

Chapitre 5 — Mouvement et trajectoire

Physique-chimie ■ Seconde Bac Pro ■ 45 exercices d'application

Version enseignant — énoncés et corrigés ■ Édition du 20 septembre 2026

Rappel de cours

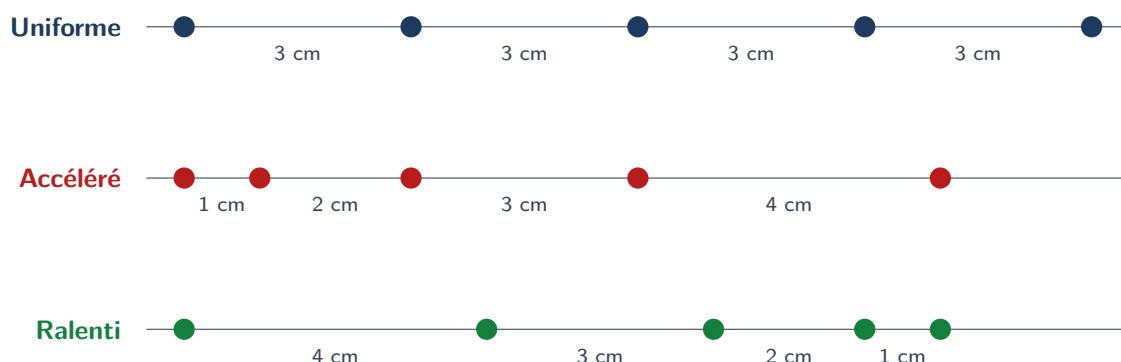
On **délimite** d'abord le système — l'objet étudié — et le point que l'on suit. Le **référentiel** est l'objet de référence choisi pour décrire le mouvement de ce point : un même point peut être en mouvement dans l'un et immobile dans un autre.

La **trajectoire** est l'ensemble des positions successives occupées par **un point** de l'objet : droite (rectiligne), cercle (circulaire) ou toute autre courbe (**quelconque**, on dit aussi curviligne). Selon le point choisi sur un même objet, la trajectoire peut être différente.

Vitesse moyenne : $v_{\text{moy}} = \frac{d}{\Delta t}$. Conversions : $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ et $1 \text{ km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$.

Rotation : fréquence $n = \frac{N(\text{tr/min})}{60}$ en tr/s, période $T = \frac{1}{n}$ en s, et pour un point du bord d'un disque de diamètre d : $v = \pi \times d \times n$.

Mouvement **uniforme** : vitesse constante. **Accélééré** : vitesse croissante. **Ralenti** : vitesse décroissante.

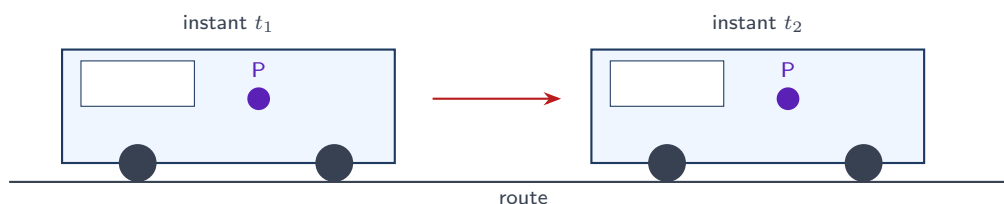


Trois chronophotographies prises au même rythme (Δt constant). Il suffit de comparer les écarts entre positions successives : égaux, le mouvement est uniforme ; croissants, il est accéléré ; décroissants, il est ralenti. Aucune mesure de vitesse n'est nécessaire pour trancher.

Exercices guidés pas à pas

Série 1 — chaque calcul est amorcé : il n'y a qu'à compléter.

Exercice 1-1 — Référentiels et descriptions du mouvement



Le bus occupe deux positions différentes sur la route, mais la passagère *P* n'a pas bougé de son siège : sa position par rapport au bus est la même aux deux instants. C'est le même fait physique décrit dans deux référentiels différents.

Rappel de cours

Avant toute chose, on **délimite le système** : l'objet que l'on étudie, et le point de cet objet que l'on suit. Le **référentiel** est ensuite l'objet par rapport auquel on décrit le mouvement de ce point.

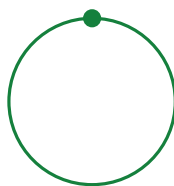
1. Un passager est assis dans un bus en marche. Quel est le système étudié ? Quel point de ce système suit-on ?
2. Décrire le mouvement de ce point par rapport au chauffeur du bus, puis par rapport à la route.
3. Une roue de véhicule tourne. Décrire le mouvement du centre de la roue par rapport à la route ; d'un point du bord de la roue par rapport au centre ; de ce même point par rapport à la route.
4. Nommer les trois principaux référentiels utilisés en sciences.

Correction de l'exercice 1-1

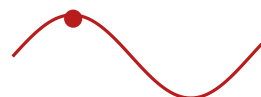
1. Le système étudié est le **passager**. On peut suivre n'importe quel point de son corps ; on choisit en général un point simple à repérer, par exemple le sommet de sa tête. Tant que le système et le point ne sont pas précisés, la question du mouvement n'a pas de sens.
2. Par rapport au chauffeur (référentiel du bus) : le passager est **immobile**. Par rapport à la route (référentiel terrestre) : il est **en mouvement**, il avance avec le bus.
3. Centre de la roue / route : mouvement **rectiligne**. Point du bord / centre de la roue : mouvement **circulaire**. Point du bord / route : le point avance et tourne en même temps, sa trajectoire est une courbe compliquée appelée **cycloïde** (le nom n'est pas exigible).
4. Le référentiel **terrestre** (lié à la Terre), le référentiel **géocentrique** (lié au centre de la Terre) et le référentiel **héliocentrique** (lié au centre du Soleil).

Exercice 1-2 — Types de trajectoires


rectiligne



circulaire



quelconque

Les trois familles de trajectoires prévues par le programme. Le point marqué occupe une position parmi d'autres ; c'est la forme de la courbe suivie, et non la vitesse, qui donne son nom à la trajectoire.

Définition

La **trajectoire** est l'ensemble des positions successives occupées par **un point** d'un objet au cours du temps. Selon le point choisi sur un même objet, la trajectoire peut être différente. Le programme en distingue trois types : **rectiligne**, **circulaire** et **quelconque**.

- Pour chaque situation, nommer et décrire le type de trajectoire.

Situation	Type de trajectoire	Description
Un piston de moteur		
Un point sur le bord d'une roue (par rapport au centre)		
Une voiture sur autoroute droite		
Une voiture qui prend un virage		

- Dans le système bielle-manivelle d'un moteur, quelle est la trajectoire de l'extrémité de la manivelle ?

Correction de l'exercice 1-2

1.

Situation	Type	Description
Piston de moteur	Rectiligne	Va-et-vient sur une droite
Point du bord de roue / centre	Circulaire	Cercle de rayon égal à celui de la roue
Voiture sur autoroute droite	Rectiligne	Ligne droite
Voiture en virage	Circulaire (arc)	Portion de cercle

2. L'extrémité de la manivelle décrit une trajectoire **circulaire**, sur un cercle dont le rayon est la longueur de la manivelle. C'est précisément le rôle du système bielle-manivelle : transformer cette rotation en un va-et-vient rectiligne du piston, ou l'inverse.

Exercice 1-3 — Calcul de vitesse moyenne**Méthode — Formule et conversions**

$$v_{\text{moy}} = \frac{d}{\Delta t} \quad \blacksquare \quad 1 \text{ km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s} \quad \blacksquare \quad 1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

1. Une voiture parcourt 120 km en 1 h 30 min. Calculer sa vitesse moyenne en km/h.

Calcul amorcé : $\Delta t = 1 \text{ h } 30 \text{ min} = \dots\dots\dots \text{ h}$, puis $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{120}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ km/h}$.

2. Convertir cette vitesse en m/s.
 3. Un camion roule à 90 km/h pendant 2 h. Calculer la distance parcourue.
 4. Un piéton se déplace à 5 km/h. Combien de temps met-il pour parcourir 2 km ?

Correction de l'exercice 1-3

1. $\Delta t = 1 \text{ h } 30 \text{ min} = 1,5 \text{ h}$, donc $v = \frac{120}{1,5} = 80 \text{ km/h}$.
 2. $80 \text{ km/h} = \frac{80}{3,6} \approx 22,2 \text{ m/s}$.
 3. $d = v \times \Delta t = 90 \times 2 = 180 \text{ km}$.
 4. $\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ h}$, soit $0,4 \times 60 = 24 \text{ min}$. Attention : 0,4 h n'est pas 4 minutes ni 40 minutes.

Exercice 1-4 — Analyser une chronophotographie
Rappel de cours

Sur une chronophotographie, si les espacements entre positions successives sont *égaux*, le mouvement est **uniforme** ; s'ils augmentent, il est **accélééré** ; s'ils diminuent, il est **ralenti**.

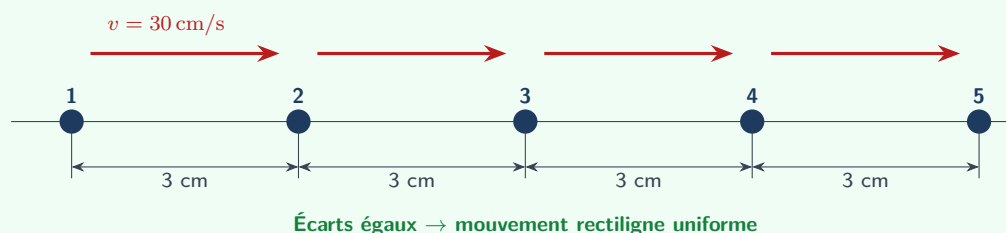
Une bille roule sur un plan. On prend des photos toutes les $\Delta t = 0,1$ s. Les positions successives sont :

Position	1	2	3	4	5
Abscisse (cm)	0	3	6	9	12

1. Calculer la distance entre les positions 1 et 2 : $d_{1-2} = 3 - 0 = \dots\dots\dots$ cm.
2. Les écarts sont-ils égaux ? ☐ Oui ☐ Non
Donc le mouvement est : ☐ uniforme ☐ accéléré ☐ ralenti
3. Calculer la vitesse entre les positions 1 et 2 : $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{3}{0,1} = \dots\dots\dots$ cm/s.
4. Convertir en m/s : $\dots\dots\dots$ cm/s $\div 100 = \dots\dots\dots$ m/s.

