

Mouvement

Avant d'aborder le chapitre EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

- Une **action mécanique** correspond à l'**action d'un système extérieur sur le système étudié**. Elle peut s'exercer à distance ou être de **contact**.
- On modélise une action mécanique par une **force** représentée par un vecteur $\vec{F}_{\text{syst. ext. / syst. étudié}}$, dont on précise les caractéristiques : l'**origine**, la **direction**, le **sens** et la **valeur** en Newton (N).

Modélisation

La pomme est modélisée par un point M.

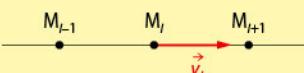


M L'action de la Terre sur la pomme est modélisée par la force $\vec{F}_{\text{Terre/pomme}}$ égale au poids \vec{P} de la pomme.

- direction : verticale
- sens : vers le bas
- valeur : $P = m \cdot g$

- Si on décompose la trajectoire d'un point en une succession de positions à intervalle de temps régulier Δt : $M_0, M_1, \dots M_{i-1}, M_i, M_{i+1}$, le **vecteur vitesse** \vec{v}_i en M_i est défini à partir du vecteur déplacement $\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}$ par :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2 \cdot \Delta t}$$



Principe d'inertie

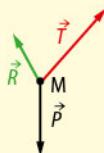
$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \begin{array}{l} \vec{v} = \vec{0} \text{ ou} \\ \vec{v} \text{ est constant} \\ \Delta \vec{v} = \vec{0} \end{array}$$

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement. → Vérifiez vos réponses en flashant la page ou sur le site lycee.editions-bordas.fr

SITUATION 1

Effectuer la somme des vecteurs \vec{T} , \vec{R} et \vec{P} au point M.



SITUATION 2

Lors de son décollage, la fusée Ariane 5 doit « s'arracher » du sol.
Représenter, sans souci d'échelle, les forces modélisant les actions qui s'exercent sur la fusée au décollage.



SITUATION 3

Un manège tourne à vitesse constante.
Pourquoi le principe d'inertie ne s'applique pas à un enfant sur le manège ?



d'un système

CHAPITRE

10

PHYSIQUE



Comment l'analyse de cette chronophotographie permet-elle de déterminer si les actions qui s'exercent sur le ballon sont les mêmes tout au long du mouvement ?

EXERCICE 41

NOTIONS ET CONTENUS

- ▶ Vecteur variation de vitesse.
- ▶ Lien entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces modélisant les actions qui s'exercent sur celui-ci.
- ▶ Rôle de la masse.

CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES

- ▶ Réaliser et exploiter une vidéo ou une chronophotographie ➔ ACTIVITÉS 1 ET 3
- ▶ Tester la relation entre la variation du vecteur vitesse et la somme des forces appliquées au système ➔ ACTIVITÉ 3

1. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

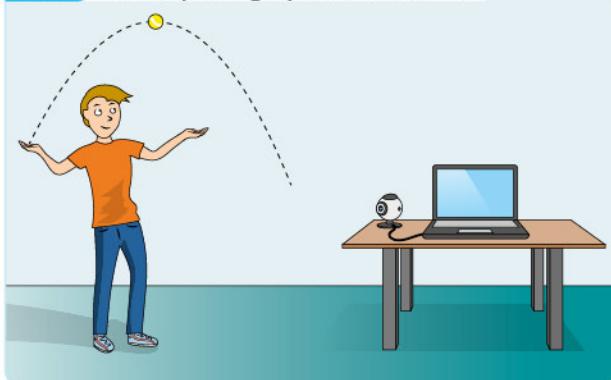
(RÉA) Exploiter une chronophotographie pour construire les vecteurs variation de vitesse

(VAL) Établir un lien entre deux grandeurs

Lien mouvement - action

Une chronophotographie du lancer d'une balle permet d'étudier son mouvement.
Quel est le lien entre la trajectoire et les actions qui s'exercent sur cette balle.

DOC 1 Chronophotographie d'un lancer



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Réaliser un enregistrement vidéo du lancer de la balle.
- À l'aide d'un logiciel de traitement vidéo, repérer les positions successives M_0, M_1, M_2, \dots d'un point modélisant la balle.
- Basculer les résultats du pointage dans un tableur.
- Afficher la représentation graphique des positions et modéliser la trajectoire par une parabole.
- Noter l'équation de cette parabole de la forme :
$$y = ax^2 + bx + c$$

EXPÉRIMENTATION ET ANALYSE

- a. Mettre en œuvre le protocole expérimental.
b. Dans un repère correctement choisi, modéliser par des points, notés M_0, M_1, M_2, \dots , les positions successives de la balle.
- Choisir deux points M_{i-1} et M_{i+1} .
a. Tracer les vecteurs vitesse \vec{v}_{i-1} et \vec{v}_{i+1} en choisissant une échelle convenable.
b. Construire le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$ au point M_i .
- Faire le bilan des forces modélisant les actions qui s'exercent sur la balle au point M_i . Que peut-on en déduire pour tous les points ?

4 Utilisation d'un programme Python

- Que permet le programme Python du document 3 ?
- Compléter les données manquantes et exécuter le programme.
- Que constate-t-on sur les vecteurs variation de vitesse ?

DOC 2 Vecteur vitesse

Au point M_i , le vecteur \vec{v}_i est défini à partir du vecteur déplacement $\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}$ sur une durée de $2 \cdot \Delta t$ par :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2 \cdot \Delta t}$$

DOC 3 Programme Python



```
#Modélisation du mouvement parabolique d'une balle lancée
import numpy as np
from scipy import *
import matplotlib.pyplot as plt
#Preciser la duree de la sequence en seconde
T=
#Preciser les coefficients de l'équation de la parabole
#de la forme y = ax² + bx + c
a=
b=
c=
#Tracé des points modélisant la trajectoire parabolique
#étudiée
t=np.linspace(0,T,22)
g=9.8
x=-g/2/a*t
y=c+b*t+a*t**2
plt.plot(x,y,"o")
plt.grid()
plt.show()
#Tracé des vecteurs variation de vitesse pour les
#points de la parabole
vy=diff(y,1)
vx=diff(x,1)
ay=diff(vy,1)
ax=diff(vx,1)
X=x[0:21]
Y=y[0:21]
n=arange(20)
for i in n :
    plt.arrow(x[i],y[i],10*ax[i],10*ay[i],fc="k",ec="k",head_
    _width=0.05, head_length=0.1)
plt.plot(x,y,"ro")
plt.grid()
plt.show()
```

CONCLUSION

- Quelle relation existe-t-il entre la variation du vecteur vitesse et la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la balle ?

Je réussis si...

- Je sais soustraire des vecteurs.
- Je sais utiliser un langage de programmation.
- Je fais le lien entre somme des forces et variation du vecteur vitesse.

2. DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

(VAL) Comparer le résultat à une valeur de référence

Masse du Soleil

L'union astronomique internationale a évalué la valeur de la masse du Soleil à $1,9891 \times 10^{30}$ kg. Comment est-il possible d'estimer la masse de notre étoile en étudiant le mouvement de la Terre autour du Soleil ?

DOC 1 La Terre tourne autour du Soleil

En première approximation, on peut considérer que la Terre décrit un mouvement circulaire uniforme autour du soleil : la trajectoire est un cercle de rayon $1,50 \times 10^8$ km et la rotation s'effectue en 365,25 jours.

DÉMARCHE EXPÉRTE

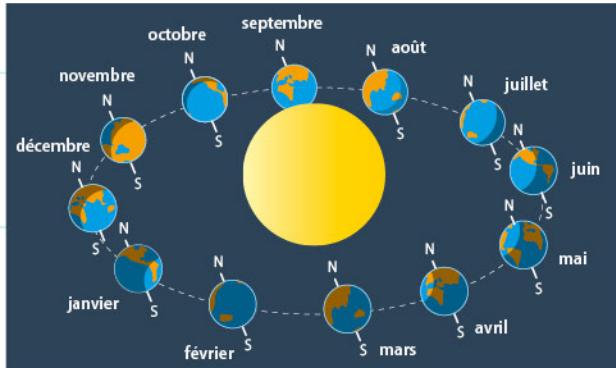
À l'aide des informations disponibles dans les documents, estimer la masse du soleil puis commenter ce résultat.

DÉMARCHE AVANCÉE

- Sur un schéma modélisant le mouvement de la Terre autour du Soleil, représenter les vecteurs vitesse pour un intervalle de temps bien choisi.
- Représenter le vecteur variation de vitesse puis déterminer sa valeur (par un calcul ou graphiquement). (**FICHE MÉTHODE** p. 419)
- Représenter le vecteur somme des forces sans souci d'échelle. (**FICHE MÉTHODE** p. 420)
- Exprimer la masse du soleil en fonction des grandeurs connues puis effectuer le calcul.
- Comparer cette valeur à celle donnée en introduction.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

- Calculer la vitesse de rotation de la Terre autour du soleil.
- Tracer d'un arc de cercle de 90° et de rayon 7,5 cm représentant la trajectoire de la Terre autour du Soleil. Choisir une échelle de vitesse et tracer les vecteurs vitesse aux extrémités de cet arc de cercle.
- Construire le vecteur variation de vitesse au milieu de cet arc et déterminer sa valeur.
- À l'aide des **documents 2 et 3** :
 - faire le bilan des actions qui s'exercent sur la Terre ;
 - représenter sans souci d'échelle le vecteur somme des forces au milieu de l'arc de cercle ;
 - faire le lien entre les deux relations.
- Exprimer la masse du soleil en fonction de la variation de vitesse, de la durée, de la distance terre-soleil et de la constante gravitationnelle.
- Effectuer le calcul de la masse du soleil avec les valeurs des grandeurs connues.



