

Noms :	Prénoms :	Classe :
Première Spécialité TP	Thème : Mouvement et interactions Chapitre 12 : Mouvement d'un système	
	Etude de la chute libre	

I Etude du saut d'un gymnaste

Dans cette partie, nous allons étudier le mouvement d'un gymnaste sautant à la verticale sur un trampoline. Son mouvement est celui d'une **chute libre** (même quand il monte !).

Lors du saut du gymnaste, on a effectué une **chronophotographie** de son centre de gravité. On obtient les chronophotographies représentées sur la page suivante.

Document n°1 : La chute libre

Un objet est en chute libre s'il n'est soumis qu'à l'action de son poids \vec{P} . C'est une force de direction **verticale**, dirigée **vers le bas**, appliquée au centre de gravité du solide.

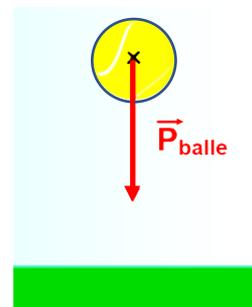
Sur Terre, sa norme (sa valeur) se calcule par la relation :

$$P = m \times g$$

m : masse en kilogramme (kg)

P : poids en newton (N)

g : intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$



En pratique, on considèrera un objet comme étant en chute libre quand on pourra négliger les autres forces s'appliquant sur le solide devant son poids, par exemple les forces de frottement dues à l'air.

Document n°2 : La chronophotographie



La chronophotographie désigne une technique photographique qui consiste à prendre une succession de photographies, permettant de décomposer chronologiquement les phases d'un mouvement ou d'un phénomène physique, trop brefs pour être observés convenablement à l'œil nu.

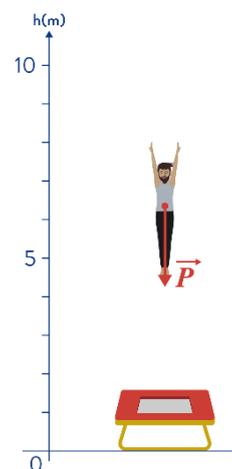
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Chronophotographie>

Le mouvement du gymnaste se découpe en deux phases :

- **la phase de montée** : Le gymnaste acquiert une vitesse initiale dirigée vers le haut en poussant avec ses jambes sur le trampoline. Dès qu'il quitte le trampoline, il n'est plus soumis qu'à son poids \vec{P} .
- **la phase de descente** : Au sommet de sa trajectoire, le gymnaste « arrête de monter » et a une vitesse nulle. La phase de descente débute dans laquelle le gymnaste n'est encore soumis qu'à son poids \vec{P} .

Les tableaux suivants indiquent pour chacune des deux phases la hauteur h du centre d'inertie. Entre deux positions successives, il s'écoule une durée égale à $\Delta t = 0,1 \text{ s}$.

