

La deuxième loi de Newton

Cours de sciences physiques - niveau 1re

*Pousser un caddie vide est facile, le pousser plein à ras bord demande bien plus d'effort pour le mettre en mouvement. Pourquoi ? Parce que la **deuxième loi de Newton** relie trois grandeurs : la force résultante exercée sur un système, sa masse et la rapidité avec laquelle sa vitesse change. En première spécialité, on formule cette loi avec la quantité de mouvement, puis on l'applique à la chute, au freinage ou au décollage d'une fusée.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Systeme, référentiel galiléen et forces

Pour appliquer la deuxième loi de Newton, on commence par choisir un **système** (un objet assimilé à un point matériel, son centre d'inertie G) et un **référentiel**. La loi n'est valable que dans un **référentiel galiléen** : un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié. Le référentiel terrestre (lié au sol du laboratoire) peut être considéré comme galiléen pour des expériences de courte durée.

Les actions mécaniques extérieures au système sont modélisées par des **forces**, représentées par des vecteurs : le poids P (vertical, vers le bas, de valeur $P = m \times g$ avec $g \approx 9,8 \text{ N/kg}$), la réaction du support R, la tension d'un fil T, les frottements f, la poussée... La **somme vectorielle des forces extérieures**, notée ΣF , s'appelle la force résultante. Dans le chapitre précédent, on a vu que le vecteur variation de vitesse Δv a la direction et le sens de ΣF : la deuxième loi de Newton ajoute le lien entre les valeurs.

La quantité de mouvement

DÉFINITION

La **quantité de mouvement** d'un système de masse m, dont le centre d'inertie a la vitesse v, est le vecteur $\mathbf{p} = m \times \mathbf{v}$. Elle a la direction et le sens de v. Son unité est le **kg·m/s**.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une voiture de masse $m = 1\,200 \text{ kg}$ roule à $v = 20 \text{ m/s}$ (72 km/h). Sa quantité de

mouvement vaut $p = 1\,200 \times 20 = \mathbf{2,4 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{m/s}}$. Un cycliste et son vélo (80 kg au total) roulant à 5,0 m/s ont $p = 80 \times 5,0 = 400 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$: à vitesse égale, ou à masse égale, plus p est grande, plus il est difficile de modifier le mouvement.

La deuxième loi de Newton

LOI

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures qui s'exercent sur un système est égale à la **dérivée temporelle de sa quantité de mouvement** ; pour une durée Δt courte, on écrit :

$$\Sigma F = \Delta p \div \Delta t$$

ΣF en newtons (N), Δp en $\text{kg}\cdot\text{m/s}$, Δt en secondes (s).

Lorsque la masse du système est **constante**, ce qui est le cas des situations du programme, $\Delta p = m \times \Delta v$, d'où une forme plus pratique.

FORMULE À RETENIR

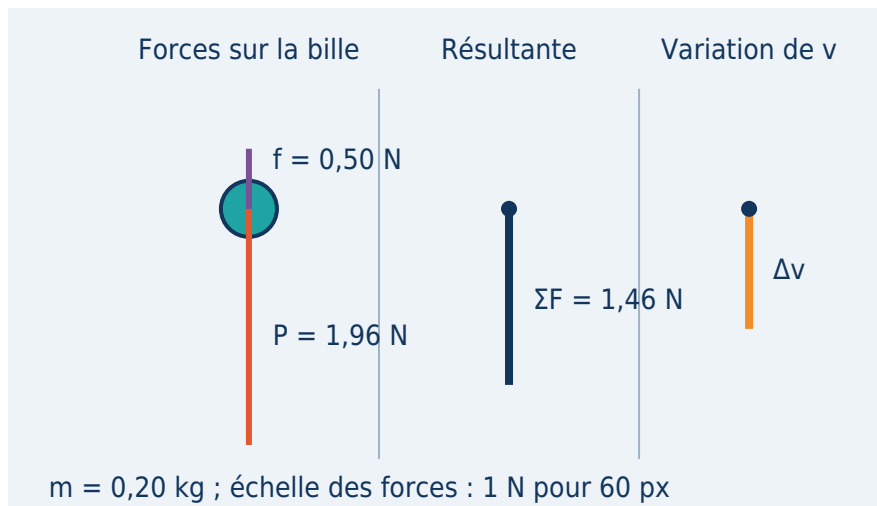
$$\Sigma F = m \times a \quad \text{avec} \quad a = \Delta v \div \Delta t$$

ΣF en N, m en kg, a (vecteur accélération du centre d'inertie) en m/s^2 . Le vecteur a a la **même direction et le même sens que ΣF** .

