

P3-3: Deuxième loi de Newton

Interactions	
Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Notion de référentiel galiléen. Actions mécaniques sur un objet en mouvement. Lois de Newton. Notions mathématiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - addition de vecteurs ; - projection orthogonale d'un vecteur sur un axe. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifier et caractériser des actions mécaniques sur un objet. - Modéliser une action mécanique par une force. - Établir un bilan de forces. - Effectuer un bilan quantitatif de forces pour un système à l'équilibre ou en mouvement rectiligne uniforme. - Dans le cas d'un mouvement plan, utiliser la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées au système : <ul style="list-style-type: none"> o pour en déduire une estimation de la variation de vitesse sur un intervalle de temps, les forces appliquées au système étant connues ; o pour en déduire une estimation des forces appliquées au système, le comportement cinématique étant connu. - Citer et exploiter la seconde loi de Newton dans le cas d'un mouvement rectiligne.
<p>Exemples de forces s'exerçant sur un objet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - poids ; - force d'interaction gravitationnelle ; - poussée d'Archimède ; - force de frottement fluide ; - force exercée par un support. <p>Notion mathématique : primitives des polynômes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Citer et exploiter l'expression du poids et de la force d'interaction gravitationnelle. - Exploiter l'expression de la poussée d'Archimède et de forces de frottement. - Estimer l'ordre de grandeur des forces en présence et les comparer. - Caractériser un mouvement de chute libre verticale. - Établir la loi d'évolution de la vitesse et de la position en fonction du temps dans le cas du modèle de la chute libre verticale. - Exploiter des résultats expérimentaux pour expliquer l'effet d'un frottement et de la poussée d'Archimède sur une chute verticale en les confrontant au modèle de la chute libre. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole pour confronter des résultats expérimentaux au modèle de la chute libre. - Mettre en œuvre un protocole pour mesurer une force de frottement fluide et en déduire la viscosité du fluide.

1. Deuxième loi de Newton

L'essentiel du cours...

La seconde loi de Newton permet de lier l'accélération du centre d'inertie d'un objet à la résultante (= somme vectorielle) des forces extérieures appliquées à cet objet.

Énoncé : « Dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures appliquées à un objet est égale au produit de la masse de l'objet par son accélération »

Expression :
$$\vec{\Sigma} = m \times \vec{a}$$

Comment interpréter cette relation : - La flèche vectorielle signifie que l'objet est accéléré dans la direction et dans le sens des forces appliquées.

- Pour une même force appliquée, un objet de masse élevée sera moins accéléré qu'un objet de masse plus faible.

Application 1 : Cas d'un objet en mouvement rectiligne

On reprend l'exemple du skieur ($P = 600 \text{ N}$, $m = 60 \text{ kg}$) sur une pente (\rightarrow cours P3-2). Mais cette fois le skieur a farté ses skis pour mieux glisser et on peut négliger les forces de frottement dues à l'air et à la piste. On veut déterminer l'expression de son accélération :

1— On fait un schéma de la situation et on représente les vecteurs.
Ici, comme le skieur reste sur la piste on peut écrire que : $\vec{P}_x + \vec{R}_N = \vec{0}$
(Attention, on rappelle que les lettres en **gras** représentent des vecteurs)

2— On exprime la résultante des forces avec les coordonnées des forces :

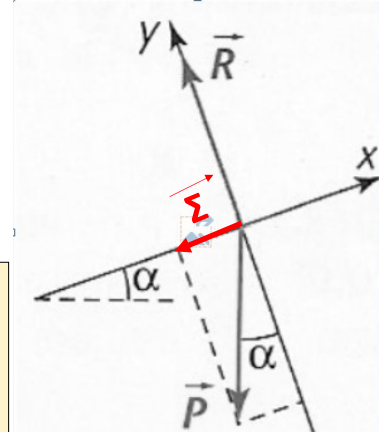
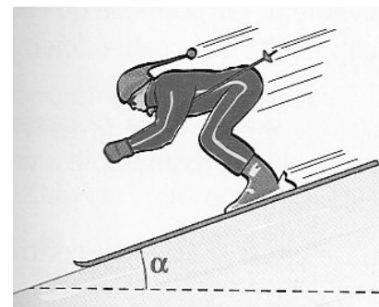
$$\vec{\Sigma} = \vec{P} + \vec{R}_N = \begin{Bmatrix} -P_x \\ -P_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ R_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -P_x \\ 0 \end{Bmatrix}$$

3— On utilise la seconde loi de Newton pour déterminer les coordonnées du vecteur accélération :

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Sigma}}{m} = \begin{Bmatrix} \frac{-P_x}{m} \\ \frac{0}{m} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -P_x/m \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -600 \times \sin 20^\circ / 60 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -3,4 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Le skieur est accéléré de $3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ dans le sens des x décroissants c'est-à-dire vers le bas de la pente.

Le travail avec les coordonnées des vecteurs peut paraître compliqué mais en fait, on travaille indépendamment sur chaque axe.



