Mouvement et deuxième loi de Newton

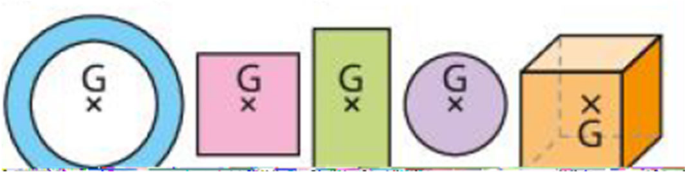
Centre de masse d'un système

Définition

Le centre de masse d'un système est le point où se situe la position moyenne de la masse du corps.

Il correspond au point central de toutes les masses constituant le système.

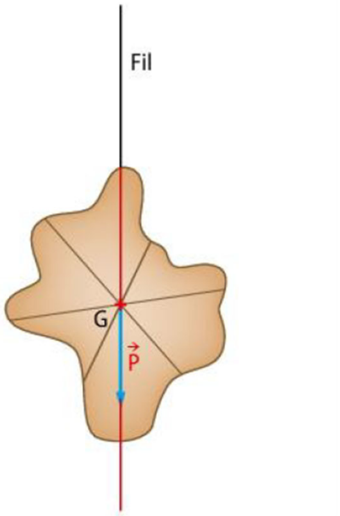
Exemple : Lorsque les systèmes sont symétriques et que la répartition des masses est homogène, le centre de masse correspond au centre géométrique du système.



Remarque

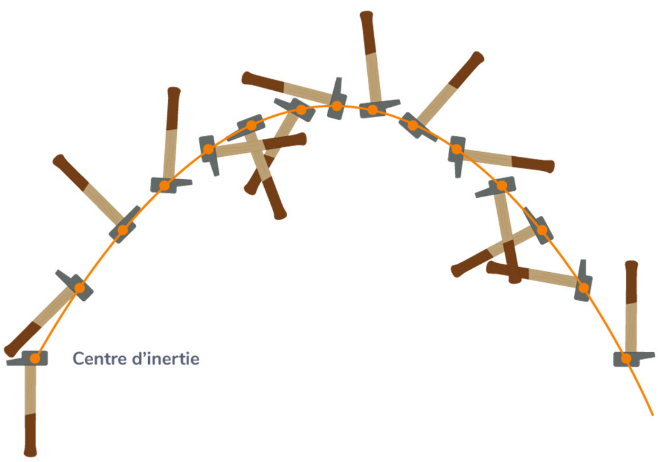
Dans le cas où le système se trouve dans un champ de pesanteur uniforme, le centre de masse est confondu avec le centre de gravité.

Le centre de masse peut alors être déterminé par l'intersection de directions du poids pour différents points d'accroche du système.



Propriété

Le centre de masse G d'un système est le point qui décrit la trajectoire la plus simple lorsque le système est en mouvement.



Référentiel galiléen

Définition

Un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie (ou première loi de Newton) est vérifié dans ce référentiel.

Tout référentiel immobile ou en mouvement de translation uniforme par rapport à un référentiel galiléen est alors lui-même galiléen.

Exemples

- Le référentiel héliocentrique (origine du repère au centre du Soleil et les axes du repère pointent vers trois étoiles lointaines fixes) est considéré comme galiléen. Il permet l'étude du mouvement des planètes autour du Soleil.

- Le référentiel géocentrique (origine du repère au centre de la Terre, et les axes pointent vers trois étoiles lointaines fixes) est considéré comme galiléen. Il permet l'étude du mouvement d'un satellite autour de la Terre sur une durée ne dépassant pas quelques heures.

- Le référentiel terrestre (origine du repère à la surface de la Terre et pointant vers trois directions de l'espace) est supposé galiléen. Ce référentiel est par exemple « posé » sur la Terre et suit son mouvement de rotation. Il permet l'étude de mouvement (lancé de balle) sur quelques kilomètres pour des durées de quelques minutes.

Référentiel non galiléen

Inversement, si un système au repos est soumis à des actions mécaniques qui ne se compensent pas dans le référentiel, alors le principe d'inertie (première loi de Newton) ne s'applique pas et le référentiel n'est pas considéré comme galiléen.