Correction de l'exercice 1-4

1. $d_{1-2} = 3$ cm, et de même pour tous les intervalles : 3 cm chacun.
2. Oui, les écarts sont égaux : le mouvement est **rectiligne uniforme**.
3. $v = \frac{3}{0,1} = 30$ cm/s.
4. 30 cm/s $\div 100 = 0,30$ m/s.



Les cinq positions de la bille et les quatre vecteurs vitesse. Tous ont la même longueur : la vitesse ne change pas d'un intervalle à l'autre, le mouvement est uniforme.

Exercice 1-5 — Vitesse d'un chariot de matériel**Contexte : Maintenance chauffage**

Un apprenti plombier chauffagiste pousse un chariot de matériel (tubes de cuivre, raccords) sur $d = 18$ m dans un local technique, à la vitesse $v = 0,9$ m/s.

Méthode — Formule

$\Delta t = \frac{d}{v}$: on divise la distance par la vitesse pour trouver la durée.

1. Compléter et calculer : $\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots\dots$ s.
2. Convertir la vitesse en km/h : $v(\text{km/h}) = v(\text{m/s}) \times 3,6 = 0,9 \times 3,6 = \dots\dots\dots$ km/h.
3. Le chariot fait 8 allers-retours (16 trajets) dans la journée, et l'apprenti prévoit 5 s de préparation avant chaque trajet.
Durée d'un trajet, préparation comprise = $5 + \dots\dots = \dots\dots\dots$ s.
Temps total = $16 \times \dots\dots = \dots\dots\dots$ s, soit $\dots\dots\dots \div 60 = \dots\dots\dots$ min.

Correction de l'exercice 1-5

1. $\Delta t = \frac{18}{0,9} = 20$ s.
2. $v = 0,9 \times 3,6 = 3,24$ km/h : c'est une allure de marche lente, ce qui est cohérent avec un chariot chargé poussé dans un local encombré.
3. Chaque trajet dure $5 + 20 = 25$ s (préparation puis déplacement). Temps total = $16 \times 25 = 400$ s, soit $400 \div 60 \approx 6,7$ min.

Exercice 1-6 — Mouvement d'une tête d'impression 3D**Contexte : Sciences et technologie**

La tête d'une imprimante 3D effectue $N = 150$ cycles par minute sur un rail horizontal (un cycle = un aller-retour complet). La course aller est $c = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$.

Méthode — Étapes à suivre

1. Convertir les cycles par minute en cycles par seconde : $f = N \div 60$.
2. Distance parcourue en un cycle (aller-retour) : $d_{\text{cycle}} = 2 \times c$.
3. Vitesse moyenne : $v = d_{\text{cycle}} \times f$.

1. $f = 150 \div 60 = \dots\dots\dots$ cycles/s.
2. $d_{\text{cycle}} = 2 \times 0,20 = \dots\dots\dots$ m.
3. $v = \dots\dots \times \dots\dots = \dots\dots\dots$ m/s.
4. La tête s'arrête à chaque extrémité du rail. Sur un aller, son mouvement est-il uniforme, ou bien rectiligne accéléré puis ralenti ?

Correction de l'exercice 1-6

1. $f = 150 \div 60 = 2,5$ cycles/s.
2. $d_{\text{cycle}} = 2 \times 0,20 = 0,40 \text{ m}$.
3. $v = 0,40 \times 2,5 = 1,0 \text{ m/s}$. C'est une vitesse *moyenne* sur un cycle.
4. Le mouvement est **rectiligne accéléré puis ralenti** : la tête part de l'arrêt, accélère, puis ralentit jusqu'à s'immobiliser à l'autre extrémité. La valeur $1,0 \text{ m/s}$ n'est atteinte à aucun instant précis : c'est une moyenne.

Exercice 1-7 — Fréquence de rotation d'une scie circulaire**Contexte : Atelier de menuiserie****Rappel de cours**

Fréquence de rotation : $n = \frac{N(\text{tr/min})}{60}$, en tr/s. Période : $T = \frac{1}{n}$, en secondes. La période est la durée d'un tour.

La plaque signalétique d'une scie circulaire indique 3000 tr/min.

1. Compléter le calcul de la fréquence en tr/s : $n = \frac{N}{60} = \frac{3\,000}{60} = \dots\dots\dots$ tr/s.
2. Compléter le calcul de la période : $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$ s.
3. La lame fait un tour en combien de millisecondes ? $\dots\dots\dots \text{ s} \times 1\,000 = \dots\dots\dots \text{ ms}$.
4. Cocher : la trajectoire d'une dent de la lame est
☐ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque

Correction de l'exercice 1-7

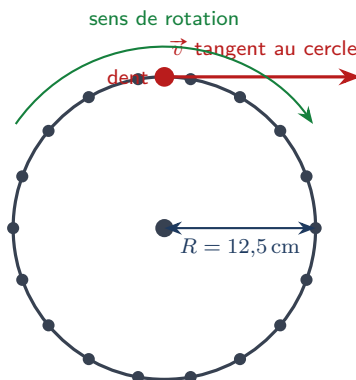
1. $n = 3\,000 \div 60 = 50$ tr/s.
2. $T = \frac{1}{50} = 0,02$ s.
3. $0,02 \times 1\,000 = 20$ ms : la lame fait un tour complet en deux centièmes de seconde, bien plus vite que le temps de réaction d'une main.
4. ☒ **circulaire** : chaque dent tourne autour de l'axe de la lame.

Exercice 1-8 — Vitesse linéaire d'une lame
Contexte : Atelier de menuiserie

Rappel de cours

Vitesse linéaire d'un point du bord : $v = \pi \times d \times n$. Vérifier les unités : d en mètres, n en tours par seconde.

La lame de scie circulaire de l'exercice 1-7 a un diamètre $d = 25$ cm.



La dent parcourt un cercle de rayon R ; à chaque instant, son vecteur vitesse est tangent à ce cercle, donc perpendiculaire au rayon. C'est pour cela qu'un objet qui se détache d'une pièce en rotation part droit devant, et non vers l'extérieur.

1. Convertir le diamètre en mètres : $d = 25$ cm = ... m.
2. Compléter le calcul de la vitesse en bord de lame : $v = \pi \times \dots \times \dots = \dots$ m/s.
3. Convertir en km/h : $v = \dots \times 3,6 = \dots$ km/h.
4. Comparer cette vitesse à celle d'une voiture en ville (50 km/h).

Correction de l'exercice 1-8

1. $d = 25$ cm = 0,25 m.
2. $v = \pi \times 0,25 \times 50 \approx 39,3$ m/s.
3. $v \approx 39,3 \times 3,6 \approx 141$ km/h.
4. C'est presque **trois fois** la vitesse d'une voiture en ville. Une dent de cette lame passe donc devant la main de l'opérateur à 141 km/h : cela explique la gravité des accidents de scie circulaire et l'obligation du protecteur de lame et du poussoir.

Exercice 1-9 — Roue d'un vélo**Contexte : Sport — cyclisme****Rappel de cours**

Quand une roue roule **sans glisser**, elle avance de $\pi \times d$ à chaque tour : la circonférence se déroule sur le sol comme un mètre ruban. La vitesse de l'engin vaut donc $v = \pi \times d \times n$.

Un vélo roule sans glisser. Ses roues ont un diamètre $d = 70 \text{ cm}$ et tournent à $N = 180 \text{ tr/min}$.

1. Convertir en tr/s : $n = \frac{180}{60} = \dots\dots\dots \text{ tr/s}$.
2. Convertir le diamètre en mètres : $d = 70 \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$.
3. Calculer la distance parcourue en un tour de roue : $\pi \times \dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m}$.
4. Calculer la vitesse du vélo : $v = \pi \times \dots\dots \times \dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m/s}$.
5. Convertir en km/h.

Correction de l'exercice 1-9

1. $n = 180 \div 60 = 3 \text{ tr/s}$.
2. $d = 0,70 \text{ m}$.
3. $\pi \times 0,70 \approx 2,20 \text{ m}$: le vélo avance d'environ 2,20 m à chaque tour de roue.
4. $v = \pi \times 0,70 \times 3 \approx 6,60 \text{ m/s}$.
5. $v \approx 6,60 \times 3,6 \approx 23,8 \text{ km/h}$, ce qui correspond à une allure soutenue à vélo.

Exercice 1-10 — Conversions de vitesses
Rappel de cours

Pour convertir : de m/s vers km/h, **multiplier par 3,6** ; de km/h vers m/s, **diviser par 3,6**.

1. Compléter le tableau.

Situation	Vitesse donnée	Conversion
Piéton	5 km/h	$5 \div 3,6 = \dots\dots\dots$ m/s
Cycliste	4,2 m/s	$4,2 \times 3,6 = \dots\dots\dots$ km/h
Voiture en ville	50 km/h	$50 \div 3,6 = \dots\dots\dots$ m/s
TGV	83,3 m/s	$83,3 \times 3,6 = \dots\dots\dots$ km/h
Avion	900 km/h	$900 \div 3,6 = \dots\dots\dots$ m/s

2. Classer ces cinq mobiles du plus lent au plus rapide.

Correction de l'exercice 1-10

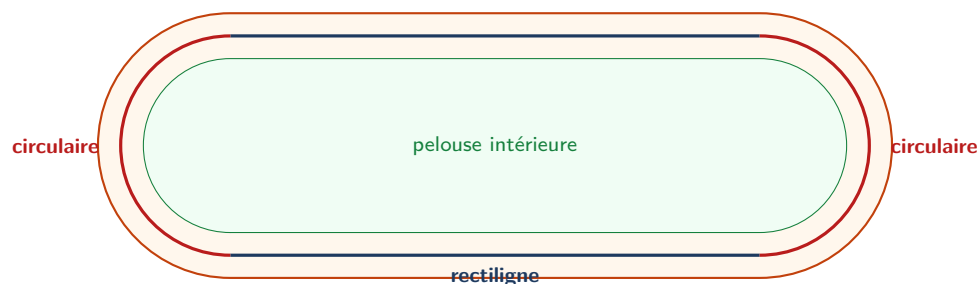
1.

