

COURS

Mécanique newtonienne — Deuxième loi de Newton

1^{re}

Programme de première générale, enseignement de spécialité — BO spécial n°1 du 22 janvier 2019

La Lune tourne autour de la Terre à vitesse pratiquement constante, et elle est pourtant accélérée en permanence. La contradiction n'est qu'apparente : elle vient du mot « vitesse », qui en physique désigne un vecteur et non un nombre. Ce chapitre repose entièrement sur cette distinction, et la plupart des fautes viennent de son oubli.

1 Vitesse et accélération sont des vecteurs

DÉFINITION

Le **vecteur vitesse** décrit à la fois la **valeur** du déplacement par unité de temps, sa **direction** et son **sens**. Le **vecteur accélération** décrit la **variation** de ce vecteur vitesse par unité de temps. Une **accélération** non nulle signifie donc qu'**au moins une** de ces trois caractéristiques change — la valeur, la direction ou le sens —, et non nécessairement la valeur.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

RÈGLE

Deuxième loi de **Newton**, souvent notée 2e loi : dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un système de masse constante est égale au produit de sa masse par son **vecteur accélération**. La somme des forces donne donc l'**accélération**, **jamais** la vitesse : connaître les forces à un instant ne dit rien de la vitesse à cet instant, seulement de la façon dont elle est en train de changer.

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Conclure qu'un mouvement circulaire uniforme se fait sans force, sous prétexte que la vitesse ne change pas de valeur. — Dans un mouvement circulaire, la **direction** du **vecteur vitesse** change à chaque instant, même si sa valeur reste constante. Le **vecteur accélération** est donc non nul — il pointe vers le centre — et la deuxième loi de **Newton** impose une force résultante non nulle, elle aussi dirigée vers le centre. Sans elle, le mobile partirait en ligne droite.

Le réflexe : Se demander : la **direction** du vecteur vitesse change-t-elle ?

EXEMPLE

Un satellite décrit une orbite circulaire à vitesse de valeur constante. Est-il accéléré ? Quelle force s'exerce sur lui ?

- ① La **valeur** de sa vitesse est constante, mais sa **direction** change continûment : le **vecteur vitesse** varie donc.
- ② Par définition, le **vecteur accélération** est non nul. Il est dirigé **vers le centre** de l'orbite.
- ③ La deuxième loi de **Newton** impose alors une force résultante de même direction et de même sens : c'est la force **gravitationnelle** exercée par l'astre central.

Oui, accéléré, par une force dirigée vers le centre

2 Trois mouvements de référence

PROPRIÉTÉ

Mouvement rectiligne uniforme : le **vecteur vitesse** est constant, donc l'**accélération** est nulle et la somme des forces aussi — c'est le principe d'inertie, cas particulier de la deuxième loi. **Chute libre** : la seule force est le poids, donc l'**accélération** vaut **g**, **indépendamment de la masse**. **Mouvement circulaire uniforme** : l'**accélération** est dirigée vers le centre et sa valeur vaut v^2/R .

$$\text{chutelibre : } a = g \cdot \text{circulaire uniforme : } a = \frac{v^2}{R}$$

En **chute libre**, la masse disparaît de l'équation : elle figure des deux côtés de $mg = ma$ et se simplifie. C'est pourquoi une bille et un boulet lâchés ensemble dans le vide touchent le sol au même instant. Dans l'air, ce n'est plus une chute libre — les frottements dépendent de la forme et de la vitesse, et la masse reparaît dans le résultat.

RÉSOLUDRE UN PROBLÈME AVEC LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON

- ① Définir le **système** et le **référentiel**, et vérifier que ce dernier peut être considéré comme **galiléen**.
- ② Faire le **bilan des forces** extérieures appliquées au système, et les représenter.
- ③ Écrire la deuxième loi de **Newton** sous forme **vectorielle**, avant toute projection.
- ④ Projeter sur des axes bien choisis, puis isoler l'**accélération**.

$$5 \times 9,8 = 49$$

Un corps de 5 kg en chute libre subit un poids de 49 N.

- ⑤ Vérifier l'**homogénéité** du résultat et sa cohérence physique avant de conclure.

À VÉRIFIER

- Ai-je précisé le **référentiel** et vérifié qu'il est **galiléen** ?
- Mon bilan ne contient-il que des forces **extérieures** au système ?
- Ai-je écrit la loi sous forme **vectorielle** avant de projeter ?
- Ai-je conclu sur l'**accélération**, et non directement sur la vitesse ?
- Pour un mouvement circulaire, ai-je dirigé l'accélération **vers le centre** ?
- En **chute libre**, ai-je bien simplifié la masse ?

À RETENIR

- Vitesse et **accélération** sont des **vecteurs** : valeur, direction, sens.
- La 2e loi relie les forces à l'**accélération**, pas à la vitesse.
- $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$: la somme des forces donne l'**accélération**, jamais la vitesse.
- Accélération nulle $\Leftrightarrow$ **vecteur vitesse constant** $\Leftrightarrow$ repos ou rectiligne uniforme.
- Mouvement **circulaire** uniforme : accélération **vers le centre**, valeur v^2/R .
- **Chute libre** : une seule force, le poids ; l'accélération vaut g .
- La masse se simplifie en chute libre : tous les corps tombent de même.
- Somme des forces nulle ne signifie **pas** absence de forces.
- Toujours écrire la loi **vectériellement** avant de projeter.
- Préciser le **référentiel** et vérifier qu'il est **galiléen**.