

Description d'un mouvement et principe d'inertie

COURS • P02 • PREMIÈRE

Spécialité de première, programme officiel. Cours original rédigé avec une IA. Le cours de ton enseignant fait foi.

Sommaire du cours

Ce que tu dois savoir faire	1
Cours	1
Exemples résolus	6
Méthodes et pièges	7
Vers le PASS	8
Exercices	8
Corrigés	10

Ce que tu dois savoir faire

- Définir un système et choisir un référentiel adapté à l'étude d'un mouvement (terrestre, géocentrique, héliocentrique).
- Expliquer, sur un exemple, la relativité du mouvement : trajectoire et vitesse dépendent du référentiel.
- Écrire les coordonnées du vecteur position d'un point dans un repère et décrire une trajectoire.
- Construire et calculer un vecteur vitesse à partir d'une chronophotographie ou d'un relevé de positions : $\vec{v} \approx (\vec{OM}(i+1) - \vec{OM}(i)) / \Delta t$.
- Qualifier un mouvement : rectiligne, circulaire ou curviligne ; uniforme, accéléré ou ralenti.
- Construire le vecteur variation de vitesse $\Delta \vec{v}$ et le relier à la somme des forces : $m \times \Delta \vec{v} / \Delta t \approx \Sigma \vec{F}$.
- Énoncer le principe d'inertie et sa contraposée, et l'utiliser pour trouver une force inconnue ou pour prévoir un mouvement.
- Modéliser les forces usuelles (poids, réaction d'un support, tension d'un fil, frottements) et les représenter sur un schéma.
- Établir un diagramme objet-interactions et faire un bilan des forces.

Cours

1. Système, référentiel et relativité du mouvement

Étudier un mouvement commence par deux choix.

Le **système** est l'objet (ou l'ensemble d'objets) dont on étudie le mouvement. Tout le reste constitue l'extérieur, qui agit sur le système par des forces. En Première, le système est presque toujours modélisé par un **point matériel** : un point auquel on attribue toute la masse du système. Ce modèle est

valable quand on ne s'intéresse pas aux rotations de l'objet sur lui-même ; on suit alors un point particulier, en général le centre de masse (centre de gravité), noté G.

Le **référentiel** est l'objet de référence par rapport auquel on décrit le mouvement, muni d'un repère d'espace (une origine O et des axes) et d'une horloge (une origine des dates).

Référentiel	Objet de référence	Usage
Terrestre	le sol, un bâtiment, une table	mouvements à la surface de la Terre, de courte durée
Géocentrique	centre de la Terre, axes pointant vers des étoiles lointaines	mouvement de la Lune et des satellites
Héliocentrique	centre du Soleil, axes pointant vers des étoiles lointaines	mouvement des planètes et des sondes

La **trajectoire** est l'ensemble des positions successives occupées par le point au cours du temps. Elle dépend du référentiel : c'est la **relativité du mouvement**. Un exemple classique : un point de la valve d'une roue de vélo décrit un cercle dans le référentiel du cadre du vélo, mais une courbe en arceaux (une cycloïde) dans le référentiel terrestre. De même, un voyageur assis dans un train est immobile dans le référentiel du train et en mouvement dans le référentiel terrestre. Dire « cet objet est immobile » n'a de sens que si l'on précise par rapport à quoi.

2. Vecteur position et trajectoire

Dans un repère (O ; $\vec{i}$, $\vec{j}$) du plan, la position d'un point M à la date t est repérée par le **vecteur position** :

$\vec{OM}(t) = x(t) \times \vec{i} + y(t) \times \vec{j}$, de coordonnées (x(t) ; y(t)) exprimées en mètres.

Les fonctions x(t) et y(t) sont les **équations horaires** du mouvement. Une **chronophotographie** enregistre les positions $M_0, M_1, M_2, \dots$ à des dates séparées d'une durée constante τ (par exemple $\tau = 40$ ms pour une vidéo à 25 images par seconde). Lire une chronophotographie permet déjà de qualifier le mouvement :

- points alignés : mouvement **rectiligne** ; points sur un cercle : mouvement **circulaire** ; sinon, mouvement **curviligne** ;
- points régulièrement espacés : mouvement **uniforme** ; espacement croissant : mouvement **accélééré** ; espacement décroissant : mouvement **ralenti**.

3. Vecteur vitesse

La vitesse moyenne entre deux dates est la distance parcourue divisée par la durée. Pour décrire la vitesse à chaque instant et en direction, on définit le **vecteur vitesse**.

Entre les positions M_0 et M_{+1} , séparées de la durée $\Delta t = t_{+1} - t_0$, le vecteur vitesse au point M_0 est approché par :

$$\vec{v}(t_0) \approx (\vec{OM}_{+1} - \vec{OM}_0) / \Delta t = \vec{M_0M_{+1}} / \Delta t$$

Ses coordonnées : $v_x \approx (x_{+1} - x_0) / \Delta t$ et $v_y \approx (y_{+1} - y_0) / \Delta t$, en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Sa valeur : $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$.

