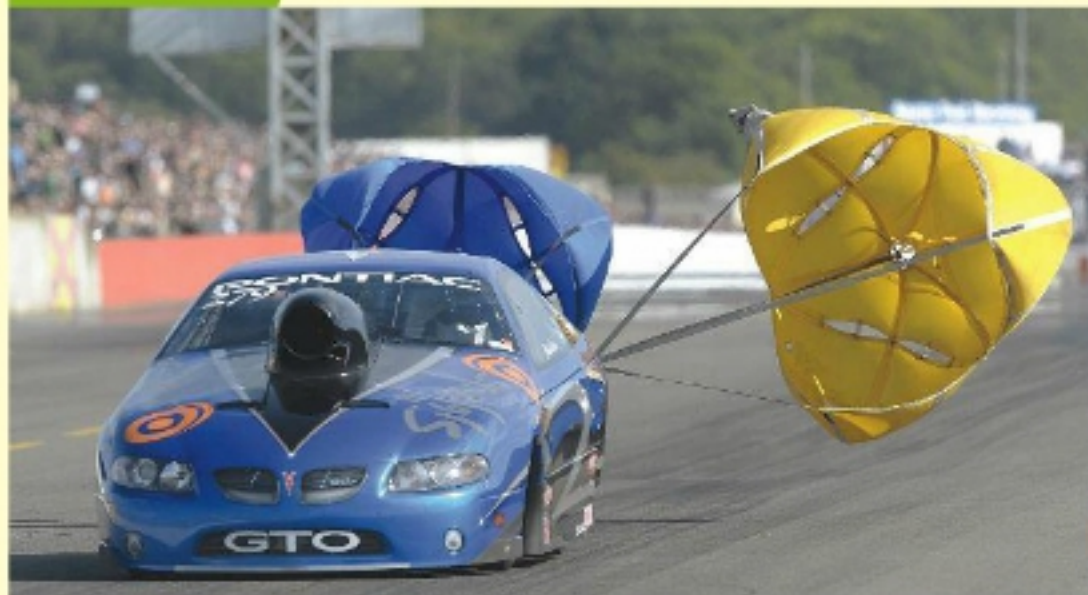


Évaluation diagnostique

Pour chaque situation présentée, proposer une réponse en argumentant.

Situation 1

Pour vérifier l'indispensable



Afin d'être plus légers et de minimiser tout échauffement dangereux, les dragsters utilisent des parachutes pour s'arrêter.

Dans quel référentiel peut-on considérer que la vitesse de ce véhicule est modifiée lors du freinage ? Comment caractériser alors son mouvement ?

▶ **Activités 1 et 3**, p. 130 et 132

Situation 2

Pour traquer les idées fausses



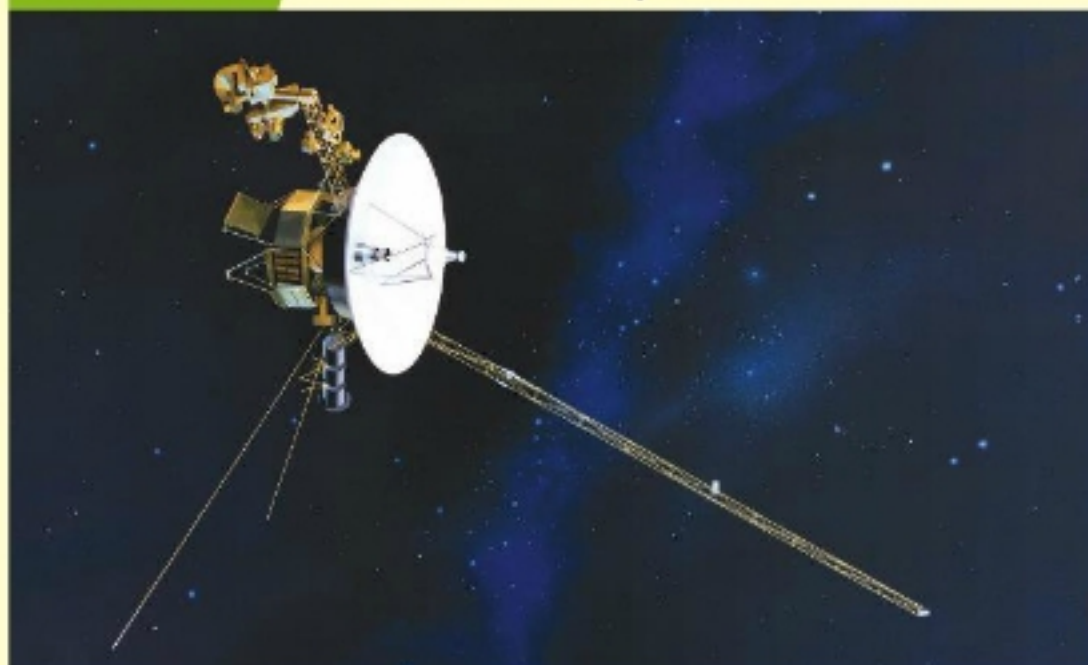
Le mouvement des chevaux de bois sur un manège est circulaire uniforme.

Le vecteur vitesse du centre d'inertie d'un cheval du manège est-il constant ?

▶ **Activités 2 et 4**, p. 131 et 133

Situation 3

Pour vérifier l'indispensable



La sonde *Voyager 1* est, de nos jours, l'engin spatial le plus éloigné de la Terre. Elle se déplace à la vitesse de 17 kilomètres par seconde, soit $61\,200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Cette sonde a-t-elle besoin d'une action mécanique pour se déplacer ainsi dans l'espace interstellaire ?

▶ **Activités 3 et 4**, p. 132 et 133

Mouvements et quantité de mouvement



La distance de freinage d'un véhicule est liée à sa quantité de mouvement, c'est-à-dire à sa vitesse et à sa masse.

Les acquis des classes précédentes

- ▶ La nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi.
- ▶ Une action mécanique est modélisée par une force.
- ▶ Une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement. Cette modification dépend de la masse du corps.
- ▶ Le principe d'inertie permet d'interpréter des mouvements simples.

Les compétences à acquérir

1. Choisir un référentiel d'étude.
2. Définir, reconnaître et caractériser des mouvements dans un référentiel d'étude.
3. Définir la quantité de mouvement, connaître et exploiter le principe d'inertie.

→ Culture scientifique
Notion d'accélération

Le bon référentiel

Il n'est pas possible d'affirmer qu'un objet est en mouvement ou au repos, ou qu'il est animé d'une vitesse grande ou petite sans, dans un premier temps, s'intéresser au référentiel dans lequel on se place.

Compétences scientifiques évaluées

- Extraire une information utile.
- Associer un modèle à un phénomène.

Étude de document

La relativité de la vitesse

Donner une vitesse n'a aucun sens si on ne spécifie pas le référentiel dans lequel on le mesure. Vous n'avez en général pas besoin d'y penser dans la vie courante. Quand le panneau de limitation indique 100 kilomètres/heure, on comprend que notre vitesse est mesurée par rapport à la route et non par rapport au trou noir situé au centre de la Voie lactée. Pourtant, même dans la vie courante, il arrive que l'on doive se soucier du référentiel.

Par exemple, si vous avancez une tasse de thé à la main dans le couloir d'un avion de ligne en vol, vous pouvez dire que vous vous déplacez à 5 kilomètres/heure. Quelqu'un au sol en revanche pourrait considérer que vous vous déplacez à 905 kilomètres/heure. Avant de décider lequel est plus proche de la vérité, rappelez-vous que, la Terre tournant autour du Soleil, un observateur situé à la surface de ce dernier sera en désaccord avec les deux affirmations et prétendra que vous vous déplacez à environ 30 kilomètres par seconde, tout en enviant votre climatisation.

The Grand Design, Stephen Hawking et Leonard Mlodinow, 2010.

Y a-t-il un grand architecte dans l'Univers ?
Traduction Marcel Filoche, Odile Jacob, 2011.

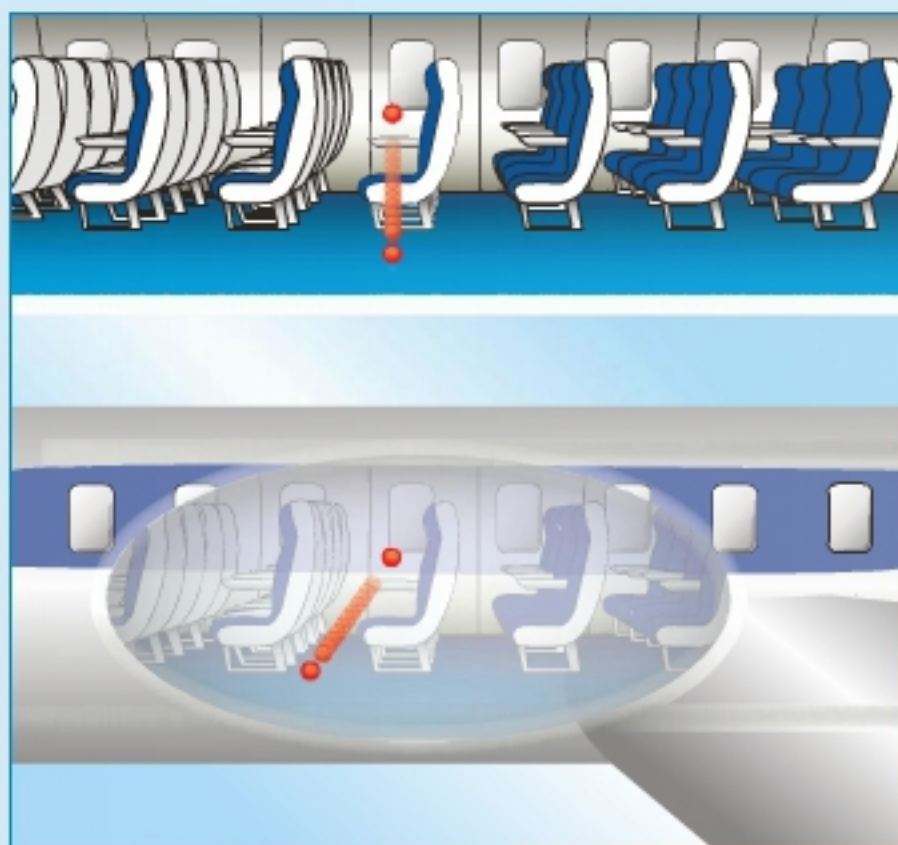


Fig. 1 Si vous faites rebondir une balle dans un avion, un observateur situé dans l'avion pourra croire que la balle rencontre toujours le même point à chaque rebond, tandis qu'un observateur situé sur Terre mesurera une grande différence entre les points de rebond.

