

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · MOUVEMENT ET INTERACTIONS · CHAPITRE 13

Approfondissement Deuxième loi de Newton

Systèmes couplés, frottements modélisés, forces électriques : pour aller plus loin

7 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h · calculatrice autorisée



R. RINGUET · 2026 – 2027

★ À RETENIR — Ce que cette feuille ajoute au cours

- Appliquer la deuxième loi de Newton à *plusieurs* systèmes en interaction (wagons attelés, masses reliées par un fil).
- Modéliser des frottements (solides ou fluides) et en tirer une condition de glissement ou une vitesse limite.
- Mener une résolution de problème complète, avec prise d'initiative et analyse critique du résultat.

Les passages signalés « *hors programme* » ne sont pas exigibles au baccalauréat : ils sont proposés pour aller plus loin, et toutes les relations nécessaires sont fournies.

Exercice 1 Deux wagons attelés



Une locomotive de masse $M = 90 \text{ t}$ tire deux wagons identiques, de masse $m = 45 \text{ t}$ chacun, sur une voie rectiligne et horizontale. L'ensemble démarre et atteint $72 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en 100 s , l'accélération étant constante. Chaque véhicule subit des frottements modélisés par une force horizontale opposée au mouvement, de valeur proportionnelle à sa masse : $f = k m'$ avec $k = 0,15 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ pour un véhicule de masse m' .

- 1.1 Calculer l'accélération de l'ensemble, puis la valeur de la force motrice exercée par les rails sur la locomotive (on étudie d'abord le système {locomotive + 2 wagons}).
- 1.2 En choisissant comme système le *dernier* wagon seul, déterminer la valeur de la force exercée sur lui par l'attelage qui le relie au wagon précédent.
- 1.3 En choisissant comme système l'ensemble {2 wagons}, déterminer la force exercée par la locomotive sur le premier wagon. Comparer les deux valeurs obtenues et interpréter.
- 1.4 Le train roule ensuite à vitesse constante. Que deviennent la force motrice et la tension de chaque attelage ?

Exercice 2 Deux masses reliées par un fil



Un solide S_1 de masse $m_1 = 0,60 \text{ kg}$ est posé sur une table horizontale; il est relié par un fil inextensible, de masse négligeable, passant sur une poulie sans frottement, à un solide S_2 de masse $m_2 = 0,40 \text{ kg}$ suspendu dans le vide (figure 1). On lâche l'ensemble sans vitesse initiale. Le fil étant inextensible, les deux solides ont, à chaque instant, des vitesses de même valeur v et des accélérations de même valeur a ; le fil exerce sur chaque solide une force de même valeur T .

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

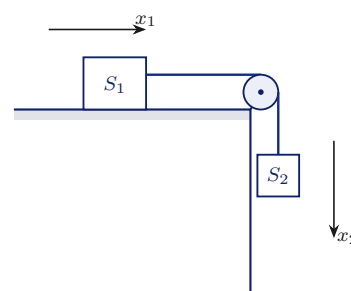


Figure 1 — Les axes sont orientés dans le sens du mouvement.

- 2.1 Les frottements sont d'abord négligés. En appliquant la deuxième loi de Newton à S_1 puis à S_2 (chacun dans un repère adapté), établir un système de deux équations d'inconnues a et T .
- 2.2 En déduire que $a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2}$ et $T = \frac{m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$. Calculer ces deux valeurs.
- 2.3 Vérifier que $T < m_2 g$ et interpréter physiquement cette inégalité.
- 2.4 En réalité, S_2 tombe de 40 cm en 0,50 s. Déterminer l'accélération réelle, puis la valeur de la force de frottement exercée par la table sur S_1 .

Exercice 3 Jusqu'à quelle pente la caisse tient-elle ?



(Modèle de frottement solide : hors programme, toutes les relations sont fournies.) Une caisse est posée sur un plan incliné dont on augmente progressivement l'angle α . Tant qu'elle reste immobile, la composante tangentielle $\vec{f}$ de la réaction du plan s'ajuste; elle ne peut cependant pas dépasser la valeur limite $f_{\max} = \mu_s R_N$, où R_N est la valeur de la composante normale et μ_s un nombre sans dimension appelé coefficient de frottement statique.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

- 3.1 Pour un angle α quelconque, exprimer f et R_N en fonction de m , g et α tant que la caisse reste immobile.
- 3.2 En déduire que la caisse se met à glisser lorsque $\tan \alpha > \mu_s$. Remarquer que cette condition ne dépend pas de la masse de la caisse.
- 3.3 Une caisse en bois sur un plancher de chêne correspond à $\mu_s = 0,45$. Calculer l'angle limite.
- 3.4 Une fois le glissement amorcé, la composante tangentielle vaut $f = \mu_c R_N$ avec $\mu_c = 0,30$. Établir l'expression de l'accélération de la caisse en fonction de g , α et μ_c , puis la calculer pour $\alpha = 30^\circ$.

