P3 — Mouvement et 2 loi de Newton

Thème 3 · Mouvement et interactions

Table des matières

1 Pourquoi ce chapitre ?

Pourquoi une voiture met-elle plus de temps à freiner quand elle est lourde ? Pourquoi faut-il pousser plus fort pour accélérer un caddie plein qu'un caddie vide ? Pourquoi les astronautes flottent-ils dans la Station Spatiale alors qu'ils sont pourtant attirés par la Terre ?

Tout tient dans une seule équation : $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. C'est probablement la formule la plus puissante du lycée : elle permet de prédire le mouvement de n'importe quel objet du quotidien — ballon, fusée, planète, électron — du moment qu'on connaît les forces qui agissent dessus. Ce chapitre te donne les outils pour la manier.

2 Ce que tu vas apprendre

- Décrire un mouvement avec les **vecteurs position, vitesse, accélération**
- Passer de l'un à l'autre par **dérivation temporelle**
- Reconnaître les grands types de mouvements (rectiligne, circulaire)
- Utiliser le repère de **Frenet** pour les mouvements circulaires
- Appliquer la **deuxième loi de Newton** pour relier forces et accélération

---

3 1. Décrire un mouvement : les 3 vecteurs fondamentaux

Pour étudier un mouvement, on a besoin de trois vecteurs qui se dérivent les uns des autres :

Dériver la position dans le temps donne la vitesse. Dériver la vitesse donne l'accélération. L'opération inverse (intégrer) permet de « remonter » jusqu'à la position.

3.1 a. Vecteur position $\vec{OM}(t)$

Dans un repère $(O; \vec{\imath}, \vec{\jmath})$ lié au référentiel d'étude, la position d'un point M à l'instant t est donnée par le vecteur :

$$\vec{OM}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$$

3.2 b. Vecteur vitesse $\vec{v}(t)$

Le vecteur vitesse d'un point M à l'instant t est la **dérivée** par rapport au temps du vecteur position :

Formule clé — Vecteur vitesse

$$\vec{v}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{OM}(t)}{\mathrm{d}t} = \begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{pmatrix}$$

- $\vec{v}(t)$: vecteur vitesse instantanée, en $\mathbf{m \cdot s^{1}}$
- Ses coordonnées sont les dérivées temporelles de $x(t)$ et $y(t)$
- Direction : **tangente à la trajectoire**, dans le sens du mouvement

3.3 c. Vecteur accélération $\vec{a}(t)$

C'est la **dérivée du vecteur vitesse** — ou, de manière équivalente, la dérivée seconde de la position :

Formule clé — Vecteur accélération

$$\vec{a}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{v}(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\vec{OM}(t)}{\mathrm{d}t^2}$$

- $\vec{a}(t)$: vecteur accélération, en $\mathbf{m \cdot s}$ **²**
- Physiquement : **comment la vitesse change** (en valeur ou en direction)
- Si $\vec{a} = \vec{0}$: vitesse constante en norme ET en direction → mouvement rectiligne uniforme

Analogie — le train, l'arrêt, le dépassement

Imagine que tu regardes un train sur une voie rectiligne :

- Sa **position** $x(t)$, c'est *où il est*
- Sa **vitesse** $v(t) = \dot{x}$, c'est *à quelle allure il bouge*
- Son **accélération** $a(t) = \dot{v}$, c'est *comment son allure change*

Quand le train freine en gare, v diminue → $a < 0$ (accélération opposée au mouvement). Quand il redémarre, v augmente → $a > 0$. **Accélération « aller vite »**, c'est *changer* de vitesse.

Piège classique — accélération vitesse

Un objet peut avoir une **grande vitesse et une accélération nulle** : un avion de ligne à 900 km/h en vol de croisière rectiligne a $\vec{a} = \vec{0}$.
Inversement, un objet peut avoir une **vitesse nulle et une accélération non nulle** : tout objet lâché sans vitesse initiale. À $t = 0$, $\vec{v} = \vec{0}$, mais $\vec{a} = \vec{g} \neq \vec{0}$!

---

4 2. Exemples de mouvements

4.1 a. Mouvements rectilignes

La trajectoire est **une droite**.

Type	Vitesse	Accélération
Rectiligne uniforme	$\vec{v}$ constant en norme et direction	$\vec{a} = \vec{0}$
Rectiligne uniformément varié	norme évolue linéairement avec t	$\vec{a}$ constant, colinéaire à $\vec{v}$

Exemple — chute libre verticale

Un objet lâché sans vitesse initiale tombe verticalement. Son accélération est $\vec{a} = \vec{g}$ (vers le bas, $g = 9{,}81$ m · s ²). Sa vitesse $v(t) = g\,t$ augmente linéairement : c'est un mouvement **rectiligne uniformément accéléré**.

4.2 b. Mouvements circulaires — le repère de Frenet

Pour un mouvement circulaire de rayon R, on utilise un repère **qui tourne avec le mobile** : le repère de Frenet $(\vec{u_t}, \vec{u_n})$.