DOC 2 Loi de la gravitation universelle

Deux objets A et B de masses respectives m_A et m_B dont les centres sont séparés par une distance d , exercent l'un sur l'autre des actions mécaniques attractives modélisées par des forces ayant la même valeur :

$$F = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

Avec : G (constante gravitationnelle) :

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; m_A et m_B s'expriment en kilogramme (kg) ; d en mètre (m) et F en newton (N).

DOC 3 Relation approchée de la 2^e loi de Newton

Au XVII^e siècle Newton établit une relation entre les forces qui modélisent les actions s'exerçant sur un système et la variation de vitesse de ce système entre deux instants voisins, relation que l'on peut écrire en première approximation sous la forme :

$$\sum \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

- $\sum \vec{F}$ est la somme vectorielle des forces ;
- m est la masse du système ;
- $\Delta \vec{v}$ est la variation du vecteur vitesse entre deux positions du système ;
- Δt est la durée mise par le système pour aller de la première position à la seconde.

Je réussis si...

- Je sais réaliser un schéma, tracer et soustraire des vecteurs. (**FICHE MÉTHODE** p. 420)
- Je sais utiliser et transformer des relations.
- Je détermine la masse du soleil.
- Je compare mon résultat avec une valeur de référence donnée.
- DÉMARCHE EXPÉRTE** Je décris une démarche scientifique avec un schéma, du texte et des calculs.

3. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

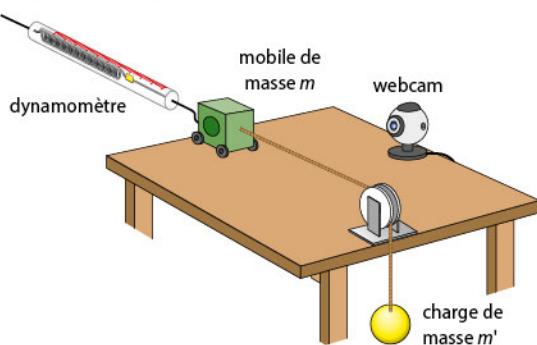
- (RÉA) Mettre en œuvre un protocole
(VAL) Confronter un modèle à résultats expérimentaux

Variation de vitesse et force

Il existe une relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système en mouvement et la somme des forces qui modélisent les actions qui s'exercent sur lui. Peut-on tester cette relation expérimentalement ?

DOC 1 Dispositif expérimental

Pendant sa phase immobile, un mobile de masse m , posé sur une surface plane, est retenu d'un côté par un dynamomètre et, de l'autre côté, est relié par un fil à une charge de masse m' . En phase de mouvement, le mobile n'est plus retenu par le dynamomètre.



DOC 2 Vitesse et variation de vitesse

M_{i-1} , M_i et M_{i+1} étant les positions successives occupées par le système respectivement aux instants $t - \tau$, t et $t + \tau$, pour un intervalle de temps τ petit, le point M_i peut être encadré par les points M_{i-1} et M_{i+1} séparés dans le temps de $\Delta t = 2 \times \tau$.

- la vitesse en M_i s'écrit : $\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{\Delta t}$
- la variation de vitesse en M_i s'écrit : $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- Mesurer les masses m du mobile et m' de la charge utilisée.
- Réaliser un enregistrement vidéo du déplacement du système.
- À l'aide d'un logiciel de pointage, repérer les positions horizontales successives M_0, M_1, M_2, \dots d'un point modélisant le système. (**FICHE PRATIQUE** p. 390)
- Basculer les résultats du pointage dans un tableau faisant apparaître pour différents instants la position x du système. (**FICHE PRATIQUE** p. 372)
- Créer trois colonnes supplémentaires permettant de faire apparaître à chaque instant :
 - la valeur de la vitesse ;
 - la valeur de la variation de vitesse ;
 - la valeur de la somme des forces.

DOC 3 Relation approchée

Il existe une relation approchée qui lie la variation du vecteur vitesse $\Delta \vec{v}$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) entre deux instants voisins et la somme des forces $\sum \vec{F}$ (en N) qui modélisent les actions agissant sur un système de masse m (en kg). Ainsi, entre deux instants voisins $t - \tau$ et $t + \tau$ séparés de $\Delta t = 2 \times \tau$, on a la relation suivante :

$$\sum \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 En phase immobile, faire le bilan des actions s'exerçant sur le mobile et les modéliser en représentant les forces à partir d'un point M modélisant le mobile.

2 À l'aide du principe d'inertie, déterminer alors les caractéristiques de la force qui modélise l'action du fil sur le mobile. On la notera $\vec{F}_{\text{fil/mobile}}$. Vérifier qu'elle correspond au poids de la charge.

3 Mettre en œuvre le protocole expérimental proposé.

4 a. Modéliser les actions s'exerçant sur le mobile en mouvement par des vecteurs forces à partir d'un point M . On supposera que les forces de frottements sont négligeables.

b. Donner une expression vectorielle simplifiée de la somme des forces.

5 Vérifier avec les résultats expérimentaux que la force exercée par la charge n'est plus égale au poids de la charge.

CONCLUSION

La relation approchée entre le vecteur variation de vitesse et la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur un système a-t-elle été vérifiée expérimentalement ?

Je réussis si...

- Je sais effectuer un enregistrement vidéo.
- Je sais utiliser un logiciel de pointage et un tableau.
- Je sais utiliser une relation pour déterminer les caractéristiques d'une force.

4. DÉMARCHE D'INVESTIGATION

COMPÉTENCES :

(ANA) Proposer une démarche de résolution

(COM) Présenter une démarche de manière argumentée

Décollage d'une fusée

SITUATION-PROBLÈME

Lors d'un décollage, la poussée des moteurs d'une fusée de type Ariane ne varie pratiquement pas.

Comment expliquer l'évolution de la vitesse d'une fusée au décollage ?

HYPOTHÈSE

Proposer une hypothèse en la justifiant.

DOC 1 Propulsion d'Ariane V au décollage

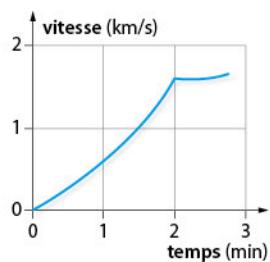
Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à 780 tonnes. Deux propulseurs latéraux, appelés EAP (« étages d'accélération à poudre ») contenant du propergol solide (la poudre) entourent l'étage principal. Leur masse à vide étant de 38 tonnes, chaque propulseur embarque 237 tonnes de poudre et délivre une poussée moyenne de 5 060 kN.

La tuyère, à la base du propulseur, est chargée d'évacuer les gaz de propulsion à raison de deux tonnes par seconde.

Après épuisement de la poudre, 2 minutes après leur allumage, les propulseurs et leurs tuyères sont séparés du lanceur à environ 70 kilomètres d'altitude pour retomber dans l'océan Atlantique.



DOC 2 Évolution de la vitesse d'Ariane V au décollage



DOC 3 Intensité de la pesanteur en fonction de l'altitude h

L'intensité de la pesanteur en fonction de l'altitude h est définie par la relation :

$$g = G \times \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

avec : G (constante gravitationnelle) = $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ et rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^3 \text{ km}$.

DOC 4 Variation de vitesse

La variation de vitesse pendant une durée Δt d'un système de masse m soumis à une action mécanique modélisée par une force F s'exprime par la relation :

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m}$$

PISTES DE RÉSOLUTION

1 En raisonnant sur les forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur une fusée Ariane V au décollage, montrer que celle-ci peut effectivement décoller.

2 Après le décollage, jusqu'à 70 km d'altitude :

- comment évolue la valeur de la force de la poussée ?
- le champ de pesanteur a-t-il évolué de façon notable ?
- comment évolue la masse de la fusée ?

3 Que peut-on en déduire de la valeur de la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques agissant sur la fusée ?

4 Comment évolue la vitesse de la fusée ?

CONCLUSION

5 Alors que la poussée de la fusée reste constante, que peut-on dire de sa variation de vitesse lorsque sa masse diminue ?

Je réussis si...

- Je sais formuler une hypothèse.
- Je sais faire le bilan des actions qui s'exercent sur un mobile.
- Je sais déterminer des variations de vitesse.
- Je sais présenter une démarche de manière argumentée.



1 Vecteur variation de vitesse

► Vecteur vitesse en un point

Si on décompose la trajectoire d'un point en une succession de positions à intervalle de temps régulier Δt : $M_0, M_1, \dots, M_i, M_{i+1}, \dots$, on peut construire le vecteur vitesse \vec{v}_i au point M_i en encadrant M_i par les points M_{i-1} et M_{i+1} (FIG. 1).

Ainsi le vecteur \vec{v}_i est défini à partir du vecteur déplacement $\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}$ sur une durée de $2 \cdot \Delta t$ par : $\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2 \cdot \Delta t}$.

