Activité 0.2 – L'analyse dimensionnelle

Objectifs :
- Comprendre la notion d'équation homogène
- Réaliser de l'analyse dimensionnelle

Contexte : En physique, une relation est correcte si elle est **homogène :** les membres de droites et de gauche de l'égalité doivent être exprimé avec la même **unité.**
→ **Comment vérifier que les deux côté d'une égalité sont bien exprimés dans la même unité ?**

1 Les puissances négatives

Document 1 – Puissance négative

Une puissance indique combien de fois on répète une multiplication. ($3^3 = 3 \times 3 \times 3 = 27$)
Une puissance **négative** correspond à une division par une puissance. $\left(5^{-2} = \dfrac{1}{5^2}\right)$

On a les mêmes règles de calculs avec les unités. $\left(\dfrac{1}{\mathrm{s}} = \mathrm{s}^{-1}, \quad \mathrm{m}^{-3} = \dfrac{1}{\mathrm{m}^3}\right)$

Document 2 – Multiplication d'unité

Quand on multiplie deux unités entre elles, la multiplication est indiquée par un point médian ·
- *Exemple :* $\mathrm{kW} \cdot \mathrm{h} = \mathrm{kW} \times \mathrm{h}$

1 — Relier les valeurs égales entre elles.

4^{-2} •	• $\dfrac{1}{10}$
25^{-1} •	• 0,04
10^{-1} •	• $\dfrac{1}{4^2}$
	• 0,10

2 — Relier les unités égales entre elles.

$\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ •	• $\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
$\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3}$ •	• $\mathrm{m}^3 \cdot \mathrm{s}^{-1}$
$\dfrac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}$ •	• $\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
m/s •	

2 Opérations et unités

Document 3 – Calcul d'une unité

Si une grandeur est le produits de plusieurs grandeurs, son unité est le produit des unités de ces grandeurs.
De même si une grandeur est le quotient de plusieurs grandeurs.

- *Exemple :* Une vitesse $v = \dfrac{d(\mathrm{m})}{\Delta t(\mathrm{s})}$ s'exprime en $\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, c'est-à-dire en m/s ou $\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$.

Pour additionner ou soustraire deux grandeurs, elles doivent être de même unités.
Le résultat du calcul s'exprime dans les même unités que les grandeurs additionnées ou soustraites.

- *Exemple :* La masse d'une molécule d'eau H_2O est la somme de la masse des atomes qui la compose $m_{H_2O} = 2 \times m_H + m_O = 2 \times 1{,}7 \times 10^{-27}\,\text{kg} + 26{,}7 \times 10^{-27}\,\text{kg} = 30{,}1 \times 10^{-27}\,\text{kg}$

3 — Sans calcul, déterminer l'unité du membre de gauche de l'égalité.

Grandeur	Unité
Longueur $L = L_1(\text{m}) + L_2(\text{m}) + L_3(\text{m})$	
Fréquence $f = \dfrac{1}{T(\text{s})}$	
Concentration massique $c = \dfrac{m(\text{kg})}{V(\text{m}^3)}$	
Intensité du courant $I = \dfrac{R_1(\Omega)}{R_1(\Omega) + R_2(\Omega)} \times I_1(\text{A})$	

3 Homogénéité d'une relation

Document 4 – Relation homogène

Une relation entre grandeurs ne peut être correcte que si elle est **homogène.** C'est-à-dire si les membres à droite et à gauche de l'égalité s'exprime avec les **même unités.**

Toute égalité entre deux grandeurs qui ne peuvent pas s'exprimer avec les mêmes unités est donc forcément **fausse.** On dit **qu'elle n'est pas homogène.** Vérifier l'homogénéité d'une équation c'est faire de **l'analyse dimensionnelle.**

4 — Calculer les unités des grandeurs des deux côtés de l'égalité des relations suivantes. Barrer les relations qui **ne sont pas homogènes.**

$$v = \frac{f}{d} \qquad F = G \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$

$$m = m_1 \times m_2 \qquad v = f \times d$$

$$m = c_m \times V \qquad V_0 = \frac{c_{m,1}}{c_{m,0}} V_1$$

Données : unités des différentes grandeurs

Grandeur	Unité
f	s^{-1}
d	m
m	kg

Grandeur	Unité
F	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
G	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
V	L

Grandeur	Unité
c_m	$\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$
t	s
v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

TP 2.1 – Décrire le mouvement

Objectifs :

- Décrire un mouvement.
- Comprendre la notion de référentiel.
- Comprendre que le mouvement dépend du référentiel.

Contexte : En fonction du point de vue avec lequel on observe un objet qui bouge, son mouvement peut changer d'apparence.
→ **Comment décrire le mouvement d'un objet en fonction du référentiel choisi ?**

Document 1 – Un peu de vocabulaire

Système : objet dont on étudie le mouvement.

Trajectoire : ensemble des positions successives occupées par le système.

Le **mouvement** d'un système est donné par la description de sa trajectoire et de l'évolution de sa vitesse.

Document 2 – Type de trajectoires

Trajectoire **rectiligne** : trajectoire représentée par une droite.
Trajectoire circulaire : trajectoire représentée par un cercle.
Trajectoire **curviligne** : trajectoire représentée par une courbe.

Document 3 – Vitesse et accéleration

Vitesse **uniforme** (constante) : le système n'accélère pas.
La vitesse augmente : le système accélère.
La vitesse diminue : le système décélère.
Si la vitesse **est constante et nulle,** on dit que le système est **immobile**.

1 — Compléter les documents 2 et 3.

- Pour la suite de cette activité, vous allez choisir entre l'étude du mouvement des oies ou de la Lune. Vous présenterez ensuite les résultats de votre étude au reste de la classe à l'oral.
- Vous rendrez ensuite une compte-rendu détaillée en suivant les questions sur le **mouvement que vous n'avez pas choisi.** Il faudra donc être attentif-ve à ce que disent vos camarades !

1 Étude du mouvement des oies

Le compteur du bateau affiche une vitesse $v_{\text{bateau}} = 36\,\text{km/h}$.

2 — Pour la personne qui filme les oies, quelle est la vitesse des oies ?

Elle est nulle, l'oie apparaît immobile.

Schématiser la trajectoire des oies si on les observe depuis la berge.

3 — Décrire le mouvement des oies depuis le bateau et depuis la berge.

Depuis le bateau l'oie est immobile. Depuis la berge l'oie a une trajectoire rectiligne uniforme.

2 Étude du mouvement de la Lune

La Lune tourne autour de la Terre a une vitesse $v_{\text{Lune}} = 3\,700\,\text{km/h}$.

