

Exercices

Corrigé de l'exercice 1 — Le héron de Marey

1. Les positions se resserrent : la norme de $\vec{v}$ **diminue**. Le $\Delta\vec{v}$ entre deux instants pointe vers l'arrière du mouvement : $\vec{a}$ est de **sens opposé** à $\vec{v}$ (freinage).
2. Ni l'un ni l'autre au sens strict : la trajectoire n'est pas rigoureusement droite (l'oiseau se pose) et rien ne garantit un $\vec{a}$ constant. C'est un mouvement **décéléré** quelconque — le vocabulaire MRU/MRUA ne s'applique qu'aux cas idéaux.
3. Non : $\vec{v}$ change, donc d'après la contraposée du principe d'inertie, les forces **ne se compensent pas** (l'air et les ailes freinent l'oiseau).

Corrigé de l'exercice 2 — Du pointage aux équations

1. En dérivant : $v_x = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $v_z = 4,0 - 9,8t$; puis $a_x = 0$, $a_z = -9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
2. Au sommet, $v_z = 0$: $t = 4,0/9,8 = 0,41 \text{ s}$. La vitesse ne s'annule pas pour autant : $\vec{v} = (1,5; 0)$ — horizontale. L'accélération, elle, reste $(0; -9,8)$.
3. $\vec{a}$ est **constante**, verticale, vers le bas, de norme $9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$: le mouvement plan (une parabole) cache l'accélération la plus simple qui soit.

Corrigé de l'exercice 3 — Lire des graphes de vitesse

1. (a) $a_x = 0$: MRU. (b) $a_x = 0,80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ constante : MRUA. (c) $a_x = -1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ constante : rectiligne uniformément **freiné** (puis reparti en sens inverse).
2. Non : à $t = 3,0 \text{ s}$, $v_x = 0$ mais $a_x = -1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ **toujours** : la vitesse continue de décroître, devient négative — le mobile repart en arrière.
3. Le mobile (a) : $\vec{a} = \vec{0}$, donc $\sum \vec{F} = \vec{0}$ (principe d'inertie, référentiel galiléen supposé).

Corrigé de l'exercice 4 — Le palet de curling

1. Poids $\vec{P}$ (vertical, vers le bas), réaction normale $\vec{R}$ de la glace (verticale, vers le haut) : elles se compensent. Reste le **frottement** de la glace, horizontal, opposé au mouvement — faible mais non nul.
2. Pas tout à fait pseudo-isolé : si les forces se compensaient exactement, le palet garderait sa vitesse (MRU). On observe un très lent ralentissement : la somme des forces est petite, mais non nulle.
3. Sans frottement, le palet serait pseudo-isolé : il glisserait **indéfiniment** en ligne droite à vitesse constante — c'est l'expérience de pensée qui mena Galilée à l'inertie.

Corrigé de l'exercice 5 — Debout dans le bus

1. $a = \Delta v / \Delta t = (50/3,6)/4,0 = 3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, soit environ $0,35 g$.
2. Dans le référentiel terrestre, le sol du bus exerce sur les pieds du passager une force de frottement dirigée vers l'arrière : ses pieds ralentissent avec le bus. Le haut de son corps tend momentanément à conserver sa vitesse par inertie ; il bascule donc vers l'avant. Aucune force ne le pousse vers l'avant : c'est le ralentissement des pieds qui crée ce déséquilibre.
3. Le référentiel du bus est **accélééré** par rapport au référentiel terrestre pendant le freinage : il n'est pas galiléen, et le principe d'inertie n'y vaut pas sous cette forme (le passager y « accélère » sans force).

Corrigé de l'exercice 6 — Le manège

1. Un tour = un périmètre par période : $v = 2\pi r / T = 2\pi \times 5,0 / 4,0 = 7,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
2. Mouvement circulaire uniforme : $\vec{a} = v^2 / r \vec{n}$, dirigée **vers l'axe** du manège, de norme $a = 7,9^2 / 5,0 = 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
3. $a/g = 12,3/9,81 = 1,3$: l'accélération radiale vaut $1,3 g$. Le passager ressent fortement l'action latérale du siège ou de la paroi, qui dévie continuellement son mouvement vers l'axe.