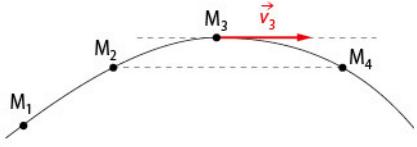


FIG. 1 Le vecteur vitesse au point M_3 est défini par $\vec{v}_3 = \frac{\overrightarrow{M_2M_4}}{2 \cdot \Delta t}$, tangent à la trajectoire.

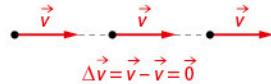


FIG. 2 Mouvement rectiligne uniforme.

► Vecteur variation de vitesse

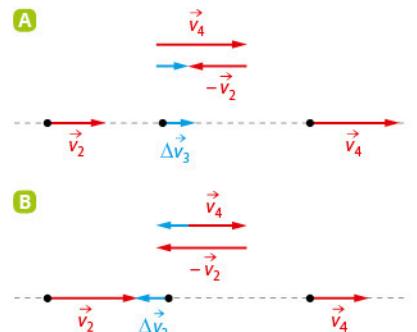
Pour traduire la variation (de valeur, de direction ou de sens) de la vitesse en un point M_i , on peut construire le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_i$ au point M_i en l'encadrant par les points M_{i-1} et M_{i+1} .

Le **vecteur variation de vitesse** $\Delta\vec{v}_i$ en M_i , est défini à partir du vecteur vitesse \vec{v}_{i+1} en M_{i+1} et \vec{v}_{i-1} en M_{i-1} par la relation :

$$\Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$$

\vec{v}_{i+1} est le vecteur vitesse à la position M_{i+1}

\vec{v}_{i-1} est le vecteur vitesse à la position M_{i-1}



- A** mouvement rectiligne accéléré
B mouvement rectiligne ralenti

FIG. 3 Mouvement rectiligne non uniforme.

► Lien entre variation de vitesse et mouvement

Si le vecteur vitesse reste constant, alors la variation de vitesse est nulle et le mouvement est rectiligne uniforme (FIG. 2).

Si le vecteur vitesse conserve sa direction mais change en norme (valeur) alors le mouvement est rectiligne non uniforme (FIG. 3).

Si le vecteur vitesse change en direction et en valeur alors le mouvement est curviligne non uniforme. S'il change uniquement en direction, le mouvement peut être curviligne uniforme et si sa trajectoire est un cercle, il est circulaire uniforme. Δv est dirigé vers le centre du rayon de courbure pour le mouvement curviligne uniforme et vers le centre du cercle pour le mouvement circulaire uniforme (FIG. 4).

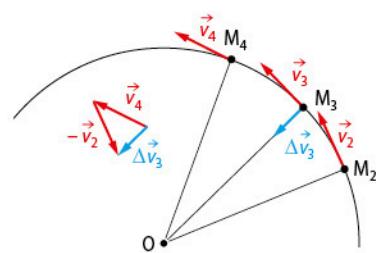


FIG. 4 Cas d'un mouvement circulaire uniforme.



FIG. 5 Principe d'inertie.

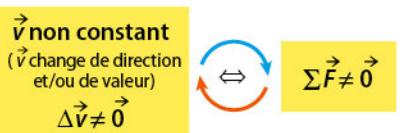


FIG. 6 Contraposée du principe d'inertie.

2 De la variation de vitesse aux forces

► Principe d'inertie

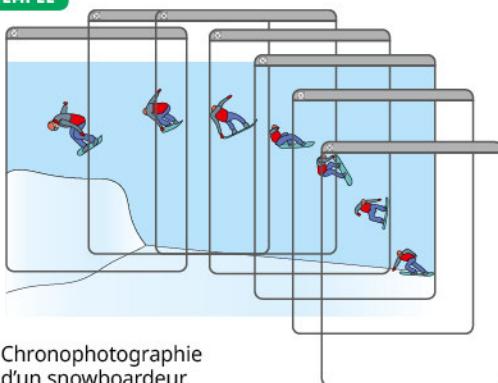
D'après le **principe d'inertie**, si la variation du vecteur vitesse est nulle alors la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques s'exerçant sur le système est nulle. La réciproque est vraie (FIG. 5).

D'après la **contraposée du principe d'inertie**, si la variation du vecteur vitesse est non nulle alors la somme des forces qui modélisent les actions mécaniques s'exerçant sur le système est non nulle. La réciproque est vraie (FIG. 6).

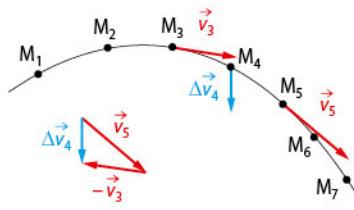
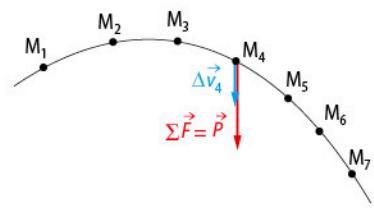
► Lien entre variation de vitesse et forces

Le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}_i$, construit à partir de deux vecteurs vitesses voisins au point M_i , a une direction et un sens particuliers.

La construction du vecteur somme des forces $\Sigma\vec{F}$ conduit à remarquer que $\Delta\vec{v}$ et $\Sigma\vec{F}$ ont même direction et même sens.

**EXEMPLE**

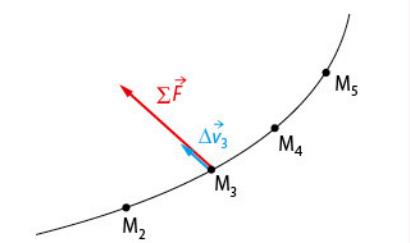
Chronophotographie d'un snowboardeur

Variation du vecteur vitesse au point M_3 

Force modélisant l'action qui s'exerce sur le snowboardeur

L'action mécanique qui s'applique sur le snowboardeur au cours du mouvement étudié est celle de l'action de la Terre qui se modélise par le poids représenté par un vecteur vertical dirigé vers le bas. La construction du vecteur variation de vitesse $\vec{\Delta v}$, conduit à constater que lui aussi est dirigé vers le bas selon la verticale.

Le vecteur somme des forces $\vec{\Sigma F}$ a même direction et même sens que le vecteur variation de vitesse $\vec{\Delta v}$. Sa valeur est proportionnelle à la variation de vitesse (FIG. 7).

FIG. 7 Tracé du vecteur somme des forces. $\vec{\Sigma F}$ et $\vec{\Delta v}$ sont colinéaires et de même sens.

3 Des forces à la variation de vitesse

► Somme vectorielle des forces

On modélise une action mécanique par une force représentée par un vecteur $\vec{F}_{\text{syst. ext. / syst. étudié}}$ dont :

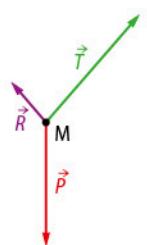
- l'origine est le point représentant le système ;
- la direction est celle de l'action mécanique ;
- le sens est celui de l'action mécanique ;
- la longueur est proportionnelle à la norme (ou valeur) en Newton (N).

Plusieurs actions mécaniques peuvent agir sur un système, chacune pouvant se modéliser par une force représentée par un vecteur.

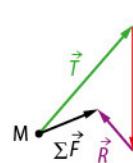
À partir du point M modélisant le système, on effectue la somme des forces. Elle se note $\vec{\Sigma F}$ et se nomme aussi résultante des forces.

EXEMPLE

Skieur au départ d'un tire-fesse



Forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur le skieur



Somme des forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur le skieur



FIG. 8 Principe d'inertie.

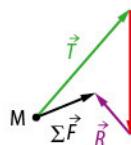


D'après la **contraposée du principe d'inertie**, si la somme des forces qui modèlent les actions mécaniques s'exerçant sur le système est non nulle alors la variation du vecteur vitesse est non nulle. La réciproque est vraie (FIG. 9).

EXEMPLE



Skieur au départ d'un tire-fesse



Somme des forces qui modèlent les actions mécaniques qui agissent sur le skieur

$$\vec{\Sigma F} \neq \vec{0}$$



\vec{v} non constant
(\vec{v} change de direction et/ou de valeur)

$$\vec{\Delta v} \neq \vec{0}$$

FIG. 9 Contraposée du principe d'inertie.



Le vecteur variation de vitesse $\vec{\Delta v}$ est colinéaire et de même sens que le vecteur somme des forces $\vec{\Sigma F}$ à partir du point M.

Le vecteur $\vec{\Delta v}$ a même direction et même sens que le vecteur $\vec{\Sigma F}$. Sa valeur est proportionnelle à la valeur de la somme des forces.

La vitesse du système augmente ou diminue selon que la somme des forces est dans le même sens ou dans le sens opposé au mouvement du système.

4 Rôle de la masse

Variation de vitesse et masse

Si une même action s'exerce sur deux systèmes de masses différentes, le moins lourd subira la plus grande variation de vitesse pendant le même intervalle de temps (FIG. 10).

La variation de vitesse d'un système durant un intervalle de temps est inversement proportionnelle à la masse de ce système.

Remarque : cette expression permet de dire que la variation de vitesse pendant un intervalle de temps petit, est égale à la force par unité de masse.

On peut écrire :

$$\frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{1}{m} \cdot \vec{\Sigma F}$$



FIG. 10 La vitesse de la boule augmenterait plus vite si elle était moins lourde, le lanceur exerçant la même action.

Force et masse

La variation de vitesse sera la même pour deux systèmes de masses différentes à condition que l'action qui s'exerce sur le système le plus lourd soit plus importante.