4 — Décrire le mouvement de la Lune depuis le point de vue centré sur la Terre.

La Lune a une trajectoire circulaire uniforme.

Schématiser la trajectoire de la Lune depuis le point de vue centré sur la Terre et depuis le point de vue centré sur le Soleil.

3 Notion de référentiel

5 — Convertir la vitesse v_{Lune} en m/s. *Rappel :* $1\,\text{km} = 10^3\,\text{m}$, $1\,\text{h} = 3\,600\,\text{s}$.

$$v_{\text{Lune}} = 3{,}7 \times 10^3 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = 3{,}7 \times 10^3 \times \frac{10^3}{3{,}6 \times 10^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1{,}03 \times 10^3 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6 — Quelle distance la Lune parcours pendant 1 seconde ? Comparer avec la longueur de sa trajectoire, qui est de $2{,}4 \times 10^6\,\text{km}$.

$$d = v_{\text{Lune}} \times 1\,\text{s} = 1{,}03 \times 10^3\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \times 1\,\text{s} = 1{,}03 \times 10^3\,\text{m}$$

Elle a donc parcouru moins d'un millième de sa trajectoire, c'est comme si sur une échelle de 1 mètre on parcourait 1 millimètre.

7 — Peut-on décrire la trajectoire de la Lune en l'observant à l'œil nu pendant 1 seconde ?

Non, car elle n'a presque pas bougé sur sa trajectoire et on ne perçoit donc pas son mouvement.

On voit que le mouvement dépend du point de vue d'observation et du temps passé à observer un objet. Il faut donc bien définir le **référentiel** utilisé pour étudier le mouvement.

Activité 2.1 – Modéliser le mouvement

Objectifs :

- Modéliser le système étudié par un point matériel.
- Comprendre que le mouvement dépend du référentiel choisi.
- Comprendre l'utilisation des vecteurs en physique.

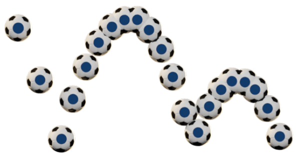
Comp.	Items	D	C	B	A
COM	Travailler en groupe, échanger entre élèves.				

1 Système et référentiel

Document 1 – Modèle du point matériel

Système : objet dont on étudie le mouvement.
On ne va s'intéresser qu'au mouvement global du système. C'est pourquoi on va modéliser le système par Un point de même masse que le système, localisé au centre de masse du système. C'est le **modèle du point matériel.**

- Le modèle du point matériel revient à ignorer toute information sur la géométrie du système étudié. Les éventuelles rotations et déformations ne sont donc pas prises en compte.

Système	Centre de masse	Trajectoire	Informations perdues
 Ballon de foot	Centre de la balle	Curviligne.	La taille de la balle et sa rotation.
 Roue	Centre de la roue	Rectiligne.	La taille de la roue et sa rotation.
 Modèle d'humain	Nombril	Curviligne.	La taille de la personne, le mouvement des bras, des jambes, de la tête.

Document 2 – Référentiel

Pour décrire le mouvement, il faut pouvoir le repérer dans l'espace et dans le temps, pour ça on utilise un référentiel.

> **Référentiel** : objet de référence, muni d'un repère par rapport auquel on étudie le mouvement du système.

> La description du mouvement dépend du **référentiel** choisi. On appelle ça la **relativité** du mouvement.

2 Les vecteurs

Document 3 – Vecteur en physique

> **Vecteur** : objet mathématique représenté par un segment fléché $\longrightarrow$ et noté avec une lettre surmontée d'une flèche $\vec{v}$.
> Un vecteur contient quatre information :
>
> - Une direction.
> - Un sens.
> - Une valeur, ou norme.
> - Une origine.
>
> Un vecteur est **constant** si sa norme, sa direction et son sens sont constants.

En physique on va se servir des vecteurs pour représenter différentes grandeurs : vitesse, force, champ électromagnétique, aimantation, accélération, etc.

Un vecteur n'est **jamais** égal à un nombre, qui contient moins d'information.

Document 4 – Opération sur les vecteurs

Même si les vecteurs ne sont pas des nombres, on peut effectuer des **opérations** avec. Cette année on ne réalisera que des opérations graphique.

Addition	Multiplication par un nombre	Soustraction

> Le **vecteur nul,** noté $\vec{0}$, est le vecteur de valeur nulle. On l'obtient en soustrayant un vecteur par lui même $\vec{a} - \vec{a} = \vec{0}$.

TP 2.2 – Chute d'une balle

Objectifs :

- Comprendre la notion de vecteur vitesse.
- Tracer des vecteurs vitesses.

Contexte : Quand on change de référentiel, la description du mouvement s'en trouve modifié. Par exemple, la trajectoire d'une balle qui tombe dans un référentiel mobile et totalement différente en fonction du référentiel choisi.
→ **Quel est l'impact du référentiel choisi sur le mouvement ?**

Document 1 – Chronophotographie de la chute d'une balle

La superposition de plusieurs images prises les unes après les autres avec un intervalle de temps régulier est une **chronophotographie**.
Pour étudier une chronophotographie, on va utiliser **FizziQ,** une application qui permet de mesurer des grandeurs avec un smartphone. Une fois dans l'application Fizziq, il faut cliquer sur **Analyse cinématique** dans le menu **Mesures**. Puis choisir **Chronophotographie** et ensuite **Chute libre**.
Une fois dans la chronophotographie, il faut

- régler l'échelle des distances en utilisant la règle de référence de 1 m ;
- appuyer sur **Pointage** ;
- repérer la position de la balle en faisant glisser le curseur rouge dessus ;
- toucher l'écran pour enregistrer la position de la balle ;
- répéter l'opération pour chaque position de la balle ;
- appuyer sur **Résultats** ;
- choisir T(s), y(m) et V_y(m/s), pour avoir le temps, la position et la vitesse verticale.

On arrive alors dans le cahier de mesures, qui contient les mesures réalisées et permet de les tracer.

Télécharger l'application FizziQ en scannant le QR code du document 1.

Réaliser le protocole du document 1, puis tracer la position y en fonction du temps T.

1 — Une fois dans le graphique, appuyer sur **modélisation**, est-ce que le modèle linéaire $y = a\,t + b$ passe près des points et décrit bien la position en fonction du temps ?

Non, la courbe ne passe pas à proximité de tous les points.

2 — Appuyer de nouveau sur **modélisation,** est-ce que le modèle quadratique $y = a\,t^2 + b\,t + c$ décrit bien la position en fonction du temps ? Noter la valeur du coefficient a.