Situation	Vitesse donnée	Conversion
Piéton	5 km/h	$5 \div 3,6 \approx 1,39$ m/s
Cycliste	4,2 m/s	$4,2 \times 3,6 \approx 15,1$ km/h
Voiture en ville	50 km/h	$50 \div 3,6 \approx 13,9$ m/s
TGV	83,3 m/s	$83,3 \times 3,6 \approx 300$ km/h
Avion	900 km/h	$900 \div 3,6 = 250$ m/s

2. Du plus lent au plus rapide : piéton (5 km/h) < cycliste (15,1 km/h) < voiture (50 km/h) < TGV (300 km/h) < avion (900 km/h). Pour comparer, il faut d'abord ramener toutes les vitesses à la même unité.

Exercice 1-11 — Trajectoire d'un coureur sur une piste
Contexte : Sport — athlétisme

Un coureur fait un tour de piste d'athlétisme. La piste est composée de deux lignes droites et de deux virages en demi-cercle. On étudie le coureur, et on suit un point précis : le dossard fixé sur son torse.



Vue de dessus d'une piste de 400 m. En bleu, les deux portions rectilignes ; en rouge, les deux virages en demi-cercle. La trajectoire d'un tour entier n'est ni une droite ni un cercle : elle est curviligne.

- Quel est le type de trajectoire du dossard dans les lignes droites ?
☐ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque
- Quel est le type de trajectoire dans les virages ?
☐ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque
- Sur l'ensemble du tour, comment qualifier la trajectoire ?
- Le coureur fait le tour (400 m) en 60 s. Calculer sa vitesse moyenne : $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$ m/s.
- Convertir en km/h : $\dots \times 3,6 = \dots$ km/h.

Correction de l'exercice 1-11

- ☒ **rectiligne** dans les lignes droites.
- ☒ **circulaire** (demi-cercle) dans les virages.
- Sur l'ensemble du tour, la trajectoire n'est ni une droite ni un cercle : elle est **quelconque** (on dit aussi curviligne). Si l'on suivait le talon du coureur et non son dossard, elle serait tout autre : c'est pourquoi on précise toujours le point suivi.
- $v = \frac{400}{60} \approx 6,67$ m/s.
- $6,67 \times 3,6 = 24$ km/h : un tour de piste en une minute est une performance de bon coureur de demi-fond.

Exercice 1-12 — Mouvement d'un ascenseur

Un ascenseur monte du rez-de-chaussée au 3^e étage. La hauteur totale est $d = 9\text{ m}$ et il met $\Delta t = 12\text{ s}$ pour effectuer le trajet.

1. Délimiter le système : qu'étudie-t-on exactement, la cabine ou le câble qui la tire ? Quel point suit-on ?
2. Quel est le type de trajectoire de ce point ?
☐ rectiligne ☐ circulaire ☐ quelconque
3. Dans quel référentiel décrit-on ce mouvement ?
4. Calculer la vitesse moyenne : $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\dots\dots}{\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$.
5. En réalité, l'ascenseur accélère au départ et ralentit à l'arrivée. Son mouvement est-il uniforme ? Que représente alors la valeur calculée à la question 4 ?

Correction de l'exercice 1-12

1. Le système est la **cabine** — c'est elle qui transporte les passagers. Le câble, lui, s'enroule sur une poulie : ses points n'ont pas tous le même mouvement. On suit un point de la cabine, par exemple un angle du plancher.
2. ☒ **rectiligne** : ce point se déplace en ligne droite verticale.
3. Le référentiel **terrestre**, matérialisé ici par le bâtiment.
4. $v = \frac{9}{12} = 0,75 \text{ m/s}$.
5. Non, le mouvement n'est pas uniforme : l'ascenseur est d'abord **accélééré** au démarrage, puis **uniforme** au milieu du trajet, puis **ralenti** avant l'arrêt. La valeur $0,75 \text{ m/s}$ est une vitesse **moyenne** : elle résume tout le trajet en un seul nombre, sans décrire aucun de ces trois moments.

Exercice 1-13 — Vitesse d'un vélo sur le trajet du lycée

Un élève parcourt le trajet domicile-lycée à vélo. La distance est $d = 3,6 \text{ km}$ et il met $\Delta t = 15 \text{ min}$.

Méthode — Étapes

1. Convertir la durée en heures : $\Delta t(\text{h}) = \Delta t(\text{min}) \div 60$.
2. Calculer la vitesse en km/h : $v = d/\Delta t$.
3. Convertir en m/s : $v(\text{m/s}) = v(\text{km/h}) \div 3,6$.

1. Convertir la durée en heures : $\Delta t = 15 \div 60 = \dots\dots\dots \text{ h}$.
2. Calculer la vitesse en km/h : $v = \frac{3,6}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ km/h}$.
3. Convertir en m/s : $\dots\dots\dots \div 3,6 = \dots\dots\dots \text{ m/s}$.
4. Le retour est plus rapide car la route descend : l'élève met 10 min. Calculer la vitesse moyenne du retour en km/h.
5. Calculer la vitesse moyenne sur l'aller-retour complet, à partir de la distance totale et de la durée totale.

Correction de l'exercice 1-13

1. $\Delta t = 15 \div 60 = 0,25 \text{ h}$.
 2. $v = \frac{3,6}{0,25} = 14,4 \text{ km/h}$.
 3. $14,4 \div 3,6 = 4 \text{ m/s}$.
 4. $\Delta t_{\text{retour}} = 10/60 \approx 0,167 \text{ h}$, donc $v_{\text{retour}} = \frac{3,6}{0,167} \approx 21,6 \text{ km/h}$.
 5. Distance totale = $3,6 \times 2 = 7,2 \text{ km}$; durée totale = $15 + 10 = 25 \text{ min} \approx 0,417 \text{ h}$. Donc $v_{\text{moy}} = \frac{7,2}{0,417} \approx 17,3 \text{ km/h}$.
- Attention** : ce n'est **pas** la moyenne de 14,4 km/h et 21,6 km/h, qui vaudrait 18 km/h. L'aller, plus lent, a duré plus longtemps : il pèse davantage dans la moyenne.

Exercice 1-14 — Trois machines de chaufferie : fréquence et période
Contexte : Énergie — chaufferie collective

Les plaques signalétiques de trois machines indiquent leur vitesse de rotation N en tours par minute. Il faut la convertir en **fréquence de rotation** n , en tours par seconde, avant tout calcul.

Méthode — Formules à utiliser

Fréquence de rotation : $n = \frac{N(\text{tr/min})}{60}$, en tr/s.

Période de rotation (durée d'un tour) : $T = \frac{1}{n}$, en secondes.

1. Compléter les deux dernières lignes du tableau (arrondir les périodes au dixième de milliseconde).

Machine	N (tr/min)	$n = N/60$ (tr/s)	$T = 1/n$
Circulateur (<i>fait en exemple</i>)	2 400	$2\,400/60 = 40$	$1/40 = 0,025\text{ s} = 25\text{ ms}$
Ventilateur de pompe à chaleur	1 800	$1\,800/60 = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots\text{ s} \approx \dots\dots\dots\text{ ms}$
Extracteur de ventilation	900	$900/60 = \dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots\text{ s} \approx \dots\dots\dots\text{ ms}$

2. Quelle machine fait le plus de tours en une seconde ? Laquelle a la période la plus longue ?
3. Combien de tours l'extracteur de ventilation effectue-t-il en une heure ? $900 \times 60 = \dots\dots\dots$ tours.

Correction de l'exercice 1-14

1. Ventilateur de pompe à chaleur : $n = \frac{1\,800}{60} = 30\text{ tr/s}$ et $T = \frac{1}{30} \approx 0,0333\text{ s} \approx 33,3\text{ ms}$.

Extracteur de ventilation : $n = \frac{900}{60} = 15\text{ tr/s}$ et $T = \frac{1}{15} \approx 0,0667\text{ s} \approx 66,7\text{ ms}$.

2. Le **circulateur** fait le plus de tours par seconde (40 tr/s). L'**extracteur** a la période la plus longue (66,7 ms) : c'est lui qui tourne le moins vite, donc chacun de ses tours dure le plus longtemps. Fréquence et période varient toujours en sens contraires.

3. $900 \times 60 = 54\,000$ tours en une heure.

Exercice 1-15 — Aller au lycée : trouver v , puis d , puis Δt

La même relation permet de calculer trois grandeurs différentes, selon celle que l'on cherche. Dans les trois cas ci-dessous, les durées sont d'abord converties en **secondes**.

Méthode — Les trois formes de la relation

$$v = \frac{d}{\Delta t} \text{ (je cherche la vitesse)} \quad \blacksquare \quad d = v \times \Delta t \text{ (je cherche la distance)} \quad \blacksquare \quad \Delta t = \frac{d}{v} \text{ (je cherche la durée)}$$

Conversion : $v(\text{km/h}) = v(\text{m/s}) \times 3,6$.

