec{F}_{sol/personne}$ (le signe en définit le sens).

$$\begin{aligned} \vec{F}_{rés} &= \vec{F}_g + \vec{F}_{sol/personne} \\ \Rightarrow \vec{F}_{sol/personne} &= \vec{F}_{rés} - \vec{F}_g = 490 - (-343) = 490 + 343 = 833 \text{N} = 8,3 \cdot 10^2 \text{N}. \end{aligned}$$

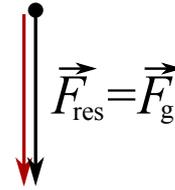
g) En déduire $\vec{F}_{personne/sol}$ (le signe en définit le sens). Justifier en utilisant les lois de Newton.

Pour la **3^{ème} loi de Newton** (action/réaction)

$$\vec{F}_{personne/sol} = -\vec{F}_{sol/personne} = -8,3 \cdot 10^2 \text{N}, \text{ négative, vers le bas.}$$

ii) Chute libre (entre t_1 et t_2)

h) Dessiner le schéma des forces agissantes sur la personne entre t_1 et t_2 , appliquées à C, tracer la force résultante en rouge (sans échelle). Quelle est la différence entre ce diagramme et celui dessiné pour la phase de poussée ? (Point III(e))



$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_g = mg = -343\text{N} = -3,4 \cdot 10^2\text{N}$$

$$\Rightarrow 1,7\text{cm vers le bas}$$

Par rapport à la phase de poussée il n'y a plus la force du sol sur la personne (positive), car il n'y a plus le contact entre les pieds et le sol.

i) Pendant la phase de chute libre quelle sont les valeurs (théoriquement)
 - de la force résultante et
 - de l'accélération
 de C ? (Attention au signe !)

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_g \Rightarrow ma = mg \Rightarrow a = g = -9,81\text{m/s}^2, \text{ négative, donc vers le bas.}$$

j) Utiliser les données du tableau rempli au point II(i) pour calculer l'accélération moyenne entre t_1 et t_2 . Comparer cette valeur avec celle prédite au point (i).

$$a = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{t_2 - t_1} = \frac{-243,21 - 255,92}{6,01 - 5,51} = \frac{-499,13\text{cm/s}}{0,50\text{s}} = \frac{-4,99913\text{m/s}}{0,50\text{s}} = -9,98 = -10\text{m/s}^2.$$

k) + l)

Equations du MRUA : 1) $y(t) = 1/2 a \Delta t^2 + v_{y1} \Delta t + y_1$ et 2) $v_y(t) = v_{y1} + a \Delta t$

avec : $a = g = -9,81\text{m/s}^2$ (\Rightarrow chute libre) ;

$$v_{y1} = 2,5592\text{m/s} ; y_1 = 0,211\text{m} ; t_1 = 5,51\text{s} \text{ (voir tableau ci-dessus) .}$$

Equation à poser (eq. 2) ci-dessus): $v_y = 0$ pour $y = y_{max}$

$$\Rightarrow v = v_{y1} + a \Delta t_{max} = 0$$

$$\Rightarrow 0 = 2,56 + (-10) \cdot \Delta t_{max} \Rightarrow \Delta t_{max} = \frac{-2,56\text{m/s}}{-10\text{m/s}^2} = 0,256\text{s} ;$$

$$\Rightarrow t_{max\ pred} = \Delta t_{max} + t_1 = 0,256 + 5,51 = 5,77\text{s} = 5,8\text{s}.$$

En accord avec la valeur mesurée à deux chiffres significatifs près (écart de 0,03s par rapport à la valeur du tableau, ok au 0,5%).

$$\begin{aligned} \Rightarrow y_{max\ pred} &= 1/2 a \Delta t_{max\ pred}^2 + v_{y1} \Delta t_{max\ pred} + y_1 \\ &= 0,5 \cdot (-10) \cdot 0,256^2 + 2,56 \cdot 0,256 + 0,211 = \\ &= -0,32768 + 0,65536 + 0,211 = 0,539\text{m} = 54\text{cm} \text{ (4pt)} \end{aligned}$$

En accord avec la valeur mesurée à deux chiffres significatifs près (écart de 1,64cm par rapport à la valeur du tableau, ok au 3%).