Oui la courbe passe à proximité de tous les points, et $a = 4{,}85\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$

3 — Tracer maintenant la vitesse V_y en fonction du temps T. Quel modèle décrit mieux la vitesse en fonction du temps ? Noter la valeur du coefficient a.

C'est un modèle linéaire qui décrit le mieux la vitesse verticale en fonction du temps, $a = 9{,}8\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Document 2 – Vecteur

Vecteur : objet mathématique représenté par un segment fléché ➞ et noté avec une lettre surmontée d'une flèche $\vec{v}$. Un vecteur contient quatre information :

- une **direction**
- un **sens**
- une **norme**
- une **origine**

Un vecteur est **constant** si sa direction, son sens et sa norme ne varie pas pendant le mouvement.

On peut aussi représenter un vecteur avec des **coordonnées** dans un référentiel. C'est ce qui est fait dans Fizziq : comme les vecteurs sont en 2 dimensions, ils sont représentés par 2 nombres.

- La position $\vec{P} = (x, y)$.
- La vitesse $\vec{V} = (V_x, V_y)$.

où x représente l'axe horizontal et y l'axe vertical.

Document 3 – Mouvement de la chute d'une balle dans un référentiel en mouvement

Pour étudier la chute d'une balle en mouvement, on va réaliser une vidéo où quelqu'un tient une balle, court, puis lâche la balle en courant.
Une fois la vidéo réalisée, on va l'analyser avec FizziQ, en cliquant sur **Analyse cinématique** dans le menu **Mesures**, puis sur **Cinématique par vidéo** et ensuite sur **Mes vidéos**.
Finalement, il ne reste plus qu'à **répéter le protocole du document 1,** pour repérer la position de la balle au cours du temps.

Par groupe de 3, réaliser le protocole du document 3, puis sauvegarder le temps T, la position verticale y et la vitesse verticale V_y.

4 — Tracer le graphique de $y(T)$. La trajectoire est-elle identique à celle de la chute libre ?

Non, mais on retrouve une trajectoire avec la même forme que dans le cas immobile.

5 — En utilisant l'outil de modélisation, quel est le meilleur modèle pour décrire la position y ? Linéaire ou quadratique ? Noter la valeur du coefficient a.

Le meilleur modèle est le quadratique, on trouve $a = 4{,}75\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$

6 — Même question pour la vitesse V_y.

Le meilleur modèle est le modèle linéaire, avec $a = 9{,}9\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

7 — Comparer la chute libre et la chute en mouvement : est-ce que la position y et la vitesse V_y suivent des modèles différents ?

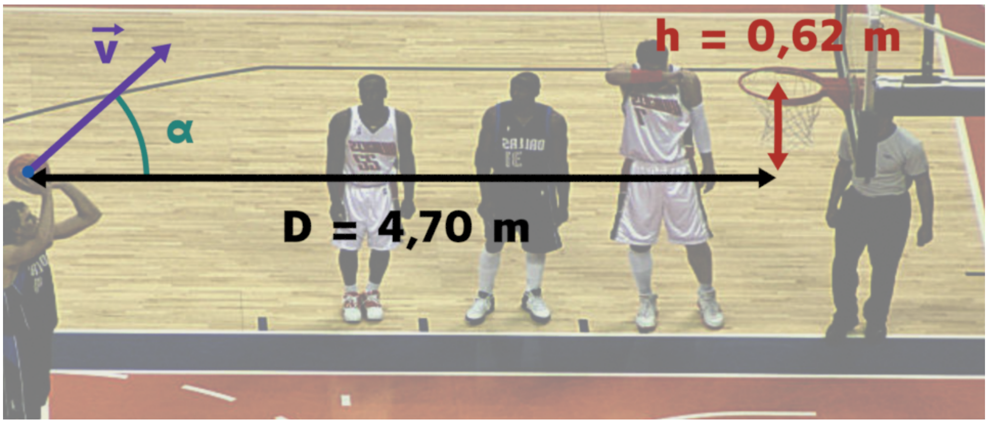
Non, on retrouve les mêmes modèles, ce qui a changé c'est qu'il y a une vitesse horizontale en plus !

Activité 2.2 – Réussir un lancer franc

Objectifs :

- Utiliser des outils numériques pour analyser un mouvement.