La force qui modélise l'action requise pour modifier la vitesse d'un système est proportionnelle à la masse de ce système (FIG. 11).

Remarque : l'action à exercer sur un système doit être deux fois plus importante que celle exercée sur un système deux fois plus léger, pour des variations de vitesse identiques entre deux instants voisins.

On peut écrire :

$$\vec{\Sigma F} = m \cdot \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t}$$

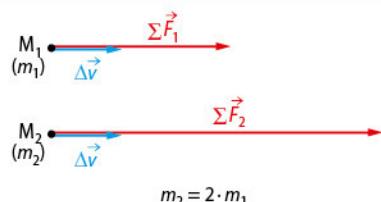
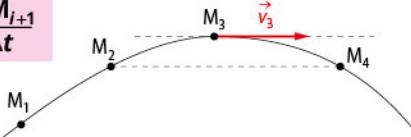


FIG. 11 Pour une variation de vitesse égale, l'action doit être plus importante sur l'objet le plus lourd.

1 Vecteur variation de vitesse

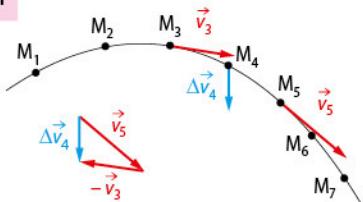
► **Vecteur vitesse** au point M_i :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_{i-1}M_{i+1}}}{2 \cdot \Delta t}$$



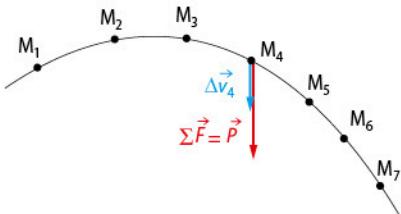
► **Vecteur variation de vitesse** au point M_i :

$$\Delta\vec{v}_i = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_{i-1}$$



2 De la variation de vitesse aux forces

► **Somme des forces** modélisant les actions qui s'exerce au point M_i :



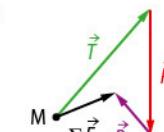
► Le vecteur $\Sigma\vec{F}$ a même direction, même sens que le vecteur variation de vitesse. Sa valeur est proportionnelle à la variation de vitesse.

3 Des forces à la variation de vitesse

► Le vecteur $\Delta\vec{v}$ a même direction et même sens que le vecteur $\Sigma\vec{F}$. Sa valeur est proportionnelle à la valeur de la somme des forces.



Skieur au départ d'un tire-fesse



Somme des forces qui modélisent les actions mécaniques qui agissent sur le skieur



Variation du vecteur vitesse

4 Rôle de la masse

► La variation de vitesse est inversement proportionnelle à la masse (à \vec{F} et Δt constants):

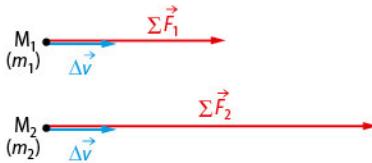
$$\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{1}{m} \cdot \vec{F}$$



$$m_2 = 2 \cdot m_1$$

► La force est proportionnelle à la masse (à $\Delta\vec{v}$ et Δt constants):

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$



$$m_2 = 2 \cdot m_1$$

Vérifier l'essentiel EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ SOLUTIONS EN PAGE 423



1 Vecteur variation de vitesse

	A	B	C
1 Le schéma représentant correctement le vecteur variation de vitesse est :			
2 Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme :	le vecteur variation de vitesse est nul.	le vecteur variation de vitesse est tangent au cercle.	le vecteur variation de vitesse est dirigé vers le centre du cercle.

2 De la variation de vitesse aux forces

	A	B	C	
3 Le vecteur somme des forces :	a même direction que le vecteur variation de vitesse.	a même sens que le vecteur variation de vitesse.	a même valeur que la valeur du vecteur variation de vitesse.	
4 M_i et M_{i+1} étant 2 positions successives d'un système en mouvement, on peut dire que :		le système est soumis à une action dans le sens du mouvement.	il est possible qu'aucune action ne s'exerce sur le système.	il est possible que des actions qui se compensent s'exercent sur le système.

3 Des forces à la variation de vitesse

	A	B	C	
5 Cette modélisation montre que :		la résultante des forces modélisant les actions qui agissent sur le système est nulle	le système peut être immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.	le système peut être en mouvement circulaire uniforme.
6 Si le vecteur résultante des forces traduit des actions qui s'opposent au mouvement ; le vecteur variation de vitesse se représente ainsi :				

4 Rôle de la masse

	A	B	C
7 Si une même action s'exerce sur des systèmes de masses différentes alors :	les vitesses des points modélisant les systèmes varient de la même manière.	la vitesse du système dont la masse est la plus grande varie plus rapidement.	la vitesse du système dont la masse est la plus petite varie plus rapidement.
8 Si la variation de vitesse de deux systèmes de masses différentes est la même pendant une même durée, alors :	les forces modélisant les actions qui s'exercent sur ces systèmes sont identiques.	les actions qui s'exercent sur le système le plus lourd sont plus importantes.	la norme de la résultante des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le système trois fois plus lourd est trois fois plus importante.

Acquérir les notions

1 Vecteur variation de vitesse

Notions du programme

Vecteur variation de vitesse

→ EXERCICES 9, 10, 11
12, 13 et 14

Ce qu'on attend de moi

- Soustraire des vecteurs vitesses.
- Déterminer les caractéristiques du vecteur variation de vitesse.
- Établir le lien entre variation de vitesse et mouvement.
- Exploiter une chronophotographie d'un système modélisé par un point matériel en mouvement pour construire les vecteurs variation de vitesse.

9 Définitions

La trajectoire d'un point mobile est décomposée en une succession de points M_1, M_2, M_3, \dots à intervalle de temps régulier Δt .

1. Comment est défini le vecteur vitesse au point M_5 ?
2. Exprimer le vecteur variation de vitesse en ce même point en fonction de vecteurs vitesse correctement choisis.

10 Phrase à compléter

Le vecteur vitesse est caractérisé par sa , son et sa valeur en Il est à la trajectoire.

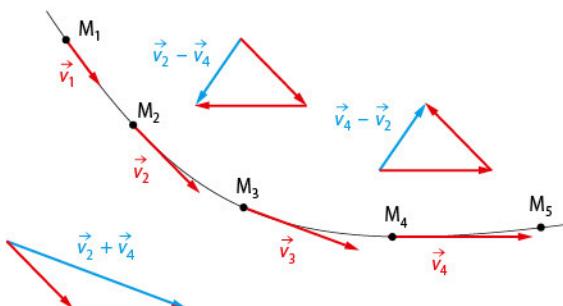
Si le vecteur vitesse reste constant alors la variation de vitesse est et le mouvement est uniforme.

Si le vecteur vitesse conserve sa direction mais change en valeur alors le mouvement est rectiligne et soit soit

Le mouvement est circulaire dès lors que le vecteur vitesse change uniquement en Le vecteur variation de vitesse est dirigé vers

11 Soustraire des vecteurs vitesses

1. Lequel de ces vecteurs représente la variation de vitesse, noté $\Delta\vec{v}_3$, au point M_3 ?



2. Représenter le vecteur variation de vitesse en M_2 .
3. Est-il possible de représenter le vecteur variation de vitesse en M_4 ?

12 Vitesse et variation de vitesse

Le relevé des positions successives d'un système à intervalle de temps régulier $\Delta t = 2,0$ s a donné l'extrait de tracé suivant :

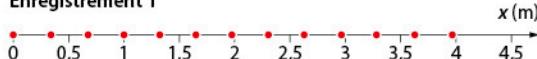


1. Reproduire les positions M_5 à M_9 en respectant l'échelle.
2. Déterminer les valeurs des vitesses aux points M_6 et M_8 .
3. En déduire la valeur de la variation de vitesse au point M_7 .
4. Représenter les vecteurs \vec{v}_6, \vec{v}_8 et $\Delta\vec{v}_7$ à l'échelle 1 cm pour 1 cm/s.

13 Accéléré ou retardé ?

Les positions successives du point modélisant un système ont été prises à intervalle de temps régulier $\Delta t = 40$ ms dans trois situations différentes.

Enregistrement 1



Enregistrement 2



Enregistrement 3

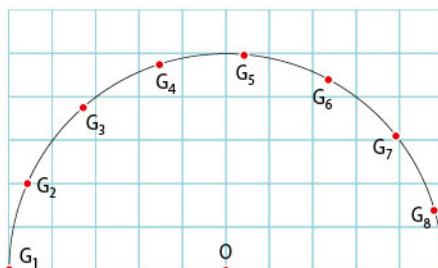


1. Que peut-on dire du vecteur variation de vitesse pour chacun des trois enregistrements ? Préciser la direction et le sens si possible.

2. En déduire la nature de ces trois mouvements.
3. Calculer la valeur du vecteur variation de vitesse pour le cinquième point de ces trois enregistrements.

14 Grande roue

On étudie le mouvement d'une cabine d'une grande roue de fête foraine. Cette cabine est modélisée par un point G. On a repéré les positions successives G_1, G_2, G_3, \dots qu'elle occupe toutes les 2 secondes.



1. Le vecteur vitesse varie-t-il en valeur, en direction ou en sens au cours du temps ?
2. Reproduire les positions G_1 à G_5 .
3. Représenter le vecteur vitesse au point G_2 et au point G_4 .
4. En déduire le vecteur variation de vitesse en G_3 .