L'approximation est d'autant meilleure que Δt est petit. Mathématiquement, le vecteur vitesse est la dérivée du vecteur position par rapport au temps ($\vec{v} = d\vec{OM}/dt$, vu en Terminale). Une variante plus précise, souvent utilisée en exploitation de vidéo, prend les deux points qui encadrent M : $\vec{v}(t) \approx \vec{M}_{t-\tau} \vec{M}_{t+\tau} / (2\tau)$. Un énoncé précise toujours laquelle utiliser ; sans précision, on emploie la première.

Caractéristiques du vecteur vitesse au point M :

- **direction** : tangente à la trajectoire en M ;
- **sens** : celui du mouvement ;
- **valeur** : la vitesse instantanée v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Représentation. On choisit une échelle (par exemple 1 cm pour $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) et l'on trace la flèche à partir du point M .

Mouvements particuliers.

- Mouvement **rectiligne uniforme** : vecteur vitesse constant (même direction, même sens, même valeur).
- Mouvement **circulaire uniforme** : la valeur v est constante, mais la direction change sans cesse (toujours tangente au cercle). Le vecteur vitesse n'est donc **pas** constant. Pour un objet faisant f tours par seconde sur un cercle de rayon R , $v = 2\pi R f$.

Un vecteur vitesse est constant seulement si sa direction, son sens ET sa valeur restent les mêmes. Un mouvement circulaire « uniforme » a une vitesse de valeur constante, pas un vecteur vitesse constant.

4. Variation du vecteur vitesse et somme des forces

Le vecteur **variation de vitesse** entre deux dates voisines t et $t+\tau$ est :

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}(t+\tau) - \vec{v}(t)$$

On le construit graphiquement en traçant, à partir d'un même point, $\vec{v}(t+\tau)$ et l'opposé de $\vec{v}(t)$, puis en faisant la somme ; ou en coordonnées : $\Delta v_x = v_x(t+\tau) - v_x(t)$, $\Delta v_y = v_y(t+\tau) - v_y(t)$.

Lien avec les forces. Pour un système de masse m constante, modélisé par un point, l'expérience montre que, pour une durée Δt petite :

$$m \times \Delta \vec{v} / \Delta t \approx \Sigma \vec{F}$$

où $\Sigma \vec{F}$ est la somme vectorielle des forces extérieures appliquées au système (en N), m en kg, $\Delta \vec{v}$ en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et Δt en s. Cette relation approchée, au programme de Première, annonce la deuxième loi de Newton de Terminale. Elle contient trois informations :

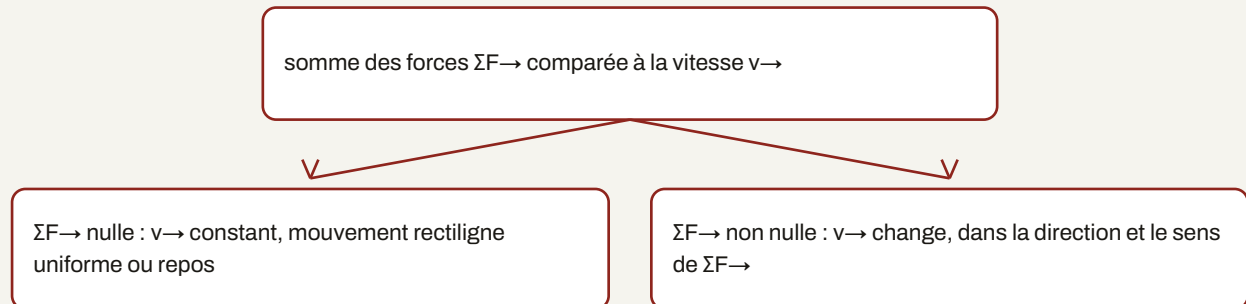
- $\Delta \vec{v}$ et $\Sigma \vec{F}$ ont la même direction et le même sens : les forces « orientent » le changement de vitesse ;
- pour une même somme des forces, la variation de vitesse est d'autant plus petite que la masse est grande : la masse mesure l'**inertie**, la résistance d'un corps aux changements de vitesse ;
- si $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$, alors $\Delta \vec{v} = \vec{0}$: la vitesse ne change pas.

Conséquences pratiques :

- force dans le sens du mouvement : la vitesse augmente (mouvement accéléré) ;
- force opposée au mouvement : la vitesse diminue (freinage) ;

- force perpendiculaire au mouvement : la valeur de la vitesse ne change pas, seule sa direction tourne (mouvement circulaire uniforme : la somme des forces est dirigée vers le centre du cercle).

Que fait la somme des forces ?



Deux branches distinctes • ce schéma ne relie pas les deux issues entre elles

Exemple court : une voiture de masse $m = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}$ roule en ligne droite. Sa vitesse passe de $20,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $18,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en $\Delta t = 0,50 \text{ s}$. $\Delta v = -2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (dans le sens opposé au mouvement), donc $\Sigma F \approx m \times |\Delta v| / \Delta t = 1,2 \times 10^3 \times 2,0 / 0,50 = 4,8 \times 10^3 \text{ N}$, dirigée vers l'arrière.