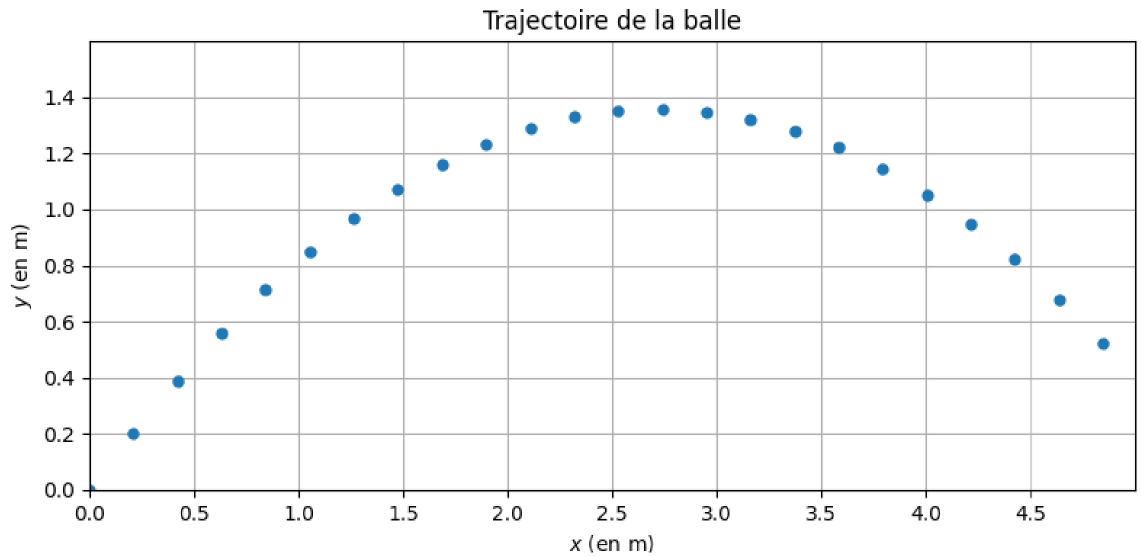
Document 1 – Lancer franc au basket



Document 2 – Programme python pour tracer la trajectoire

```python
# Pour avoir des modules de calculs et d'affichage
import numpy as np                  # calcul
import matplotlib.pyplot as plt # affichage

# calcul de la trajectoire selon x et y
def positionX (v0, alpha, t) : # v0 t cos(alpha)
    return v0 * t * np.cos (alpha * np.pi / 180)
def positionY (v, alpha, t) :  # -g t^2 /2 + v0 t sin(alpha)
    return -9.81/2*(t**2) + (v0 * t)*np.sin (alpha * np.pi / 180)

# Vitesse et angle initial, nombre de points a calculer
v0 = float (input ("Valeur de la vitesse initiale v0 (m/s) = "))
alpha = float (input ("Valeur de l'angle de départ (°) = "))
points = 50

# calcul des positions x et y
x, y = [],[]               # initialisation des positions
deltaT = 2 / (points - 1) # temps entre 2 points
for i in range(points) :  # pour chaque position i
  x.append (positionX (v0, alpha, i * deltaT)) # calcul de l'abscisse en mètre
  y.append (positionY (v0, alpha, i * deltaT)) # calcul de l'ordonnée en mètre

# réglage du graphique
plt.xlabel (r"$x$ (en m)")                # légende de l'abscisse
plt.ylabel (r"$y$ (en m)")                # légende de l'ordonnee
plt.title ("Trajectoire de la balle") # titre du graphique
# tracé des points repérés et des vecteur vitesses
plt.plot (x, y, "o", markersize = 5) # affiche des points rond ('o'), taille 4
plt.xlim (0, 5.0)                    # limite du graphique selon x
plt.ylim (0, 1.6)                    # limite du graphique selon y
plt.xticks (np.arange(0, 5, 0.5))    # finesse de la grille selon x
plt.yticks (np.arange(0, 1.6, 0.2))  # finesse de la grille selon y
plt.grid ()                          # affichage de la grille
plt.show ()                          # affichage du graphique
```

Document 3 – Exemple de trajectoire tracée par le programme



1 — Dans le programme python du document 2, repérer les lignes de code permettant de calculer la position de la balle.

Ce sont les lignes 20 à 21, qui appellent les fonctions des lignes 6 à 9.

2 — Dans le programme python du document 2, repérer les lignes de code permettant de choisir la valeur de la vitesse v_0 ainsi que la valeur de l'angle α.

Ce sont les lignes 12 et 13.

3 — D'après les documents 1 et 2, quelles sont les valeurs des coordonnées $(x; y)$ que doit atteindre le ballon pour que le panier soit marqué ? Schématiser ce point sur le graphique du document 3.

$(4{,}70; 0{,}62)$

4 — Exécuter le fichier python pour tracer la trajectoire du ballon de Basket. Chercher des valeurs pour v_0 et α permettant de faire rentrer le ballon dans le panier.

$v_0 = 7,3$ et $\alpha = 45$ ou $v_0 = 7,6$ et $\alpha = 60$

Document 4 – Vecteur vitesse

Le **vecteur vitesse** $\vec{v_2}$ d'un système au point P_2 entre les instants t_1 et t_3 a pour expression

$$\vec{v_2} = \frac{\overrightarrow{P_1P_3}}{t_3 - t_1} \quad \text{en} \quad \text{m/s}$$

Le vecteur vitesse $\vec{v_2}$ est caractérisé par :

- Une origine : P_2.
- une direction : parallèle au segment P_1P_3 et tangent à la trajectoire.
- Un sens : le sens du mouvement.
- Une norme : $v_2 = \left\| \frac{\overrightarrow{P_1P_3}}{t_3 - t_1} \right\| = \frac{P_1P_3}{t_3 - t_1}$.

Le **vecteur déplacement** $\overrightarrow{P_1P_3}$ est caractérisé par

- Une origine : le point P_1.
- une direction : celle de la droite P_1P_3.
- Un sens : de P_1 vers P_3.
- Une norme : la distance P_1P_3 en mètre m.

Tracer les vecteurs vitesses $\overrightarrow{v_2}$, $\overrightarrow{v_6}$ et $\overrightarrow{v_{10}}$ sur le doc. 3.

Activité 2.3 – Modéliser une action par une force

Objectifs :

- Comprendre la notion de force.
- Connaître des exemples de forces.

Document 1 – Force et action mécanique

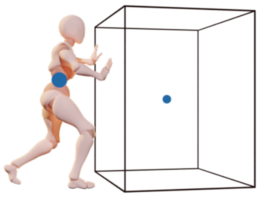
Un corps exerce une **action mécanique** sur un système étudié s'il est capable d'en modifier le mouvement.

Une action mécanique est modélisée par une **force.**

La force exercée par un corps A sur un corps B est représentée par un vecteur $\vec{F}_{A/B}$. Ce vecteur possède les caractéristiques suivantes :

- Une **valeur** notée $F_{A/B}$, qui s'exprime en newton noté N.
- Une **direction** et un **sens** qui dépendent de la situation.
- Une **origine**, appelée **point d'application** : le centre du système B.

Une personne pousse un carton. Représenter la force $\vec{F}_{\text{personne/carton}}$ qu'exerce la personne sur le carton.



Document 2 – Exemples de forces

On distingue 2 types d'actions :

- les **actions de contact** (contact entre l'objet qui donne la force et l'objet qui la reçoit),
- les **actions à distance** (pas de contact).

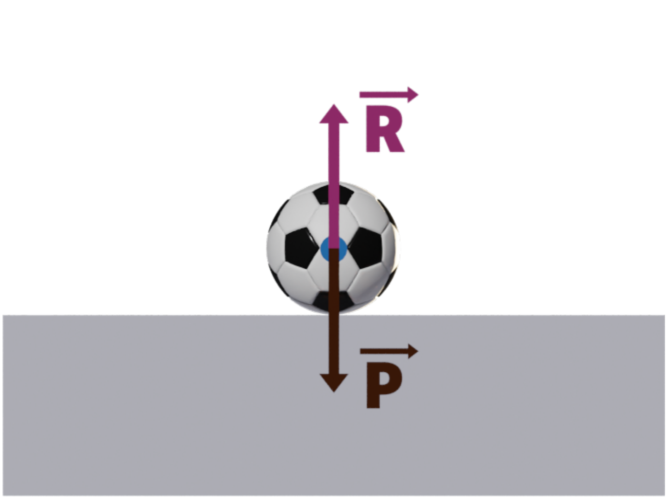
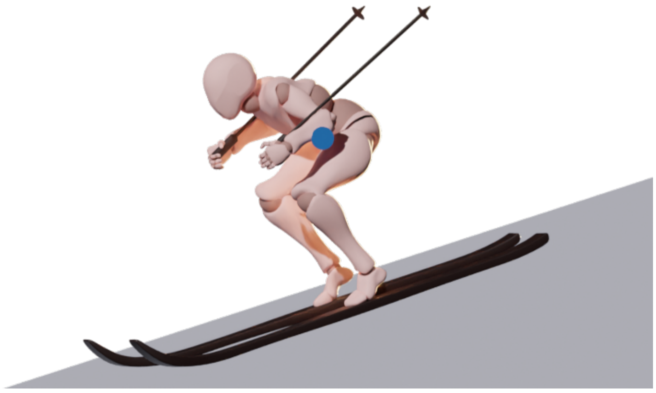
Force	Valeur	Direction, sens
poids $\vec{P}$	$P = m \times g$	verticale, vers le bas
réaction du support $\vec{R}$	égale au poids $R = P$	perpendiculaire au support, vers le haut
frottements $\vec{f}$	dépend du cas étudié	opposés à la vitesse $\vec{v}$