- $\vec{u_t}$: vecteur unitaire **tangent** à la trajectoire (dans le sens du mouvement)
- $\vec{u_n}$: vecteur unitaire **normal** (perpendiculaire à $\vec{u_t}$, dirigé vers le **centre** du cercle)

Le repère de Frenet « voyage » avec le point mobile. La vitesse est toujours portée par $\vec{u_t}$, et la composante normale de l'accélération est toujours dirigée vers le centre.

Formule clé — Vitesse et accélération en Frenet

$$\vec{v} = v\,\vec{u_t}$$

$$\vec{a} = \underbrace{\frac{v^2}{R}}_{a_n}\,\vec{u_n} + \underbrace{\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}}_{a_t}\,\vec{u_t}$$

- $a_n = \dfrac{v^2}{R}$: **accélération normale**, toujours ≥ 0, change la *direction* de $\vec{v}$
- $a_t = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$: **accélération tangentielle**, change la *norme* de $\vec{v}$
- R : rayon du cercle, en m

Type	Vitesse	Accélération
Circulaire uniforme	norme v constante	$\vec{a} = \dfrac{v^2}{R}\vec{u_n}$ (uniquement normale)
Circulaire varié	norme v varie	les deux composantes a_n et a_t sont non nulles

Analogie — le manège

Tu tournes sur un carrousel à vitesse constante : ta norme de vitesse ne change pas, pourtant tu « sens » une force qui te tire vers l'extérieur. C'est justement parce que ton accélération n'est **pas nulle** : elle est dirigée en permanence vers le centre ($\vec{u_n}$) pour courber ta trajectoire. Si elle disparaissait (ex : la barre du manège casse), tu partirais en ligne droite — tangentiellement au cercle.

Piège — circulaire UNIFORME   accélération nulle

« Uniforme » veut dire *norme de vitesse constante*, pas *vitesse vectorielle constante*. Le **vecteur** vitesse change de direction en permanence, donc $\vec{a} \neq \vec{0}$! On a $a_t = 0$ mais $a_n = v^2/R \neq 0$.

---

5 3. La deuxième loi de Newton

5.1 a. Référentiel galiléen

Définition

Un **référentiel galiléen** est un référentiel dans lequel le **principe d'inertie** est vérifié : un système isolé (ou pseudo-isolé) persiste dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme.
Exemples utilisés au lycée :

- **Référentiel terrestre** : valable pour les mouvements courts à la surface de la Terre
- **Référentiel géocentrique** : centre Terre + axes vers des étoiles fixes, pour les satellites
- **Référentiel héliocentrique** : centre Soleil, pour le mouvement des planètes

5.2 b. Centre de masse

Le **centre de masse** G d'un système est le point unique où l'on peut appliquer la deuxième loi de Newton comme si **toute la masse y était concentrée**. Pour un objet homogène, il coïncide avec son centre géométrique.

5.3 c. Énoncé de la 2 loi de Newton

Formule clé — Deuxième loi de Newton

Dans un **référentiel galiléen**, la somme des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par l'accélération de son centre de masse :

$$\boxed{\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G}$$

- $\vec{F}_{\text{ext}}$: forces extérieures appliquées au système, en **N** (newtons)
- m : masse du système, en **kg**
- $\vec{a}_G$: accélération du centre de masse, en **m · s ²**

Analogie — le caddie au supermarché

Tu pousses deux caddies avec la même force : un vide (5 kg) et un plein de bouteilles d'eau (50 kg). Lequel démarre le plus vite ? Le vide, évidemment. Pourquoi ? Parce que $\vec{a} = \sum \vec{F}/m$: à force égale, **plus m est grand, plus a est petit**.
C'est exactement ça la 2 loi : elle te dit que **l'inertie** d'un objet (sa « résistance au changement de vitesse ») est sa masse.

Piège classique — forces intérieures

Seules les forces **extérieures** au système comptent. Si tu choisis comme système « les deux patineurs qui se poussent », les forces qu'ils s'exercent mutuellement s'annulent (3 loi de Newton) et ne contribuent pas à $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$. Le choix du système est donc crucial : définis-le clairement avant de commencer.

Exemple concret — freinage d'une voiture

Une voiture de $m = 1200$ kg roule à $v_0 = 20$ m/s (72 km/h). On freine, la force de freinage totale vaut $F = 6000$ N (vers l'arrière). Quelle est sa décélération ?

$$a = \frac{F}{m} = \frac{6000}{1200} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Elle s'arrête après $t = v_0/a = 20/5 = 4$ s. Si on double la masse (caravane attachée), a est divisée par 2 $\rightarrow$ distance d'arrêt **doublée**.