Corrigé de l'exercice 7 — Le point de la Terre qui va le plus vite

1. $v = 2\pi r / T = 2\pi \times 6,371 \times 10^6 / 86\,164 = 465 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit près de 1700 km/h, une valeur supérieure à la célérité du son dans l'air. Cette vitesse commune au sol et à son environnement immédiat n'est pas perceptible directement.
2. $a = v^2 / r = 465^2 / (6,371 \times 10^6) = 3,4 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, centripète, soit $0,35 \%$ de g .
3. Le référentiel terrestre tourne, donc il n'est pas rigoureusement galiléen — mais l'accélération associée est **300 fois plus petite que** g : la négliger est une excellente approximation pour les expériences usuelles. C'est la justification chiffrée du « bon référentiel galiléen » de **R10** et du §5.
4. Lancée vers l'est, la fusée bénéficie dès le départ des $465 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dus à la rotation terrestre. Cet apport est maximal à l'équateur (à Paris, il n'en reste que $\sim 3 \times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). D'où Kourou, à 5° de latitude nord.

Corrigé — Exercice de réflexion — La cale du navire

Dans la cale, toutes les expériences donnent le **même résultat qu'à quai** : l'objet lâché tombe au pied de la verticale, le jongleur jongle sans correction, l'eau de l'aquarium reste horizontale. Aucune expérience de mécanique **interne** ne distingue le repos du mouvement rectiligne uniforme : « le mouvement est comme rien ». C'est exactement dire que le navire à vitesse constante est un **référentiel galiléen** au même titre que le quai : le principe d'inertie y vaut à l'identique — la notion de référentiel galiléen généralise ce constat.

Corrigé — Problème de Fermi — Le grand huit du quotidien

Ordres de grandeur choisis : un métro atteint $\sim 36 \text{ km/h}$ ($10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) en une dizaine de secondes, d'où

$$a \sim \frac{10}{10} = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \sim 0,1 g.$$

Un dixième de la pesanteur : l'effet est nettement perceptible et conduit souvent le passager à chercher un appui, tout en restant très inférieur aux accélérations de plusieurs g rencontrées dans certains manèges.

E.C.E. — Exploitation

1. La trajectoire est portée par l'axe vertical : x est constante, donc $v_x = 0$ à tout instant — seule v_z décrit le mouvement.
2. Taux de variation vers le point suivant, par exemple $v_z(0) = (z(0,050) - z(0))/0,050 = (1,988 - 2,000)/0,050 = -0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La série complète : $-0,24$; $-0,74$; $-1,22$; $-1,72$; $-2,20$; $-2,70$; $-3,18$; $-3,68$ (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) — la vitesse croît en norme d'environ $0,49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à chaque pas : variation **linéaire**.
3. Même calcul sur les v_z : les valeurs oscillent entre $-9,6$ et $-10,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, sans aucune tendance : accélération **constante** $a_z \simeq -9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, verticale vers le bas, sur trajectoire rectiligne — mouvement **rectiligne uniformément accéléré**.
4. Avec $u(z) = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$ et $\Delta t = 0,050 \text{ s}$:

$$u(v_z) = \frac{\sqrt{2} \times 2 \times 10^{-3}}{0,050} \simeq 0,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1},$$

$$u(a_z) = \frac{\sqrt{6} \times 2 \times 10^{-3}}{(0,050)^2} \simeq 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

Les oscillations observées ($\pm 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), dues aux arrondis au millimètre du tableau, sont très inférieures à cette incertitude-type : elles ne remettent pas en cause la conclusion $a_z \simeq -9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ constante.

Programmation Python

1. `vx.append((x[i+1] - x[i]) / dt)` et `vz.append((z[i+1] - z[i]) / dt)` — le taux de variation de la méthode A.
2. Le script affiche $v_x = 5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ **constante** du début à la fin, et des a_z qui oscillent autour d'une **moyenne de $-9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$** (le millimètre d'arrondi du pointage fait fluctuer chaque valeur, comme à l'E.C.E.) : les vecteurs $\vec{v}$ tournent en restant tangents, les vecteurs $\vec{a}$ sont tous verticaux, vers le bas, de longueurs presque égales.
3. Au sommet, $v_z = 0$ mais $v_x = 5,0$: le ballon n'est **pas** immobile, sa vitesse est horizontale — et $\vec{a}$ y vaut ce qu'elle vaut partout, $9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ vers le bas. « Immobile au sommet » est doublement faux ici.