- $\vec{P}$ représente l'interaction gravitationnelle de la Terre.
- $\vec{R}$ représente l'action exercée par le support sur un objet posé dessus.
- $\vec{f}$ représentent l'action d'un milieu (gaz, liquide, support solide).

⚠ Si un objet est **immobile par rapport au milieu,** il n'y a pas de frottements.

1 — Parmi les forces $\vec{P}$, $\vec{R}$ et $\vec{f}$, indiquer celles qui modélisent une action de contact et celles qui modélisent une action à distance.

La réaction du support et les frottements sont des actions de contact. Le poids est une action à distance.

Ballon	Parachutiste
	
Cycliste	**Skieuse**
	

En vous aidant des documents 1 et 2, compléter le tableau :

- Schématiser la ou les forces entrant en jeu, en faisant attention à leurs points d'application.
- Tracer la somme de toutes les forces entrant en jeu.

⚠ Pour tracer la somme de trois forces, il faut d'abords faire la somme de deux forces, puis utiliser le vecteur obtenu pour l'additionner avec la troisième force.

⚠ Si deux vecteurs ont la même longueur, la même direction, mais un sens opposé, alors leur somme est le vecteur nul. Dans ce cas, on ne trace pas de flèche, mais on note $\vec{0}$ à côté du point d'application du vecteur nul (le centre de masse donc).

Activité 2.4 – Le principe d'inertie

Objectifs :

- Comprendre la notion d'inertie
- Comprendre le principe d'inertie.

Document 1 – Inertie d'un corps

> **L'inertie** est la tendance qu'ont les corps à rester dans le même état (repos ou mouvement), en l'absence de forces appliquées.

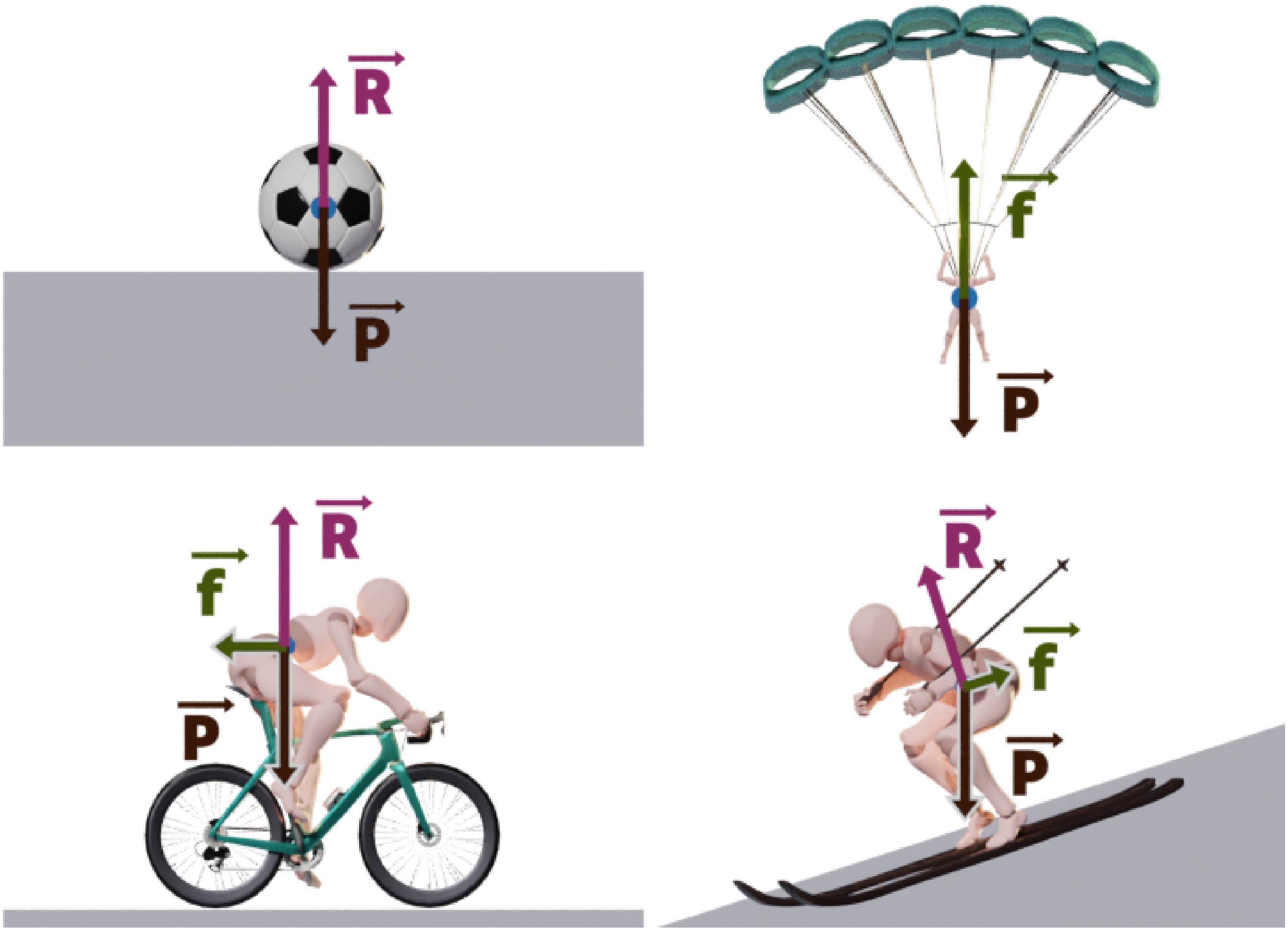
C'est la masse qui mesure l'inertie : plus un objet a une masse élevée et plus il a de l'inertie. Donc plus un objet est lourd, plus il faut exercer une force importante pour changer son mouvement.