Pistes de réflexion

Étude du texte

- 1 À l'aide du document, et éventuellement de vos acquis des classes précédentes, proposer une définition du mot référentiel.
- 2 Dans le second paragraphe du document :
 - a. Quel est l'objet dont on étudie le mouvement ?
 - b. Quelle est la grandeur, associée à cet objet, dont la valeur change ?
 - c. Quels sont les trois référentiels choisis par les auteurs ?
- 3
 - a. Pour un observateur au sol, quelle est la vitesse de l'avion de ligne ?
 - b. En supposant que la Terre décrit un cercle (dont vous devez trouver la circonférence) de rayon 150 millions de kilomètres

en un an (365 jours) autour du Soleil, retrouver la valeur « 30 kilomètres par seconde ».

Étude de la figure

- 4
 - a. Quel est l'objet dont on étudie le mouvement dans la figure 1 ?
 - b. Quels sont les deux référentiels d'étude choisis ?
- 5 Lors du passage d'un référentiel à l'autre, qu'est-ce qui est modifié au niveau de l'objet d'étude ?

Pour conclure

- 6 Pourquoi doit-on toujours préciser dans quel référentiel est étudié le mouvement d'un objet ?

Animation

Looping et accélération

Certaines attractions foraines permettent d'éprouver des sensations fortes, dues notamment aux vitesses atteintes et aux accélérations ressenties.

Compétences scientifiques évaluées

- Formuler des hypothèses pertinentes.
- Communiquer et argumenter en utilisant un vocabulaire scientifique adapté.

Étude de document

L'Olympia looping

L'Olympia looping est une attraction du type « montagnes russes » (Fig. 1).

Le mouvement d'un point d'un des wagonnets a été filmé sur la première partie de la piste. L'enregistrement vidéo ainsi obtenu a été traité à l'aide d'un logiciel de pointage, qui a calculé puis tracé sur différents points de la trajectoire des vecteurs vitesse (Fig. 2) et des vecteurs accélération (Fig. 3).



Fig. 1 L'Olympia looping.

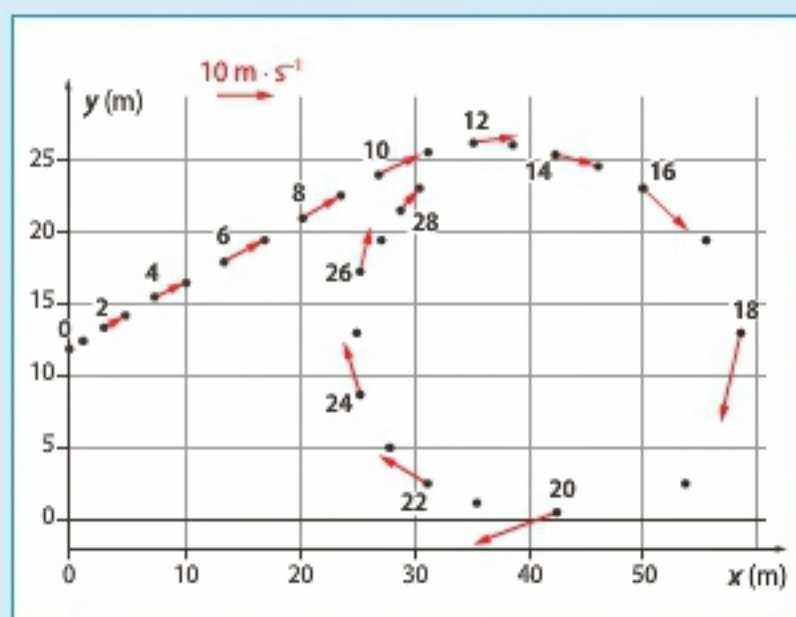


Fig. 2 Tracé des vecteurs vitesse en un point sur deux.

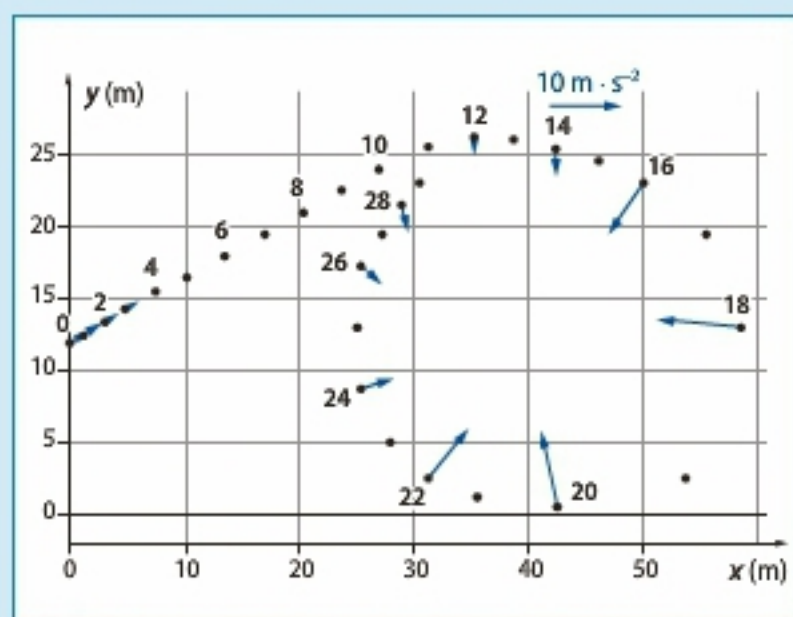


Fig. 3 Tracé des vecteurs accélération en un point sur deux.

Pistes de réflexion

1 La trajectoire

- Représenter l'allure de la trajectoire du point dont le mouvement est étudié.
- En utilisant les numéros des points, associer les qualificatifs « rectiligne », « curviligne » ou « circulaire » aux trois parties distinctes qui composent cette trajectoire.

2 Le vecteur vitesse

- Que peut-on dire de la direction et du sens du vecteur vitesse au cours de ce mouvement ?
- En utilisant les numéros des points :
 - préciser comment ce vecteur évolue pendant les différentes phases du mouvement ;
 - associer les qualificatifs « uniforme », « accéléré » ou « ralenti » aux parties distinctes qui composent ce mouvement.

3 Le vecteur accélération

- Dans la partie rectiligne de la trajectoire, que peut-on dire du vecteur accélération dans chacune des deux parties distinctes qui composent ce mouvement ?
- Dans la suite de la trajectoire :
 - que peut-on dire du vecteur accélération dans chacune des deux parties distinctes qui composent ce mouvement ?
 - que peut-on remarquer quant à l'angle qui existe entre le vecteur vitesse et le vecteur accélération ?

Pour conclure

- Quels « outils » permettent de décrire le mouvement d'un point au cours du temps ? Donner des exemples pour illustrer la réponse.

Référentiel et principe d'inertie

Pour appliquer le principe d'inertie, il est indispensable de choisir un référentiel. Mais peut-on choisir n'importe quel référentiel ?

Compétences scientifiques évaluées

- Faire preuve de curiosité.
- Valider ou invalider des hypothèses.

Pour commencer (situation déclenchante)

Il existe différents petits objets de formes différentes pouvant être suspendus aux rétroviseurs internes des voitures. Ces objets peuvent servir à décorer, à désodoriser et même, pour certaines cultures, avoir une action protectrice, comme le *Nazar Boncuk* (« œil bleu ») que l'on rencontre en Turquie, ou spirituelle, comme le *dreamcatcher* (« capteur de rêve »), très répandu en Amérique du Nord (Fig. 1).



Fig. 1 Un dreamcatcher suspendu au rétroviseur.

Afin de simplifier l'étude, on modélise l'objet par une petite balle, suspendue au rétroviseur par un fil de masse négligeable.

Quand la voiture est arrêtée ou quand elle roule à vitesse constante sur une route droite et parfaitement horizontale, la balle est verticale et ne bouge pas.

En revanche, dans le cas où la vitesse du véhicule augmente régulièrement pendant une durée $\Delta t = 10$ s, en passant d'une vitesse de valeur $v_0 = 0$ km · h⁻¹ à une vitesse de valeur $v_1 = 90$ km · h⁻¹, sur une portion de route rectiligne et parfaitement horizontale, la balle garde une position stable pendant cette durée, en faisant un angle α par rapport à la verticale (Fig. 2).

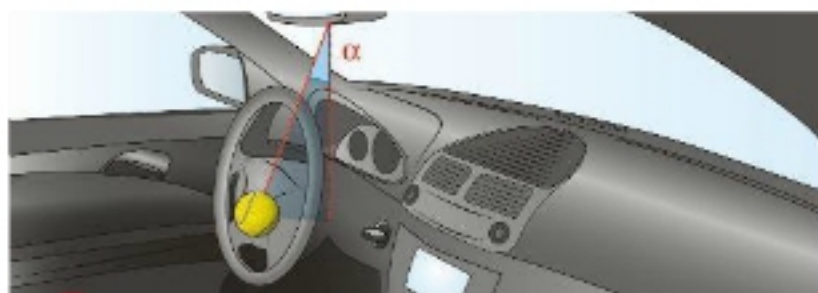


Fig. 2 La balle s'écarte de la verticale d'un angle α constant.

Investigation

Peut-on appliquer le principe d'inertie sur la balle suspendue au rétroviseur dans n'importe quel référentiel ?

Quelques idées (hypothèses)

Voici quelques idées exprimées par des élèves :

- « C'est l'inverse quand la voiture freine. »
- « Oui, et quand la voiture tourne à droite, la balle va à gauche. »
- « C'est sûrement une force qui fait bouger la balle. »

Étude de document (recherche de validation)

Le principe d'inertie énonce que tout objet persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les actions qui s'exercent sur lui se compensent.

Si la balle est à la verticale et la voiture en mouvement uniforme

- 1 Quel est le système étudié ici ?
- 2 a. Dans quel référentiel peut-on considérer le système au repos ?
b. Dans quel référentiel peut-on considérer le système animé d'un mouvement rectiligne uniforme ?
- 3 a. Faire le bilan des actions mécaniques s'exerçant sur le système (on pourra éventuellement construire un diagramme objets-actions en s'appuyant sur la fiche méthode p. 570).
b. Sur un schéma, représenter, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent les actions mécaniques correspondantes en utilisant la notation : $\vec{F}_{\text{donneur/receveur}}$
- 4 Le principe d'inertie est-il vérifié dans les deux référentiels choisis ?