DÉFINITION

Le **newton** (N) est la force qui communique à un système de masse 1 kg une variation de vitesse de 1 m/s en 1 s : $\mathbf{1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2}$.

Avec une chronophotographie, on peut calculer a en un point M_i par $\mathbf{a_i = \Delta v_i \div (2\tau)}$, où $\Delta v_i = v_{i+1} - v_{i-1}$. La loi permet alors de retrouver la force résultante, ou l'inverse.



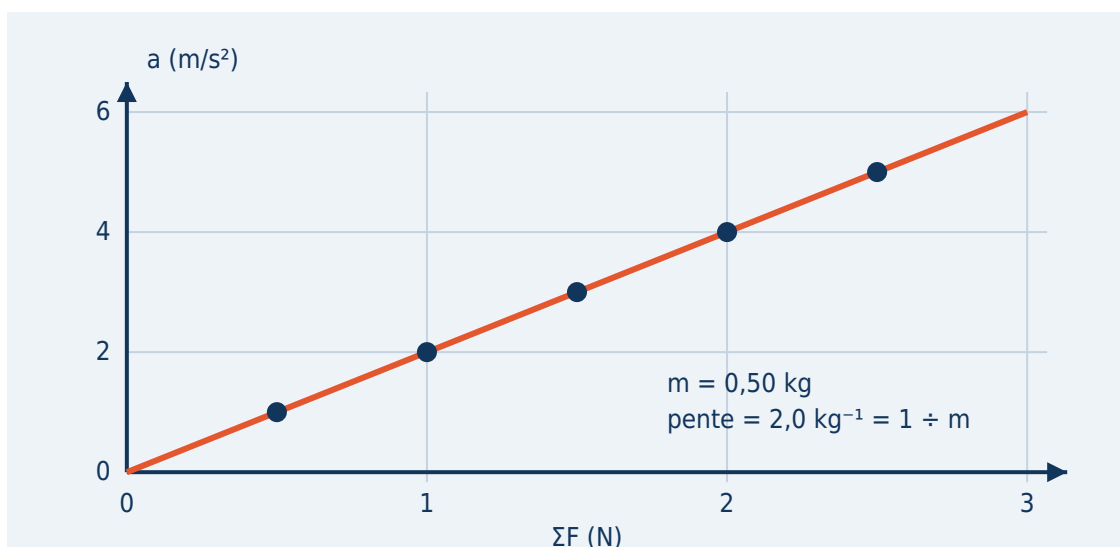
La résultante (1,46 N, vers le bas) et Δv ont la même direction et le même sens ; $a = \Sigma F \div m \approx 7,3 \text{ m/s}^2$.

APPLICATION NUMÉRIQUE

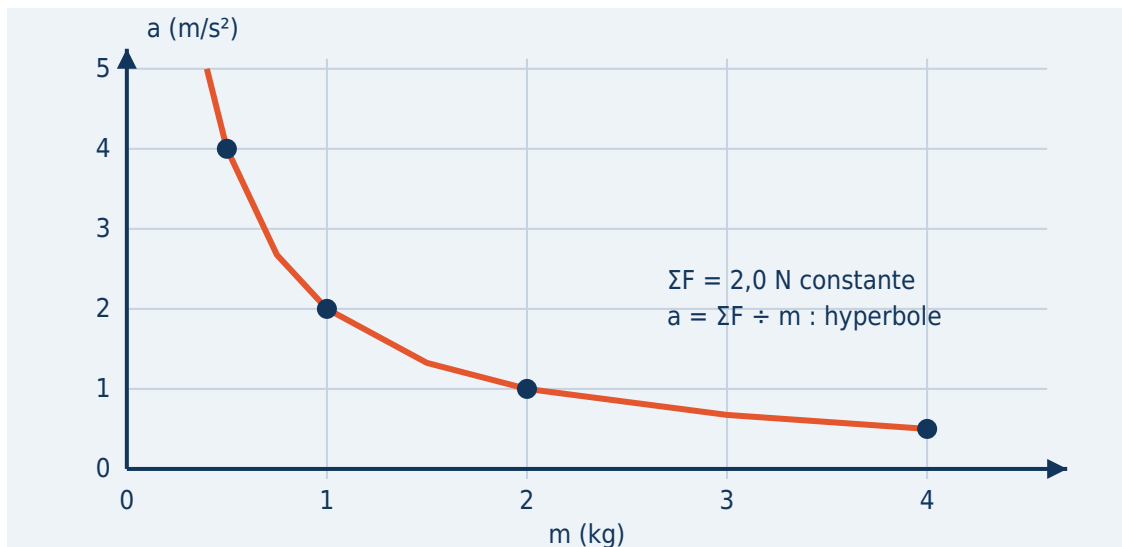
Une bille de masse $m = 0,20 \text{ kg}$ tombe en subissant une force de frottement de l'air $f = 0,50 \text{ N}$ vers le haut. Poids : $P = 0,20 \times 9,8 = 1,96 \text{ N}$. Résultante vers le bas : $\Sigma F = 1,96 - 0,50 = 1,46 \text{ N}$. Accélération : $a = \Sigma F \div m = 1,46 \div 0,20 = \mathbf{7,3 \text{ m/s}^2}$, vers le bas, inférieure à g à cause du frottement.