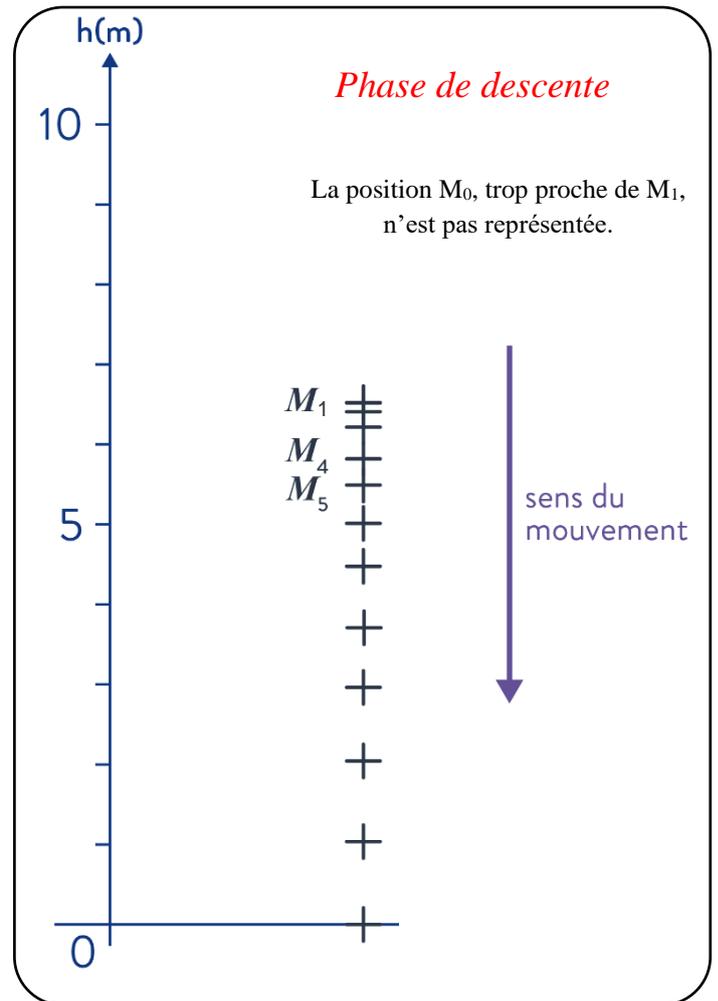
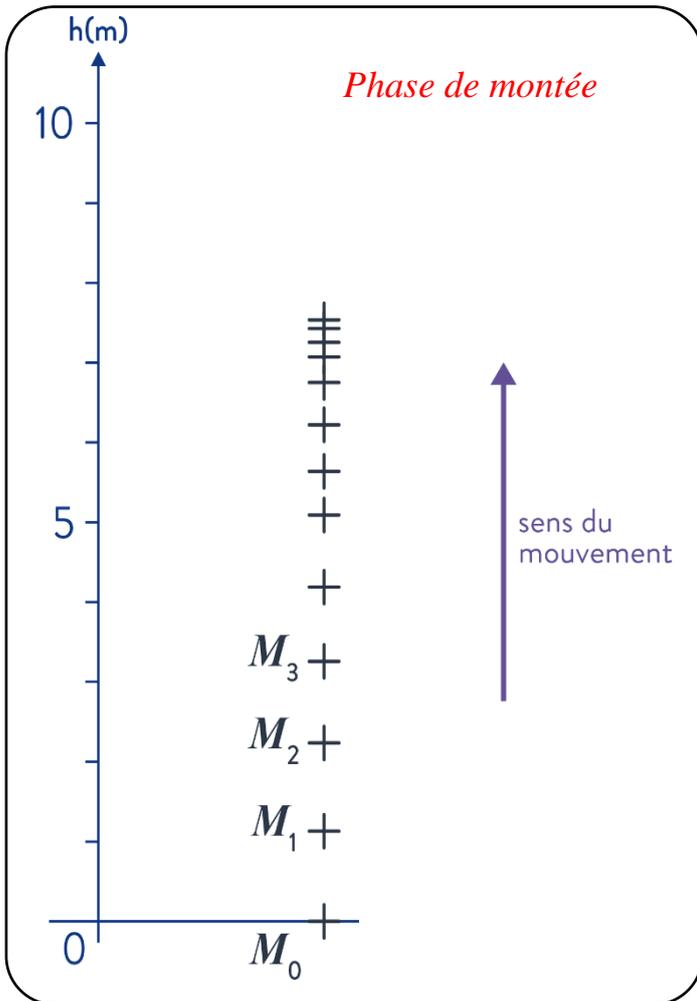
- Phase de montée :



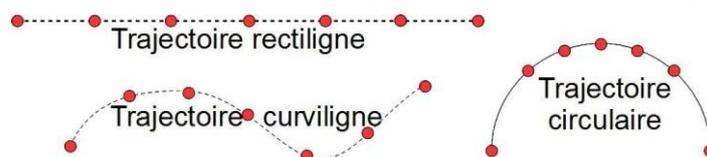
Point	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
t (s)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
h (m)	0,00	1,15	2,21	3,16	4,02	4,78	5,44	6,00	6,47	6,84	7,10	7,28	7,35

- Phase de descente :

Point	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
t (s)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
h (m)	6,49	6,48	6,38	6,19	5,89	5,50	5,01	4,42	3,73	2,95	2,07	1,08	0,00



Au cours d'un mouvement, la trajectoire peut être rectiligne, circulaire ou curviligne.



- 1) Quelle est la forme de la trajectoire du gymnaste au cours de son saut ?
- 2) Peut-on dire que le gymnaste est en chute libre lors des deux phases de son saut. Justifier.
- 3) Numéroté les différentes positions manquantes sur les deux chronophotographies (M₄, M₅, M₆, ...).

La **vitesse** au point M_i se calcule par : $v_i = \frac{M_{i-1}M_{i+1}}{2 \times \Delta t}$ en mètre par seconde (m.s⁻¹).
 avec : M_{i-1}M_{i+1} : distance entre les points M_{i-1} et M_{i+1} en mètre (m)
 Δt : intervalle de temps séparant les deux positions consécutives (M_i et M_{i+1}) en s

Exemple : Dans la phase de **montée**, la vitesse au point M₅ se calcule par : $v_5 = \frac{M_4M_6}{2 \times \Delta t}$.