5. Le principe d'inertie

Principe d'inertie (première loi de Newton). Dans un référentiel galiléen, si un système est soumis à des forces qui se compensent ($\Sigma F \rightarrow = 0 \rightarrow$), ou n'est soumis à aucune force, alors il est soit immobile, soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme. Réciproquement, si un système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen, les forces qui s'exercent sur lui se compensent.

Contraposée (aussi importante) : si le mouvement n'est pas rectiligne uniforme (trajectoire courbe, ou vitesse de valeur variable), alors les forces ne se compensent pas : $\Sigma F \rightarrow \neq 0 \rightarrow$.

Référentiel galiléen. C'est, par définition, un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié. Le référentiel héliocentrique l'est avec une excellente approximation ; le référentiel géocentrique l'est pour des durées courtes devant une année ; le référentiel terrestre l'est pour des expériences de courte durée devant une journée (la rotation de la Terre y est alors négligeable). Tout référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui aussi galiléen. Un bus qui freine ou qui tourne n'est pas galiléen : une balle posée sur son plancher se met à rouler sans qu'aucune force horizontale ne soit apparue.

Ce que le principe d'inertie corrige. L'intuition dit qu'il faut une force pour entretenir un mouvement. C'est faux : il faut une force pour **modifier** un mouvement. Une voiture qui roule à vitesse constante en ligne droite subit une force motrice qui compense exactement les frottements ; si tout frottement disparaissait, elle continuerait sans moteur. Le palet sur une table à coussin d'air, presque sans frottement, illustre ce principe : une fois lancé, il glisse en ligne droite à vitesse constante.

Utilisations du principe d'inertie.

- Trouver une force inconnue : si le mouvement est rectiligne uniforme (ou si le système est au repos), la force inconnue est l'opposée de la somme des autres.
- Prévoir un mouvement : si le bilan des forces donne une somme nulle, le système garde sa vitesse.

- Détecter une force : si la trajectoire est courbe, au moins une force non compensée agit.

6. Les forces usuelles

Une **force** modélise l'action mécanique d'un objet sur un autre. Elle est représentée par un vecteur : point d'application, direction, sens, valeur en newtons (N). On distingue les actions **de contact** (réaction, tension, frottements) et les actions **à distance** (poids, force électrique). La méthode systématique commence par un **diagramme objet-interactions** : le système au centre, les objets qui agissent sur lui autour, un trait plein pour un contact, un trait pointillé pour une action à distance. Chaque trait donne une force du bilan.

Le **poids** $\vec{P} = m \times \vec{g}$.

- Point d'application : centre de gravité G ;
- direction : verticale du lieu ; sens : vers le bas ;
- valeur : $P = m \times g$, avec $g \approx 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ à la surface de la Terre ($1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ sur la Lune).

Le poids est une force à distance, essentiellement l'attraction gravitationnelle de la Terre (chapitre précédent). La masse (kg) est une propriété de l'objet ; le poids (N) dépend du lieu.

La **réaction d'un support** $\vec{R}$. Elle s'applique sur la surface de contact. On la décompose en deux composantes :

- la **réaction normale** $\vec{R}_N$, perpendiculaire au support, dirigée vers l'extérieur du support : elle empêche l'objet de s'enfoncer ;
- la **composante tangentielle** $\vec{f}$ (frottement solide), parallèle au support, opposée au glissement ou à la tendance au glissement.

Sans frottement, la réaction est perpendiculaire au support ($\vec{R} = \vec{R}_N$). Attention : $\vec{R}_N$ n'est égale au poids que dans des cas particuliers (support horizontal, pas d'autre force verticale, pas de variation de vitesse verticale) ; sur un plan incliné d'angle α , $\vec{R}_N = m \times \vec{g} \times \cos \alpha$.

La **tension d'un fil** $\vec{T}$. Elle s'applique au point d'attache du fil sur le système, a pour direction celle du fil tendu et est dirigée du système vers le fil (un fil « tire », il ne pousse jamais). Pour un fil de masse négligeable, la tension a la même valeur aux deux extrémités.

Les **frottements fluides** $\vec{f}$. Exercés par l'air ou un liquide sur un objet en mouvement, ils sont opposés au vecteur vitesse (dans le référentiel du fluide) et leur valeur augmente avec la vitesse. C'est pourquoi un parachutiste finit par atteindre une vitesse limite : quand les frottements compensent le poids, la vitesse devient constante (principe d'inertie).



Les forces usuelles

poids : vertical, vers le bas, $P = mg$

réaction normale : perpendiculaire au support

frottement solide : parallèle au support, opposé au glissement

tension : selon le fil, du système vers le fil

frottement fluide : opposé à la vitesse, croît avec elle

Repères complémentaires, sans séquence causale

Bilan des forces : méthode. Préciser le système et le référentiel ; faire le diagramme objet-interactions ; lister chaque force avec ses caractéristiques ; représenter les forces sur un schéma à l'échelle depuis le centre de gravité (ou le point de contact) ; projeter sur des axes bien choisis (souvent parallèle et perpendiculaire au support) ; appliquer le principe d'inertie ou la relation $m \times \Delta \vec{v} / \Delta t \approx \Sigma \vec{F}$.