Étape du trajet	Ce que l'on connaît	Ce que l'on cherche
a. À pied jusqu'à l'arrêt	$d = 450 \text{ m}$ et $\Delta t = 6 \text{ min}$	la vitesse v
b. En tramway	$v = 8,0 \text{ m/s}$ et $\Delta t = 3 \text{ min}$	la distance d
c. Le retour à vélo	$d = 3000 \text{ m}$ et $v = 5,0 \text{ m/s}$	la durée Δt

1. Cas **a** : $\Delta t = 6 \times 60 = \dots\dots\dots \text{ s}$, puis $v = \frac{450}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$.
2. Cas **b** : $\Delta t = 3 \times 60 = \dots\dots\dots \text{ s}$, puis $d = 8,0 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m}$.
3. Cas **c** : $\Delta t = \frac{3000}{5,0} = \dots\dots\dots \text{ s}$, soit $\dots\dots\dots \text{ min}$.
4. Convertir les trois vitesses en km/h, puis classer les trois modes de déplacement du plus lent au plus rapide.

Correction de l'exercice 1-15

1. $\Delta t = 6 \times 60 = 360 \text{ s}$, puis $v = \frac{450}{360} = 1,25 \text{ m/s}$.
2. $\Delta t = 3 \times 60 = 180 \text{ s}$, puis $d = 8,0 \times 180 = 1440 \text{ m}$, soit $1,44 \text{ km}$.
3. $\Delta t = \frac{3000}{5,0} = 600 \text{ s}$, soit $600 \div 60 = 10 \text{ min}$.
4. À pied : $1,25 \times 3,6 = 4,5 \text{ km/h}$. À vélo : $5,0 \times 3,6 = 18 \text{ km/h}$. En tramway : $8,0 \times 3,6 = 28,8 \text{ km/h}$. Classement : **marche** < **vélo** < **tramway**. Ces valeurs sont réalistes, un piéton marchant à environ 5 km/h : c'est un bon moyen de vérifier qu'on ne s'est pas trompé d'un facteur 3,6.

Exercices d'application

Série 2 — les calculs ne sont plus amorcés : c'est à l'élève de choisir la relation.

Exercice 2-1 — Approche d'un vaisseau spatial

Un vaisseau s'approche d'une station spatiale en suivant une trajectoire rectiligne. Dans le référentiel de la station, on relève sa position toutes les $\Delta t = 2,0$ s.

Position	1	2	3	4	5
Distance parcourue depuis le premier relevé (m)	0	12	21	27	30

1. Calculer les distances parcourues entre positions successives.
2. Comment évoluent ces distances ? En déduire la nature du mouvement.
3. Calculer la vitesse moyenne du vaisseau entre les positions 1 et 2.
4. Calculer sa vitesse moyenne entre les positions 4 et 5, puis comparer les deux valeurs.

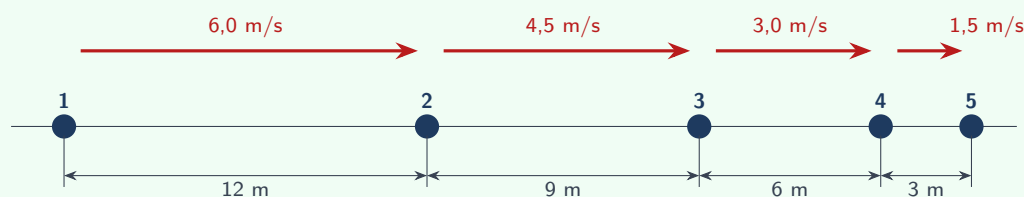
Correction de l'exercice 2-1

1. 1→2 : 12 m ; 2→3 : 9 m ; 3→4 : 6 m ; 4→5 : 3 m.

2. Les distances parcourues pendant une même durée diminuent : le vaisseau ralentit. Le mouvement est **rectiligne uniformément ralenti**, puisque les écarts diminuent régulièrement de 3 m.

3. $v_{1-2} = \frac{12}{2,0} = 6,0$ m/s.

4. $v_{4-5} = \frac{3}{2,0} = 1,5$ m/s : quatre fois moins. Le vaisseau a bien ralenti à l'approche de la station, ce qui est indispensable pour un amarrage.



Les écarts diminuent de 3 m à chaque intervalle → mouvement rectiligne ralenti

Les cinq positions relevées et les quatre vecteurs vitesse. Comme Δt est le même d'un relevé au suivant, la longueur de chaque flèche est proportionnelle à l'écart mesuré en dessous : les deux lectures donnent la même conclusion.

Exercice 2-2 — Mesurer la vitesse d'un mini-rover**Contexte : Sciences — démarche expérimentale**

Pour tester un mini-rover, un groupe mesure cinq fois la durée nécessaire pour parcourir une piste rectiligne de 3,0 m.

Essai	1	2	3	4	5
Durée (s)	7,4	7,6	7,5	7,7	7,3

Méthode — Méthode

On calcule d'abord la durée moyenne des essais, puis $v_{\text{moy}} = \frac{d}{\Delta t_{\text{moy}}}$.

1. Calculer la durée moyenne des cinq essais.
2. En déduire la vitesse moyenne du rover en m/s, puis en km/h.
3. Calculer l'écart entre la durée la plus longue et la plus courte. Pourquoi est-il utile de répéter la mesure ?
4. À la même vitesse, quelle durée faut-il prévoir pour parcourir 12 m ?

Correction de l'exercice 2-2

$$1. \Delta t_{\text{moy}} = \frac{7,4 + 7,6 + 7,5 + 7,7 + 7,3}{5} = \frac{37,5}{5} = 7,5 \text{ s.}$$

$$2. v_{\text{moy}} = \frac{3,0}{7,5} = 0,40 \text{ m/s, soit } 0,40 \times 3,6 = 1,44 \text{ km/h.}$$

3. $7,7 - 7,3 = 0,4 \text{ s}$. Répéter la mesure limite l'influence du déclenchement du chronomètre, qui n'est jamais parfaitement synchronisé avec le départ : la moyenne des cinq essais est plus représentative qu'une mesure isolée.

$$4. \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{12}{0,40} = 30 \text{ s.}$$

Exercice 2-3 — Mouvement du piston d'une pompe doseuse**Contexte : Énergie — circuit hydraulique**

Dans un circuit de traitement d'eau, le piston d'une pompe doseuse effectue $N = 180$ cycles par minute ; un cycle correspond à un aller-retour complet. La course du piston (aller simple) est $c = 4,0 \text{ cm} = 0,040 \text{ m}$.

Méthode

À chaque cycle, le piston fait un aller-retour complet, soit deux fois la course.

Distance par cycle : $d_{\text{cycle}} = 2 \times c$. Vitesse moyenne : $v_{\text{moy}} = d_{\text{cycle}} \times f$, où f est la fréquence en cycles par seconde.

1. Convertir $N = 180$ cycles/min en cycles par seconde (fréquence f).
2. Calculer la distance parcourue par le piston en un cycle.
3. Calculer la vitesse moyenne du piston sur un cycle.
4. Le piston s'arrête aux deux extrémités de sa course. Quelle est la nature de son mouvement sur un aller ?

Correction de l'exercice 2-3

1. $f = \frac{180}{60} = 3,0$ cycles/s.
2. $d_{\text{cycle}} = 2 \times 0,040 = 0,080 \text{ m}$, soit $8,0 \text{ cm}$.
3. $v_{\text{moy}} = 0,080 \times 3,0 = 0,24 \text{ m/s}$.
4. Sur un aller, le mouvement est **rectiligne, accéléré puis ralenti** : le piston part de l'arrêt, prend de la vitesse, puis ralentit jusqu'à s'immobiliser à l'autre extrémité avant de repartir en sens inverse. La valeur $0,24 \text{ m/s}$ n'est donc qu'une moyenne.

Exercice 2-4 — Chronophotographie d'un mouvement accéléré

Une balle roule et accélère. Des photos sont prises à intervalles $\Delta t = 0,05 \text{ s}$. Les distances entre positions consécutives sont :

Intervalle	1→2	2→3	3→4	4→5
Distance (cm)	2	4	6	8

1. Les distances sont-elles égales ? Quel type de mouvement cela indique-t-il ?
2. Calculer la vitesse sur chaque intervalle, en cm/s puis en m/s.
3. Les vitesses augmentent-elles de façon régulière ? Calculer les différences successives pour le vérifier.

Correction de l'exercice 2-4

1. Les distances augmentent (2, 4, 6, 8 cm) : le mouvement est **rectiligne accéléré**.

2.

Intervalle	Distance	Vitesse (cm/s)	Vitesse (m/s)
1→2	2 cm	$2/0,05 = 40$	0,40
2→3	4 cm	$4/0,05 = 80$	0,80
3→4	6 cm	$6/0,05 = 120$	1,20
4→5	8 cm	$8/0,05 = 160$	1,60

3. Différences : $80 - 40 = 40$; $120 - 80 = 40$; $160 - 120 = 40 \text{ cm/s}$. La vitesse augmente de 40 cm/s à chaque intervalle : l'accélération est **constante**, le mouvement est uniformément accéléré.

Exercice 2-5 — Tournée d'un technicien de maintenance
Contexte : Maintenance énergétique

Un technicien de maintenance de chaudières effectue trois trajets en une matinée.

Étape	Distance	Durée
1 — Agence → client A (chaufferie collective)	40 km	30 min
2 — Client A → client B (pavillon)	60 km	40 min
3 — Client B → agence	20 km	20 min

1. Calculer la vitesse moyenne de chaque étape, en km/h.
2. Calculer la distance totale et la durée totale du trajet.
3. Calculer la vitesse moyenne globale de la tournée.
4. Cette vitesse moyenne globale est-elle égale à la moyenne des trois vitesses ? Expliquer.

Correction de l'exercice 2-5

1. Étape 1 : $40 \div (30/60) = 80 \text{ km/h}$. Étape 2 : $60 \div (40/60) = 90 \text{ km/h}$. Étape 3 : $20 \div (20/60) = 60 \text{ km/h}$.
2. Distance totale = $40 + 60 + 20 = 120 \text{ km}$; durée totale = $30 + 40 + 20 = 90 \text{ min} = 1,5 \text{ h}$.
3. $v_{\text{moy}} = \frac{120}{1,5} = 80 \text{ km/h}$.
4. La moyenne des trois vitesses vaut $\frac{80 + 90 + 60}{3} \approx 76,7 \text{ km/h}$, ce qui n'est pas la vitesse moyenne globale. Les trois étapes n'ont pas duré le même temps : on ne peut pas les compter à parts égales. Seule la définition $v = \frac{\text{distance totale}}{\text{durée totale}}$ est correcte.