Remarque 1 : Pour résoudre ce type d'exercice, il est crucial de bien comprendre la situation et de bien représenter les forces. Si ce travail est fait correctement, le reste de l'exercice est facile.

Remarque 2 : Attention à l'expression des coordonnées des forces. Les vecteurs sont ajoutés. Par contre, leurs coordonnées peuvent être négatives si les vecteurs sont de sens opposés à celui des axes.

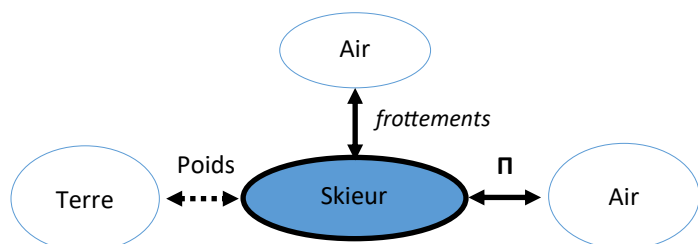
Remarque 3 : Dans le calcul de l'accélération, on divise par m chacune des coordonnées. On a le droit de le faire car la masse est une grandeur algébrique (c'est un nombre, pas un vecteur).

Application 2 : Saut à ski

Un skieur de 80 kg s'élance sur un tremplin et réalise un saut.

1— Faire un bilan des forces au cours du saut

Au cours du saut, le skieur est soumis à son poids, au frottements de l'air et à la poussée d'Archimède.



La vitesse étant relativement faible, on peut négliger les frottements.

La masse volumique du skieur étant très supérieure à celle de l'air, on peut négliger la poussée d'Archimède.

Le skieur n'est donc soumis qu'à son poids.

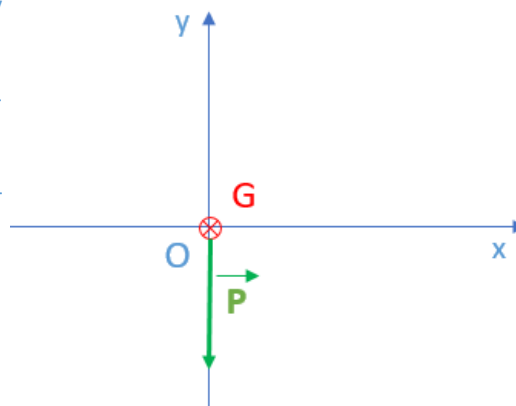
2— Faire un schéma de la situation en représentant le skieur à un instant quelconque de son saut.

Choisir un repère (Oxy) adapté et exprimer les coordonnées de la résultante des forces dans ce repère.

Le skieur n'étant soumis qu'à son poids, on choisit d'orienter l'axe Oy verticalement et vers le haut (dans la direction du poids).

L'axe Ox est donc orienté horizontalement et on choisit que le sens positif sera vers la droite.

Pour représenter le poids, on place le centre de gravité du skieur à l'origine du repère (cela facilite la détermination des coordonnées).



Dans ce repère, les coordonnées du poids sont :

$$\vec{P} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -m \times g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -80 \times 9,8 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -784 \text{ N} \end{Bmatrix}$$

Dans la mesure où le poids est la seule force, la résultante des forces est égale au poids : $\Sigma = P$

3— Déterminer les coordonnées du vecteur accélération.

On applique la seconde loi de Newton au skieur :

$$\vec{a} = \frac{\vec{\Sigma}}{m} = \begin{Bmatrix} \frac{0}{m} \\ \frac{-P}{m} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \frac{-784}{80} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -9,8 \end{Bmatrix}$$

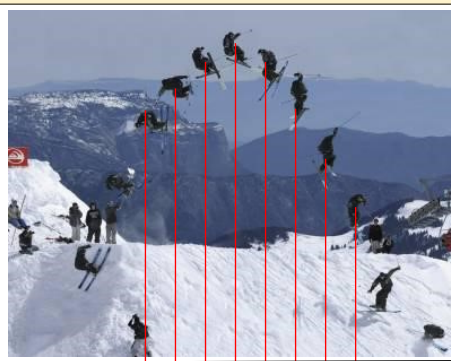
L'accélération du skieur est donc de $9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ vers le bas.

Remarque 4 :

Lorsqu'un système n'est soumis qu'à son seul poids, on dit qu'il est en « chute libre ». Dans de tel cas, son accélération est égale à la constante de pesanteur. Cela justifie que parfois, plutôt que de parler de constante de pesanteur, on préfère parler d'accélération de la pesanteur.

Remarque 5 :

L'accélération est nulle suivant l'axe Ox. Cela signifie que la vitesse sera constante suivant cet axe. Pour s'en convaincre, il suffit de reporter sur un axe horizontal les positions du centre de gravité du skieur... l'écart entre les points est toujours le même.



2. Du bilan des forces à l'équation de trajectoire

L'essentiel du cours...