- *Exemple :* Faire rouler un caddie vide est facile, mais c'est plus difficile quand il est rempli !

Document 2 – Forces qui se compensent

> On dit que des forces se compensent si leur somme est égale au vecteur nul $\vec{0}$.

Pour que la somme de deux vecteurs soit nulles, il faut qu'ils aient même **direction,** même **valeur,** mais un **sens opposé.** Pour la somme de trois vecteurs, on commence par sommer deux vecteurs, puis on somme le vecteur obtenu avec le troisième restant.



↑ Ballon de foot immobile, parachutiste qui tombe à une vitesse constante, cycliste qui freine, skieuse qui avance à une vitesse constante.

1 — Pour quels systèmes du document 2 les forces se compensent-elles ?

Dans les quatres situations on a des forces qui se compensent, avec une somme des vecteurs nulle.

2 — Quel est le mouvement du système dans chaque cas où les forces se compensent ?

Soit le système est immobile, soit sa vitesse est rectiligne uniforme.
Dit autrement, pour faire bouger un objet ou pour modifier sa trajectoire, il faut qu'il soit soumis à des forces.

Document 3 – Le principe d'inertie et sa contraposée

› Le **principe d'inertie** a été formulé pour la première fois par Newton en 1687. Newton s'appuyait sur les travaux de Descartes et de Galilée, et parfois on appelle ce principe la **première loi de Newton**. Sa formulation moderne est la suivante :

> Si les forces qui s'exercent sur un système se compensent, alors ce système est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme.

> Réciproquement, si un système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme, alors les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

3 — Comment varie $\vec{v}$ pour un système qui a un mouvement rectiligne uniforme ? En déduire la variation de $\vec{v}$ pour un système soumis à des forces qui se compensent.

Le vecteur vitesse est constant pour un mouvement rectiligne uniforme. Donc le vecteur vitesse est constant si le système est soumis à des forces qui se compensent.

Document 4 – Principe d'inertie et vitesse

> Le principe d'inertie dit que si le vecteur vitesse est constant sur toute la trajectoire, alors les forces exercées sur le système se compensent.

Activité 2.5 – Principe des actions réciproques

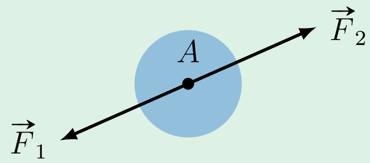
Objectifs :

- Analyser et schématiser un système en mouvement
- Utiliser le principe d'inertie
- Comprendre le principe des actions réciproques

Document 1 – Forces qui se compensent

On dit que les forces exercées sur un système **se compensent**, si leur somme vectorielle est nulle (égale à $\vec{0}$ le vecteur de norme nulle).
La somme de deux vecteurs est nulle s'ils ont

- **même point d'application,**
- **même direction,**
- **même norme ou valeur,**
- mais des **sens opposés.**



$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$, les forces exercée sur le système A se compensent.

Document 2 – Rappel de certaines forces

- Le poids $\vec{P}$, qui attire tous les objets vers le sol.
- La réaction du support $\vec{R}$, qui empêche les objets de traverser une surface. Elle est de même valeur que le poids, mais sa direction est perpendiculaire à la surface du support.
- Les frottements $\vec{f}$, qui s'opposent au mouvement d'un objet qui se déplace dans un fluide. Il **n'y a pas** de frottements sur un objet immobile.

Document 3 – Ballon lancé depuis un skateboard


Avant le lancer


Pendant le lancer


Après le lancer

→ Quelle est la force qui met en mouvement la personne sur le skateboard ?

1 — Décrire le mouvement du système A « personne sur le skateboard », avant, pendant et après le lancer du ballon. Faire de même pour système B « ballon » avant, pendant et après le lancer.

2 — Lister toutes les forces qui s'exercent sur le système A avant, pendant et après le lancer. Faire de même pour le système B.

Schématiser les forces qui s'exercent sur les systèmes A et B, avant, pendant et après le lancer du ballons.

Activité 2.6 – Forces d'interaction gravitationnelle

Objectifs :

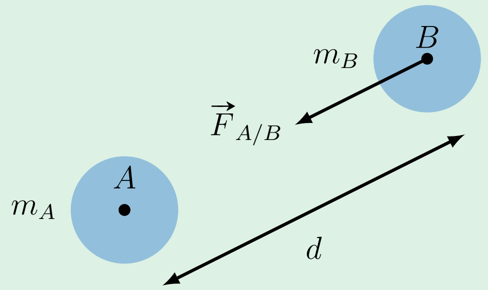
- Connaître la force d'interaction gravitationnelle

Document 1 – Force d'interaction gravitationnelle

> Tous les corps qui possèdent une masse s'attirent entre eux : c'est l'attraction gravitationnelle.

On modélise l'attraction gravitationnelle exercée par le corps A sur le corps B par une force représentée par un vecteur $\vec{F}_{A/B}$:

- **Point d'application** : centre du corps B
- **Direction** : la droite AB.
- **Sens** : de B vers A (force attractive).
- **Valeur** :



$$F_{A/B} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

Dans la formule de la valeur de la force, les masses s'expriment en kilogramme (kg), la distance en mètre (m) et la **constante universelle de gravitation G** en newton mètre carrée par kilogramme carrée ($\mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$). Sa valeur (à connaître) est

$$G = \mathbf{6{,}67 \times 10^{-11}\,N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$$

1 — Compléter le document 1.

2 — Donner des exemples d'actions mécaniques qu'on rencontre dans la vie quotidienne.

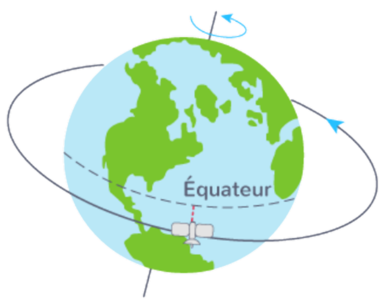
Faire du vélo, tenir un stylo, porter son sac, tourner un guidon, etc.

3 — Est-ce que ce sont des actions de contact, ou à distance ?

Ce sont des actions de contact, il faut toucher les objets pour agir sur eux, alors que l'interaction gravitationnelle est une action à distance.