Projection sur des axes. Une force de valeur F faisant l'angle θ avec l'axe (Ox) a pour coordonnées $F_x = F \cos \theta$ et $F_y = F \sin \theta$. Sur un plan incliné d'angle α , le poids se décompose en $m g \sin \alpha$ le long de la pente (vers le bas) et $m g \cos \alpha$ perpendiculairement à la pente (vers le support).

7. Principe des actions réciproques (rappel)

Lorsqu'un objet A exerce sur un objet B une force $\vec{F}(A/B) \rightarrow$, l'objet B exerce sur A la force $\vec{F}(B/A) \rightarrow = -\vec{F}(A/B) \rightarrow$: même droite d'action, même valeur, sens opposés. Ces deux forces s'appliquent sur **deux systèmes différents** : elles ne se compensent jamais dans le bilan d'un même système. Le poids d'un livre posé sur une table et la réaction de la table sur le livre ne forment pas un couple d'actions réciproques (ce sont deux forces sur le même livre, dues à deux objets différents) ; l'action réciproque du poids est l'attraction exercée par le livre sur la Terre.

Exemples résolus

Exemple 1 : exploiter une chronophotographie

Énoncé. Une balle est lancée horizontalement. Une vidéo donne ses positions toutes les $\tau = 0,10$ s dans un repère d'axe (Ox) horizontal et (Oy) vertical vers le haut :

Point	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4
x (m)	0	0,20	0,40	0,60	0,80
y (m)	0	-0,049	-0,196	-0,441	-0,785

a) Qualifie le mouvement selon chaque axe. b) Calcule les coordonnées et la valeur des vecteurs vitesse $\vec{v}_{\rightarrow 1}$ (en M_1) et $\vec{v}_{\rightarrow 2}$ (en M_2), avec $\vec{v} \approx \Delta \vec{M} / \tau$. c) Calcule $\Delta \vec{v} = \vec{v}_{\rightarrow 2} - \vec{v}_{\rightarrow 1}$ et en déduire la direction

et le sens de la somme des forces. La balle a une masse $m = 0,058 \text{ kg}$: estime la valeur de ΣF et compare-la au poids.

Résolution. a) Selon (Ox), x augmente de $0,20 \text{ m}$ à chaque intervalle : mouvement uniforme. Selon (Oy), les écarts $0,049$; $0,147$; $0,245$; $0,344 \text{ m}$ augmentent : mouvement accéléré vers le bas. La trajectoire est une courbe (une parabole). b) $v_{1x} = (0,40 - 0,20) / 0,10 = 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{1y} = (-0,196 - (-0,049)) / 0,10 = -1,47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Valeur $v_1 = \sqrt{(2,0^2 + 1,47^2)} = \sqrt{(4,00 + 2,16)} = \sqrt{6,16} = 2,48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. $v_{2x} = (0,60 - 0,40) / 0,10 = 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $v_{2y} = (-0,441 - (-0,196)) / 0,10 = -2,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. $v_2 = \sqrt{(4,00 + 6,00)} = \sqrt{10,0} = 3,16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. c) $\Delta v_x = 2,0 - 2,0 = 0$; $\Delta v_y = -2,45 - (-1,47) = -0,98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. $\Delta v \rightarrow$ est vertical, dirigé vers le bas : la somme des forces est **verticale vers le bas**. $\Sigma F \approx m \times |\Delta v| / \tau = 0,058 \times 0,98 / 0,10 = 0,57 \text{ N}$. Le poids vaut $P = 0,058 \times 9,81 = 0,57 \text{ N}$. Les deux valeurs coïncident : la balle est soumise à son seul poids, les frottements de l'air sont négligeables sur ce trajet.

Exemple 2 : un skieur à vitesse constante

Énoncé. Un skieur de masse $m = 70 \text{ kg}$ (équipement compris) descend en ligne droite une piste plane inclinée de $\alpha = 20^\circ$ par rapport à l'horizontale, à vitesse constante. On modélise l'ensemble des frottements (neige et air) par une force unique $f \rightarrow$ parallèle à la piste. Donnée : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$. a) Fais le bilan des forces et justifie que $\Sigma F \rightarrow = 0 \rightarrow$. b) Calcule la valeur de la force de frottement et celle de la réaction normale de la piste.

Résolution. a) Système : le skieur ; référentiel terrestre, supposé galiléen. Forces : le poids $P \rightarrow$ (vertical, vers le bas), la réaction normale $R_N \rightarrow$ (perpendiculaire à la piste, vers le haut), les frottements $f \rightarrow$ (parallèles à la piste, vers le haut de la pente, opposés au mouvement). Le mouvement est rectiligne et uniforme : d'après le principe d'inertie, **les forces se compensent**, $\Sigma F \rightarrow = 0 \rightarrow$. b) On projette sur un axe parallèle à la piste orienté vers le bas et un axe perpendiculaire. Le poids a pour composantes $m g \sin \alpha$ le long de la pente et $m g \cos \alpha$ perpendiculairement. Le long de la pente : $m g \sin \alpha - f = 0$, donc $f = m g \sin \alpha = 70 \times 9,81 \times \sin 20^\circ = 686,7 \times 0,342 = 2,3 \times 10^2 \text{ N}$ (235 N). Perpendiculairement : $R_N - m g \cos \alpha = 0$, donc $R_N = 686,7 \times 0,940 = 6,5 \times 10^2 \text{ N}$ (645 N). On remarque que R_N est inférieure au poids (687 N) : sur une pente, la réaction normale n'équilibre qu'une partie du poids.