2 De la variation de vitesse aux forces

Notions du programme

Déduire le vecteur somme des forces connaissant le vecteur variation de vitesse

► EXERCICES
15 16 et 17

Ce qu'on attend de moi

- Savoir que si le vecteur variation de vitesse est nul, la somme des forces est nulle.
- Savoir que si le vecteur variation de vitesse est non nul, la somme des forces est non nulle.
- Savoir donner la direction et le sens du vecteur somme des forces connaissant le vecteur variation de vitesse.

15 Des positions aux forces

Les points modélisant les positions successives de quatre systèmes en mouvement sont représentés ci-dessous.

Mouvement 1

Mouvement 2

Mouvement 3

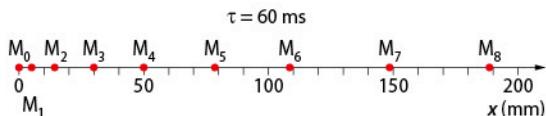
Mouvement 4

Pour les quatre mouvements :

1. Que peut-on dire du mouvement et de la variation de vitesse ?
2. En déduire approximativement la direction et le sens de la somme des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le système.

16 Représenter une force

L'enregistrement des positions d'un mobile de masse $m = 150 \text{ g}$ en mouvement a donné le tracé suivant :



1. Reproduire la trajectoire et les positions du mobile à l'échelle 1:1.
2. À l'aide d'un tableau :
 - a. indiquer les coordonnées x_i successives du point M ;
 - b. déterminer les valeurs approchées des vitesses v_1 à v_7 ;
 - c. calculer enfin les variations de vitesse Δv_2 à Δv_6 .
3. En utilisant une échelle appropriée, représenter les vecteurs $\Delta \vec{v}_4$ et $\Delta \vec{v}_6$.
4. Quels sont la direction et le sens de la force modélisant l'ensemble des actions qui s'exercent sur le mobile ?

17 Chute d'une bille dans l'huile

Observer la chronophotographie de la chute d'une bille dans une éprouvette remplie d'huile ci-contre.



1. Que peut-on dire de la vitesse de la bille après la cinquième position ?
2. En déduire la variation de vitesse pour tous les points après la cinquième position.
3. Quel principe est alors applicable dans cette situation ? Le formuler dans cette situation.
4. Les forces de frottements ne compensent pas entièrement le poids de la bille. Que peut-on en déduire ?

18 Somme de forces

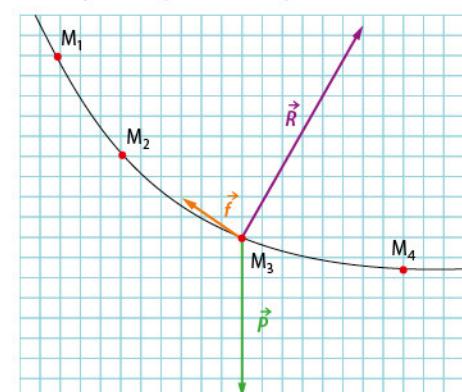
Notions du programme

Déduire le vecteur variation de vitesse connaissant le vecteur somme des forces

► EXERCICES 18
19 20 21 et 22

Ce qu'on attend de moi

- Savoir construire le vecteur somme des forces.
- Savoir que si la somme des forces est nulle, le vecteur variation de vitesse est nul.
- Savoir que si la somme des forces est non nulle, le vecteur variation de vitesse est non nul.
- Savoir donner la direction et le sens du vecteur variation de vitesse connaissant le vecteur somme des forces.

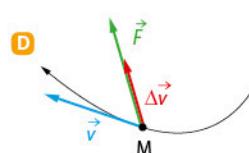
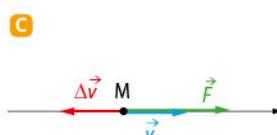
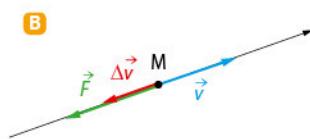
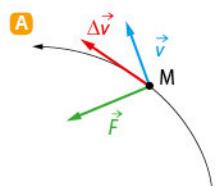


1. La somme des forces peut-elle être nulle ? Justifier.
2. En s'aidant du quadrillage, effectuer la somme des forces modélisant les actions qui s'exercent au point M3.
3. Représenter sans souci d'échelle le vecteur variation de vitesse.

19 Les bons vecteurs

Au point modélisant un système en mouvement sont représentés le vecteur vitesse \vec{v} , le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ et la somme vectorielle des forces \vec{F} qui modélise les actions s'exerçant sur le système.

Pour chaque schéma, indiquer si les vecteurs sont bien représentés. Argumenter.



20 Chute d'une bille

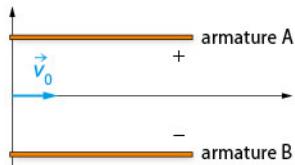
On considère la chute verticale d'une bille sans frottement à la surface de la Terre.

- Pourquoi la bille se met-elle en mouvement lorsqu'on l'abandonne sans vitesse initiale ?
- Que peut-on dire de la variation de sa vitesse au cours du temps si on suppose que le poids de la bille ne varie pas ?



21 Déviation de particules

Une particule chargée positivement entre avec une vitesse initiale \vec{v}_0 dans un condensateur plan où règne un champ électrostatique uniforme \vec{E} .



- Reproduire le schéma et représenter la force modélisant l'action qu'exercent les armatures sur la particule.
- En déduire la direction et le sens du vecteur variation de vitesse.
- Tracer l'allure de la trajectoire de la particule.
- Qu'en serait-il pour une particule négative ?

22 Plus de force

Une boîte de masse 4 kg est posée sur une table. On applique une force de 10 N sur la boîte qui glisse alors en frottant sur la table. Sa vitesse croît de $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ chaque seconde.

En considérant que les frottements restent les mêmes entre la boîte et la table, quel est l'accroissement de vitesse de la boîte si une force de 14 N est appliquée ?

4 Rôle de la masse

Notions du programme

Rôle de la masse

► EXERCICES 23, 24 et 25

Ce qu'on attend de moi

- Savoir que la variation de vitesse d'un système durant un intervalle de temps est inversement proportionnelle à sa masse.
- Savoir que la force qui modélise l'action requise pour modifier la vitesse d'un système est proportionnelle à sa masse.

23 Prise de masse

Un solide de masse m , initialement au repos, est soumis à une action dont la modélisation est une force constante et horizontale.

- Quel est le mouvement pris par le solide ?
- Son mouvement serait-il modifié s'il possédait une masse double ? Si oui, comment ?

24 Arrêt de véhicule

On considère deux véhicules roulant à la même vitesse en ligne droite. La force de freinage exercée pour stopper les deux véhicules est la même.



- En cas de freinage, que peut-on dire de la variation de vitesse de ces véhicules s'ils ont des masses différentes ?
- Quelle est la conséquence sur la distance de freinage si l'un de ces véhicules pèse deux fois plus lourd ?

25 Petit bateau

CALCUL MENTAL



Un petit bateau de masse 50 g flotte sur l'eau à la vitesse de $3,2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ en ligne droite. Pendant 2,0 s un enfant souffle dans les voiles dans le sens du déplacement du bateau. L'ensemble des actions qui s'exercent alors sur le bateau peut être modélisée par une force de valeur 0,10 mN.

En utilisant la relation $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ déterminer la nouvelle vitesse du bateau.

Exercice résolu EN AUTONOMIE



26 Valeur approchée de l'intensité de la pesanteur

Il est possible de déterminer une valeur approchée de l'intensité de la pesanteur terrestre en étudiant la chute libre d'un objet.

La chronophotographie de la chute verticale d'une bille d'acier a donné les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

Positions	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
t (s)	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32
y (mm)	0	8	31	75	127	203	300	395	535

LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

La **chute** est **libre**, cela signifie qu'il n'y a pas de frottements.

Les **positions successives** de la bille sont connues. Elles sont alignées selon l'axe verticale.

L'**intervalle de temps** entre deux points est régulier : $\Delta t = 0,04 \text{ s}$

1. **Montrer** que la somme des forces modélisant les actions qui s'exercent sur la bille en chute libre ne dépend que de la masse de la bille et de l'intensité de la pesanteur.

2. **Déterminer** la vitesse de la bille aux points M₄ et M₆.

3. Puis calculer la valeur de la variation de vitesse $\Delta \vec{v}_5$ au point M₅.

4. **Montrer** qu'il est possible de connaître l'intensité de la pesanteur en utilisant la relation approchée $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{2 \cdot \Delta t}$.

5. Effectuer le calcul de l'intensité de la pesanteur et **comparer** avec la valeur de référence $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



LES QUESTIONS À LA LOUPE

► **Montrer** : effectuer un raisonnement logique conduisant à un résultat attendu.

► **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.

► **Comparer** : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences et estimer les incertitudes.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. La bille en chute libre est soumise à l'action de la terre, c'est-à-dire à son poids. Les frottements dus à l'air sont supposés inexistant.