Si la balle est inclinée

- 5 Dans quel référentiel peut-on considérer le système au repos ?
- 6 Reprendre les questions 3.a et b dans ce cas.
- 7 Le principe d'inertie est-il vérifié dans ce référentiel ?
- 8 a. De combien la vitesse de la voiture augmente-t-elle pendant la durée Δt ? Quelle est cette grandeur ? Comment qualifier le mouvement de la voiture ?
b. Quel est le mouvement du système si le conducteur prend un virage à droite à vitesse constante ? Comment qualifier le mouvement de la voiture ? Peut-on alors appliquer le principe d'inertie sur le système ?

Pour conclure

- 9 Pour appliquer le principe d'inertie, quelles doivent être les caractéristiques du référentiel d'étude ?

Mouvement, masse et vitesse

L'étude du choc entre deux objets permet de mettre en évidence une nouvelle grandeur qui tient compte de la masse et de la vitesse.

Compétences expérimentales évaluées

- Réaliser un montage expérimental.
- Écrire le résultat d'une mesure.

Principe

Au hockey sur glace, un palet est projeté à l'aide d'une crosse (Fig. 1). La masse du palet est comprise entre 156 et 170 grammes, alors que celle de la crosse, qui permet de lancer le palet, n'est pas réglementée. Il est possible de l'augmenter en ajoutant des bandes adhésives en plomb. La crosse ne doit toutefois pas être trop lourde, afin de rester maniable et de ne pas trop fatiguer le joueur.

En admettant que, lors d'un tir, la vitesse de la crosse est constante, quelle va être l'influence de sa masse sur la vitesse du palet ?



Fig. 1 Une crosse venant heurter un palet de hockey.

Mise en œuvre au laboratoire

Matériel

- deux mobiles autoporteurs équipés de bague élastique
- bague de surcharge
- lanceur à ressort étalonné
- générateur d'impulsions
- feuilles d'enregistrement
- table en verre horizontale délimitée par un fil en acier
- balances de portées différentes

Le premier mobile autoporteur, appelé mobile 1, simule le mouvement de la crosse. Il est propulsé par une force réglable, grâce au lanceur à ressort. Ce lanceur est fixé au bord de la table. Avant d'être lancé, le mobile est maintenu au repos à l'aide d'un aimant placé sur le lanceur. La masse de ce mobile est modifiable à l'aide de la bague de surcharge.

Le second mobile, appelé mobile 2, correspond au palet. Il est immobile et toujours disposé, au début de chaque expérience, à la même distance du premier mobile dans l'axe du lanceur.

L'enregistrement du mouvement du centre d'inertie de chaque mobile est effectué par étincelage. Le générateur délivre une impulsion électrique, de période réglable, à une pointe disposée sur l'axe des mobiles, qui laisse une trace ponctuelle sur la feuille d'enregistrement conductrice.

Mesures

- À l'aide d'une balance adaptée, mesurer la masse m_m des mobiles équipés de leur bague à ressort et la masse m_b de la bague de surcharge.

1 Déterminer l'incertitude Δm et écrire les résultats des mesures.

L'expérience consiste à étudier l'influence de la masse du mobile 1 sur le mouvement du mobile 2.

- Régler le générateur d'impulsion sur une durée $\Delta t = 40$ ms.

On effectuera deux lancements : l'un avec le mobile 1 non lesté et l'autre avec le mobile 1 lesté par la bague de surcharge. On veillera à ce que, dans les deux cas, la vitesse du mobile soit la même. Le lanceur peut se régler à cet effet.

- Faire des essais préalables.
- Le mobile 2 est placé à 20 cm du mobile 1 au moment du lancer (effectué à l'aide du lanceur). Pour chacune des deux situations de lancer du mobile 1 sur le mobile 2, effectuer un enregistrement du mouvement des mobiles.

Exploitation

2 a. Quel est le mouvement de chaque mobile dans les deux situations étudiées ?

b. Peut-on appliquer à chacun le principe d'inertie ? Comment qualifier le système {mobile} ?

3 Pour chaque situation étudiée, calculer la vitesse du mobile 2 après le choc. Quelle est l'influence de la masse du mobile 1 sur la vitesse du mobile 2 ?

4 En utilisant la fiche méthode p. 571, tracer, sur chaque enregistrement, les vecteurs vitesse \vec{v}_1 pour le mobile 1 et \vec{v}_2 pour le mobile 2. Sont-ils identiques ? De quelle grandeur doit-on tenir compte pour étudier un mouvement ?

5 Le vecteur quantité de mouvement d'un système de masse m et de vitesse \vec{v} est défini par : $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$. Sur chaque enregistrement, tracer les vecteurs quantité de mouvement \vec{p}_1 pour le mobile 1 et \vec{p}_2 pour le mobile 2. Sont-ils identiques ?

Pour conclure

6 Comment évolue la vitesse du palet si la masse de la crosse augmente ?

7 a. Que peut-on dire du vecteur quantité de mouvement du système {crosse + palet} ?

b. Proposer une autre formulation du principe d'inertie en utilisant le vecteur quantité de mouvement.

1 Référentiel d'étude

> Activités 1 et 3

● Référentiels usuels

Le mouvement d'un objet ponctuel est caractérisé par sa trajectoire et sa vitesse par rapport à un solide de référence appelé **référentiel**.

L'étude du mouvement des planètes et de tout objet se déplaçant dans le système solaire est réalisée dans le **référentiel héliocentrique**, qui est lié au centre du Soleil. Pour les mouvements qui s'effectuent autour de la Terre, on choisit le **référentiel géocentrique**, qui est lié au centre de la Terre.

Le référentiel utilisé pour l'étude des mouvements sur Terre ou à son voisinage proche est le **référentiel terrestre**. Il est lié à la surface terrestre, et tourne donc autour de l'axe des pôles. Tout repère fixe par rapport à la surface de la Terre est assimilé à un référentiel terrestre.

● Référentiel galiléen

Par définition, un référentiel est dit **galiléen** si le principe d'inertie, appelé aussi première loi de Newton, est vérifié dans ce référentiel.

- Le **référentiel héliocentrique** est considéré comme galiléen.
- Le **référentiel géocentrique** est galiléen si l'étude ne dépasse pas quelques heures (pour négliger la rotation de la Terre autour du Soleil).
- Le **référentiel terrestre** est galiléen si l'étude ne dépasse pas quelques minutes (pour négliger le mouvement de rotation propre de la Terre).

Si les actions mécaniques s'exerçant sur un objet au repos dans un référentiel ne se compensent pas (Fig. 1), le principe d'inertie ne peut s'appliquer dans ce référentiel, qui n'est alors pas considéré comme galiléen.

Plus généralement, tout référentiel qui tourne, ralentit ou accélère par rapport à un référentiel galiléen n'est pas galiléen.

⇒ Exercices 1 à 6



Fig. 1 Sur un manège qui tourne, des personnes, pour garder leur équilibre, doivent s'incliner par rapport à la verticale. Les actions mécaniques qui s'exercent sur elles – poids et réaction du sol – ne se compensent pas.

2 Décrire quelques mouvements > Activité 2

● Le vecteur position

Dans le référentiel pris pour l'étude d'un mouvement, on choisit un **repère d'espace orthonormé** et un **repère de temps**. Le temps est compté à partir d'une origine à laquelle $t = t_0 = 0$. La position du point mobile est donnée par son vecteur position à un instant t (Fig. 2).

● Le vecteur vitesse

Une variation du vecteur position (en valeur et/ou direction) entraîne l'existence d'un **vecteur vitesse**.

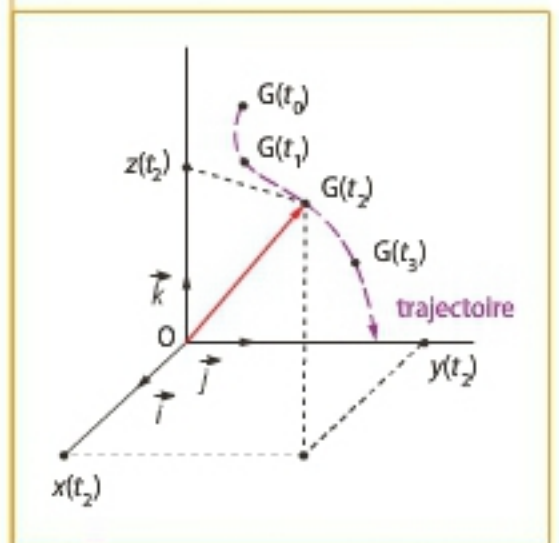


Fig. 2 Vecteur position $\overrightarrow{OG}(t_2)$ d'un point G à la date t_2 dans le repère orthonormé $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

Pour un point $G(t_i)$ marquant la position d'un point mobile G à un instant t_i , le vecteur vitesse $\vec{v}(t_i)$ est défini par :

$$\vec{v}(t_i) = \frac{\vec{OG}(t_{i+1}) - \vec{OG}(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\Delta\vec{OG}}{\Delta t} \quad (\text{Fig. 3})$$

Le **vecteur vitesse** $\vec{v}(t)$ d'un point mobile à un instant t est caractérisé par :

- sa **direction**, la tangente à la trajectoire au point considéré ;
- son **sens**, celui du mouvement à l'instant t ;
- sa **valeur** v , qui s'exprime en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

La représentation graphique $x = f(t)$ (Fig. 4) donne les variations de x en fonction du temps. La valeur de la coordonnée v_x de la vitesse à l'instant t est : $v_x(t) = \Delta x / \Delta t$. Elle correspond à la pente de la tangente à la courbe $x = f(t)$ à l'instant t .

La valeur de $v_x(t)$ est alors égale au nombre dérivé de la fonction à l'instant t :

$$v_x(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

Le **vecteur vitesse** est la dérivée du vecteur position par rapport au temps.

Dans un repère orthonormé $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, le vecteur vitesse peut donc s'écrire :

$$\vec{v}(t) = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k} = \frac{dx(t)}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dy(t)}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dz(t)}{dt} \cdot \vec{k}$$

La valeur de la vitesse à un instant t est : $v(t) = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$.