Exemple 3 : une lampe suspendue à deux câbles

Énoncé. Une lampe de masse $m = 5,0 \text{ kg}$ est suspendue au milieu de deux câbles identiques. Chaque câble fait un angle de 30° avec la verticale. La lampe est immobile. Donnée : $g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$. Calcule la tension de chaque câble.

Résolution. Système : la lampe, immobile dans le référentiel terrestre. Forces : le poids $P \rightarrow$ ($P = 5,0 \times 9,81 = 49,1 \text{ N}$), les tensions $T_1 \rightarrow$ et $T_2 \rightarrow$ dirigées le long des câbles, de même valeur T par symétrie. Principe d'inertie : $P \rightarrow + T_1 \rightarrow + T_2 \rightarrow = 0 \rightarrow$. Projection sur l'horizontale : $T \sin 30^\circ - T \sin 30^\circ = 0$, vérifié par symétrie. Projection sur la verticale (vers le haut) : $2 T \cos 30^\circ - P = 0$, donc $T = P / (2 \cos 30^\circ) = 49,1 / (2 \times 0,866) = 28 \text{ N}$. Chaque câble supporte un peu plus que la moitié du poids (24,5 N), parce qu'il est incliné. Plus les câbles s'écartent de la verticale, plus la tension augmente : à 80° , elle dépasserait 140 N.

Méthodes et pièges

- **Méthode type** : système, référentiel, diagramme objet-interactions, bilan des forces, schéma, puis principe d'inertie ou $m \times \Delta v \rightarrow / \Delta t \approx \Sigma F \rightarrow$, projection sur des axes adaptés.
- **Toujours préciser le référentiel** : « immobile » ou « rectiligne » n'ont pas de sens sans lui.

- **Vecteur constant** : vérifie direction, sens et valeur. Un virage à vitesse de valeur constante n'est pas un mouvement uniforme au sens vectoriel ; la somme des forces n'y est pas nulle.
- **Pas de force du mouvement** : n'ajoute jamais une « force de la vitesse » ou une « force de lancer » une fois l'objet lâché. Une balle en l'air ne subit que son poids (et les frottements de l'air).
- **Sens de $\Sigma \vec{F}$** : il est celui de $\Delta \vec{v}$, pas celui de $\vec{v}$. Une balle qui monte a une vitesse vers le haut, mais la somme des forces est vers le bas.
- **Réaction normale** : ne pose pas $R_N = P$ par réflexe ; c'est faux sur un plan incliné ou si une autre force a une composante verticale.
- **Actions réciproques** : elles s'exercent sur deux systèmes différents et n'apparaissent donc jamais ensemble dans un même bilan.
- **Calcul de vitesse** : divise le déplacement par la durée entre les deux points, pas par la durée totale ; convertis les cm en m et les ms en s.
- **Projection** : sur un plan incliné d'angle α , la composante du poids le long de la pente est $m g \sin \alpha$ (nulle si $\alpha = 0$, ce qui permet de vérifier que tu n'as pas inversé sin et cos).

Vers le PASS

En PASS, la mécanique du point devient l'outil de la biomécanique. La deuxième loi de Newton ($\Sigma \vec{F} = m \times \vec{a}$, avec $\vec{a}$ la dérivée de $\vec{v}$) remplace la relation approchée de Première et s'applique au saut, à la marche, à la chute. On ajoute la notion de **moment d'une force**, indispensable pour comprendre l'équilibre d'un membre autour d'une articulation (un muscle qui s'insère près de l'articulation doit développer une force bien supérieure à la charge portée). Les forces de frottement fluide prennent toute leur importance dans l'écoulement du sang, et la décomposition d'une force sur deux axes sert sans cesse dans les QCM de statique.

Suite en PASS : Forces, mouvements et bilans énergétiques

Exercices

Niveau 1 : s'entraîner

1. Un voyageur est assis dans un train qui roule en ligne droite à $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Indique, pour chaque affirmation, si elle est vraie et dans quel référentiel.
 - a) Le voyageur est immobile.
 - b) Le voyageur se déplace à $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
 - c) Un arbre au bord de la voie se déplace à $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.
2. Sur la chronophotographie d'un palet glissant sur une table à coussin d'air, les points sont alignés et séparés de 3,0 cm. L'intervalle de temps entre deux images est $\tau = 40 \text{ ms}$.
 - a) Qualifie le mouvement.
 - b) Calcule la valeur de la vitesse en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ puis en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.
 - c) Que peux-tu dire des forces qui s'exercent sur le palet ?
3. Un astronaute a une masse $m = 60 \text{ kg}$. Calcule son poids sur Terre ($g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$) et sur la Lune ($g = 1,62 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$). Que vaut sa masse sur la Lune ?
4. Pour chaque situation, indique si les forces appliquées au système se compensent. Justifie avec le principe d'inertie (référentiel terrestre).
 - a) Un palet glisse en ligne droite à vitesse constante sur une table à coussin d'air.
 - b) Une voiture prend un virage à $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ constants.
 - c) Une pierre tombe en chute libre.
 - d) Un parachutiste descend

verticalement à vitesse constante.