La somme des forces $\sum \vec{F} = \vec{P} = m \cdot \vec{g}$ ne dépend que de la masse de la bille et de l'intensité de la pesanteur.

$$2. v_4 = \frac{M_5 - M_3}{2 \cdot \Delta t} = \frac{0,203 - 0,075}{2 \cdot 0,04} = 1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } v_6 = \frac{M_7 - M_5}{2 \cdot \Delta t} = \frac{0,395 - 0,203}{2 \cdot 0,04} = 2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

3. Les vecteurs vitesse sont colinéaires et de même sens, on peut calculer simplement $\Delta v_5 = v_6 - v_4 = 2,4 - 1,6 = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$4. \text{La relation } \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{2 \cdot \Delta t} \text{ peut s'exprimer } F = P = m \cdot g = m \cdot \frac{\Delta v}{2 \cdot \Delta t}, \text{ soit } g = \frac{\Delta v}{2 \cdot \Delta t}.$$

$$5. \text{Application numérique : } g = \frac{\Delta v}{2 \cdot \Delta t} = \frac{0,8}{0,08} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

La valeur trouvée est très proche de la valeur de référence. L'écart peut être dû à la précision des mesures ou à la présence de frottements.

QUELQUES CONSEILS

2. Pour exprimer la vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, il faut veiller à ce que les distances soient en mètre.

Les résultats sont donnés avec 2 chiffres significatifs en cohérence avec la précision des valeurs expérimentales.

5. Comme $\Delta v = \Delta v_5$ est déterminée entre M₄ et M₆, $t_6 - t_4 = 0,08 \text{ s} = 2 \cdot \Delta t$.

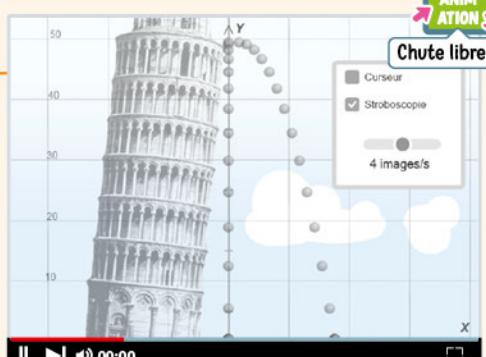
EXERCICE SIMILAIRE

27 Intensité de la pesanteur en simulation

L'expérience de chute libre imaginée par Galilée à Pise peut être étudiée grâce à la simulation ci-contre.

1. Montrer que les programmeurs informatiques de cette simulation ont bien respecté la valeur de l'intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

2. Considérer le boulet dont la vitesse initiale n'est pas nulle ; montrer qu'il n'est soumis qu'à l'action de la Terre.



Exercice résolu EN AUTONOMIE

28 Curling

Le curling est un jeu d'équipe qui se pratique sur une piste de glace. Il consiste à faire glisser des pierres dotées d'une poignée et pesant environ 20 kg. L'objectif est de faire en sorte que les pierres s'arrêtent le plus près possible de la cible appelée « maison ». L'étude des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le système {pierre} permet de prévoir son mouvement.



1. Dans sa phase de lancer, le joueur imprime à la pierre une force constante pendant 3 s.

a. **Représenter** sur un schéma les forces modélisant les actions qui s'exercent sur la pierre, elle-même modélisée par un point noté M.

b. Que peut-on **déduire** sur le vecteur variation de vitesse du point M ? Le représenter sans souci d'échelle sur le schéma précédent.

c. Comment qualifier le mouvement de la pierre ?

2. Une fois lancée, la pierre glisse sur la glace parfois lissée par des balayeurs pour réduire les frottements. Si on néglige les frottements :

- quel est le bilan des forces modélisant les actions s'exerçant sur la pierre ?

- quel est le mouvement de la pierre ?

3. Dans la dernière phase la pierre doit s'arrêter le plus près possible du centre de la maison. Peut-on affirmer que les frottements sont alors négligeables ?

Argumenter à partir de la variation de vitesse du point M.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a Bilan des forces :

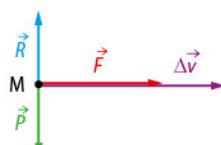
$$\vec{F}_{\text{Terre/pierre}} = \vec{P} ; \vec{F}_{\text{glace/pierre}} = \vec{R} ;$$

$\vec{F}_{\text{joueur/pierre}} = \vec{f}$; $\vec{F}_{\text{air/pierre}}$ est négligée.

b. La somme des forces est non nulle : $\sum \vec{F} = \vec{P} + \vec{R} + \vec{f} = \vec{F}$ donc le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ est non nul, de même direction et de même sens que le vecteur somme des forces.

c. Le mouvement de la pierre est rectiligne accéléré.

2. Lorsque la pierre est lâchée par le joueur, elle n'est plus soumise qu'à l'action de la Terre et de la glace. Les deux actions se compensent donc la somme des forces



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- Dans la première phase, le **lanceur exerce** une action sur la pierre.
- Dans la deuxième phase, le **lanceur n'exerce plus** d'action sur la pierre.

LES QUESTIONS À LA LOUPE

- **Représenter** : dessiner symboliquement des notions.
- **Déduire** : intégrer le résultat précédent pour répondre.
- **Argumenter** : présenter un ensemble d'éléments pour convaincre.

QUELQUES CONSEILS

1. a. Utiliser un diagramme interaction objets.
(**FICHE MÉTHODE** ➔ p. 421)

2. b. Retrouver la conséquence du bilan des forces nul sur la variation de vitesse.

est nulle. D'après le principe d'inertie, le système a un **mouvement rectiligne uniforme**.

3. La vitesse de la pierre diminue, la variation du vecteur vitesse est non nulle et de sens opposé au déplacement. Par conséquent la somme des forces est non nulle. Les actions de la Terre et de la glace se compensant, il existe donc une action opposée au sens de déplacement : **les frottements de la pierre sur la glace**.

EXERCICE SIMILAIRE

29 Billard

Le jeu de billard est un jeu de précision. Il commence en général par un tir sur une bille blanche qui casse un paquet de billes. On suppose que les forces de frottement sont négligeables dans un premier temps.

1. Modéliser les actions qui s'exercent sur la bille blanche au moment de l'impact de la flèche de la queue de billard.

2. Quel est le bilan des forces modélisant ces actions ? Que peut-on alors dire de la variation de vitesse de la bille et son mouvement ?

3. Si la bille ne rencontre pas d'obstacle, elle finit tout de même par s'arrêter. Donner une explication.



Croiser les notions

30 Lien mouvement - force HISTOIRE DES SCIENCES

Isaac Newton (1643-1727) était un philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais. Dans l'extrait ci-dessous, de son œuvre majeure en mécanique, il précisait le lien entre mouvement et force.



« II^e Loi.

Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée.

Si une force produit un mouvement quelconque, une force double de cette première produira un mouvement double, et une force triple un mouvement triple, soit qu'elle ait été imprimée en un seul coup, soit qu'elle l'ait été peu à peu et successivement, et ce mouvement, étant toujours déterminé du même côté que la force génératrice, sera ajouté au mouvement que le corps est supposé avoir déjà, s'il conspire avec lui; ou en sera, retranché, s'il lui est contraire, ou bien sera retranché ou ajouté en partie, s'il lui est oblique; et de ces deux mouvements il s'en formera un seul, dont la détermination sera composée des deux premières. »

Newton, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, 1687.

- Quelle grandeur permet de caractériser « les changements qui arrivent dans le mouvement » ?
- Quelle phrase du texte indique que la somme des forces et la variation de vitesse sont de même direction et de même sens ?
- Que peut-on dire du rapport entre force et variation de vitesse ?
- Que peut-on dire de la variation de vitesse si la force est opposée au mouvement et donc de la vitesse ?

31 Validation de relation

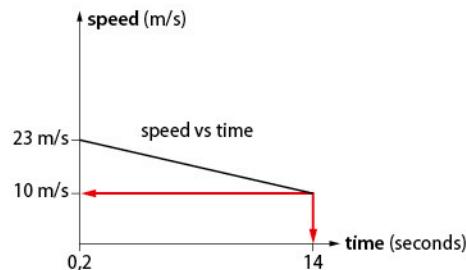
Un mobile dont la masse est de 5 kg, initialement au repos, est soumis à une force constante \vec{F} horizontale, orientée de gauche à droite et de valeur 4 N. On enregistre toutes les 0,4 s la position d'un point matérialisant le mobile. La trajectoire obtenue est la suivante :



- Déterminer la valeur de la variation de vitesse pour le quatrième point.
- Reproduire la trajectoire et tracer ce vecteur variation de vitesse.
- Montrer que la relation approchée entre variation de vitesse et force $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ est validée pour ce quatrième point.
- Est-ce *a priori* le cas pour les autres points ? Justifier.

32 Speed, force and mass UK

1. The speed-time graph of a cart is shown below. A force acts to slow the cart down from 23 m/s to 10 m/s.

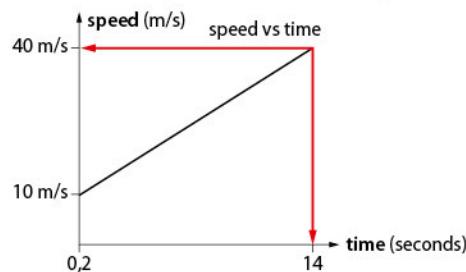


a. What is the mass of the cart if the force acting on it has a magnitude of 5,7 N?

b. What is the mass of the cart if the force acting on it has a magnitude of 11,4 N?