Si le référentiel est attaché à un manège qui tourne sur lui-même, on observe que les nacelles s'inclinent et restent immobile dans leur position inclinée si la vitesse de rotation du manège est constante. Si on fait le bilan des actions mécaniques appliquées au siège d'une nacelle, on constate qu'il y a deux forces :

- Le poids de la nacelle
- La tension des chaines

Ces deux forces ne se compensent pas, et pourtant dans le référentiel du manège les nacelles paraissent immobiles (au repos). Le principe d'inertie n'est donc pas vérifié.

Deuxième loi de Newton

Enoncé

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces $\sum \vec{F}$ appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par l'accélération $\overrightarrow{a_G}$ de son centre de masse G.

$$m\overrightarrow{a_G} = \sum \vec{F}$$

Conséquences

D'après la deuxième loi de Newton, on a la relation :

$$\overrightarrow{a_G} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

Ainsi, Si $\sum \vec{F}$ est constant, l'accélération est inversement proportionnelle à la masse du système.

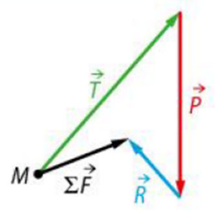
C'est pour cette raison que les voitures de course cherchent à être le plus léger possible. Il y a un compromis à trouver : plus le moteur sera puissant, plus il aura de cylindre ou des cylindre plus gros, et donc plus la masse de la voiture sera élevée, ce qui va à l'encontre d'une accélération toujours plus grande.

Système à l'équilibre ou au repos : un système est à l'équilibre dans un référentiel si et seulement si le vecteur vitesse du centre de masse est nul et son vecteur accélération est nulle. En effet, si seulement son vecteur accélération est nul, alors le système peut très bien être en mouvement rectiligne uniforme.

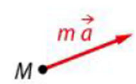
Des forces à l'accélération

– Représenter à l'échelle, les forces et tracer la résultante des forces.

– Appliquer la **2e loi de Newton** afin de déterminer le vecteur accélération.



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



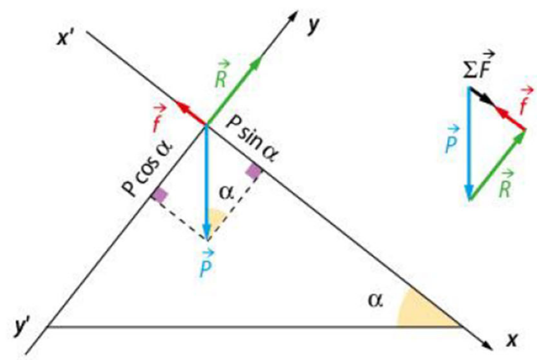
Produit de la masse du système par le vecteur accélération de son centre de masse

De l'accélération aux forces

– Déterminer (avec une chronophotographie, les données des vitesses, une courbe $v = f(t)$, etc.) les caractéristiques du vecteur accélération.

– Appliquer la 2e loi de Newton, afin de déterminer la résultante des forces.

– Par projection sur un ou deux axes, on peut en déduire les valeurs de certaines forces.

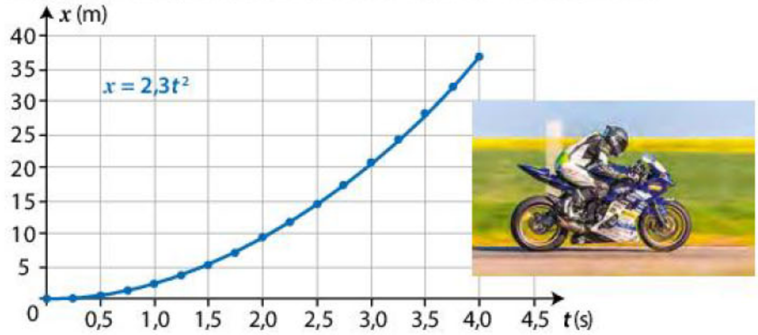


Exercices

Exercice 1 : QCM

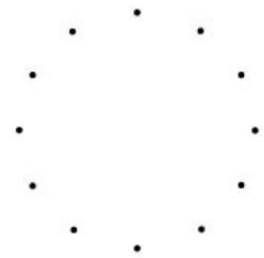
A

Un motard effectue un essai sur une piste rectiligne. M est un point du système {moto et motard} d'abscisse x.