5. Dans un repère, un mobile passe en $M_3(1,20 ; 0,50)$ puis en $M_4(1,50 ; 0,90)$, coordonnées en mètres, à 0,20 s d'intervalle. Calcule les coordonnées et la valeur du vecteur vitesse $\vec{v}_3 \approx \vec{M_3M_4} / \Delta t$.

Niveau 2 : type bac

6. Lancer du marteau. Un athlète fait tourner un marteau sur un cercle horizontal de rayon $R = 1,5 \text{ m}$ à raison de 2,0 tours par seconde, à vitesse de valeur constante.

a) Calcule la valeur de la vitesse du marteau. b) Le vecteur vitesse est-il constant ? Justifie. c) Représente sur un schéma deux vecteurs vitesse voisins et le vecteur $\Delta \vec{v}$. Quelle est sa direction ? d) Déduis-en la direction et le sens de la somme des forces. Quelle force joue ce rôle ? e) Quand l'athlète lâche le marteau, quelle est l'allure de la trajectoire juste après, vue de dessus ? Justifie.

7. Pousser une armoire. On pousse une armoire de masse $m = 40 \text{ kg}$ sur un sol horizontal avec une force horizontale de valeur $F = 150 \text{ N}$. L'armoire glisse en ligne droite à vitesse constante. Donnée : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

a) Fais le bilan des forces exercées sur l'armoire. b) Calcule la valeur de la force de frottement et celle de la réaction normale du sol. c) Calcule la valeur de la réaction totale du sol $\vec{R}$ (somme de la réaction normale et du frottement) et l'angle qu'elle fait avec la verticale.

8. Ballon lancé vers le haut. Une vidéo d'un ballon de masse $m = 0,20 \text{ kg}$ lancé verticalement vers le haut donne, à deux instants séparés de $\Delta t = 0,050 \text{ s}$, les vitesses $v_3 = 4,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ puis $v_4 = 3,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, toutes deux vers le haut. Donnée : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

a) Calcule la variation de vitesse Δv et précise son sens. b) Déduis-en la valeur, la direction et le sens de la somme des forces. c) Compare au poids du ballon. Que peux-tu en conclure sur les frottements de l'air ?

9. Saut en parachute. Un parachutiste de masse $m = 80 \text{ kg}$ (équipement compris) saute d'un avion. Donnée : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

a) Avant l'ouverture, il atteint une vitesse constante. Que vaut alors la force de frottement de l'air ? Calcule-la. b) À l'ouverture du parachute, sa vitesse diminue. Mesure : elle baisse de $4,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en $0,10 \text{ s}$. Calcule la valeur de la somme des forces et en déduire la valeur de la force de frottement. c) Après l'ouverture, il descend à nouveau à vitesse constante, plus faible. Que vaut alors la force de frottement ? Commente.

Niveau 3 : vers le PASS

10. Plan incliné et fil. Un bloc de masse $m = 2,0 \text{ kg}$ est maintenu immobile sur un plan incliné de $\alpha = 30^\circ$, sans frottement, par un fil parallèle à la pente. Donnée : $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

a) Fais le bilan des forces et écris le principe d'inertie. b) Calcule la tension du fil et la réaction normale du plan. c) On coupe le fil. Quelle est la somme des forces ? Dans quel sens varie la vitesse ? d) Estime la vitesse acquise $0,10 \text{ s}$ après la coupure avec $m \times \Delta v / \Delta t \approx \Sigma F$.

11. Une voiture de masse $m = 1,2 \times 10^3 \text{ kg}$ accélère sur une route rectiligne horizontale. Sa vitesse passe de $72,0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ à $93,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en $\Delta t = 4,0 \text{ s}$, de façon régulière.

a) Convertis les vitesses en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et calcule Δv . b) Calcule la valeur de la somme des forces horizontales. c) Les frottements (air et roulement) valent 600 N . Calcule la force motrice exercée par la route sur les roues. d) Pour rouler ensuite à vitesse constante, quelle force motrice faut-il ? Justifie.

12. Référentiel non galiléen. Une bille est posée sur le plancher horizontal d'un bus, sans frottement notable. Le bus, qui roulait à vitesse constante en ligne droite, freine brusquement.

a) Dans le référentiel terrestre, fais le bilan des forces sur la bille et décris son mouvement pendant le freinage. b) Décris le mouvement de la bille vu par un passager assis dans le bus. c) Le principe d'inertie est-il vérifié dans le référentiel du bus ? Conclue sur la nature de ce référentiel.