2. The speed of a 5 kg cart changes from 12 m/s to 34 m/s in just 5 seconds. What is the force acting on the cart?

3. The speed-time graph of a 500 g cart is shown below. What is the force acting over the 14 second period?



33 Transfert de bagages

Une personne chargée du transfert de bagages entre le terminal d'embarquement et la soute de l'avion dispose d'un engin tracteur et de deux wagons se déplaçant sans frottement sur le sol. Les deux wagons ont une masse de 2,2 tonnes.



1. Le véhicule tracteur exerce au démarrage une action de traction de valeur $T = 3\,080$ N.

a. Faire le bilan des actions exercées sur les wagons.

b. En utilisant la relation approchée $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, déterminer la variation de vitesse durant la première seconde de démarrage.

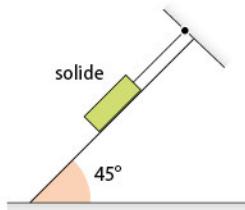
c. Quelle durée environ sera nécessaire pour que le tracteur atteigne la vitesse limite de 20 km/h ?

2. Une fois la vitesse atteinte, quelle doit être la valeur de la force modélisant l'action exercée par le tracteur ? Est-ce le cas dans la réalité ? Expliquer.

34 Glisser sans frottement

Un solide peut glisser sans frottement sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 45^\circ$ avec l'horizontal. Il est maintenu en équilibre par un fil tendu.

Donnée : intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$



1. Que peut-on dire de la somme des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le solide ?
2. Représenter sans souci d'échelle les forces qui modélisent les actions s'exerçant sur le solide à partir d'un point M modélisant le solide, en indiquant la valeur des angles.
3. La masse du solide est de 250 g. Déterminer la valeur du poids.
4. À partir du schéma des forces, déduire les valeurs des deux autres forces.

JE VÉRIFIE QUE J'AI...

- ▶ bien représenté la somme des forces ;
- ▶ utilisé la relation entre variation de vitesse et force.

Le fil retenant le solide se rompt.

5. Montrer que la somme des forces est égale et opposée à la force qu'exerçait le fil sur le solide.
6. Déterminer la vitesse du solide au bout de 1 seconde.

On utilisera la relation : $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.

35 Mouvement de la Lune

La Lune est le seul satellite naturel de la Terre. D'une masse de $7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$ et située à $3,84 \times 10^5 \text{ km}$ du centre de la Terre, sa période de révolution est de 27 jours et 8 heures.



Données : constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; masse de la Terre : $m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$.

1. Faire un schéma de la rotation de la Lune autour de la Terre.

2. Donner les caractéristiques du vecteur force modélisant l'action exercée par la Terre sur la Lune. Puis le représenter sur le schéma.

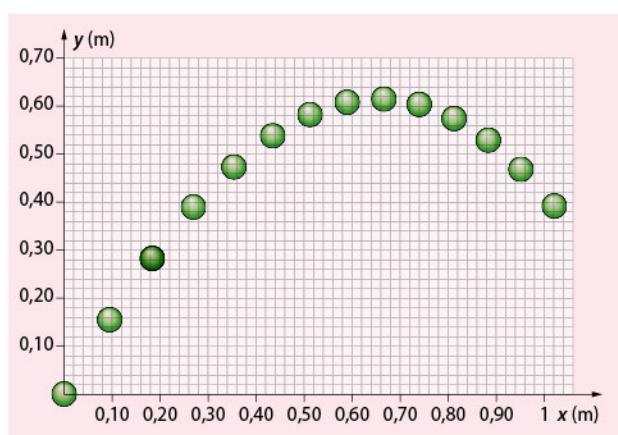
3. Déterminer la valeur de la variation de vitesse sur un quart de son orbite à l'aide de la relation $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$.

4. Montrer, en complétant le schéma, que, pour un quart de la période de révolution, la vitesse de la Lune s'exprime $v = \frac{\Delta v}{\sqrt{2}}$.

5. Faire le calcul de la vitesse de rotation de la Lune et la comparer à une valeur trouvée sur un site Internet.

36 Rebond de balle de tennis

Voici la chronophotographie du rebond d'une balle de tennis de masse 57,0 g.



1. a. Relever les coordonnées des positions successives, notées $M_0, M_1, M_2, \dots, M_{13}$, du centre de la balle à l'aide du quadrillage.

- b. Dans un repère correctement choisi, placer les points $M_0, M_1, M_2, \dots, M_{13}$.

2. a. Tracer les vecteurs vitesse \vec{v}_5 et \vec{v}_3 en choisissant une échelle convenable.

- b. Construire le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}_4 = \vec{v}_5 - \vec{v}_3$ au point M_4 .

3. En déduire les caractéristiques du vecteur somme des forces en M_4 .

4. Qu'en est-il pour les autres points ?

37 Et il bouge !

CALCUL MENTAL

Un objet immobile de masse $m = 0,200 \text{ kg}$ est modélisé par un point M. Il est soumis, à une date $t = 0 \text{ s}$, à une seule action modélisée par une force \vec{F} , horizontale, vers la droite et de valeur 2 N.

1. Faire un schéma de la situation.

2. Que permet d'affirmer la relation approchée $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$?

3. Déterminer la valeur de la vitesse au bout de 2 s.

38 Vitesse de cations DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

Dans un accélérateur linéaire de particules on introduit un ion sodium Na^+ . Il est soumis à un champ électrostatique constant \vec{E} de même direction et de même sens que la vitesse initiale de l'ion. Sa vitesse passe de $2,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ à $4,0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ à la sortie de l'accélérateur en $1,5 \mu\text{s}$.

Données : masse molaire du sodium = $23,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
masse molaire du potassium = $39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

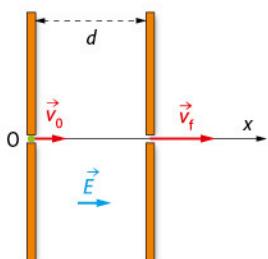
DÉMARCHE AVANCÉE

Quelle serait la vitesse atteinte par un ion potassium K^+ introduit dans le même accélérateur, avec la même vitesse initiale, en $1,7 \mu\text{s}$?

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

- Montrer que le rapport de masses et le rapport de masses molaires sont identiques.
- Expliquer pourquoi les deux ions sont soumis à la même action électrostatique.
- Calculer la variation de vitesse pour l'ion sodium.
- En déduire la variation de vitesse en $1,7 \mu\text{s}$ pour l'ion potassium puis la vitesse à la sortie de l'accélérateur.

39 Accélération d'un proton



Un proton pénètre dans un accélérateur linéaire de particules avec une vitesse initiale \vec{v}_0 perpendiculaire aux armatures du condensateur plan.

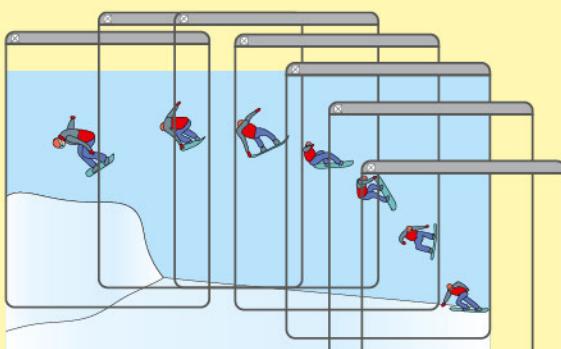
Un champ électrostatique uniforme \vec{E} règne entre les deux plaques du condensateur.

Données : charge du proton $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$;
masse du proton $m = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
vitesse horizontale initiale $v_0 = 4,0 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
valeur du champ électrique $E = 2,5 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$.

- En supposant que le poids du proton est négligeable, donner les caractéristiques de la force \vec{F} qui modélise l'action mécanique appliquée au proton.
- En appliquant, sur l'axe horizontal, la relation approchée entre la somme des forces et la variation de vitesse, établir une expression de Δt en fonction de m , e , E et Δv .
- Pendant combien de temps le proton doit être soumis au champ électrique pour que sa vitesse finale v_f soit multipliée par quatre ?

À L'ORAL

40 Shooting pour chronophotographie



Présenter un exposé de quelques minutes expliquant les actions auxquelles est soumis le snowboardeur durant le saut à partir de la chronophotographie réalisée ci-dessus.

Cet exposé de quelques minutes devra être illustré par un schéma et utiliser les mots clés suivants :

- modélisation du snowboardeur ;
- positions successives ;
- vecteurs vitesse ;
- variation du vecteur ;
- variation du vecteur vitesse ;
- bilan des actions ;
- somme des forces modélisant les actions ;
- contraposée du principe d'inertie.

Ce court exposé devrait pouvoir être réalisé avec un vidéoprojecteur et sans note écrite.

41 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

À l'aide d'une succession de photographies à intervalle régulier, on a réalisé cette chronophotographie.



Préparer un exposé oral qui explique comment l'analyse de cette chronophotographie permet de déterminer si les actions qui s'exercent sur le ballon sont les mêmes tout au long du mouvement.

Conseil : étudier d'abord la variation de vitesse du système (le ballon) avant le panier et après le panier. Possibilité d'utiliser un logiciel de pointage (le panier de basket est fixé à 3,05 m du sol).

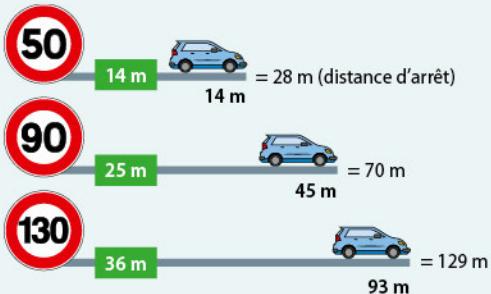
Acquérir des compétences

42 Durée nécessaire pour s'arrêter ANALYSE ET SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

APP Extraire l'information utile de supports variés

Un point important de la conduite automobile et de l'examen du permis de conduire est la connaissance des règles de sécurité lors des freinages d'urgence.