Exercice 2-6 — Mesurer la fréquence de rotation d'un extracteur
Contexte : Maintenance — démarche expérimentale

La plaque signalétique d'un extracteur d'atelier est illisible : impossible de savoir à quelle vitesse tourne son hélice. Un groupe d'élèves décide de la mesurer.

Leur protocole : coller une gommette de couleur sur une pale, puis filmer l'hélice avec un téléphone en mode ralenti, à **240 images par seconde**. En avançant image par image, ils constatent que la gommette revient à la même position toutes les **15 images**.

Rappel de cours

La **période** T est la durée d'un tour. La **fréquence de rotation** n est le nombre de tours par seconde : $n = \frac{1}{T}$, et $N(\text{tr/min}) = n \times 60$.

1. Expliquer pourquoi on ne peut pas compter les tours à l'œil nu, sans caméra.
2. Quelle durée s'écoule entre deux images consécutives de la vidéo ?
3. En déduire la période de rotation T de l'hélice, en secondes puis en millisecondes.
4. Calculer la fréquence de rotation n en tr/s, puis la vitesse de rotation N en tr/min.
5. L'hélice a un diamètre de 32 cm. Calculer la vitesse en bout de pale, en m/s puis en km/h.
6. Proposer une seconde méthode pour vérifier ce résultat, sans filmer. Indiquer ce qu'il faudrait mesurer et ce qu'il faudrait compter.

Correction de l'exercice 2-6

1. L'hélice fait une quinzaine de tours par seconde : l'œil ne distingue plus les pales, il ne voit qu'un disque flou. Compter des tours suppose de pouvoir repérer un passage, ce qui est impossible à cette vitesse. La caméra rapide étale le mouvement dans le temps et rend le comptage possible.

2. À 240 images par seconde, deux images consécutives sont séparées de $\frac{1}{240} \approx 0,00417 \text{ s}$, soit environ 4,2 ms.

3. Un tour correspond à 15 images, donc $T = \frac{15}{240} = 0,0625 \text{ s}$, soit 62,5 ms.

4. $n = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,0625} = 16 \text{ tr/s}$, donc $N = 16 \times 60 = 960 \text{ tr/min}$.

5. $d = 32 \text{ cm} = 0,32 \text{ m}$, donc $v = \pi \times 0,32 \times 16 \approx 16,1 \text{ m/s}$, soit $16,1 \times 3,6 \approx 58 \text{ km/h}$ en bout de pale.

6. On peut **ralentir l'extracteur** s'il dispose d'un variateur, jusqu'à pouvoir suivre la gommette à l'œil, puis compter les tours pendant une durée mesurée au chronomètre — par exemple 30 s — et diviser. On mesure alors deux grandeurs : un **nombre de tours** et une **durée**. Sans variateur, un **tachymètre optique** donne directement la valeur : c'est l'appareil du technicien de maintenance.

Pourquoi compter sur plusieurs tours ? Mesurer un seul tour, c'est faire porter toute l'imprécision du chronomètre sur 62 millisecondes. En comptant 480 tours en 30 s, la même imprécision se répartit sur trente secondes : le résultat est bien plus sûr.

Exercice 2-7 — Roue de véhicule : rotation et distance parcourue

Un utilitaire de livraison a des pneus de diamètre $d = 60 \text{ cm}$. Il roule à $v = 50 \text{ km/h}$ en zone urbaine.

1. Convertir la vitesse en m/s.
2. Calculer la distance parcourue par la roue en un tour.
3. En déduire la fréquence de rotation des roues, en tr/s.
4. Combien de tours la roue effectue-t-elle sur un trajet de 5 km ?

Correction de l'exercice 2-7

1. $v = \frac{50}{3,6} \approx 13,9 \text{ m/s}$.
2. $C = \pi \times 0,60 \approx 1,885 \text{ m}$.
3. $n = \frac{13,9}{1,885} \approx 7,4 \text{ tr/s}$, soit environ 443 tr/min.
4. $N_{\text{tours}} = \frac{5\,000}{1,885} \approx 2\,653 \text{ tours}$. La roue fait donc plus de 2 600 tours pour 5 km : c'est ce comptage qui sert de base au compteur kilométrique (voir l'exercice 3-4).

Exercice 2-8 — Chronophotographie d'un freinage jusqu'à l'arrêt

Un véhicule freine en ligne droite sur une piste d'essai. Une caméra enregistre sa position toutes les $\Delta t = 0,4\text{ s}$, depuis le coup de frein jusqu'à l'immobilisation complète.

Position	1	2	3	4	5	6	7
Abscisse (m)	0	8,0	14,4	19,2	22,4	24,0	24,0

1. Calculer les six écarts entre positions successives.
2. Comment évoluent ces écarts ? En déduire la nature du mouvement. Que signifie le dernier écart ?
3. Calculer la vitesse sur chacun des cinq premiers intervalles, en m/s.
4. De combien la vitesse diminue-t-elle à chaque intervalle ? En déduire la durée totale du freinage.
5. Donner la vitesse du premier intervalle en km/h, puis la distance parcourue pendant tout le freinage.
6. Cette distance est-elle la *distance d'arrêt* du véhicule ? Expliquer.

Correction de l'exercice 2-8

1. $1 \rightarrow 2 : 8,0\text{ m}$; $2 \rightarrow 3 : 6,4\text{ m}$; $3 \rightarrow 4 : 4,8\text{ m}$; $4 \rightarrow 5 : 3,2\text{ m}$; $5 \rightarrow 6 : 1,6\text{ m}$; $6 \rightarrow 7 : 0\text{ m}$.

2. Les écarts **diminuent**, et toujours de la même quantité ($1,6\text{ m}$) : le mouvement est **rectiligne uniformément ralenti**. Le dernier écart est nul : entre les positions 6 et 7, le véhicule n'avance plus, il est **à l'arrêt**.

3. $\frac{8,0}{0,4} = 20\text{ m/s}$; $\frac{6,4}{0,4} = 16\text{ m/s}$; $\frac{4,8}{0,4} = 12\text{ m/s}$; $\frac{3,2}{0,4} = 8,0\text{ m/s}$; $\frac{1,6}{0,4} = 4,0\text{ m/s}$.

4. La vitesse perd $4,0\text{ m/s}$ à chaque intervalle de $0,4\text{ s}$, très régulièrement. Il faut cinq intervalles pour passer de 20 m/s à zéro : le freinage dure $5 \times 0,4 = 2,0\text{ s}$.

5. $20 \times 3,6 = 72\text{ km/h}$, ordre de grandeur de la vitesse au moment du coup de frein. Le véhicule est passé de l'abscisse 0 à l'abscisse 24,0 : il a parcouru $24,0\text{ m}$.

6. Non. Ces $24,0\text{ m}$ sont la **distance de freinage** : l'enregistrement commence quand les freins agissent déjà. La **distance d'arrêt** ajoute la distance parcourue pendant le **temps de réaction** du conducteur, soit environ 20 m de plus pour une seconde de réaction à 20 m/s . La distance d'arrêt réelle est donc proche de 44 m , presque le double.

Exercice 2-9 — Records de course à pied
Contexte : Sport — athlétisme

Voici les records du monde de course à pied, en valeurs approchées.

Distance	Temps record
100 m	9,58 s
400 m	43,0 s
1500 m	3 min 26 s
Marathon (42,195 km)	2 h 0 min 35 s

1. Calculer la vitesse moyenne de chaque record en m/s. Attention à bien convertir les durées en secondes.
2. Convertir chaque vitesse en km/h.
3. Pourquoi la vitesse moyenne du 100 m est-elle plus élevée que celle du marathon ?
4. Le sprinteur du 100 m a-t-il un mouvement uniforme ? Justifier.

Correction de l'exercice 2-9

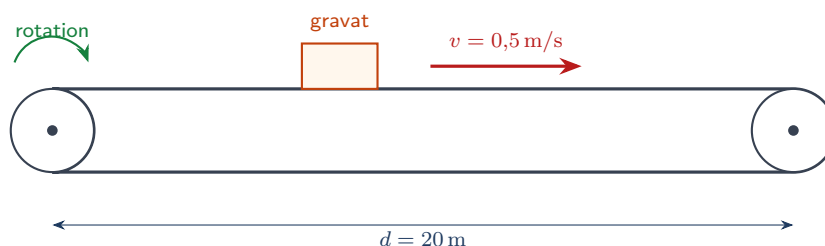
1. Durées en secondes : 9,58 s ; 43,0 s ; $3 \times 60 + 26 = 206$ s ; $2 \times 3600 + 35 = 7235$ s.

Distance	Durée (s)	Vitesse (m/s)
100 m	9,58	$100/9,58 \approx 10,4$
400 m	43,0	$400/43 \approx 9,3$
1500 m	206	$1\,500/206 \approx 7,3$
Marathon	7 235	$42\,195/7\,235 \approx 5,8$

2. 100 m : 37,5 km/h ; 400 m : 33,5 km/h ; 1500 m : 26,2 km/h ; marathon : 21,0 km/h.
3. Sur 100 m, le coureur fournit un effort maximal de très courte durée. Sur un marathon, il doit tenir plus de deux heures et gérer son énergie : sa vitesse moyenne est nécessairement plus faible.
4. Non. Le sprinteur est **accélééré** au départ (il part de l'arrêt), puis sensiblement **uniforme** au milieu de la course, puis légèrement **ralenti** sur les derniers mètres. La valeur 10,4 m/s est une vitesse **moyenne** : sa vitesse maximale est plus élevée (voir l'exercice 2-14).

Exercice 2-10 — Tapis convoyeur sur un chantier
Contexte : Bâtiment — chantier de rénovation

Un tapis convoyeur évacue les gravats depuis la zone de démolition jusqu'à la benne. La bande avance à vitesse constante $v = 0,5 \text{ m/s}$ et la distance entre les deux postes est $d = 20 \text{ m}$.