B

On a représenté les positions à intervalles de temps réguliers d'un point P pris sur le plateau horizontal d'un manège en mouvement de rotation autour d'un axe vertical.



1 Les vecteurs position, vitesse et accélération

	A	B	C
1. Dans la situation **A**, la distance parcourue par la moto 3 s après le départ est :	$d = 20{,}7$ m	$d = 6{,}9$ m	$d = 10{,}4$ m
2. Dans la situation **A**, la vitesse de la moto est donnée par la relation :	$v(t) = 2{,}3t$	$v(t) = 4{,}6t$	$v(t) = 4{,}6t + 2{,}3$
3. Dans la situation **B**, le vecteur vitesse $\vec{v}$ du point P :	est un vecteur constant.	a une valeur constante.	varie au cours du temps.
4. D'après la situation **B**, le vecteur accélération $\vec{a}$ du point P :	est dirigé vers le centre de la trajectoire.	a une valeur égale à $\frac{dv}{dt}$.	a une valeur égale à $\frac{v^2}{R}$, avec R le rayon du cercle.

2 Des exemples de mouvements

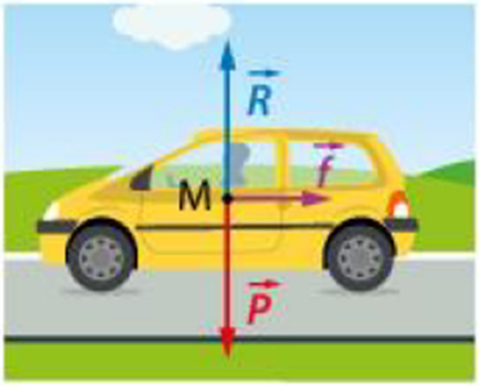
	A	B	C
5. Dans la situation **A**, le mouvement du point M du système est :	rectiligne uniforme.	rectiligne uniformément accéléré.	curviligne accéléré.
6. Dans la situation **B**, le mouvement du point P du système est circulaire :	uniforme.	uniformément accéléré.	uniformément retardé.

3 La deuxième loi de Newton

	A	B	C
7. Le centre de masse G d'un système :	est un point quelconque choisi d'un système.	est le seul point de ce système où peut toujours s'appliquer le principe d'inertie.	a en général un mouvement plus simple que les autres points du système.
8. La deuxième loi de Newton est donnée par la relation :	$\Sigma\vec{F} = m\frac{d\vec{v}_G}{dt}$	$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}_G$	$\Sigma F = m \times a_G$
9. Dans la situation **B**, la somme des forces appliquées au point P est :	colinéaire et de même sens que le vecteur accélération.	perpendiculaire et de même sens que le vecteur accélération.	dirigée vers le centre de la trajectoire.

Exercice 2 : Appliquer la deuxième loi de Newton

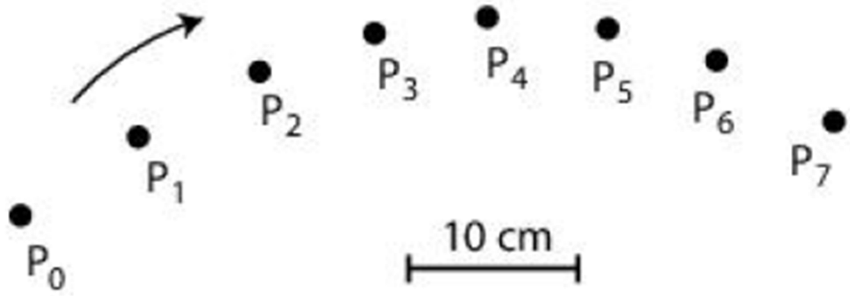
Une voiture de masse m = 900 kg se déplace moteur arrêté sur une route horizontale. Elle ralenti sous l'effet des forces de frottements exercées par l'air et par la route sur les pneus.



Toutes les forces qui s'appliquent sur la voiture sont représentées en son centre de masse M sans souci d'échelle. Le poids $\vec{P}$ du véhicule et la réaction $\vec{R}$ de la route sur les pneus se compensent. La valeur de la force de frottement est f =300 N

1. Enoncer la deuxième loi de Newton.
2. Exploiter cette loi pour déterminer les caractéristiques du vecteur accélération de M.