Document 2 – Satellite Hubble

Le satellite Hubble est un satellite de masse $m_H = 1{,}1 \times 10^4\,\mathrm{kg}$ conçu par la NASA avec une participation de l'Agence spatiale européenne, l'ESA.
Le satellite est attirée par la terre : il est en chute libre permanente.
Le satellite est opérationnel depuis 1990 et tourne autour de la Terre en 96 min. Vu depuis le centre de la Terre, il a un mouvement circulaire uniforme à une altitude **h = 590 km.**
Ce satellite contient un télescope qui permet d'observer les étoiles et objets de l'univers depuis l'espace !



Sur le schéma ci-dessous, représenter la force d'interaction gravitationnelle $F_{T/H}$ exercée par la Terre T sur le satellite Hubble H. La Terre est assimilée à une boule de rayon $R_T = 6\,370\,\mathrm{km}$ et de masse $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\,\text{kg}$.

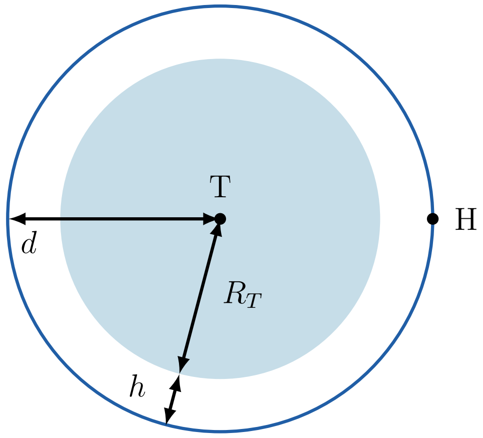


Schéma du satellite Hubble H autour de la Terre T, les distances ne sont pas à l'échelle.

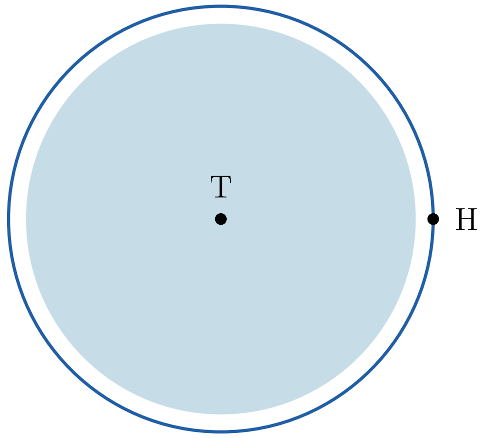


Schéma avec les distances à l'échelle.

4 — Donner la formule mathématique qui relie la valeur de la force $F_{T/H}$ et la masse du satellite m_H, la masse de la Terre M_T, la constante G et la distance d.

$$F_{T/H} = G \times \frac{m_H \times M_T}{d^2}$$

5 — Exprimer d en fonction de R_T et h. Calculer la valeur de d en mètre.

$$d = R_T + h$$

6 — Calculer la valeur de $F_{T/H}$.

$$F_{T/H} = G \times \frac{m_H \times M_T}{d^2} = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \times \frac{1{,}1 \times 10^4\,\text{kg} \times 5{,}97 \times 10^{24}\,\text{kg}}{(6{,}37 \times 10^6 + 590 \times 10^3)^2 \text{km}^2} = 9{,}04 \times 10^4\,\text{N}$$

TP 2.3 – Poids et interaction gravitationnelle

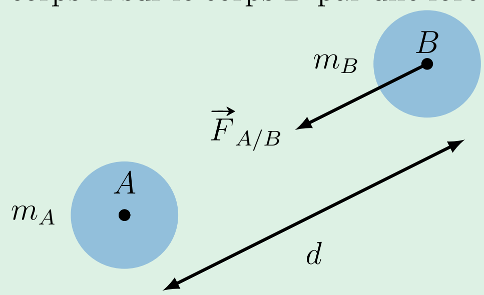
Objectifs :

- Comprendre le lien entre la force d'interaction gravitationnelle et le poids

Document 1 – Force d'interaction gravitationnelle

> Tous les corps qui possèdent une masse s'attirent entre eux : c'est l'attraction gravitationnelle.

On modélise l'attraction gravitationnelle exercée par le corps A sur le corps B par une force représentée par un vecteur $\vec{F}_{A/B}$:



- **Point d'application** : centre du corps B
- **Direction** : la droite AB.
- **Sens** : de B vers A (force attractive).
- **Valeur** :

$$F_{A/B} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

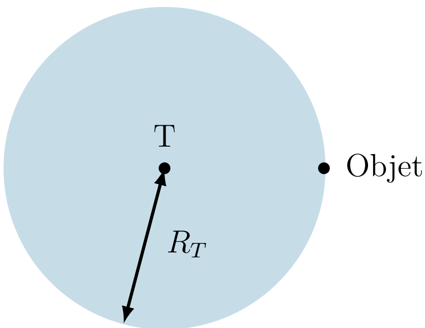
Dans la formule de la valeur de la force, les masses s'expriment en kilogramme (kg), la distance en mètre (m) et la **constante universelle de gravitation G** en newton mètre carrée par kilogramme carrée ($\mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$). Sa valeur (à connaître) est

$$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$$

Document 2 – La planète Terre

La Terre est la troisième planète du système solaire. En première approche, on peut considérer que la Terre est une boule de rayon $R_T = 6{,}37 \times 10^6\,\mathrm{m}$ et de masse $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$.

On cherche à calculer la force d'interaction gravitationnelle qu'exerce la Terre sur un objet de masse m **à la surface de la Terre**.



↑ Représentation de la Terre avec un objet à sa surface

1 — Donner la formule littérale de la valeur de la force d'interaction gravitationnelle $F_{T/objet}$ qu'exerce la terre sur l'objet.

$$F_{T/objet} = G \times \frac{m \times M_T}{R_T^2}$$

2 — Rappeler la formule littérale du poids P que la Terre exerce sur un objet de masse m sur Terre. Rappeler la valeur de g

$$P = m \times g$$

g = 9,81 N

3 — Dans l'expression de $F_{T/objet}$, on va regrouper tous les termes qui sont constant sur Terre et les noter g. Donner la formule littérale de g en fonction de M_T, R_T et de G.

$$F_{T/objet} = G \times \frac{m \times M_T}{R_T^2} = m \times \frac{G \times M_T}{R_T^2} = m \times g$$

Et donc

$$g = \frac{G \times M_T}{R_T^2}$$

4 — Calculer la valeur numérique de g. En déduire le lien entre le poids P et $F_{T/objet}$.

$$g = \frac{G \times M_T}{R_T^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}} \times 5{,}97 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}}{(6{,}37 \times 10^{6}\,\mathrm{m})^2} = 9{,}813\,\mathrm{N \cdot kg^{-1}}$$

On voit donc que le poids est simplement l'interaction gravitationnelle de la Terre sur un objet à la surface de la Terre.