Le tambour tourne (mouvement circulaire) et entraîne la bande, qui avance en ligne droite (mouvement rectiligne). Sans glissement, un point du bord du tambour et le gravat posé sur la bande ont exactement la même vitesse : c'est ce qui relie les deux calculs de l'exercice.

1. Quel est le type de mouvement de la bande ? Justifier.
2. Calculer la durée de transport d'un gravat déposé à l'entrée de la bande.
3. Convertir la vitesse de la bande en km/h.
4. Le tambour d'entraînement a un diamètre $d_T = 30 \text{ cm}$. Calculer sa fréquence de rotation n , en tr/s.
5. En déduire la période de rotation T du tambour.

Correction de l'exercice 2-10

1. Mouvement **rectiligne uniforme** : la bande se déplace en ligne droite, à vitesse constante.
2. $\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{20}{0,5} = 40 \text{ s}$.
3. $v = 0,5 \times 3,6 = 1,8 \text{ km/h}$, soit trois fois moins vite qu'un piéton : c'est voulu, pour que les gravats ne soient pas éjectés.
4. De $v = \pi \times d_T \times n$ on tire $n = \frac{v}{\pi \times d_T} = \frac{0,5}{\pi \times 0,30} \approx 0,53 \text{ tr/s}$.
5. $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{0,53} \approx 1,88 \text{ s}$: le tambour met un peu moins de deux secondes à faire un tour.

Exercice 2-11 — Mouvement de la Terre autour du Soleil

La Terre tourne autour du Soleil en environ 365 jours. La distance moyenne Terre-Soleil est $R = 150$ millions de kilomètres. On assimile la trajectoire à un cercle.

1. Dans quel référentiel étudie-t-on ce mouvement ? Quel est le type de trajectoire ?
2. Calculer la circonférence de l'orbite terrestre, en kilomètres.
3. Calculer la durée d'un tour en heures.
4. En déduire la vitesse moyenne de la Terre en km/h, puis en km/s.
5. Comparer cette vitesse à celle d'une balle de fusil, environ 1 km/s.

Correction de l'exercice 2-11

1. Référentiel **héliocentrique**, centré sur le Soleil. Trajectoire **circulaire** dans ce modèle (en réalité une ellipse très peu aplatie).
2. $C = 2\pi R = 2\pi \times 150 \times 10^6 \approx 942 \times 10^6$ km, soit environ 942 millions de kilomètres.
3. $\Delta t = 365 \times 24 = 8760$ h.
4. $v = \frac{942 \times 10^6}{8760} \approx 107\,500$ km/h, soit $\frac{107\,500}{3\,600} \approx 29,9$ km/s.
5. La Terre se déplace à environ 30 km/s, soit trente fois plus vite qu'une balle de fusil — et nous ne le sentons pas, parce que nous sommes emportés avec elle : dans le référentiel terrestre, nous sommes immobiles.

Exercice 2-12 — Éolienne : vitesse en bout de pale**Contexte : Énergie — production électrique**

Une éolienne fonctionne en régime stabilisé. Pour cet exercice, sa fiche technique fixe à 65 m/s la vitesse maximale admise en bout de pale.

Diamètre du rotor	60 m
Vitesse de rotation	18 tr/min
Vitesse maximale admise en bout de pale	65 m/s

1. Quelle est la trajectoire de l'extrémité d'une pale ? Le mouvement est-il uniforme ou varié ?
2. Calculer la fréquence de rotation en tr/s, puis la période de rotation.
3. Calculer la vitesse en bout de pale, en m/s puis en km/h.
4. Comparer la valeur obtenue à la limite fixée par la fiche technique.
5. Déterminer la vitesse de rotation maximale du rotor, en tr/min, pour respecter exactement la limite de 65 m/s.

Correction de l'exercice 2-12

1. L'extrémité d'une pale décrit un **cercle** autour de l'axe du rotor. La vitesse de rotation étant constante, le mouvement est **circulaire uniforme**.
2. $n = \frac{18}{60} = 0,30 \text{ tr/s}$ et $T = \frac{1}{0,30} \approx 3,33 \text{ s}$.
3. $v = \pi \times d \times n = \pi \times 60 \times 0,30 \approx 56,5 \text{ m/s}$, soit $56,5 \times 3,6 \approx 204 \text{ km/h}$.
4. $56,5 \text{ m/s} < 65 \text{ m/s}$: la limite est respectée, avec une marge d'environ 8,5 m/s.
5. $n_{\max} = \frac{65}{\pi \times 60} \approx 0,345 \text{ tr/s}$, donc $N_{\max} = 0,345 \times 60 \approx 20,7 \text{ tr/min}$. Il ne faut donc pas dépasser environ 21 tr/min : 18 et 21 tr/min paraissent voisins, mais sur un rotor de 60 m l'écart en bout de pale est de près de 30 km/h.

Exercice 2-13 — Nacelle élévatrice : tout dépend du référentiel
Contexte : Chantier — travail en hauteur

Sur un chantier de bardage, une nacelle élévatrice à mât vertical est utilisée en deux temps.

- **Phase 1 — la montée.** Le châssis est calé, freins serrés. Le panier, dans lequel se tient un opérateur, s'élève le long du mât et gagne 12 m de hauteur en 40 s.
- **Phase 2 — le déplacement.** Le panier est redescendu et replié. Le châssis roule alors en ligne droite, à vitesse constante de 1,5 m/s, jusqu'à la façade suivante. Ses roues, de diamètre $d = 50$ cm, tournent sans glisser.

Rappel de cours

Un objet n'est jamais « en mouvement » ou « immobile » dans l'absolu : il l'est **par rapport à un référentiel**, qu'il faut toujours préciser. Roue qui roule sans glisser : $v = \pi \times d \times n$, avec d en mètres et n en tr/s.

1. Phase 1 : décrire le mouvement du panier par rapport au sol, puis par rapport au mât. Quelle est sa trajectoire par rapport au sol ?
2. Phase 1 : calculer la vitesse moyenne de montée du panier, en m/s puis en km/h.
3. Phase 2 : décrire le mouvement du panier replié par rapport au châssis, puis par rapport au sol.
4. Phase 2 : calculer la fréquence de rotation des roues, en tr/s puis en tr/min, ainsi que leur période.
5. Le déplacement de la phase 2 dure 50 s. Calculer la distance parcourue, puis le nombre de tours effectués par une roue.
6. Un ouvrier au sol dit : « le panier est immobile ». L'opérateur dans le panier dit : « le panier bouge ». Expliquer comment les deux peuvent avoir raison.

Correction de l'exercice 2-13

1. Par rapport au **sol** (référentiel terrestre), le panier est **en mouvement** : il monte. Par rapport au **mât**, il est également **en mouvement**, puisqu'il coulisse le long de celui-ci. Sa trajectoire par rapport au sol est **rectiligne verticale**.

2. $v = \frac{12}{40} = 0,30$ m/s, soit $0,30 \times 3,6 = 1,08$ km/h : une allure volontairement très lente, bien plus faible que celle d'un piéton, car un mouvement brusque en hauteur serait dangereux.

3. Par rapport au **châssis**, le panier replié est **immobile** : il ne bouge plus par rapport à la machine qui le porte. Par rapport au **sol**, il est **en mouvement rectiligne uniforme** à 1,5 m/s, emporté par le châssis. Même objet, même instant : seule la réponse change, parce que le référentiel change.

4. $d = 50$ cm = 0,50 m, donc $n = \frac{v}{\pi \times d} = \frac{1,5}{\pi \times 0,50} \approx \frac{1,5}{1,571} \approx 0,95$ tr/s, soit $N \approx 57$ tr/min. Période : $T = \frac{1}{0,95} \approx 1,05$ s, la roue met environ une seconde à faire un tour.

5. Distance : $d = 1,5 \times 50 = 75$ m. Nombre de tours : $0,95 \times 50 \approx 48$ tours (on retrouve la même valeur avec $75 \div 1,571 \approx 47,7$).

6. Les deux ont raison parce qu'ils ne parlent pas du même référentiel. L'opérateur se compare au **sol** et à la façade, qu'il voit défiler : pour lui le panier bouge. L'ouvrier pense au panier **par rapport au châssis** : verrouillé sur la machine, il n'en bouge pas. Tant que le référentiel n'est pas précisé, la phrase « le panier est immobile » ne veut rien dire.

Exercice 2-14 — Un 100 mètres décomposé tous les 20 mètres
Contexte : Sport — athlétisme

Lors d'une finale de 100 m, des cellules photoélectriques enregistrent l'instant de passage du sprinteur tous les 20 m. Le chronomètre est déclenché au coup de pistolet.

Repère franchi	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m
Instant de passage (s)	2,90	4,70	6,35	7,95	9,60

1. Calculer la durée mise pour parcourir chacun des cinq tronçons de 20 m.
2. Calculer la vitesse moyenne sur chacun de ces cinq tronçons, en m/s (deux décimales).
3. Décrire l'évolution du mouvement du sprinteur au fil de la course, en distinguant les phases.
4. Calculer la vitesse moyenne sur l'ensemble des 100 m, en m/s puis en km/h.
5. Un spectateur calcule la moyenne des cinq vitesses de la question 2 et trouve 10,95 m/s. Comparer au résultat de la question 4 et expliquer l'écart.

Correction de l'exercice 2-14

1. On soustrait les instants successifs : 2,90 s ; $4,70 - 2,90 = 1,80$ s ; $6,35 - 4,70 = 1,65$ s ; $7,95 - 6,35 = 1,60$ s ; $9,60 - 7,95 = 1,65$ s.

2. Avec $d = 20$ m à chaque fois : $\frac{20}{2,90} \approx 6,90$; $\frac{20}{1,80} \approx 11,11$; $\frac{20}{1,65} \approx 12,12$; $\frac{20}{1,60} = 12,50$; $\frac{20}{1,65} \approx 12,12$ m/s.