---

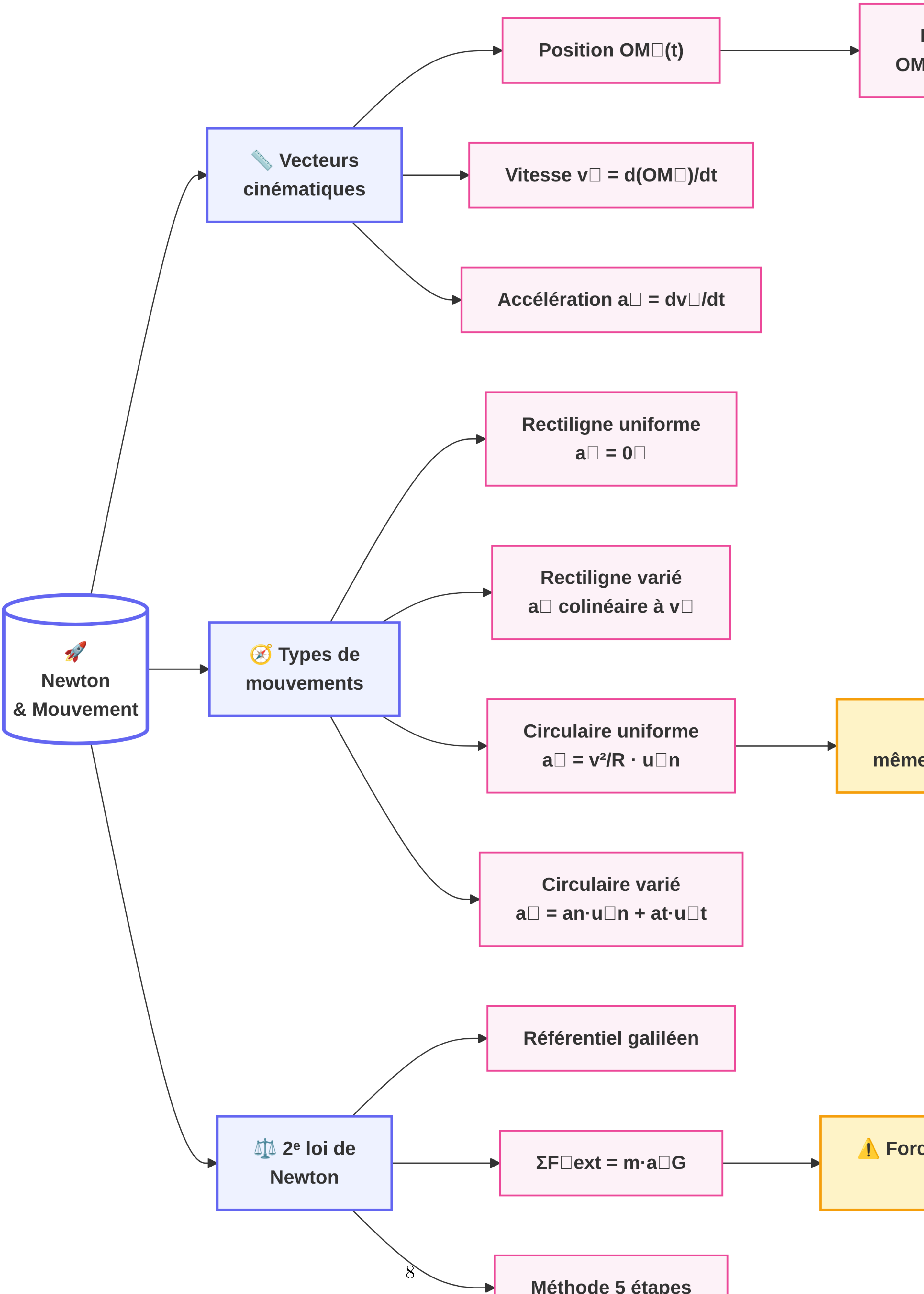
6 4. Méthode : appliquer la 2 loi de Newton

Pour tout exercice du chapitre, suis ces 5 étapes :

1. **Système** : définis clairement l'objet que tu étudies (souvent modélisé par son centre de masse G)
2. **Référentiel** : précise-le et dis qu'il est *supposé galiléen*
3. **Bilan des forces** : liste toutes les forces extérieures, avec un schéma
4. **2 loi** : écris $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G$
5. **Projection** : projette sur Ox (et Oy si 2D). Tu obtiens des équations scalaires que tu résous.

---

7 Carte mentale du chapitre



---

8 Teste tes connaissances

---

9 À retenir absolument

- **Vecteurs reliés par dérivation** : $\vec{OM} \xrightarrow{\mathrm{d}/\mathrm{d}t} \vec{v} \xrightarrow{\mathrm{d}/\mathrm{d}t} \vec{a}$
- **Rectiligne uniforme** : $\vec{a} = \vec{0}$; **rectiligne varié** : $\vec{a}$ colinéaire à $\vec{v}$
- **Circulaire uniforme** : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R}\vec{u_n}$ (toujours vers le centre, jamais nulle !)
- **Circulaire varié** : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R}\vec{u_n} + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{u_t}$
- **2 loi de Newton** : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G$ — dans un **référentiel galiléen**, avec les forces **extérieures** seulement
- **Méthode en 5 étapes** : système → référentiel → bilan des forces → 2 loi → projection

---

10 Pour aller plus loin

- Cours original (PDF)
- Chapitre suivant : P4 — Mouvement dans un champ uniforme (où l'on applique cette 2 loi)