Pour calculer la distance entre les points M₄ et M₆ (longueur du segment [M₄M₆]), on peut :

- la mesurer directement sur la chronophotographie, en tenant bien sûr compte de l'échelle ;
- utiliser les coordonnées des différentes positions, ce que l'on va faire dans la suite.

Ici, le segment $[M_4M_6]$ se calcule avec les coordonnées aux points M_4 et M_6 (en gras dans le tableau précédent) : $[M_4M_6] = |h_6 - h_4| = 5,44 - 4,02 = 1,42$ m. L'intervalle de temps vaut : $\Delta t = 0,1$ s.

La valeur absolue (les deux traits verticaux) permet d'obtenir une **vitesse positive** dans tous les cas.

On en déduit donc la vitesse au point M_5 : $v_5 = \frac{M_4M_6}{2 \times \Delta t} = \frac{1,42}{2 \times 0,1} = \underline{7,1 \text{ m.s}^{-1}}$.

- 4) Pour la phase de montée, calculer la vitesse v_1 au point M_1 et la vitesse v_3 au point M_3 .
- 5) Pour la phase de descente, calculer la vitesse v_4 au point M_4 et la vitesse v_6 au point M_6 .

La vitesse de chaque point M_i est représentée par un vecteur appelé **vecteur vitesse**, noté \vec{v}_i . Il a les caractéristiques suivantes :

- Point d'application : le point M_i .
- Direction : tangente à la trajectoire.
- Sens : celui du mouvement.
- Norme (longueur de la flèche **en cm**) : proportionnelle à la valeur de la vitesse **en m.s⁻¹**. Il faut donc utiliser une échelle des vitesses pour représenter ce vecteur vitesse.

On va choisir pour échelle : **1 cm** ↔ **2 m.s⁻¹**. Chaque centimètre sur la feuille représente une vitesse de 2 m.s⁻¹.

Exemple : Dans la phase de montée, la vitesse au point M_5 valant $v_5 = 7,1 \text{ m.s}^{-1}$ est représentée par un vecteur de 3,55 cm partant de M_5 , à la verticale, vers le haut (dans le sens du mouvement). On écrit \vec{v}_5 à côté du vecteur.

- 6) Pour la phase de montée, représenter sur la chronophotographie les vecteurs vitesse \vec{v}_1 et \vec{v}_3 . Les vecteurs vont se superposer, les décaler un peu pour les distinguer.
- 7) Pour la phase de descente, représenter sur la chronophotographie les vecteurs vitesse \vec{v}_4 et \vec{v}_6 . Les vecteurs vont se superposer, les décaler un peu pour les distinguer.

On peut représenter le **vecteur variation de vitesse** $\overrightarrow{\Delta v}_i$ égal à : $\overrightarrow{\Delta v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$

Exemple : $\overrightarrow{\Delta v}_8 = \vec{v}_9 - \vec{v}_7$

- 8) Tracer sur la chronophotographie de la montée le vecteur variation de vitesse $\overrightarrow{\Delta v}_2$.
- 9) Tracer sur la chronophotographie de la descente le vecteur variation de vitesse $\overrightarrow{\Delta v}_5$.
- 10) a) Quelle est la direction (horizontale ou verticale) de ces deux vecteurs variations de vitesse ?
b) Quelle est le sens (vers le haut ou vers le bas) de ces deux vecteurs variations de vitesse (normalement la même dans les deux cas) ?
c) Que constate-t-on sur la norme de ces deux vecteurs ?
- 11) Comparer la direction et le sens de ces deux vecteurs variations de vitesse à ceux de la force agissant sur le gymnaste, à savoir son poids \vec{P} .

II Etude du mouvement d'une balle lâchée

Une balle est lâchée sans vitesse initiale. Un enregistrement vidéo est réalisé. Il permettra de réaliser la chronophotographie de la balle pour tracer sur Excel l'évolution de la vitesse en fonction du temps.

- 12) La balle pèse 100 g. Calculer son poids P en newton (penser à convertir la masse en kg !).

A) Chronophotographie de la balle

Nous utiliserons le logiciel **Avistep** pour enregistrer les positions de son centre de gravité.

- Ouvrir le logiciel Avistep .
- Cliquer sur l'onglet « Fichier », puis sur « Ouvrir ». Ouvrir la vidéo « **chutelibre** » située dans le dossier « Physique » dans le commun de la classe.