Ce que dit la deuxième loi de Newton : accélération, force et masse

La relation $\Sigma F = m \times a$ contient deux proportionnalités que l'on peut vérifier expérimentalement. À masse constante, **a est proportionnelle à ΣF** : doubler la force double l'accélération. À force constante, **a est inversement proportionnelle à m** : plus la masse est grande, plus le système est difficile à mettre en mouvement. Cette propriété de la masse s'appelle l'**inertie**.



À masse constante, a est proportionnelle à ΣF ; la pente de la droite vaut $1 \div m$.



À force constante, quand la masse double, l'accélération est divisée par deux.

Méthode : appliquer la deuxième loi de Newton

MÉTHODE

(1) Définir le **système** et le **référentiel galiléen**. (2) Faire le **bilan des forces** extérieures et les représenter sur un schéma. (3) Choisir un axe et exprimer chaque force par sa **composante** (positive dans le sens de l'axe, négative sinon). (4) Écrire $\Sigma F = m \times a$ selon cet axe. (5) Résoudre en vérifiant les unités et l'ordre de grandeur.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une voiture de masse 1 200 kg passe de 0 à 100 km/h en 8,0 s sur une route droite. Vitesse finale : $100 \div 3,6 \approx 27,8$ m/s. Accélération moyenne : $a = 27,8 \div 8,0 \approx 3,47$ m/s². Force résultante : $\Sigma F = 1\,200 \times 3,47 \approx 4,2 \times 10^3$ N, dirigée dans le sens du mouvement : c'est la force motrice moins les frottements.

Cas particuliers : chute libre et principe d'inertie

Si $\Sigma F = 0$, alors $a = 0$: la vitesse est constante. On retrouve le **principe d'inertie**, cas particulier de la deuxième loi. À l'inverse, si le poids est la seule force (chute libre), $\Sigma F = P = m \times g$ donne $m \times a = m \times g$, donc **$a = g \approx 9,8$ m/s²** : la masse s'élimine, tous les objets tombent avec la même accélération dans le vide ou lorsque les frottements sont négligeables.

ERREUR FRÉQUENTE

Une vitesse nulle n'implique pas $\Sigma F = 0$: au sommet d'un lancer vertical, $v = 0$ mais la balle subit toujours son poids, donc $a = g$. À l'inverse, une vitesse constante élevée correspond à $\Sigma F = 0$. Ne pas confondre non plus la valeur de la force avec la valeur de la vitesse : c'est la **variation** de la vitesse qui est liée à la force.

L'essentiel à retenir

- La quantité de mouvement est $p = m \times v$, en $\text{kg}\cdot\text{m/s}$; elle a le sens de v .
- Deuxième loi de Newton, dans un référentiel galiléen : $\Sigma F = \Delta p \div \Delta t$.
- À masse constante : $\Sigma F = m \times a$, avec $a = \Delta v \div \Delta t$; a a la direction et le sens de ΣF .
- $1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$; avec une chronophotographie, $a_i = \Delta v_i \div (2\tau)$.
- À masse constante, a est proportionnelle à ΣF ; à force constante, a est inversement proportionnelle à m .
- $\Sigma F = 0$ donne le principe d'inertie ; en chute libre, $a = g$ quelle que soit la masse.