Le vecteur accélération

Une variation du vecteur vitesse (en valeur et/ou direction) entraîne l'existence d'un **vecteur accélération**.

Pour un point $G(t_i)$ marquant la position d'un point mobile G à un instant t_i , le vecteur accélération $\vec{a}(t_i)$ est défini par :

$$\vec{a}(t_i) = \frac{\vec{v}(t_{i+1}) - \vec{v}(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} = \frac{\Delta\vec{v}(t_i)}{\Delta t} \quad (\text{Fig. 5})$$

Le **vecteur accélération** d'un point mobile à un instant t est caractérisé par :

- son **sens** et sa **direction**, qui sont identiques à ceux du vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}(t)$;
- sa **valeur** $a(t) = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t}$, qui s'exprime en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Comme le vecteur vitesse est la dérivée du vecteur position par rapport au temps, le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps.

Dans un repère orthonormé $(O; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ le vecteur accélération peut s'écrire :

$$\vec{a}(t) = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k} = \frac{dv_x(t)}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dv_y(t)}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dv_z(t)}{dt} \cdot \vec{k}$$

La valeur de l'accélération à un instant t est : $a(t) = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$.

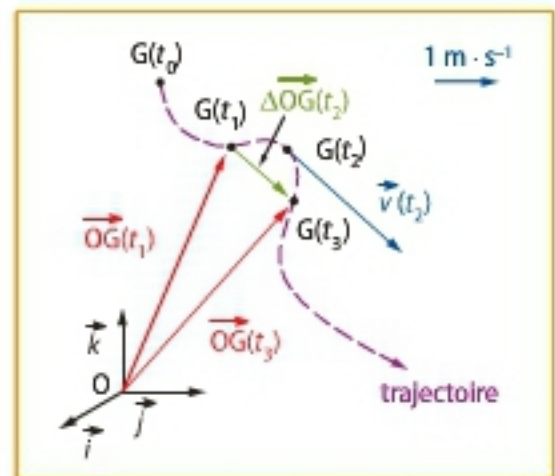


Fig. 3 Vecteur vitesse d'un point mobile G à l'instant t_2 représenté à l'aide d'une échelle adaptée.

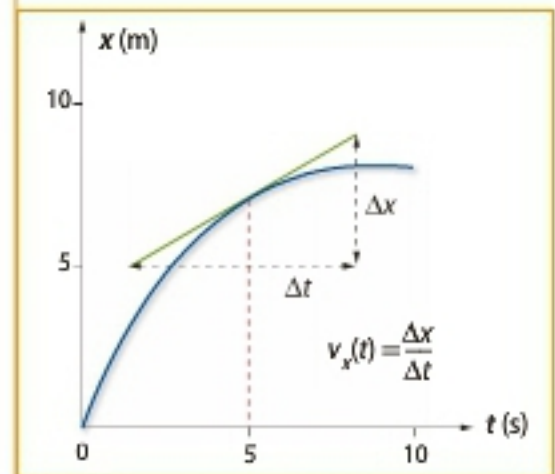


Fig. 4 Calcul de la pente de la tangente à l'instant $t = 5$ s pour une représentation $x = f(t)$.

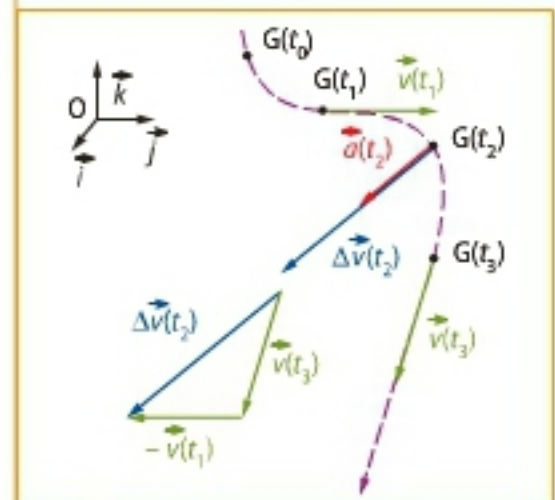


Fig. 5 Le vecteur accélération à l'instant t_2 et le vecteur $\Delta\vec{v}(t_2) = \vec{v}(t_3) - \vec{v}(t_1)$ ont même direction et même sens.

● Mouvements rectiligne et circulaire

Un mouvement est **rectiligne** si la trajectoire est une droite.

Un mouvement rectiligne est caractérisé par les vecteurs vitesse et accélération :

Mouvement rectiligne uniforme	Mouvement rectiligne uniformément accéléré	Mouvement rectiligne uniformément ralenti
Le vecteur vitesse \vec{v} est constant au cours du temps : $\vec{v}(t) = \vec{v} = \text{constante}$. $\vec{a} = \vec{0}$ donc $\vec{v} \cdot \vec{a} = 0$.	Le vecteur accélération est constant au cours du temps : $\vec{a}(t) = \vec{a} = \text{constante}$.	
	Les vecteurs \vec{v} et \vec{a} sont de même sens. La valeur de v augmente. $\vec{v} \cdot \vec{a} > 0$.	Les vecteurs \vec{v} et \vec{a} sont de sens opposés. La valeur de v diminue. $\vec{v} \cdot \vec{a} < 0$.

Un mouvement est **circulaire** si la trajectoire est un cercle.

Il est caractérisé par les vecteurs vitesse et accélération :

Mouvement circulaire uniforme	Mouvement circulaire uniformément accéléré	Mouvement circulaire uniformément ralenti
Le vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ varie mais sa valeur v reste constante. Le vecteur accélération \vec{a} est dirigé vers le centre de la trajectoire. $\vec{v} \cdot \vec{a} = 0$.	Le vecteur accélération est constant au cours du temps : $\vec{a}(t) = \vec{a} = \text{constante}$. Il est toujours dirigé vers l'intérieur de la trajectoire.	
	La valeur de la vitesse v augmente. $\vec{v} \cdot \vec{a} > 0$.	La valeur de la vitesse v diminue. $\vec{v} \cdot \vec{a} < 0$.

⇒ Exercices 7 à 12

3 La quantité de mouvement

> Activité 4

● Système isolé ou pseudo-isolé

Pour désigner l'objet ou l'ensemble d'objets étudiés au cours d'un mouvement, on utilise le terme de **système**.

Un **système** est dit **isolé** s'il n'est soumis à aucune action mécanique extérieure.

Sur Terre, il n'existe pas de système isolé, puisque tout objet est soumis à l'action de la Terre. On parle alors de **systèmes pseudo-isolés**.

Un **système** est **pseudo-isolé** si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent.

Repère

Le système choisi se note entre accolades : {système}. Le choix d'un système dépend de la situation rencontrée et de l'étude que l'on veut faire.

● Le vecteur quantité de mouvement

Deux balles de masses différentes et lancées avec la même vitesse ne parcourent pas la même distance. La masse est une caractéristique invariable d'un système et elle intervient dans une nouvelle grandeur devenue nécessaire pour étudier un mouvement : la **quantité de mouvement**.

Le **vecteur quantité de mouvement** $\vec{p}(t)$ d'un objet à l'instant t est le produit de sa masse m par le vecteur vitesse \vec{v} de son centre d'inertie :

$$\vec{p}(t) = m \cdot \vec{v}(t) \quad (\text{Fig. 6}).$$

Son intensité p s'exprime en $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

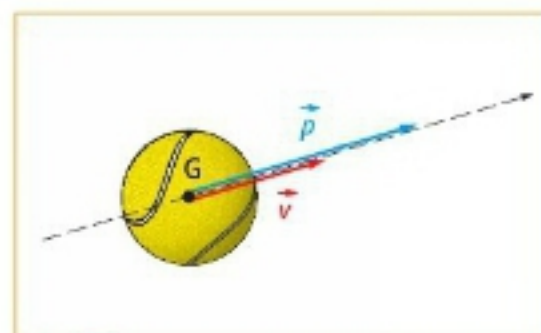


Fig. 6 Vecteur quantité de mouvement du centre d'inertie d'une balle.

● La première loi de Newton ou principe d'inertie

La première loi de Newton, également appelée principe d'inertie, dit que tout système persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent ou s'il n'est soumis à aucune action mécanique. Un tel système est un système isolé ou pseudo-isolé. Autrement dit :

Dans un référentiel galiléen, le vecteur quantité de mouvement d'un système isolé ou pseudo-isolé est constant. Réciproquement, si ce vecteur est constant, le système est isolé ou pseudo-isolé.

Si le système n'est plus isolé ou pseudo-isolé, le vecteur quantité de mouvement varie au cours du temps.

⇒ Exercices 13 à 19

Les compétences à acquérir

1 Choisir un référentiel d'étude

- L'étude du mouvement implique le choix d'un **référentiel**.
- Un référentiel est dit **galiléen** si la première loi de Newton, ou principe d'inertie, est vérifiée dans ce référentiel.

2 Définir, reconnaître et caractériser des mouvements dans un référentiel d'étude

- Dans le référentiel d'étude auquel on associe des repères d'espace et de temps, un point mobile est repéré par son **vecteur position**.
- La trajectoire d'un mouvement **rectiligne** est une **droite**, celle d'un mouvement **circulaire** est un **cercle**.
- Par leurs caractéristiques, les vecteurs vitesse et accélération permettent de décrire un mouvement au cours du temps.

- Le mouvement est **uniforme** si $\vec{v} \cdot \vec{a} = 0$. Pour un vecteur \vec{a} constant, le mouvement est **uniformément accéléré** si $\vec{v} \cdot \vec{a} > 0$ et **uniformément ralenti** si $\vec{v} \cdot \vec{a} < 0$.

3 Définir la quantité de mouvement, connaître et exploiter le principe d'inertie

- Un **système** est **isolé** s'il n'est soumis à aucune action mécanique extérieure. Il est **pseudo-isolé** si les actions mécaniques qui s'exercent sur lui se compensent.
- Le **vecteur quantité de mouvement** $\vec{p}(t)$ d'un objet à l'instant t est le produit de sa masse m par le vecteur vitesse de son centre d'inertie :

$$\vec{p}(t) = m \cdot \vec{v}(t), \text{ avec } p \text{ en } \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- La **première loi de Newton** ou **principe d'inertie** s'énonce ainsi : dans un référentiel galiléen, le vecteur quantité de mouvement d'un système isolé ou pseudo-isolé reste constant.