Exercice 3 : Construire le vecteur accélération



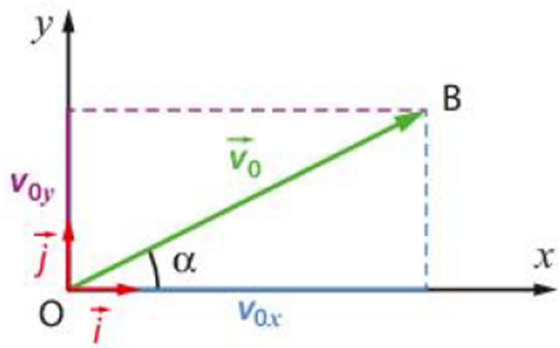
Le document ci-dessus est le mouvement du centre de masse P d'un mobile autoporteur. La durée qui sépare deux positions successives de P est Δt = 40 ms.

1. Construire en P_2 et P_3 les vecteurs vitesse $\overrightarrow{v_2}$ et $\overrightarrow{v_3}$ en précisant l'échelle.
2. Construire en P_3 la variation de vitesse $(\Delta\vec{v})_{2\rightarrow3}$.
3. Construire en P_3 le vecteur accélération $\overrightarrow{a_3}$ en précisant l'échelle utilisée.

Exercice 4 : Coordonnées d'un vecteur

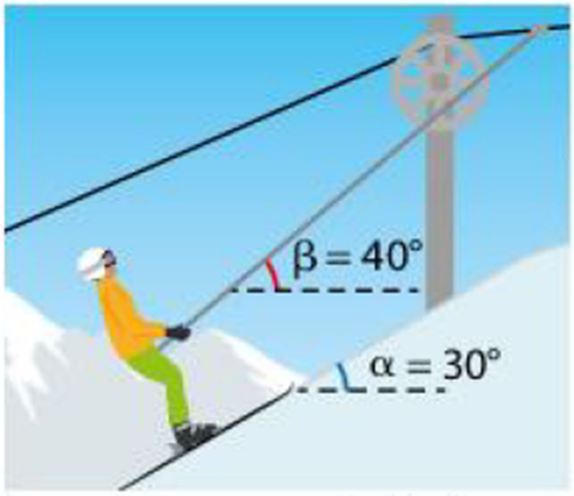
Un vecteur $\overrightarrow{v_0}$ est représenté dans un repère (O ; x ; y)

1. Déterminer ses coordonnées v_{0x}, v_{0y} en fonction de v_0 et de l'angle α.
2. En déduire les coordonnées d'un vecteur $\overrightarrow{v_0}$ vertical.



Exercice 5 : Le téléski

Une skieuse de masse m = 60 kg est accrochée à la perche d'un téléski et se déplace avec une vitesse de valeur constante. Le téléski exerce sur la skieuse une force constante $\vec{F}$ dans l'axe de la perche. Les forces de frottement exercées par l'air et par la neige sont négligeables.



1. Etablir l'inventaire des forces exercées sur la skieuse et représenter l'ensemble de ces forces sans soucis d'échelle au centre de masse G de la skieuse.
2. Exprimer les coordonnées de chacune des forces dans un repère $(O;\vec{\imath}\,;\ \vec{\jmath})$ dont l'axe (Ox) est parallèle à la pente.
3. Calculer la valeur F de la force exercée par la perche sur la skieuse.
   (Intensité de pesanteur g = 9,81 m.s^{-2})

Exercice 6 : Le thermomètre de Galilée

Le liquide d'un thermomètre de Galilée a une masse volumique $\rho_\ell(\theta)$ qui décroît lorsque sa température augmente.

Partie I Étude théorique du mouvement

Le liquide du thermomètre est à 18 °C ; à cette température, l'ampoule portant le médaillon « 18 °C », de 12,0 g et de volume V, flotte. On chauffe le liquide jusqu'à 20 °C, l'ampoule descend alors dans le tube.

On prend pour origine des dates (t = 0 s) l'instant où l'ampoule se met en mouvement.

On modélise la valeur f de la force de frottement fluide exercée par le liquide sur l'ampoule par $f = k \times v_G$, avec v_G la valeur de la vitesse du centre de masse de l'ampoule et k le coefficient de frottement. On définit un axe Oy dirigé vers le bas dont l'origine O coïncide avec le centre de masse de l'ampoule portant le médaillon « 18 °C » à la date $t = 0$ s.