Activité 2.7 – Vol d'oie et saut en parachute

Objectifs :
- Remobiliser les notions de référentiel, forces, vitesses
- Utiliser le principe d'inertie pour calculer des forces

Document 1 – Référentiel terrestre

Sur Terre on utilise souvent le **référentiel terrestre** pour étudier des mouvements. Ce référentiel est lié à la surface de la Terre.

C'est le référentiel auquel on fait spontanément référence quand on mesure une vitesse de déplacement.

Exercice 1 : Vol d'une oie

Document 1 – Vol d'oie et portance

On considère que deux forces s'exercent sur une oie qui plane avec un mouvement rectiligne uniforme : son poids et la portance de l'air. L'étude se fait dans le référentiel terrestre et on néglige les forces de frottements ($\vec{f} \approx \vec{0}$).

Données :
- Masse de l'oie $m = 400\,\text{g}$.
- Accélération de la pesanteur terrestre $g = 9{,}81\,\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1 — Les forces exercées sur l'oie se compensent-elles ? Justifier en utilisant son mouvement et le principe d'inertie.

Comme l'oie a un mouvement rectiligne uniforme, d'après le principe d'inertie, les forces qui se compensent sur elle se compensent.

2 — En déduire une relation entre les valeurs de ces deux forces.

Comme ces deux forces se compensent, elles doivent avoir la même valeur, donc $P = F_{\text{air}}$.

3 — Calculer la norme du poids P de l'oie.

$$P = m \times g = 0{,}400\,\mathrm{kg} \times 9{,}81\,\mathrm{N\cdot kg^{-1}} = 3{,}924\,\mathrm{N}$$

4 — En déduire la norme de la force de portance F_{air}.

On a $F_{\mathrm{air}} = P = 3{,}924\,\mathrm{N}$.

5 — Représenter la situation sur un schéma, en modélisant l'oie par un point matériel et en représentant les forces qui s'exercent sur elle, sans souci d'échelle.

Exercice 2 : Saut en parachute

Document 1 – Freinage d'un parachute à l'ouverture

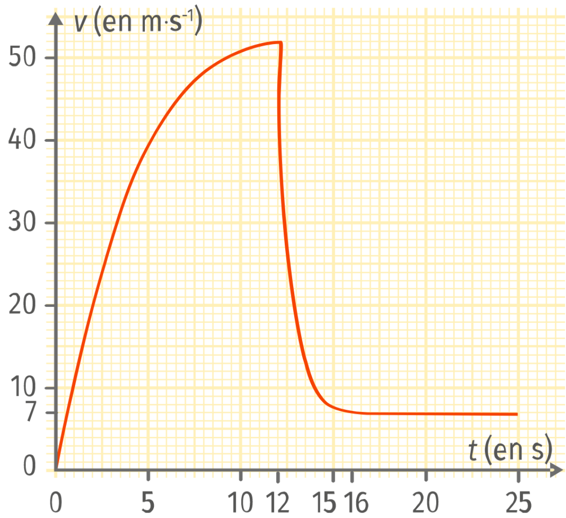
Une parachutiste saute sans vitesse initiale d'un hélicoptère en vol stationnaire. Après quelques secondes en chute libre, elle ouvre son parachute. Les frottements dus à l'air sur la toile s'expriment par une force opposée au mouvement.
Dans ce cas la norme de cette force est proportionnelle au carré de la vitesse

$$f = k \times v^2$$

avec f la force de frottements, k le coefficient de frottements et v la vitesse du système.

Données :

- Masse du système (parachutiste + parachute) $m = 90\,\mathrm{kg}$.
- Accélération de la pesanteur terrestre $g = 9{,}81\,\mathrm{N\cdot kg^{-1}}$.



Vitesse du système en fonction du temps.

1 — Décrire les trois phases du mouvement, la trajectoire étant tout le temps rectiligne.

On a un mouvement rectiligne accéléré entre 0 et 12 secondes, puis rectiligne décéléré entre 12 et 16 secondes, puis rectiligne uniforme de 16 à 25 secondes.

2 — Que se passe-t-il à 12 s pour que la vitesse diminue aussi rapidement ?

Le parachute s'ouvre, ce qui augmente brusquement les frottements de l'air.

3 — Lorsque le parachute est ouvert, $k = 10\,\mathrm{N\cdot s^2\cdot m^{-2}}$. Calculer l'intensité (la valeur) de la force de frottements à l'instant où la parachutiste ouvre son parachute.

$$f = k \times v^2 = 10\,\mathrm{N\cdot s^2\cdot m^{-2}} \times (52\,\mathrm{m\cdot s^{-1}})^2 = 27\,040\,\mathrm{N}$$

4 — En utilisant le principe d'inertie, expliquer le mouvement à partir de l'instant $t = 16\,\mathrm{s}$.

À partir de 16 secondes, les frottements de l'air compensent le poids et le mouvement devient rectiligne uniforme.

Document 2 – Vitesse de chute libre

Pour un objet tombant dans le vide sans vitesse initiale, sa vitesse au moment de toucher le sol vaut

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \text{ou} \quad h = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

où g est l'accélération de pesanteur terrestre et h la hauteur du point de chute.

5 — En utilisant la relation entre la hauteur h et la vitesse v, calculer la hauteur de laquelle il faudrait tomber pour atteindre la vitesse du parachutiste à l'instant $t = 20\,\mathrm{s}$.

Pour $t = 20\,\mathrm{s}$, $v = 7\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, donc $h = \dfrac{7^2}{2 \times 9,81}\mathrm{m} = 2{,}5\,\mathrm{m}$.

6 — En utilisant la même relation entre la hauteur h et la vitesse v, calculer la hauteur de laquelle il faudrait tomber pour atteindre la vitesse du parachutiste à l'instant $t = 12\,\mathrm{s}$. Conclure sur l'intérêt du parachute.

Pour $t = 12\,\mathrm{s}$, $v = 52\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, donc $h = \dfrac{52^2}{2 \times 9,81}\mathrm{m} = 137{,}8\,\mathrm{m}$.
Donc avec le parachute ouvert c'est « comme si » on tombait d'un escabeau, alors que sans le parachute c'est comme si on tombait d'un gratte-ciel.