Compétence 1

> Choisir un référentiel d'étude

1 QCM

Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1 Dans quel référentiel les planètes du système solaire sont-elles animées d'un mouvement elliptique ?

- a Le référentiel terrestre.
- b Le référentiel géocentrique.
- c Le référentiel héliocentrique.

2 Un élève assis sur sa chaise dans une salle de classe est en mouvement dans :

- a le référentiel terrestre ;
- b le référentiel géocentrique ;
- c le référentiel héliocentrique.

3 On étudie le mouvement d'une balle lancée verticalement vers le haut dans un véhicule par un enfant. Dans quel(s) cas le référentiel voiture est-il considéré comme galiléen ?

- a Quand la voiture est immobile.
- b Quand la voiture prend un virage.
- c Quand la voiture freine.
- d Quand la voiture roule à vitesse constante sur une portion de route rectiligne.

2 Mobile autoporteur

Un mobile autoporteur est placé sur une table parfaitement horizontale. Le mobile est lancé et les positions de son centre d'inertie sont enregistrées dans les deux cas suivants : 1 la table est immobile ; 2 la table est mise en mouvement dans le plan horizontal à l'aide d'un système de vibreurs.

Enregistrement 1

Enregistrement 2



1. Quelles sont les actions mécaniques qui s'exercent sur un mobile autoporteur ? Se compensent-elles ?

2. En justifiant, préciser pour quel enregistrement le référentiel table est considéré comme galiléen dans l'étude de ce mouvement.

3. Quel autre nom peut-on alors donner à ce référentiel ?

3 Satellite géostationnaire

Les paraboles, qui nous permettent de recevoir par exemple des chaînes de télévision, sont pointées vers un satellite dit géostationnaire. En fonction du satellite visé, il faut régler de manière précise deux angles, qui sont l'azimut et l'élévation.

1. Quel est le mouvement d'un tel satellite dans le référentiel terrestre ?

2. Quel est-il dans le référentiel géocentrique ?

4 L'ascenseur

Quand un ascenseur monte d'un étage, sa vitesse augmente dans un premier temps, puis se stabilise et finit par diminuer.

1. Dans quelle partie du mouvement de l'ascenseur peut-on appliquer le principe d'inertie sur une personne immobile à l'intérieur ?

2. Dans quel cas peut-on considérer l'ascenseur comme un référentiel galiléen ?

5 Lune-Terre

1. Dans quel référentiel peut-on dire que la Lune se lève à l'Est et se couche à l'Ouest ?

2. Quel est le mouvement de la Lune dans le référentiel géocentrique ?

3. a. Pour un observateur terrestre, la Lune présente toujours la même face. Pour un astronaute placé sur cette face de la Lune, quel serait le mouvement de la Terre ?

b. Quel est dans ce cas le référentiel ?

c. Par analogie avec le référentiel géocentrique, définir un référentiel lunocentrique.

d. Quel est le mouvement d'un astronaute sur la Lune dans ce référentiel lunocentrique ?

e. Peut-il être considéré comme galiléen pour l'étude d'un mouvement de quelques heures ?

Donnée. La période de rotation de la Lune sur elle-même est de 27,3 jours.

6 The analemma



If you take one picture of the Sun, every week, at precisely the same time and in the same place during a whole year, you will get this figure.



The track left by the Sun over the course of a year is called an analemma. The apparent shift of the Sun is caused by the Earth's motion around the Sun combined with the tilt of the Earth's axis.

1. What is the study's reference frame chosen here?

2. When does the Sun appear at the highest point of the analemma?

3. When the Sun is at the lowest point of the analemma, which day of the year is it?

Compétence 2

➤ Définir, reconnaître et caractériser des mouvements dans un référentiel d'étude

7 QCM

Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1 Quand le mouvement du centre d'inertie d'un objet est rectiligne uniforme :

- a sa vitesse est nulle ;
- b son accélération est nulle ;
- c sa trajectoire est rectiligne ;
- d son vecteur vitesse est constant.

2 Quand le mouvement du centre d'inertie d'un système est rectiligne uniformément ralenti :

- a son accélération est nulle ;
- b la valeur de sa vitesse diminue ;
- c les vecteurs vitesse et accélération sont de même sens ;
- d ils sont de sens opposés.

3 Quand le mouvement du centre d'inertie d'un système est circulaire uniforme :

- a sa trajectoire est une courbe quelconque ;
- b la valeur de sa vitesse est constante ;
- c le vecteur vitesse est constant ;
- d le vecteur accélération est tangent à la trajectoire.

4 Quand le mouvement du centre d'inertie d'un système est circulaire uniformément accéléré :

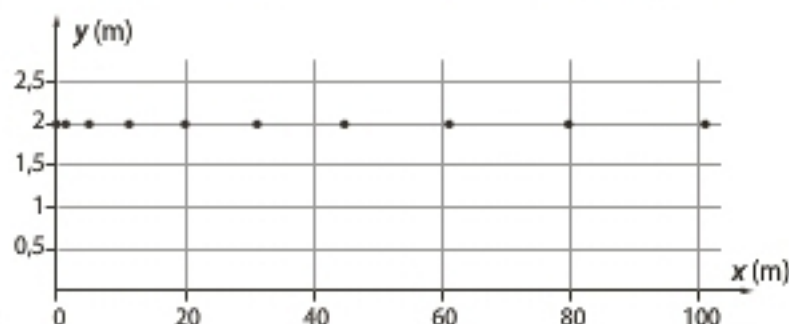
- a le vecteur vitesse est constant ;
- b la valeur de sa vitesse augmente ;
- c le vecteur accélération est dirigé vers l'intérieur de la trajectoire ;
- d l'angle entre les vecteurs vitesse et accélération est inférieur à 90° .

8 Mouvement d'un point

- Que doit-on définir pour étudier le mouvement d'un point dans un plan ?
- Quel vecteur va-t-on alors utiliser ?

9 Vitesse et mouvement

À partir d'un enregistrement vidéo, on obtient les coordonnées d'un point en mouvement toutes les 0,5 seconde :



- Comment évolue la valeur de la vitesse au cours de ce mouvement ?
- Quel est le type de mouvement enregistré ?

10 Calcul de la vitesse

Le mouvement d'un point sur un axe horizontal est modélisé par la fonction : $x = 3t + 5$, avec x en m et t en s.

- a. Quelle est la position de ce point à l'instant $t = 0$?
b. Même question à $t = 3$ s.
- Quelle est la valeur de la vitesse ?
- Quel est le mouvement de ce point ?

EXERCICE RÉSOLU

11 Départ arrêté

La rapidité des motos est chronométrée sur 400 ou 1 000 mètres en ligne droite. Les motos les plus puissantes sont celles pour lesquelles les durées chronométrées sont les plus courtes.

On mesure la vitesse sur les cinq premières secondes ($t = 5,00$ s) et on obtient pour 400 m la relation $v(t) = 12,2 t$.

- Quelle est la vitesse maximale atteinte par la moto ?
- a. Quelle est l'unité de la valeur 12,2 ?
b. Que représente cette valeur ?

Aides et méthodes

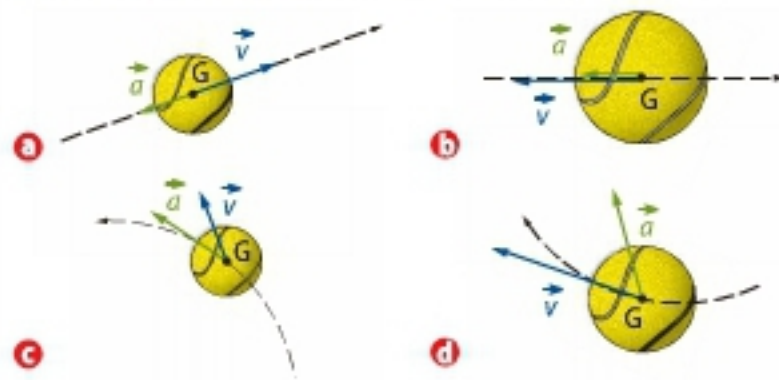
- Elle sera maximale pour $t = 5,00$ s.
- Il faut utiliser la relation $v(t) = 12,2 t$.

Solution

- Au bout de 5 secondes, la vitesse est :
 $v(5) = 12,2 \times 5,00 = 61,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 220 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
- a. D'après la relation $v = 12,2 t$, la valeur 12,2 correspond à v/t . Il s'agit d'une variation de vitesse pour une certaine durée, et son unité est $\text{m}/(\text{s} \cdot \text{s})$ soit $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
b. Cette valeur est une accélération.

12 Les bons vecteurs

Les trajectoires, vecteurs vitesse et accélération du centre d'inertie d'une balle sont représentés ci-dessous :



- En justifiant, indiquer les situations où les vecteurs sont bien représentés.
- Pour les bonnes représentations, préciser la nature du mouvement du centre d'inertie de la balle.

Compétence 3

➤ Définir la quantité de mouvement, connaître et exploiter le principe d'inertie

13 VRAI ou FAUX ?

En justifiant, indiquer si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses.

- 1 Si la valeur du vecteur quantité de mouvement est constante, le vecteur l'est aussi.
- 2 Le vecteur quantité de mouvement est colinéaire au vecteur vitesse.
- 3 Les vecteurs vitesse et quantité de mouvement sont représentés à l'aide d'une échelle identique.
- 4 Un garçon court et saute sur sa planche à roulettes. Le système {garçon + planche} est considéré comme pseudo-isolé. Une fois sur sa planche, sa vitesse va augmenter.
- 5 Dans le référentiel héliocentrique, la Terre est un système isolé ou pseudo-isolé.

14 Classement

Calculer les valeurs des quantités de mouvement suivantes et les classer de la plus petite à la plus grande.

1. Une voiture de masse 950 kg roulant à une vitesse de valeur $50,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
2. Un proton de masse $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ se déplaçant à la vitesse de la lumière $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
3. Une pierre de curling de masse 20 kg glissant à $1,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
4. Un avion de 73 tonnes roulant sur la piste à $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

15 Momentum



A cannon fires a 35.0 kg shell towards a target. This shell moves with a velocity of $180 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Calculate the shell's momentum using the correct unit.

EXERCICE RÉSOLU

16 Chute libre

1. Pendant les premières secondes de son saut, un parachutiste (parachute fermé) est en chute libre. Il n'est soumis alors qu'à son propre poids. Le système {parachutiste + parachute} est-il un système pseudo-isolé ?
2. Comment évolue le vecteur quantité de mouvement du centre d'inertie du système pendant cette durée ? Quelles sont ses caractéristiques ?