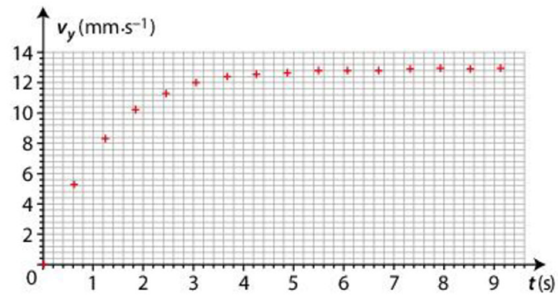
1. Représenter, sans souci d'échelle mais de façon cohérente, les forces s'exerçant sur l'ampoule en mouvement.

2. Montrer que les valeurs a_G de l'accélération et v_G de la vitesse de G sont liées par $a_G = A - B \times v_G$. Exprimer A et B en fonction de m, g, k, $\rho_\ell(\theta)$ et V. Utiliser le réflexe 3

3. Calculer A et B.

Partie II Étude expérimentale du mouvement

Une capture vidéo permet d'obtenir la courbe ci-dessous.



1. Justifier que l'ampoule atteint une vitesse de valeur constante v_ℓ et la déterminer.

2. Montrer que $v_\ell = \dfrac{A}{B}$.

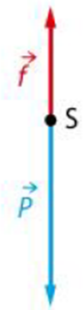
Données
- Volume de l'ampoule : $V = \dfrac{4}{3}\pi \times R^3$.
- Masse volumique du liquide à 20 °C : $\rho_\ell = 848$ kg·m^{-3}.
- Coefficient de frottement : $k = 8{,}8 \times 10^{-3}$ kg·s^{-1}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

Exercice 7 : Equilibre ou pas équilibre

1. Construire le vecteur somme des forces représentant la résultante des forces au centre de masse G pour les deux systèmes ci-dessus.
2. Quel système peut être à l'équilibre ?
3. Quelles est la direction et le sens de l'accélération du centre de masse du système qui n'est pas à l'équilibre ?

Exercice 8 : Saut en parachute

Un parachutiste avec son équipement ($m = 90$ kg) vient de sauter de l'avion. Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, lors les premiers instants après le saut les actions mécaniques qui s'exercent sur lui sont modélisés par le poids $\vec{P}$ et la force de frottements $\vec{f}$.



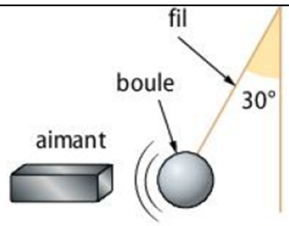
1. Donner les caractéristiques du vecteur résultante des forces $\sum \vec{F}$.

2. En déduire la valeur du vecteur accélération.

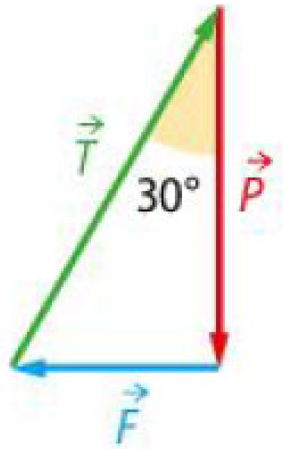
Donnée : *intensité de pesanteur $g = 9{,}8\ m \cdot s^{-2}$.*

Exercice 9 : Boule de fer

Une boule métallique de masse 400 g est accrochée à un fil inextensible. Un aimant exerce une action d'attraction à distance. La boule est immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen.



Le tracé des forces représentant les actions mécaniques mises bout à bout donne le schéma suivant :



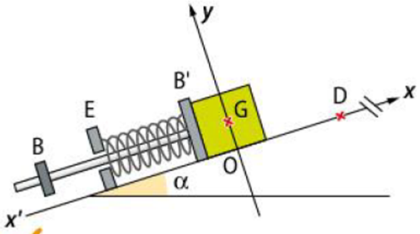
1. Que peut-on dire de la somme des forces qui s'exercent sur la boule ?