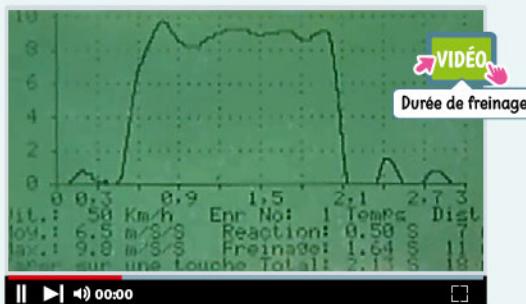
DOC 1 Distance de freinage pour différentes vitesses en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$



La distance d'arrêt d'un véhicule est la distance parcourue pendant le temps de réaction et la distance nécessaire au véhicule pour freiner.

DOC 2 Mesure de la durée de freinage

Un véhicule est lancé à $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ lorsque le chauffeur décide de freiner. Le relevé de la durée totale de freinage incluant un « temps de réaction » optimal de 0,5 s affiche sur l'écran ci-dessous. On peut considérer que pour un véhicule moyen de 900 kg, la force de freinage est environ 7 kN.



ANALYSE

1. Lors d'un freinage d'urgence, on considère deux durées distinctes, lesquelles ?
2. À l'aide de la relation approchée entre la force et la variation de vitesse, estimer la durée nécessaire pour s'arrêter à un véhicule moyen de 900 kg roulant à $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
3. Ce résultat est-il cohérent avec les mesures effectuées expérimentalement ?

4. Quelle durée est-elle nécessaire pour s'arrêter à $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$? et à $130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$?

SYNTHÈSE

Expliquer pourquoi dans les messages de sécurité diffusés sur les ondes des sociétés d'autoroute, il est dit que « l'intervalle entre deux véhicules doit être au minimum de 2 secondes ».

43 Panorama en montgolfière TÂCHE COMPLEXE

AN/RAI Construire les étapes d'une résolution de problème

Clément et deux amis décident d'effectuer une ascension en montgolfière pour admirer le panorama des Cévennes. Leur réserve de propane ne permet que 15 minutes d'ascension. Pourront-ils atteindre une hauteur suffisante ?

Données : masse volumique de l'air sec à 85°C $\rho = 0,986 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

LE PROBLÈME À RÉSOUVRE

Combien de temps approximativement faut-il à la montgolfière pour s'élever de 800 m ?

DOC 1 Les montgolfières

Le volume le plus courant des montgolfières est de 2 200 mètres cubes. Un mètre cube d'air porté à 85°C peut soulever une charge de 220 grammes dans un air ambiant normal et à pression normale. La masse totale (environ 200 kg) de l'enveloppe, de la nacelle, des brûleurs et des bouteilles de propane, ajoutée à la masse d'air chaud, représente une inertie importante, et tout l'art du pilotage consiste à anticiper sur les réactions de l'appareil.

D'après la Fédération Française d'Aérostation (ffaerostation.org/)

DOC 2 De la hauteur

La hauteur h atteinte par la montgolfière de masse m , en fonction du temps t , est donnée par la relation :
$$h = \frac{1}{2 \cdot m} \cdot F \cdot t^2$$

(où F est la valeur de la somme des forces permettant à la montgolfière de s'élever ; et m la masse totale incluant les masses de l'équipement, des trois personnes et de l'air chaud).



44 Saut en parachute

DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES

REA Proposer un protocole

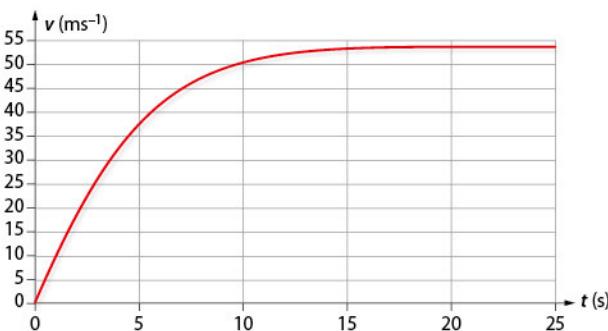
On considère un parachutiste s'élançant sans vitesse initiale d'un ballon immobile situé à 5 000 m d'altitude. Au cours de cette étude, le parachute n'est pas déployé (il ne l'ouvre qu'après 25 secondes de chute). Le parachutiste et son équipement pèsent 82 kg.

DÉMARCHE EXPERTE

Montrer que les forces de frottements, négligeables les deux premières secondes, augmentent pour atteindre une valeur maximale après 15 secondes.

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Faire le bilan des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le parachutiste pendant le saut.
2. a. Que peut-on dire de la variation de vitesse durant les deux premières secondes ?
b. En déduire que les forces de frottements sont négligeables durant cette première phase du saut.
3. a. Définir la période pendant laquelle la variation de vitesse diminue. Effectuer deux calculs pour le montrer.
b. Le poids du parachutiste n'est pas modifié : que doit-on en déduire pour les forces de frottements ?
4. a. Que peut-on dire du bilan des forces modélisant les actions qui s'exercent sur le parachutiste après 15 secondes ?
b. En déduire la valeur maximale des forces de frottements.

**45 Tension du fil d'un pendule**

DÉMARCHE SCIENTIFIQUE

ECE

ANA Faire des prévisions à l'aide d'un modèle

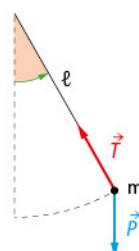
Un pendule est un dispositif constitué d'une petite masse accrochée à un fil qui doit être suffisamment résistant pour supporter les contraintes qui s'exercent sur lui et ne pas se rompre.

On supposera que la masse du fil est négligeable.

On considère un mouvement d'oscillation du pendule de droite à gauche.

1. Que peut-on dire des vitesses en deux points symétriques pris par le pendule par rapport à l'axe vertical ? Les représenter sur un schéma.
2. Déterminer graphiquement la variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ pour le point le plus bas.
3. En déduire une représentation de la somme des forces en ce point.

4. Que peut-on dire de la valeur de la tension du fil et de la valeur du poids du pendule ? En déduire de quoi dépend la résistance du fil.



Modélisation des actions s'exerçant sur le pendule de longueur ℓ

DES PISTES POUR L'ORAL TERMINAL

Un projet sur l'aviation permet de réinvestir des notions diverses de physique (forces, mouvement, matériau, fluide, combustion, etc.) mais aussi de mathématiques ou de géographie.

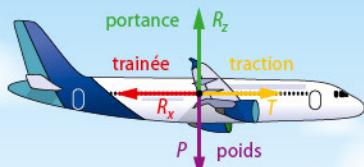
UNE SITUATION À L'ORIGINE DE MON PROJET

Plus de quinze ans après le dernier vol du Concorde, multinationales et start-up préparent le retour des avions supersoniques.



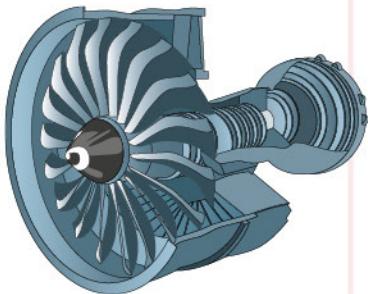
DES DOCUMENTS POUR M'AIDER À L'ORIENTER

Modélisations des principales actions s'exerçant sur un avion



Conception d'un moteur

La poussée du moteur peut s'expliquer avec le principe des actions réciproques (3^e loi de Newton vue en classe de seconde).

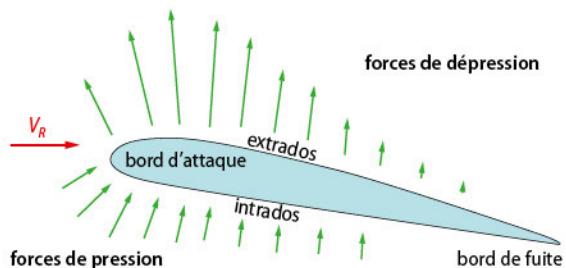


La portance : la forme de l'aile modifie la vitesse de l'air

La portance provient de la forme particulière de l'aile d'un avion, plus bombée sur sa face supérieure (extrados) que sur sa face inférieure (intrados).

L'air parcourt un trajet plus long sur l'extrados. Le temps de parcours restant le même, l'air circule plus vite sur la partie supérieure de l'aile que sur la partie inférieure.

La pression de l'air qui s'exerce sur la face supérieure de l'aile diminue (travaux de Bernoulli). L'aile de l'avion est « aspirée » vers le haut.



DES PISTES DE RECHERCHE À EXPLORER

Petite histoire de l'aéronautique

Évolution des matériaux et impact sur le poids

Modification des ailes et impact sur la portance

Projet sur les progrès en aéronautique

Principes physiques Actions qui s'exercent sur un avion

Impact écologique des transports aériens

Chiffres clés : production, emplois, transports fret et passagers, etc.

Couloirs aériens et rotation de la Terre

Le vocabulaire scientifique à utiliser

- forces (direction, sens, valeur)
- variation de vitesse
- pression
- principe des actions réciproques
- combustion