Exercice 4 La goutte d'huile de Millikan



En 1910, R. Millikan mesure la charge élémentaire en observant de fines gouttes d'huile chargées, placées entre deux plaques horizontales entre lesquelles règne un champ électrique uniforme $\vec{E}$ vertical. Une goutte de masse $m = 3,26 \times 10^{-15} \text{ kg}$, portant une charge électrique q négative, reste immobile lorsque la valeur du champ vaut $E = 4,0 \times 10^4 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$, le champ étant dirigé vers le bas. La poussée d'Archimède de l'air est négligée.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ • charge élémentaire $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

- 4.1 Faire le bilan des forces appliquées à la goutte et les représenter sur un schéma. Justifier que la force électrique $\vec{F} = q\vec{E}$ est dirigée vers le haut.
- 4.2 Écrire la condition d'équilibre de la goutte, puis montrer que $|q| = \frac{mg}{E}$. Calculer $|q|$.
- 4.3 Montrer que cette charge est un multiple entier de la charge élémentaire e et déterminer le nombre d'électrons en excès portés par la goutte.
- 4.4 Le champ est brusquement coupé. Quelle est alors l'accélération de la goutte, juste après la coupure ? Pourquoi la goutte atteint-elle très vite une vitesse constante dans l'air ?

Exercice 5 Le ballon-sonde



Un ballon-sonde météorologique est constitué d'une enveloppe souple gonflée à l'hélium. Au sol, son volume est $V = 4,2 \text{ m}^3$; la masse de l'enveloppe, de la nacelle et des instruments est $m_0 = 1,8 \text{ kg}$.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ • masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ • de l'hélium : $\rho_{\text{He}} = 0,17 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ • poussée d'Archimède : $\Pi = \rho_{\text{fluide}} V g$

- 5.1 Calculer la masse d'hélium contenue dans le ballon, puis la masse totale m du système {ballon + nacelle}.
- 5.2 Faire le bilan des forces appliquées au système au moment du lâcher (la vitesse étant nulle, les frottements de l'air le sont aussi) et montrer que le ballon s'élève. Calculer la valeur de son accélération initiale.
- 5.3 Au bout de quelques secondes, le ballon monte à vitesse constante : déterminer la valeur de la force de frottement exercée par l'air.
- 5.4 En s'élevant, le ballon se dilate (son volume augmente) tandis que la masse volumique de l'air diminue. Expliquer qualitativement pourquoi il existe malgré tout une altitude maximale, où le ballon finit par éclater.

Exercice 6 Résolution de problème : la distance d'arrêt



Une voiture de masse $m = 1,3 \times 10^3 \text{ kg}$ roule à $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur autoroute. Le conducteur aperçoit un obstacle et freine en urgence : la route exerce alors sur les pneus une force de freinage dont la valeur ne peut pas dépasser $f_{\text{max}} = 0,80 mg$ sur route sèche, et $0,40 mg$ sur route mouillée. Le temps de réaction du conducteur, pendant lequel la voiture roule à vitesse constante, est de $1,0 \text{ s}$.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

En utilisant la deuxième loi de Newton, déterminer la distance d'arrêt de la voiture sur route sèche puis sur route mouillée. Comparer ces distances à la distance de 110 m qui sépare la voiture de l'obstacle et commenter le résultat. Toute démarche, même partielle, sera valorisée : le raisonnement suivi, les hypothèses et les étapes de calcul devront apparaître clairement.

Exercice 7 Vers la vitesse limite : la méthode d'Euler



(Résolution approchée d'une équation différentielle : hors programme en mécanique, la méthode est entièrement décrite ci-dessous.) Une balle en mousse de masse $m = 50 \text{ g}$ tombe verticalement dans l'air, sans vitesse initiale. Outre son poids, elle subit une force de frottement fluide verticale, dirigée vers le haut, de valeur $f = k v^2$ avec $k = 2,0 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$. La poussée d'Archimède de l'air est négligée. L'axe (Oz) est vertical, orienté vers le bas.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

- 7.1 Établir, à l'aide de la deuxième loi de Newton, que la valeur v de la vitesse vérifie $\frac{dv}{dt} = g - \frac{k}{m} v^2$.
- 7.2 La vitesse finit par ne plus varier : cette valeur limite est notée v_ℓ . Montrer que $v_\ell = \sqrt{\frac{mg}{k}}$ et la calculer.
- 7.3 La méthode d'Euler consiste à calculer de proche en proche $v(t + \Delta t) \approx v(t) + a(t) \Delta t$, avec ici $a(t) = g - \frac{k}{m} v(t)^2$. Recopier et compléter le tableau ci-dessous, avec $\Delta t = 0,50 \text{ s}$ (résultats à trois chiffres significatifs).

$t \text{ (s)}$	0	0,50	1,00	1,50
$v \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$	0			
$a \text{ (m}\cdot\text{s}^{-2})$	9,81			

- 7.4 La balle a-t-elle atteint sa vitesse limite au bout de $1,5 \text{ s}$? Expliquer pourquoi la méthode d'Euler donne une valeur d'autant plus proche de la réalité que le pas Δt est petit.
- 7.5 Sans refaire les calculs, indiquer comment seraient modifiées v_ℓ et la durée nécessaire pour l'atteindre si la balle était deux fois plus lourde, à k inchangé.