2. Justifier que la boule soit à l'équilibre ?

3. Calculer la valeur du poids et en déduire par des relations trigonométriques les valeurs des deux autres forces :

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

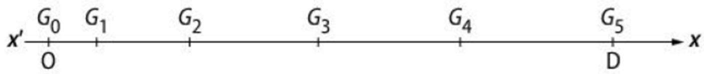
Exercice 10 : Propulsion d'un palet



Un palet en acier de masse $m = 50$ g est propulsé sans frottement sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 28$ ° avec l'horizontale (L'intensité de pesanteur $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Un manipulateur tire sur la tige et comprime ainsi un ressort jusqu'à ce que le centre de masse du palet se trouve au point O. En lâchant la tige, il libère le dispositif qui propulse le palet, jusqu'à ce que le centre de masse du palet arrive en D où il est libéré. La position du centre de masse G du palet est repérée sur un axe $x'x$ de même direction que la ligne de plus grande pente de la gouttière et orienté vers le haut.

La chronophotographie suivante présente la position qu'occupe le centre de masse G du palet à intervalles de temps réguliers $\tau = 20{,}0$ ms (points G_0 à G_5, la distance $G_0G_5 = OD = 12{,}1$ cm.). À $t = 0$, le centre d'inertie du palet est au point O ou G_0.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- On donne le schéma de la situation et les données.
- La chronophotographie et ses conditions d'obtention permettent de calculer a.

1. **Exprimer** le vecteur accélération $\vec{a}_{G_3}$ du palet au passage du point G_3 en fonction des vitesses $\vec{v}_{G_4}$ et $\vec{v}_{G_2}$ et de l'intervalle de temps τ. **En déduire** la valeur de cette accélération a_{G_3}.
2. En projetant la seconde loi de Newton appliquée au palet sur l'axe $x'x$, exprimer la valeur de la force de rappel F du ressort en fonction de m, g, a_G, α.
3. À l'aide de la question **1** et des données, **calculer** la valeur de F au point G_3.

LES VERBES D'ACTION

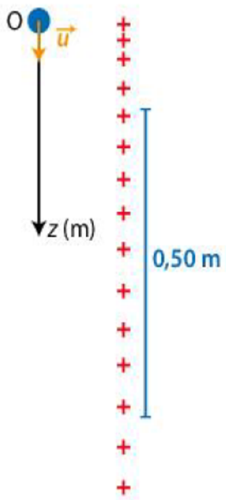
- **Exprimer :** donner l'écriture d'une formule littérale.
- **En déduire :** utiliser le résultat précédent.
- **Calculer :** effectuer une procédure courante.

Exercice 11 : L'huile de moteur

L'huile utilisée dans les moteurs de voitures permet de limiter les frottements entre les pièces.
Une des grandeurs caractéristiques d'une huile pour moteur est sa viscosité η.
Un groupe d'élèves dispose d'un bidon d'huile dont l'étiquette a été arrachée.
L'objectif de cet exercice est de déterminer la viscosité de l'huile contenue dans le bidon.

A Protocole de mesure de la viscosité

On filme la chute d'une bille de rayon R dans un tube vertical rempli de l'huile à analyser.
Les positions de la bille sont repérées sur un axe vertical (Oz) orienté vers le bas, muni d'un vecteur unitaire $\vec{u}$.
L'intervalle de temps entre deux images consécutives est $\tau = 400$ ms.



B Résultats et données utiles

- Concernant la bille :
rayon $R = 2{,}00$ cm ; masse $m = 35{,}5$ g ;
volume $V = 33{,}5\ \text{cm}^3$.

- Concernant les forces :
Lors de sa chute dans l'huile, la bille est soumise à :
– la poussée d'Archimède $\vec{F}_p = -(\rho_{huile} \times V_{bille} \times g)\,\vec{u}$;
– la force de frottement $\vec{f} = -(6\pi \times \eta \times R \times v)\,\vec{u}$.

- Concernant l'huile :
– masse volumique $\rho = 920\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
– viscosité de quelques huiles témoins à 20 °C :

	Huile 1	Huile 2	Huile 3
η (Pa · s)	0,088	0,290	0,700

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. APP Montrer que la bille atteint une vitesse de valeur constante v_ℓ.
2. RÉA Déterminer la valeur de cette vitesse v_ℓ.
3. ANA-RAIS Par application de la deuxième loi de Newton, montrer que la viscosité de la bille s'exprime par la relation :
$$\eta = \frac{(m - \rho \times V) \times g}{6\pi \times R \times v_\ell}$$
4. VAL Identifier l'huile moteur étudiée.