Une fenêtre de traitement vidéo apparaît en bas de l'écran :



- Définir l'échelle. Pour cela, cliquer sur l'échelle . Sur l'image, cliquer avec l'étoile sur une extrémité de la règle jaune, puis sur l'autre extrémité.
Rentrer la valeur « 1 » comme longueur, puis appuyer sur la touche *Entrée* du clavier.
- Cliquer sur l'onglet « Mesures », puis sur « Axe vertical vers le bas ». Cela permettra d'avoir des vitesses positives sans avoir à utiliser les valeurs absolues.
- Cliquer sur le repère . Sur l'image, cliquer en haut de la règle jaune pour placer l'origine des axes.
- Cliquer sur . Puis cliquer sur les différentes positions du centre jusqu'à la dernière image.
- Dans l'onglet « Résultats », sélectionner « Trajectoire dans un référentiel ». On obtient la chronophotographie de la balle (Attention, la balle semble monter car on a orienté l'axe y vers le bas).

B) Tracé de l'évolution de la vitesse en fonction du temps

- Dans l'onglet « Résultats », cliquer sur « Tableau des valeurs ».
- Dans l'onglet « Edition », cliquer sur « Copier dans le presse-papier ».
- Ouvrir le tableur Excel. Dans la première cellule, coller les valeurs du tableau (Ctrl + V).

Rappel : formule pour calculer la vitesse du point M₂ par exemple : $v_2 = \frac{M_1 M_3}{2 \times \Delta t} = \frac{y_3 - y_1}{2 \times \Delta t}$

Pour calculer la vitesse d'un point, il faut soustraire l'ordonnée du point d'après à celle du point d'avant. Le mouvement est une chute verticale, les abscisses x des positions ne nous intéressent pas ici.

De plus, la vitesse du premier point et celle du dernier point sont inaccessibles car on ne dispose pas de la position du point d'avant ou de celle du point d'après.

- Noter dans la cellule à côté de y_1 : « **vitesse** ». Dans la cellule juste en dessous, noter son unité : m/s.
- Dans cette colonne, sur la ligne correspondant au point n°2, taper la formule permettant de calculer la vitesse de chaque point.

Aide : Ici, on constate que $\Delta t = 0,04$ s. De plus, une formule sur Excel commence par « = ».

- « Tirer la formule » vers le bas (faire effectuer à Excel tous les calculs de la colonne) en cliquant sur le petit carré noir en bas à droite de la cellule et glisser jusqu'à l'**avant-dernier** point.
- Supprimer la valeur du premier temps (0 s) et celle du dernier temps (0,4 s).
- Tracer la courbe « **vitesse en fonction du temps** ».

Pour cela, il faut déplacer les colonnes pour avoir la colonne « Date » (= abscisse) juste **avant** la colonne « vitesse » (= ordonnée), **comme sur l'exemple**.

Rappel : il faut utiliser le graphique : « Nuage de points reliés par une courbe lissée ».

4	Numero	x1	y1	Date	vitesse
5		(m)	(m)	(s)	m/s
6					
7	1	0,08765152	0,04092465		
8	2	0,08655587	0,06583531	0,04	0,82294139
9	3	0,0821733	0,10675996	0,08	1,17880793
10	4	0,08107765	0,16013995	0,12	1,60139946
11	5	0,07998201	0,23487192	0,16	2,00174932

- Donner un titre au graphique.
- Faire un clic droit sur l'un des points du graphique et sélectionner « ajouter une courbe de tendance ».
- Dans la boîte de dialogue, vérifier que la régression « linéaire » est bien cochée. Enfin, cocher « afficher l'équation sur le graphique ».

Appeler le professeur pour qu'il vérifie le graphique, puis l'imprimer en un seul exemplaire.

13) Comment évolue la vitesse au cours du temps ?

14) La balle a-t-elle un mouvement ralenti, accéléré ou uniforme au cours du temps ?

15) Remplacer dans l'équation de la droite y et x par les grandeurs physiques qu'ils représentent.

En Mathématiques, une fonction du type : $f(x) = a x + b$ aura pour fonction dérivée : $f'(x) = a$.

Le coefficient directeur noté « a » de la droite est donc le nombre dérivé de la fonction f au point d'abscisse x .

Les physiciens ont une notation différente des mathématiciens pour les dérivées.

Pour une équation du type : $v = a t + b$, le coefficient directeur « a » se note « $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ». On a donc : $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

16) Combien vaut le coefficient directeur $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ sur votre courbe ?

17) Calculer la valeur de « $m \times \frac{\Delta v}{\Delta t}$ », l'unité est le newton. Comparer cette valeur à celle de son poids **P**.