13. Vrai ou faux ? Justifie.

a) Un objet en mouvement est forcément soumis à une force dans le sens de son mouvement. b) Si la somme des forces est nulle, l'objet est forcément immobile. c) Pour un mouvement circulaire uniforme, la somme des forces est nulle. d) $\Delta \vec{v} \rightarrow$ a toujours le sens de $\vec{v} \rightarrow$. e) Pour une même somme des forces, un objet plus lourd change moins vite de vitesse. f) Le poids d'un livre posé sur une table et la réaction de la table forment un couple d'actions réciproques.

Corrigés

1. a) **Vrai dans le référentiel du train** : sa position ne change pas par rapport au wagon.

b) **Vrai dans le référentiel terrestre** : il se déplace avec le train. c) **Vrai dans le référentiel du train** : vu du train, l'arbre défile à $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dans le sens opposé. Dans le référentiel terrestre, l'arbre est immobile.

2. a) Points alignés et régulièrement espacés : **mouvement rectiligne uniforme**.

b) $v = d / \tau = 3,0 \times 10^{-2} \text{ m} / 40 \times 10^{-3} \text{ s} = 0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $0,75 \times 3,6 = 2,7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. c) Le mouvement est rectiligne uniforme dans le référentiel terrestre supposé galiléen : d'après le principe d'inertie, **les forces se compensent** (le poids est compensé par la réaction du coussin d'air).

3. $P(\text{Terre}) = m \times g = 60 \times 9,81 = 589 \text{ N}$ ($5,9 \times 10^2 \text{ N}$). $P(\text{Lune}) = 60 \times 1,62 = 97,2 \text{ N}$. La masse ne dépend pas du lieu : **$m = 60 \text{ kg}$ sur la Lune**.

4. a) **Oui** : mouvement rectiligne uniforme, donc forces compensées.

b) **Non** : la trajectoire est courbe, le vecteur vitesse change de direction, donc $\Sigma \vec{F} \rightarrow \neq 0 \rightarrow$ (contraposée du principe d'inertie). c) **Non** : la vitesse augmente ; la pierre n'est soumise qu'à son poids, non compensé. d) **Oui** : mouvement rectiligne uniforme, le poids est compensé par les frottements de l'air.

5. $v_x = (1,50 - 1,20) / 0,20 = 0,30 / 0,20 = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_y = (0,90 - 0,50) / 0,20 = 0,40 / 0,20 = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$v_3 = \sqrt{(1,5^2 + 2,0^2)} = \sqrt{(2,25 + 4,00)} = \sqrt{6,25} = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. $\vec{v}_3 (1,5 ; 2,0) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v_3 = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

6. a) $v = 2\pi R f = 2\pi \times 1,5 \times 2,0 = 18,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (environ $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

b) **Non** : sa valeur est constante, mais sa direction (tangente au cercle) change sans cesse. c) Deux vecteurs vitesse de même longueur, tangents au cercle en deux points voisins. En les traçant depuis un même point, leur différence $\Delta \vec{v} \rightarrow = \vec{v}_2 \rightarrow - \vec{v}_1 \rightarrow$ est **dirigée vers le centre du cercle** (selon le rayon). d) $\Sigma \vec{F} \rightarrow$ a la direction et le sens de $\Delta \vec{v} \rightarrow$: **elle est dirigée vers le centre du cercle**. C'est essentiellement la **tension du câble** tenu par l'athlète (le poids du marteau, vertical, est compensé par la composante verticale de la tension et n'intervient pas dans le plan horizontal). e) Une fois lâché, le marteau n'est plus soumis à la tension. Dans le plan horizontal, aucune force ne s'exerce : vu de dessus, il part **en ligne droite, selon la tangente au cercle** au point de lâcher (principe d'inertie dans le plan horizontal ; vu de côté, le poids courbe la trajectoire vers le bas).

7. a) Système : l'armoire ; référentiel terrestre. Forces : le poids $\vec{P} \rightarrow$ (vertical, vers le bas, $P = m g$), la force de poussée $\vec{F} \rightarrow$ (horizontale, dans le sens du mouvement), la réaction normale $\vec{R}_N \rightarrow$ (verticale,

vers le haut), le frottement $f \rightarrow$ (horizontal, opposé au mouvement).

b) Mouvement rectiligne uniforme : $\Sigma F \rightarrow = 0 \rightarrow$. Horizontalement : $F - f = 0$, donc $f = 150 \text{ N}$.

Verticalement : $R_N - P = 0$, donc $R_N = 40 \times 9,81 = 392 \text{ N}$ ($3,9 \times 10^2 \text{ N}$). c) $R \rightarrow = R_N \rightarrow + f \rightarrow$, deux composantes perpendiculaires : $R = \sqrt{392^2 + 150^2} = \sqrt{153\,664 + 22\,500} = \sqrt{176\,164} = 420 \text{ N}$. Angle avec la verticale : $\tan \varphi = f / R_N = 150 / 392 = 0,383$, donc $\varphi \approx 21^\circ$, incliné vers l'arrière du mouvement.