Aides et méthodes

1. Le bilan des actions mécaniques est donné dans l'énoncé.
2. Raisonner par rapport au vecteur vitesse.

Solution

1. Non, puisqu'il est soumis à une seule action mécanique, qui ne peut se compenser elle-même.

2. Le vecteur quantité de mouvement augmente car la vitesse augmente.

Sa direction et son sens sont ceux de la vitesse (direction verticale, sens vers le bas).

17 Bilan des forces et système

1. Faire le bilan des actions mécaniques s'exerçant sur les systèmes suivants :
 - a. {lugeur + luge en train de freiner} ;
 - b. {un astéroïde perdu dans le vide intersidéral} ;
 - c. {un livre posé sur une table} ;
 - d. {un enfant sur un remonte-pente à vitesse constante}.
2. Sur un schéma, représenter, sans souci d'échelle, les forces qui modélisent les actions mécaniques correspondantes, en utilisant la notation $\vec{F}_{\text{donneur/receveur}}$.
3. À l'aide de ce bilan des forces, préciser si les systèmes sont, ou non, isolés ou pseudo-isolés.
4. Pour quel(s) système(s) le vecteur quantité de mouvement est-il nul ?

18 Principe d'inertie et système pseudo-isolé

On enregistre le mouvement d'un mobile autoporteur lancé sur une table horizontale et posé sur une table que l'on incline. On obtient les trajectoires suivantes :

Enregistrement 1



Enregistrement 2



1. Rappeler la définition du principe d'inertie ou première loi de Newton.
2. En utilisant cette loi, pour quel enregistrement le système mobile autoporteur est-il pseudo-isolé ?
3. En justifiant, associer à chaque enregistrement la position de la table.
4. Comment évolue le vecteur quantité de mouvement du centre d'inertie du mobile pour chaque enregistrement ?

19 Ski de vitesse

Une skieuse descend de plus en plus vite sur la piste de vitesse de Vars. Un élève propose la représentation ci-contre des forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur le système {skieuse + skis}.



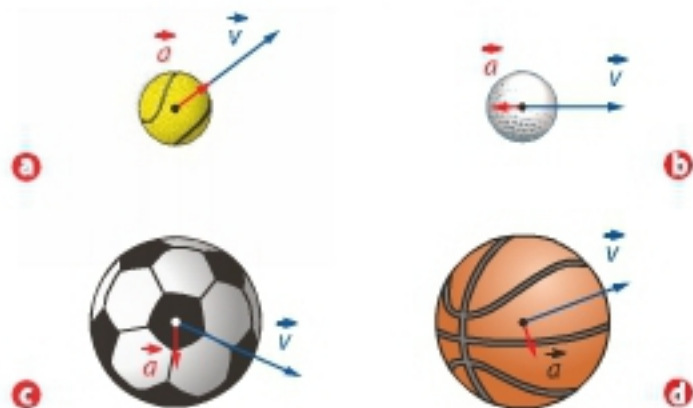
1. Quelles sont ces deux actions mécaniques ?
2. Si cette représentation est correcte, peut-on appliquer le principe d'inertie sur le système ? Est-ce possible ici ?
3. Comment modifier cette représentation des forces pour qu'elle soit en accord avec l'énoncé ?

Exercices de synthèse

Pour préparer le **BAC**

20 Nature du mouvement

Les vecteurs vitesse et accélération du centre d'inertie de balles ou de ballons en mouvement sont représentés ci-dessous :



1. Dans quel référentiel sont étudiés ces mouvements ?
2. Pour chaque cas, préciser la nature du mouvement.

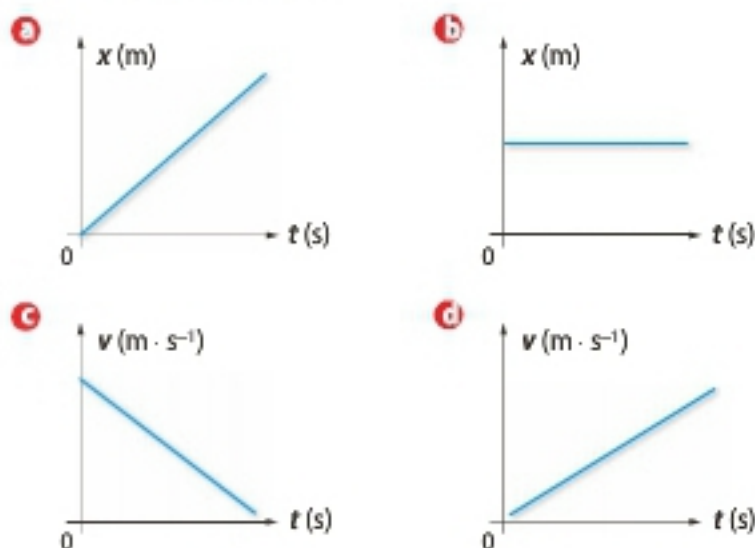
21 Une sacrée accélération

Une voiture de course est capable de passer de 0 à $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en 3,7 s sur une portion de circuit rectiligne et horizontale.

1. En supposant l'accélération constante, calculer sa valeur et l'exprimer dans l'unité correcte.
2. Pendant cette phase d'accélération, quels sont, à un instant t , le sens et la direction des vecteurs vitesse et accélération du centre d'inertie du bolide ?
3. Dans le référentiel terrestre, cette voiture est-elle un système pseudo-isolé ?

22 Le bon graphe

Les graphes suivants correspondent à différents mouvements rectilignes sur un seul axe.



Associer chaque représentation graphique à un des mouvements de la liste ci-dessous :

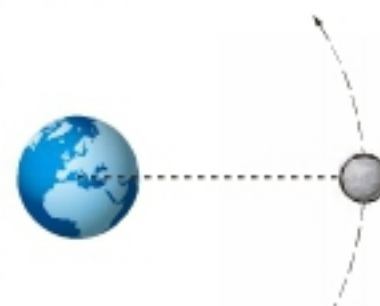
- 1 mouvement uniformément accéléré ;
- 2 mouvement uniforme ;
- 3 système au repos ;
- 4 mouvement uniformément ralenti.

23 Mouvement de la Lune

Deux siècles avant J.-C., Hipparque proposait déjà une description complète du mouvement de la Lune.

Donnée. Distance moyenne Terre-Lune : $d = 384\,000 \text{ km}$.

1. Dans quel référentiel peut-on affirmer que l'orbite de la Lune autour de la Terre est circulaire et que sa période de révolution est de 27,3 jours ?
2. Calculer la valeur de la vitesse du centre d'inertie de la Lune, supposée constante, dans ce référentiel.
3. Sur la figure ci-contre, que vous reproduirez, et à l'aide d'une échelle adaptée, tracer ce vecteur vitesse.
4. Compléter cette figure en ajoutant, sans souci d'échelle, le vecteur accélération du centre d'inertie de la Lune.
5. a. Dans ce référentiel, la Lune est-elle un système pseudo-isolé ou isolé ?
b. Que se passerait-il si la Lune devenait un système isolé ?



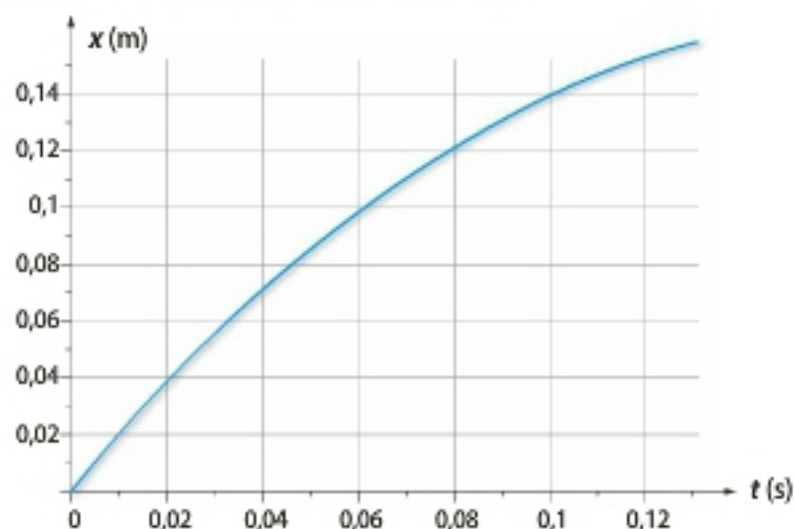
24 Coordonnées et vecteur vitesse

Un point matériel de masse $m = 0,1 \text{ kg}$ est mobile dans un plan muni d'un repère orthonormé $(O ; x, y)$. Les coordonnées de ce point au cours du temps sont : $x(t) = 2t$ et $y(t) = 4t + 2$.

1. a. Comment retrouver l'équation de la trajectoire de ce point, qui est de la forme : $y = f(x)$?
b. D'après cette équation, quelle est la trajectoire du point ?
2. a. Quelles sont les coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse ?
b. En déduire la valeur de ce vecteur. Quelle est la nature du mouvement ?
3. a. Donner l'expression du vecteur quantité de mouvement.
b. Ce point est-il pseudo-isolé ?

25 Calcul de vitesse

Les variations au cours du temps de l'abscisse x d'un point en mouvement sont données ci-dessous :

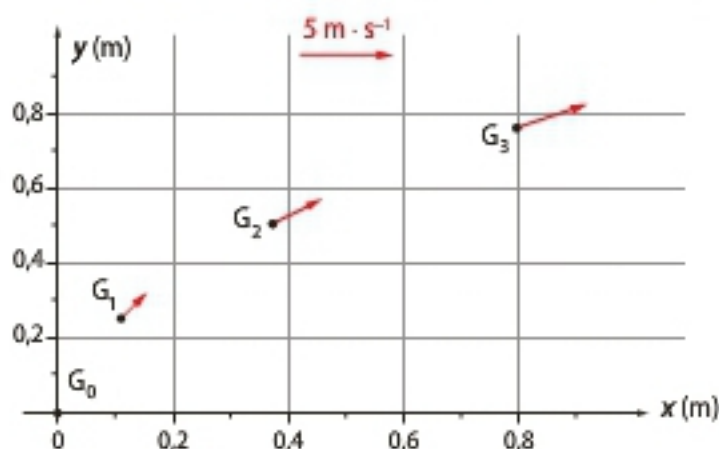


1. Déterminer graphiquement la vitesse de ce point à l'instant $t = 0,08 \text{ s}$.
2. Comment évolue cette vitesse au cours du temps ?