L'accélération du centre de gravité d'un objet permet d'établir l'équation de la trajectoire.

La trajectoire du centre d'inertie d'un objet dont l'accélération est constante peut, en effet, se mettre sous la forme (relation à connaître):

$$\vec{G}(t) = \frac{1}{2} \times \vec{a} \times t^2 + \vec{v}_0 \times t + \vec{G}_0$$

Coordonnées du point G
à la date t

Accélération (se déduit
des forces appliquées)

Vecteur vitesse à
l'origine des temps

Coordonnées initiales
de l'objet.

Si on connaît les conditions initiales du mouvement (position, vitesse initiale) et les forces appliquées, il est possible de prévoir la position de l'objet à chaque instant. On parle de déterminisme (l'évolution d'un système est toute entière contenue dans les conditions initiales).

En pratique : Comme tout le monde, les physiciens aiment se passer de l'outil vectoriel dès qu'ils le peuvent. Aussi, après avoir déterminé les coordonnées du vecteur accélération (a_x et a_y), ils s'empressent de passer en coordonnées cartésiennes.

$$x(t) = \frac{1}{2} \times a_x \times t^2 + v_{x0} \times t + x_0$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \times a_y \times t^2 + v_{y0} \times t + y_0$$

Application 3 : Saut à ski (suite)

Le tremplin d'où s'élance le skieur est incliné d'un angle de 50° avec le sol. La vitesse initiale du skieur est de 20 m.s^{-1} .

1— Prendre le temps de déterminer les conditions initiales du mouvement

L'origine du repère dans lequel on étudie le mouvement n'est pas imposée. Pour simplifier, on place l'origine du repère à l'endroit où le skieur quitte le tremplin et on définit la date à laquelle il quitte le tremplin comme origine des temps.

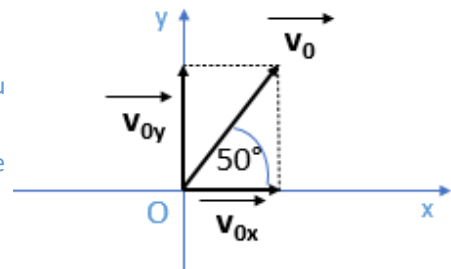
Par contre, on ne change pas la direction ni le sens des axes précédents où il faudrait recalculer l'accélération.

La position initiale du skieur est donc $\vec{G}_0 \begin{cases} 0 \\ 0 \end{cases}$

Il faut déterminer les coordonnées du vecteur vitesse initiale du skieur.

En appliquant la méthode vue dans le cours précédent, on peut montrer que les coordonnées du vecteur vitesse initiale sont :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \cos 50^\circ \\ v_0 \sin 50^\circ \end{cases}$$



2— Ecrire l'équation de trajectoire en utilisant la relation ci-dessus et

$$x(t) = \frac{1}{2} \times (0) \times t^2 + (v_0 \cos \alpha) \times t + (0) \quad y(t) = \frac{1}{2} \times (-9,8) \times t^2 + (v_0 \sin \alpha) \times t + (0)$$

En calculant les valeurs on obtient deux équations : $x(t) = 12,9 t$
 $y(t) = -4,9 t^2 + 15,3 t$

Je m'entraîne 1

Reprendre les équations de trajectoire de l'exercice sur le skieur.

1. **Déterminer la date à laquelle le skieur atteint le sommet de sa trajectoire.**
(*indice* : lorsqu'il atteint le sommet de sa trajectoire, sa vitesse $v_y(t)$ est égale à 0 voir cours P3-1).
2. **Quelle est la hauteur maximale atteinte par le skieur ?**
3. **A quelle date le skieur atterrit-il ? (on suppose que la piste est à la même hauteur que le sommet du tremplin)**
(*indice* : Il faut déterminer à quelle date la hauteur du skieur est égale à 0).
4. **Quelle distance a-t-il parcourue au cours de son saut ?**
(*indice* : On sait à quelle date il atterrit. Il faut calculer la distance parcourue horizontalement).

Je m'entraîne 2

Un enfant lâche sans vitesse initiale un ballon gonflé à l'hélium. Celui-ci s'envole verticalement.

On négligera les frottements

Masse à vide du ballon : 5 g

Volume du ballon : 10 L

Masse volumique de l'hélium : $0,163 \text{ kg.m}^{-3}$

Masse volumique de l'air : $1,18 \text{ kg.m}^{-3}$

1. **Déterminer la masse totale du ballon (hélium + ballon) et en déduire son poids.**
2. **Déterminer la poussée d'Archimède qui s'exerce sur le ballon**
3. **Faire un schéma de la situation, choisir un repère d'étude adapté et en déduire les coordonnées des vecteur poids et poussée d'Archimède.**
4. **Appliquer la seconde loi de Newton pour déterminer l'expression de l'accélération du ballon.**
5. **En déduire l'équation du mouvement du ballon.**
6. **Au bout de combien de temps le ballon atteint-il une altitude de 25 m ?**