8. a) $\Delta v = v_4 - v_3 = 3,71 - 4,20 = -0,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en prenant l'axe vertical vers le haut. $\Delta v \rightarrow$ est vertical, vers le bas, de valeur $0,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

b) $\Sigma F \approx m \times |\Delta v| / \Delta t = 0,20 \times 0,49 / 0,050 = 1,96 \text{ N}$, verticale, dirigée vers le bas (sens de $\Delta v \rightarrow$). c) $P = m \times g = 0,20 \times 9,81 = 1,96 \text{ N}$. La somme des forces est égale au poids : **les frottements de l'air sont négligeables** à cette vitesse.

9. a) Vitesse constante en ligne droite (chute verticale) : principe d'inertie, $f = P = m \times g = 80 \times 9,81 = 785 \text{ N}$ ($7,8 \times 10^2 \text{ N}$), verticale vers le haut.

b) $\Sigma F \approx m \times |\Delta v| / \Delta t = 80 \times 4,0 / 0,10 = 3,2 \times 10^3 \text{ N}$, dirigée vers le haut (la vitesse, vers le bas, diminue, donc $\Delta v \rightarrow$ est vers le haut). Sur un axe vertical vers le haut : $f - P = 3,2 \times 10^3 \text{ N}$, donc $f = 3\,200 + 785 = 4,0 \times 10^3 \text{ N}$ environ, soit 5 fois le poids. c) Nouvelle vitesse constante : à nouveau $f = P = 785 \text{ N}$. La force de frottement reprend la même valeur, mais pour une vitesse bien plus faible, car la grande surface du parachute rend les frottements beaucoup plus intenses à vitesse égale.

10. a) Système : le bloc ; référentiel terrestre. Forces : poids $P \rightarrow$, réaction normale $R_N \rightarrow$ (perpendiculaire au plan), tension $T \rightarrow$ (parallèle à la pente, vers le haut). Immobile : $P \rightarrow + R_N \rightarrow + T \rightarrow = 0 \rightarrow$.

b) Axe parallèle à la pente : $T - m g \sin \alpha = 0$, donc $T = 2,0 \times 9,81 \times \sin 30^\circ = 19,62 \times 0,500 = 9,8 \text{ N}$. Axe perpendiculaire : $R_N - m g \cos \alpha = 0$, donc $R_N = 19,62 \times 0,866 = 17 \text{ N}$. c) Sans le fil, la réaction normale compense toujours la composante perpendiculaire du poids. Il reste $\Sigma F = m g \sin \alpha = 9,8 \text{ N}$, **parallèle à la pente, vers le bas**. $\Delta v \rightarrow$ a ce sens : le bloc, initialement immobile, prend de la vitesse en descendant la pente. d) $\Delta v \approx \Sigma F \times \Delta t / m = 9,8 \times 0,10 / 2,0 = 0,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, vers le bas de la pente.

11. a) $72,0 / 3,6 = 20,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $93,6 / 3,6 = 26,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. $\Delta v = 6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dans le sens du mouvement.

b) $\Sigma F \approx m \times \Delta v / \Delta t = 1,2 \times 10^3 \times 6,0 / 4,0 = 1,8 \times 10^3 \text{ N}$, dans le sens du mouvement. c) Horizontalement : $F_{\text{motrice}} - f = \Sigma F$, donc $F_{\text{motrice}} = 1\,800 + 600 = 2,4 \times 10^3 \text{ N}$. d) À vitesse constante en ligne droite, $\Sigma F \rightarrow = 0 \rightarrow$: la force motrice doit seulement compenser les frottements, soit **600 N** (si les frottements gardent cette valeur ; en réalité ils augmentent un peu avec la vitesse).

12. a) Forces sur la bille : son poids et la réaction normale du plancher, verticales et qui se compensent. Aucune force horizontale (frottements négligés). D'après le principe d'inertie dans le référentiel terrestre, **la bille garde sa vitesse : elle continue en ligne droite à vitesse constante** pendant que le bus ralentit.

b) Le bus ralentit plus que la bille : le passager voit **la bille partir vers l'avant du bus** en accélérant. c) Dans le référentiel du bus, la bille, soumise à des forces qui se compensent, passe du repos à un mouvement accéléré : **le principe d'inertie n'y est pas vérifié. Le bus qui freine n'est pas un référentiel galiléen.**

13. a) **Faux** : en l'absence de force (ou si elles se compensent), un objet en mouvement le reste, en ligne droite à vitesse constante. Une force est nécessaire pour modifier un mouvement, pas pour l'entretenir.

b) **Faux** : il peut aussi être en mouvement rectiligne uniforme. c) **Faux** : le vecteur vitesse change de direction, donc $\Sigma F \rightarrow \neq 0 \rightarrow$; elle est dirigée vers le centre. d) **Faux** : $\Delta v \rightarrow$ a le sens de $\Sigma F \rightarrow$. Pour un objet qui freine, $\Delta v \rightarrow$ est opposé à $v \rightarrow$. e) **Vrai** : $\Delta v \approx \Sigma F \times \Delta t / m$, donc à ΣF égale, Δv est d'autant plus petit que m est grande. Plus précisément, c'est la masse (et non le poids) qui mesure l'inertie. f) **Faux** : ces deux forces s'exercent sur le même objet (le livre). L'action réciproque de la réaction de la table est la force exercée par le livre sur la table ; celle du poids est l'attraction du livre sur la Terre.