Exercices

26 De la trajectoire aux vecteurs

Les coordonnées du centre d'inertie d'un point mobile sont représentées toutes les 125 ms dans un repère $(O; x, y)$. Sur cette trajectoire figurent également les vecteurs vitesse aux points G_1, G_2 et G_3 , qui correspondent aux instants t_1, t_2 et t_3 :



- Recopier la figure et tracer le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}(t_2) = \vec{v}(t_3) - \vec{v}(t_1)$ à l'instant t_2 .
 - À l'aide de l'échelle proposée pour la vitesse, déterminer la valeur de ce vecteur variation de vitesse.
- Calculer la durée $\Delta t = t_3 - t_1$. En déduire la valeur de l'accélération à l'instant t_2 .
 - En choisissant une échelle adaptée, tracer le vecteur accélération $\vec{a}(t_2)$.

27 Des équations à la vitesse et à l'accélération

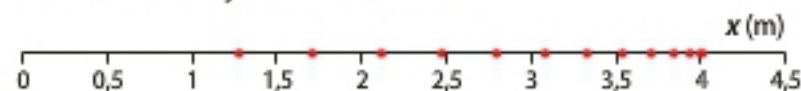
Un point matériel G est animé d'un mouvement décrit, dans un repère orthonormé, par les équations horaires de ses coordonnées : $x(t) = 4,00 t^2 + 6,00 t$ et $y(t) = 3,00 t$.

- Pourquoi qualifie-t-on ces équations d'« horaires » ?
- Quelles sont les coordonnées de G à l'instant $t = 0$?
- Donner l'expression des coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse de G en fonction du temps.
 - Calculer les coordonnées de la vitesse à $t = 1,00$ s, puis en déduire la valeur de la vitesse à cet instant.
- À partir des coordonnées de la vitesse, donner l'expression des coordonnées a_x et a_y de l'accélération de G. En déduire sa valeur.

28 Accélééré ou retardé ?

On enregistre les positions prises par le centre d'inertie d'un mobile à intervalles de temps réguliers égaux : $\tau = 40$ ms.

On obtient la trajectoire suivante :

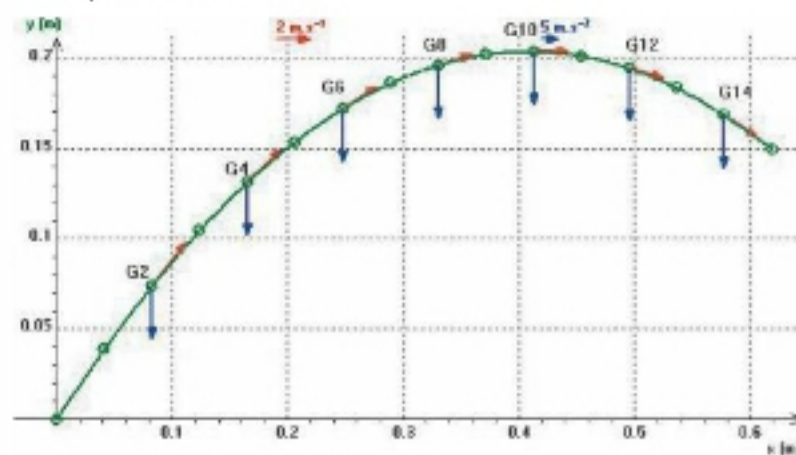


- Reproduire le schéma et numéroté les points en commençant par le n° 1. Calculer les vitesses aux points 3, 4 et 5, en utilisant la fiche méthode p. 571.
- Tracer les vecteurs correspondants en utilisant une échelle adaptée.
- Calculer l'accélération du mobile au point 4. Tracer le vecteur en posant une échelle appropriée.

- Quel est le signe du produit scalaire $\vec{a} \cdot \vec{v}$ au point 4 ? En déduire la nature du mouvement.

29 Plusieurs mouvements

Le mouvement d'une bille est filmé, puis, à l'aide d'un logiciel, les vecteurs vitesse et accélération du centre d'inertie de la bille sont tracés toutes les deux positions dans un repère $(O; x, y)$ orthonormé.



- Comment nommer ce type de trajectoire ?
- À l'aide de l'échelle proposée pour la vitesse, repérer le point où le vecteur vitesse a la plus grande valeur.
- Quelles constatations peut-on faire à propos du vecteur accélération ?
- Autour de quel point le mouvement est-il uniformément accéléré ?
 - Comment décrire les mouvements avant et après ce point ?

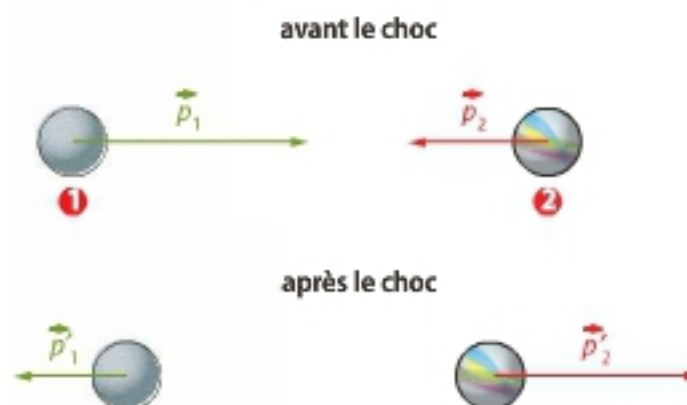
30 Billard

Une boule de billard de masse $m = 127$ g se déplace rectilignement à la vitesse $v = 3,94$ m·s⁻¹.

Schématiser la boule par un cercle, puis représenter le vecteur quantité de mouvement \vec{p} du centre d'inertie de la boule.

31 Choix du système

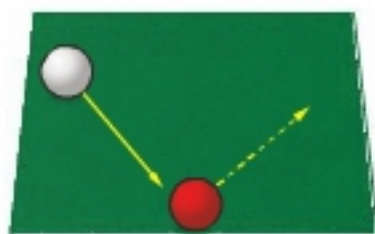
Deux billes, notées ① et ②, de petites tailles et de masses différentes, telles que $m_1 = 2 m_2$, se déplacent sur une table lisse et horizontale, dans la même direction mais en sens contraires et à des vitesses différentes. Pendant une durée Δt très courte, elles se heurtent et repartent ensuite dans des sens opposés. Les vecteurs quantité de mouvement sont tracés avec la même échelle pour chaque bille avant et après le choc.



1. Quel est le référentiel d'étude ? Peut-il être considéré comme galiléen ?
2. Quelle est celle des deux billes qui a la plus grande vitesse avant le choc ? après le choc ?
3. a. Comparer entre eux les vecteurs : \vec{p}_1 et \vec{p}'_1 ; \vec{p}_2 et \vec{p}'_2 puis $\vec{p}_1 + \vec{p}_2$ et $\vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$
b. Lequel des trois systèmes proposés : {bille ①}; {bille ②} ou {bille ① + bille ②} est pseudo-isolé avant et après le choc ?

32 ★ Billard français

Afin de réaliser le coup ci-contre, un joueur de billard propulse la boule blanche à la vitesse $v_1 = 0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ sur la boule rouge, immobile. Au moment du choc, la trajectoire de la boule rouge fait un angle de 90° avec celle de la boule blanche incidente.



Donnée. La masse des boules de billard français est de 209 g.

1. Quel est le référentiel d'étude choisi pour l'étude de ce mouvement ? Peut-il être considéré comme galiléen ?
2. En justifiant, indiquer quel système choisir pour pouvoir appliquer la première loi de Newton.
3. À l'aide d'une construction graphique, déterminer le vecteur quantité de mouvement \vec{p}'_1 de la boule blanche après le choc, sachant que la boule rouge a une vitesse de valeur $v_2 = 0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ après le choc. Quelle est la vitesse \vec{v}'_1 de cette boule après le choc ?

33 ★ B2i Au départ

Au départ d'une descente à ski, on repère toutes les secondes la position d'un point fixe sur le skieur. L'axe x est positionné sur la pente, qui fait un angle α par rapport à l'horizontale. Le temps est compté à partir de la position initiale du skieur. Les 9 premières mesures prises au cours du temps sont les suivantes :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	t (s)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
2	x (m)	0,000	2,500	10,00	22,50	40,00	62,50	90,00	122,5	160,0
3	v_x (m.s ⁻¹)									
4	a_x (m.s ⁻²)									

1. Dans quel référentiel ce mouvement est-il étudié ?
2. En représentant le skieur par un rectangle, faire un schéma de la situation où vous ferez figurer l'axe (Ox).
3. a. Recopier le tableau de valeurs dans un tableur-grapheur.
b. Quelle formule utiliser en C3 pour calculer la vitesse à l'instant $t_1 = 1 \text{ s}$? Recopier cette formule jusqu'à la cellule I3.
c. Quelle formule utiliser pour le calcul de l'accélération en D4 ? Recopier cette formule jusqu'en H4.
4. a. Construire la courbe $v_x = f(t)$. Déterminer l'équation de cette fonction à l'aide du tableur-grapheur.
b. Peut-on reconnaître dans cette expression une grandeur déterminée précédemment ?

En route vers le Supérieur

34 Distance de freinage

Afin de comprendre l'intérêt des limitations de vitesse à $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en zone urbaine et notamment à proximité d'écoles, l'association de la prévention routière a mis en place sur son site Internet (<http://www.preventionroutiere.asso.fr>), une application « modulatoroute ».

Le module « distance d'arrêt » indique qu'à $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$:

- il faut 26,2 m et 2,8 s pour s'arrêter ;
- qu'au bout d'une distance d'arrêt de 20 m, un véhicule a encore une vitesse de $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.



1. Quel est le référentiel d'étude choisi ici ?
2. Comment les repères d'espace et de temps sont-ils choisis ?
3. a. Calculer la coordonnée de l'accélération, notée a , pour que la voiture passe de $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ à $0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
b. Comment est le vecteur accélération par rapport au vecteur vitesse ?
c. En déduire le type de mouvement de la voiture.
4. a. Exprimer, à l'aide de l'accélération a , les équations donnant l'évolution de la vitesse $v(t)$ et de l'abscisse $x(t)$ au cours du temps.
b. Au bout de 20 m parcourus, retrouve-t-on une vitesse de $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$?