3. Trois phases. Le sprinteur est d'abord nettement **accélééré** (de 6,90 à 12,12 m/s sur les 60 premiers mètres ; il part de l'arrêt, ce qui explique la faible vitesse du premier tronçon). Il atteint ensuite sa vitesse maximale et le mouvement devient **quasi uniforme** entre 60 et 80 m. Enfin il est très légèrement **ralenti** sur les 20 derniers mètres (12,50 puis 12,12 m/s).

4. $v = \frac{100}{9,60} \approx 10,42$ m/s, soit $10,42 \times 3,6 \approx 37,5$ km/h.

5. Les deux valeurs diffèrent : 10,42 contre 10,95 m/s. La moyenne des cinq vitesses **n'est pas** la vitesse moyenne, car les cinq tronçons n'ont pas duré le même temps. Le premier, le plus lent, est aussi celui qui a duré le plus longtemps (2,90 s sur 9,60, près d'un tiers de la course) : il pèse bien plus lourd que les autres. La seule définition correcte reste $v = \frac{\text{distance totale}}{\text{durée totale}}$.

Exercice 2-15 — La Lune tourne sur elle-même

On modélise la Lune par une sphère de diamètre $d = 3474$ km. Elle effectue un tour sur elle-même en $T = 27,3$ jours, durée presque égale à celle de son tour autour de la Terre.

1. Pour un observateur placé dans l'espace et centré sur la Lune, quelle est la trajectoire d'un point situé sur son équateur ? On suppose la rotation uniforme.
2. Convertir la période en heures, puis en secondes. En déduire la fréquence de rotation en tr/s.
3. Calculer la distance parcourue par un point de l'équateur en un tour, puis sa vitesse en km/h et en m/s.
4. Combien de tours la Lune effectue-t-elle sur elle-même en une année terrestre de 365,25 jours ?
5. Expliquer pourquoi la Lune présente toujours presque la même face à la Terre.

Correction de l'exercice 2-15

1. Le point décrit un **cercle** autour de l'axe de rotation de la Lune ; son mouvement est circulaire uniforme dans ce modèle.
2. $T = 27,3 \times 24 = 655,2$ h, puis $T = 655,2 \times 3600 = 2\,358\,720$ s. Donc $n = \frac{1}{T} \approx 4,24 \times 10^{-7}$ tr/s : une fréquence minuscule, la Lune tourne très lentement sur elle-même.
3. $C = \pi \times d = \pi \times 3474 \approx 10\,914$ km. Puis $v = \frac{10\,914}{655,2} \approx 16,7$ km/h, soit $\frac{16,7}{3,6} \approx 4,63$ m/s — à peine l'allure d'un coureur à pied.
4. $\frac{365,25}{27,3} \approx 13,4$: environ **13,4 tours** sur elle-même en une année terrestre.
5. Sa période de rotation sur elle-même est presque égale à sa période de révolution autour de la Terre. Pendant qu'elle fait un tour autour de la Terre, elle tourne aussi une fois sur elle-même : la même face reste donc orientée vers nous.

Exercices d'approfondissement

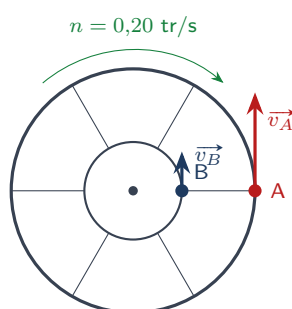
Série 3 — plusieurs étapes, un choix à justifier, ou une erreur à repérer.

Exercice 3-1 — Deux astronautes dans une station en rotation

Contexte : Espace — station orbitale

On étudie une station spatiale en forme de roue, tournant uniformément autour de son axe. Deux astronautes se déplacent avec la station : A se trouve sur le bord extérieur, B dans un couloir circulaire plus proche de l'axe.

Fréquence de rotation	0,20 tr/s
Diamètre de la trajectoire de A	100 m
Diamètre de la trajectoire de B	40 m



Les deux astronautes font un tour dans le même temps : même fréquence de rotation. Mais A parcourt un cercle deux fois et demie plus grand pendant cette durée, donc son vecteur vitesse est d'autant plus long.

Rappel de cours

Pour un point décrivant un cercle de diamètre d : $v = \pi \times d \times n$.

1. Pour un observateur qui ne tourne pas avec la station et qui regarde son axe, décrire la trajectoire de chaque astronaute.
2. Calculer la période de rotation de la station. Est-elle identique pour A et B ?
3. Calculer la vitesse de A et celle de B, en m/s puis en km/h.
4. Les deux astronautes ont-ils la même fréquence de rotation et la même vitesse linéaire ? Expliquer.
5. Un module fragile ne doit pas dépasser 30 m/s. Jusqu'à quel diamètre de trajectoire peut-on l'installer sans modifier la fréquence de rotation ?

Correction de l'exercice 3-1

1. A et B décrivent chacun une trajectoire **circulaire** centrée sur l'axe de la station, mais les deux cercles n'ont pas le même diamètre.
2. $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{0,20} = 5,0 \text{ s}$. Toute la station fait un tour dans le même temps : la période est identique pour A et B.
3. $v_A = \pi \times 100 \times 0,20 \approx 62,8 \text{ m/s}$, soit environ 226 km/h. $v_B = \pi \times 40 \times 0,20 \approx 25,1 \text{ m/s}$, soit environ 90,5 km/h.
4. Ils ont la **même fréquence de rotation** et la même période, car ils accomplissent chaque tour ensemble. En revanche A parcourt un cercle plus grand pendant ce même temps : sa vitesse linéaire est plus élevée. C'est tout l'intérêt du dispositif, la « gravité artificielle » ressentie augmentant avec le diamètre.
5. On isole le diamètre dans $v = \pi d n$: $d_{\max} = \frac{30}{\pi \times 0,20} \approx 47,7 \text{ m}$. Le module doit donc être placé sur une trajectoire de diamètre inférieur ou égal à environ 48 m.

Exercice 3-2 — Comparaison de deux itinéraires de livraison
Contexte : Logistique — gestion des déplacements

Un conducteur de travaux doit choisir entre deux itinéraires pour livrer des palettes de parpaings sur un chantier.

Itinéraire	Distance	Vitesse moyenne
Route nationale	72 km	90 km/h
Autoroute	90 km	120 km/h

1. Calculer le temps de trajet, en minutes, pour chaque itinéraire. Quelle formule utiliser ?
2. Quel itinéraire est le plus rapide, et de combien de minutes ?
3. Le péage d'autoroute coûte 8 € et le carburant revient à 0,12 € par kilomètre. Calculer le coût total de chaque itinéraire.
4. En tenant compte du temps et du coût, quel itinéraire recommandez-vous ? Justifier.

Correction de l'exercice 3-2

1. On utilise $\Delta t = \frac{d}{v}$. Nationale : $\frac{72}{90} = 0,8 \text{ h} = 48 \text{ min}$. Autoroute : $\frac{90}{120} = 0,75 \text{ h} = 45 \text{ min}$.
2. L'autoroute est plus rapide, de **3 minutes** seulement — beaucoup moins que ce que laissait penser l'écart de vitesse, parce qu'elle est aussi plus longue de 18 km.
3. Nationale : $72 \times 0,12 = 8,64 \text{ €}$, sans péage. Autoroute : $90 \times 0,12 + 8 = 10,80 + 8 = 18,80 \text{ €}$.
4. L'autoroute fait gagner 3 min mais coûte $18,80 - 8,64 = 10,16 \text{ €}$ de plus, soit plus de 3 € la minute gagnée. Pour une livraison ponctuelle urgente, cela peut se justifier ; pour des livraisons régulières, la nationale est nettement plus économique.

Exercice 3-3 — Choix de la fréquence de rotation d'une toupie
Contexte : Atelier de menuiserie

Un menuisier agenceur doit réaliser un profil décoratif sur du hêtre. Le fabricant de fraises recommande une **vitesse de coupe** comprise entre 30 et 45 m/s pour cette essence. La toupie dispose de trois vitesses : 3 000, 6 000 et 9 000 tr/min. Le menuisier hésite entre deux fraises : la fraise A (petit profil), de diamètre 5 cm, et la fraise B (grand profil), de diamètre 12 cm.

1. Pour chacune des six combinaisons fraise/vitesse, calculer la vitesse de coupe $v = \pi \times d \times n$. Présenter les résultats dans un tableau.
2. Pour chaque fraise, déterminer la ou les vitesses de rotation qui respectent la recommandation du fabricant.
3. Le menuisier choisit la fraise B à 6000 tr/min. Calculer la période de rotation.
4. Lors du passage de la pièce, l'avance est de 6 m/min et la pièce fait 2,40 m de long. Calculer la durée de l'opération de profilage.

Correction de l'exercice 3-3

1. Les trois vitesses correspondent à $n = 50, 100$ et 150 tr/s.

	3 000 tr/min (50 tr/s)	6 000 tr/min (100 tr/s)	9 000 tr/min (150 tr/s)
Fraise A ($d = 7,9$ m/s 0,05 m)		15,7 m/s	23,6 m/s
Fraise B ($d = 18,8$ m/s 0,12 m)		37,7 m/s	56,5 m/s

2. Fraise A : **aucune vitesse ne convient**, le maximum atteint étant 23,6 m/s, inférieur aux 30 m/s demandés. Il faudrait une toupie plus rapide, ou une fraise de plus grand diamètre.

Fraise B : seule la vitesse de 6000 tr/min convient (37,7 m/s, dans la plage 30–45). À 9000 tr/min, on atteint 56,5 m/s : la fraise brûlerait le bois.

3. $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{100} = 0,01$ s = 10 ms.

4. $v_{\text{avance}} = 6$ m/min = 0,1 m/s, donc $\Delta t = \frac{2,40}{0,1} = 24$ s. Ne pas confondre la vitesse de *coupe* (celle du bord de la fraise, 37,7 m/s) et la vitesse d'*avance* de la pièce (0,1 m/s) : ce sont deux mouvements différents.