En réalité, la distance d'arrêt se décompose en deux parties :
– la distance parcourue pendant le temps de réaction, qui est d'une seconde (pour un conducteur en pleine possession de ses moyens) ;
– la distance de freinage, qui correspond à la distance nécessaire au véhicule pour s'arrêter.

5. a. Calculer la distance parcourue pendant le temps de réaction.
b. En déduire la distance de freinage et la durée Δt du freinage.
c. Déterminer la nouvelle coordonnée de l'accélération, notée a' , sur cette nouvelle durée de freinage.
d. Donner, à l'aide de l'accélération a' , les nouvelles équations donnant l'évolution de la vitesse $v'(t)$ et de l'abscisse $x'(t)$ au cours du temps.
e. Retrouve-t-on maintenant une vitesse de $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ au bout de 20 m parcourus ?

Énoncé
type

La chute « libre » d'un boulet vue par Galilée

Selon la légende, Galilée (1564-1642) aurait étudié la chute des corps en lâchant divers objets du sommet de la tour de Pise (Italie). Il y fait référence dans deux ouvrages : *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* et *Discours concernant deux sciences nouvelles*.

Il s'agit de retrouver certains résultats avancés par Galilée concernant la chute verticale dans l'air d'un boulet sphérique en fer, lâché sans vitesse initiale.

Extrait n° 1 : « Avant tout, il faut considérer que le mouvement des corps lourds n'est pas uniforme : partant du repos, ils accélèrent continuellement [...]. Si on définit des temps égaux quelconques, aussi nombreux qu'on veut, et si on suppose que, dans le premier temps, le mobile, partant du repos, a parcouru tel espace, par exemple une aune [1,14 m], pendant le second temps, il en parcourra trois, puis cinq pendant le troisième [...] et ainsi de suite, selon la suite des nombres impairs. »

Donnée. Intensité du champ de pesanteur, supposé uniforme : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

A. Modélisation de la chute

1. Dans le référentiel terrestre, quel repère d'espace le plus simple choisir pour étudier le mouvement du boulet ? Quelle date associer à l'origine de ce repère ?
2. Quel adverbe proposer pour remplacer « continuellement » dans le texte de Galilée ?

B. Étude de la durée de la chute

Extrait n° 2 : « Cherchons à savoir combien de temps un boulet, de fer par exemple, met pour arriver sur la Terre d'une hauteur de cent coudées [une coudée = 57 cm]. Aristote dit qu'une "boule de fer de cent livres [unité de masse], tombant de cent coudées, touche terre avant qu'une boule d'une livre ait parcouru une seule coudée", et je vous dis, moi, qu'elles arrivent en même temps. Des expériences répétées montrent qu'un boulet de cent livres met cinq secondes pour descendre de cent coudées. »

3. Parmi les propositions ci-dessous, attribuer celle qui correspond à la théorie d'Aristote et celle qui correspond à la théorie de Galilée :
 - a. La durée de chute augmente quand la masse du boulet augmente.
 - b. La durée de chute diminue quand la masse du boulet augmente.
 - c. La durée de chute est indépendante de la masse.
4. En utilisant l'expression $x(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2$, calculer la durée Δt de la chute d'un boulet qui tombe d'une hauteur totale $H = 100$ coudées. Pourquoi ce résultat est-il différent de la valeur annoncée dans l'extrait n° 2 ?

Les compétences évaluées

- Choisir un référentiel d'étude.
- Définir, reconnaître et caractériser des mouvements dans un référentiel d'étude.

► Coups de pouce

1. Le boulet a un mouvement vertical vers le bas.
2. L'accélération est constante.
3. Les théories d'Aristote et de Galilée se trouvent dans l'extrait 2.
4. La coudée n'est pas une unité du Système International.

Le calcul de la durée ne tient pas compte de tous les paramètres réels.

EXEMPLE DE RÉOLUTION

1. Le repère d'espace est un axe (Ox) vertical orienté vers le bas. Le boulet est lâché au point O, d'abscisse $x_0 = 0$ à la date $t_0 = 0$.
2. Uniformément, puisque l'accélération est constante.
3. La proposition a ne correspond ni à Galilée ni à Aristote. La proposition b peut être attribuée à Aristote, la proposition c à Galilée.
4. Soit t la date d'arrivée du boulet sur le sol. $\Delta t = t - t_0 = t$. L'expression de la hauteur est :

$$H = x(t) - x(t_0) = (1/2) g \cdot t^2 - (1/2) g \cdot t_0^2 = (1/2) g \cdot t^2 - 0 = (1/2) g \cdot \Delta t^2.$$

$$\text{La durée peut s'exprimer : } \Delta t^2 = \frac{2H}{g} \text{ soit } \Delta t = \sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

$$\text{A.N. : } \Delta t = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 0,57}{9,8}} \text{ soit } \Delta t = 3,4 \text{ s}$$

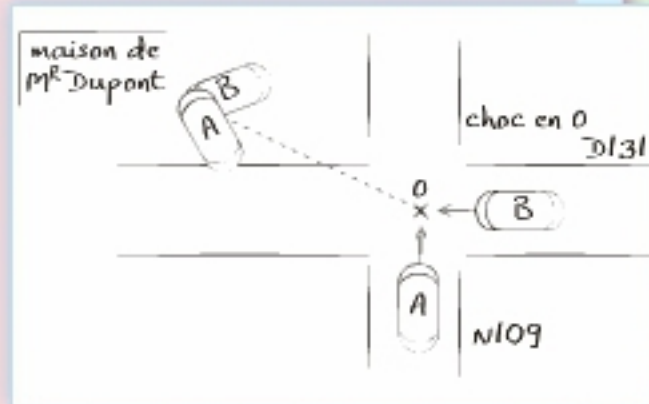
La valeur mesurée par Galilée est 5 s. La valeur calculée ici ne tient pas compte des actions exercées par l'air. L'imprécision de la mesure de Δt peut également expliquer cet écart.

Un constat amiable

Après un accident de la circulation en zone urbaine, les deux conducteurs des véhicules impliqués remplissent un constat amiable d'accident automobile. Sur ce document, ils font apparaître, notamment, un croquis de l'accident où sont indiqués : les voies avec les numéros des routes, la direction et le sens des trajectoires des véhicules avant le choc, leur position au moment du choc et après celui-ci. L'expert dispose des informations suivantes :

- vitesses déclarées des véhicules au moment du choc : $v_A = 45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et $v_B = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;
- masses des véhicules : $m_A = 1\,840 \text{ kg}$ et $m_B = 1\,800 \text{ kg}$;
- sol glissant.

L'expert d'assurance observe avec intérêt le croquis du constat qu'il a reçu. Il met en doute la valeur de la vitesse donnée par le conducteur B.



Les compétences évaluées

- Choisir un référentiel d'étude.
- Définir, reconnaître et caractériser des mouvements dans un référentiel d'étude.
- Définir la quantité de mouvement, connaître et exploiter le principe d'inertie.

► Coups de pouce

1. Le référentiel est toujours à préciser même s'il n'est pas demandé.
2. a. Ce système doit être pseudo-isolé.
b. Appliquer la première loi de Newton.
3. a. Penser à utiliser les bonnes unités.
b. Il est souhaitable de prendre des vecteurs unitaires dont la norme simplifiera la représentation.
- c. Dans ce repère, le vecteur quantité de mouvement peut s'écrire : $\vec{p}_C = p_{Cx} \cdot \vec{i} + p_{Cy} \cdot \vec{j}$.
4. a. Il faut utiliser une relation de trigonométrie.
b. L'angle α dépend de la grandeur de \vec{p}_B .

1. Dans quel référentiel le mouvement est-il étudié ?
2. a. Sur quel système peut-on appliquer la première loi de Newton ?
b. Quelle grandeur vectorielle reste constante avant et après le choc ? Exprimer la relation qui en découle. On considère que les deux voitures restent collées l'une à l'autre.
3. a. Déterminer les valeurs p_A et p_B des quantités de mouvement des deux voitures avant le choc.
b. Sur un schéma, construire un repère orthonormé (xOy) pour y représenter les vecteurs quantité de mouvement des deux voitures, puis celui du système choisi à la question 2.a.
c. En déduire les coordonnées du vecteur quantité de mouvement \vec{p}_C du système après le choc.
4. a. Déterminer la valeur du vecteur quantité de mouvement \vec{p}_C et sa direction α prise par rapport à l'axe (Oy) . En déduire la direction par rapport à (Oy) du vecteur vitesse \vec{v}_C du système après le choc.
b. Comparer α à la direction prise par les deux voitures après le choc sur le croquis. L'expert a-t-il raison de douter de la valeur de la vitesse v_B ?

EXEMPLE DE RÉSOLUTION

1. Le référentiel terrestre.
2. a. Sur le système {voiture A + voiture B}, qui est pseudo-isolé avant et après le choc, car les actions mécaniques qui résultent du choc sont intérieures au système.
b. Le vecteur quantité de mouvement reste constant, donc :

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \vec{p}_C$$

où \vec{p}_C est le vecteur quantité de mouvement du système après le choc.

3. a. Il faut convertir les vitesses en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$:

$$p_A = m_A \cdot v_A \quad \text{soit} \quad p_A = 1\,840 \times (45/3,6)$$

$$p_A = 2,3 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$p_B = m_B \cdot v_B \quad \text{soit} \quad p_B = 1\,800 \times (50/3,6)$$

$$p_B = 2,5 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- b. L'origine du repère est O, le point de contact entre les 2 voitures.

On choisit des vecteurs unitaires \vec{i} et \vec{j} tels que leur norme soit égale à $1,0 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\text{c. } \vec{p}_C = -2,5 \vec{i} + 2,3 \vec{j}$$

$$4. \text{ a. } p_C = \sqrt{(-2,5)^2 + 2,3^2} \times 10^4$$

$$p_C = 3,4 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{On a } \tan \alpha = \frac{p_A}{p_B} = \frac{2,5}{2,3}; \quad \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2,5}{2,3} \right)$$

soit

$$\alpha = 47^\circ$$

La direction du vecteur vitesse \vec{v}_C est la même que celle de \vec{p}_C .

- b. La direction donnée après le choc est supérieure à α . La vitesse réelle v_B (et p_B) est supérieure à celle indiquée sur le constat et donc la voiture B semblait en excès de vitesse.