Exercice 3-4 — Compteur kilométrique et usure des pneus**Contexte : Maintenance automobile**

Le compteur kilométrique d'un véhicule de livraison est étalonné pour des pneus de diamètre $d_0 = 65 \text{ cm}$: il compte les tours de roue et les multiplie par la circonférence πd_0 pour afficher la distance. Après usure, le diamètre réel des pneus est $d_1 = 63 \text{ cm}$.

1. Calculer la circonférence d'un pneu neuf, puis celle d'un pneu usé.
2. Le compteur affiche 100 km. Combien de tours de roue cela représente-t-il ?
3. Avec les pneus usés, la roue fait le même nombre de tours mais chaque tour parcourt moins de distance. Calculer la distance réellement parcourue.
4. Quelle est l'erreur du compteur, en pourcentage ? Affiche-t-il plus ou moins que la réalité ?
5. Si le véhicule roule à 90 km/h indiqués, quelle est sa vitesse réelle ?

Correction de l'exercice 3-4

1. $C_0 = \pi \times 0,65 \approx 2,042 \text{ m}$ et $C_1 = \pi \times 0,63 \approx 1,979 \text{ m}$.
2. $N = \frac{100\,000}{2,042} \approx 48\,971$ tours.
3. $d_{\text{réelle}} = 48\,971 \times 1,979 \approx 96\,923 \text{ m} \approx 96,9 \text{ km}$.
4. Erreur : $\frac{100 - 96,9}{96,9} \approx 3,2 \%$. Le compteur **surestime** la distance : il affiche 100 km là où le véhicule n'a roulé que 96,9 km.
5. Vitesse réelle : $90 \times \frac{63}{65} \approx 87,2 \text{ km/h}$. Le véhicule roule donc un peu moins vite que ce qu'indique le compteur — ce qui, du point de vue du constructeur, est le sens d'erreur souhaitable.

Exercice 3-5 — Tapis de course : vitesse de défilement

Contexte : Sport — salle de remise en forme

Un tapis de course de salle de sport possède deux rouleaux de diamètre $d = 8 \text{ cm}$. La bande repose dessus et défile sans glisser : elle avance donc à la vitesse du bord du rouleau. Le constructeur annonce une vitesse réglable **de 1 à 22 km/h**. À pleine puissance, le moteur entraîne le rouleau principal à $N = 1500 \text{ tr/min}$.

1. Convertir la fréquence en tr/s.
2. Calculer la vitesse de défilement de la bande, c'est-à-dire la vitesse linéaire au bord du rouleau.
3. Convertir en km/h et comparer à l'allure d'un cycliste.
4. La valeur calculée est-elle compatible avec la vitesse maximale annoncée par le constructeur ?
5. Déterminer la vitesse de rotation du rouleau, en tr/min, qui donnerait exactement 22 km/h.
6. La bande forme une boucle de 3 m de long. À 22 km/h, combien de fois par seconde un même point de la bande passe-t-il sous le coureur ?

Correction de l'exercice 3-5

1. $n = \frac{1500}{60} = 25 \text{ tr/s}$.
2. $v = \pi \times d \times n = \pi \times 0,08 \times 25 \approx 6,28 \text{ m/s}$.
3. $v \approx 6,28 \times 3,6 \approx 22,6 \text{ km/h}$: l'allure d'un cycliste à bonne allure et, pour un coureur, une vitesse que seuls des athlètes tiennent quelques minutes.
4. Le calcul donne 22,6 km/h alors que le constructeur annonce 22 km/h au maximum. L'écart est faible (moins de 3 %) mais la valeur calculée dépasse la donnée du constructeur : le modèle est un peu trop simple, il néglige l'épaisseur de la bande et le léger glissement sur le rouleau.
5. $22 \text{ km/h} = \frac{22}{3,6} \approx 6,11 \text{ m/s}$, donc $n = \frac{6,11}{\pi \times 0,08} \approx \frac{6,11}{0,251} \approx 24,3 \text{ tr/s}$, soit $N \approx 1460 \text{ tr/min}$.
6. À 6,11 m/s, la boucle de 3 m défile $\frac{6,11}{3} \approx 2,0$ fois par seconde : un même point repasse sous le coureur environ **2 fois par seconde**, soit 122 fois par minute.

Exercice 3-6 — Analyse graphique d'un trajet

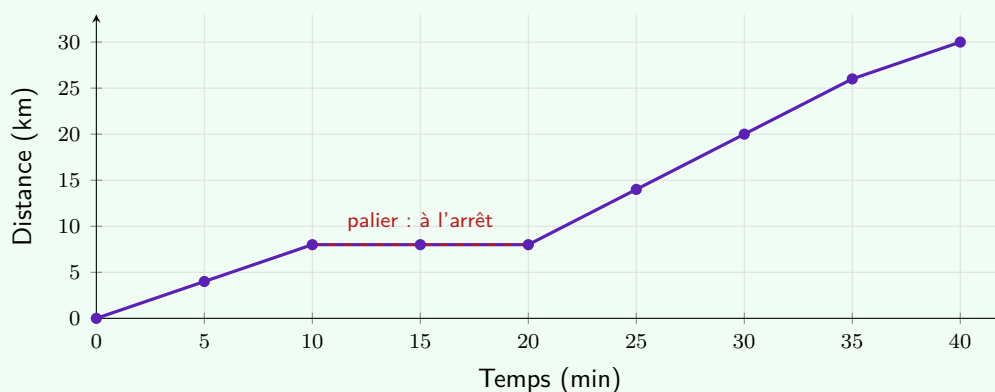
Le tableau donne la distance parcourue par un utilitaire de livraison en fonction du temps.

Temps (min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Distance (km)	0	4	8	8	8	14	20	26	30

1. Tracer le graphique distance-temps sur papier millimétré.
2. Identifier les phases du trajet : quand le véhicule roule-t-il ? Quand est-il à l'arrêt ?
3. Calculer la vitesse moyenne pendant les 10 premières minutes.
4. Calculer la vitesse moyenne entre 20 et 40 min.
5. Calculer la vitesse moyenne sur l'ensemble du trajet.
6. Expliquer pourquoi la vitesse moyenne globale diffère des deux vitesses précédentes.

Correction de l'exercice 3-6

1. On place les neuf points et on les relie par des segments.



Un **palier horizontal** signale un arrêt : le temps passe, la distance ne change pas. Plus le tracé est raide, plus la vitesse est grande ; la troisième portion est visiblement plus pentue que la première, ce que confirment les calculs.

2. Phase 1 (0–10 min) : le véhicule roule, la distance augmente. Phase 2 (10–20 min) : arrêt, la distance reste à 8 km. Phase 3 (20–40 min) : il roule à nouveau, et plus vite.

3. $v_1 = \frac{8}{10/60} = 48 \text{ km/h}$.

4. Distance : $30 - 8 = 22 \text{ km}$; durée : 20 min, soit $1/3 \text{ h}$. Donc $v_2 = \frac{22}{1/3} = 66 \text{ km/h}$.

5. $v_{\text{moy}} = \frac{30}{40/60} = 45 \text{ km/h}$.

6. La vitesse moyenne globale tient compte des 10 min d'arrêt, pendant lesquelles le véhicule n'avance pas. Elle est donc plus faible que les vitesses calculées sur les seules phases de mouvement.

Exercice 3-7 — Satellite géostationnaire

Un satellite géostationnaire orbite autour de la Terre à une altitude $h = 35\,786\text{ km}$. Il fait un tour complet en environ $T = 24\text{ h}$, la durée d'un tour de la Terre sur elle-même (23 h 56 min précisément : le jour sidéral). On prendra $T = 24\text{ h}$. Le rayon de la Terre est $R_T = 6371\text{ km}$.

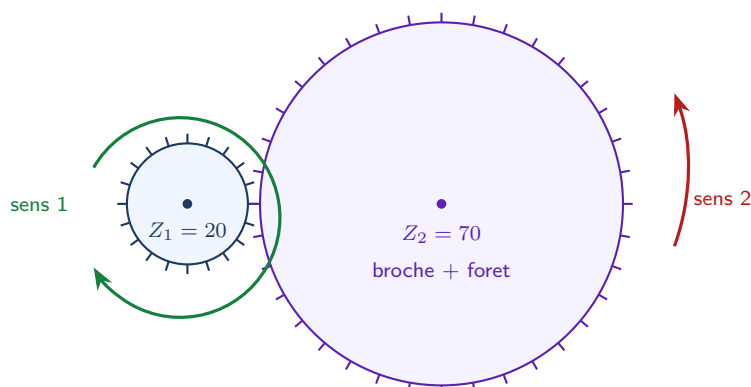
1. Dans quel référentiel étudie-t-on le mouvement du satellite ? Quelle est sa trajectoire ?
2. Calculer le rayon de l'orbite du satellite : $r = R_T + h$.
3. Calculer la circonférence de l'orbite.
4. Calculer la vitesse du satellite en km/h, puis en km/s.
5. Le satellite est-il immobile dans le référentiel terrestre ? Dans le référentiel géocentrique ? Expliquer en utilisant la relativité du mouvement.

Correction de l'exercice 3-7

1. Référentiel **géocentrique**, centré sur la Terre. Trajectoire **circulaire**.
2. $r = 6\,371 + 35\,786 = 42\,157\text{ km}$.
3. $C = 2\pi r = 2\pi \times 42\,157 \approx 264\,900\text{ km}$.
4. $v = \frac{264\,900}{24} \approx 11\,038\text{ km/h}$, soit $\frac{11\,038}{3\,600} \approx 3,07\text{ km/s}$.
5. Dans le référentiel **terrestre**, le satellite est **immobile** : il reste en permanence au-dessus du même point de la Terre, c'est précisément ce qui permet d'orienter une antenne parabolique une fois pour toutes. Dans le référentiel **géocentrique**, il est **en mouvement** circulaire à environ 11 000 km/h. Le même objet, au même instant, est donc immobile dans un référentiel et très rapide dans un autre : c'est la relativité du mouvement.

Exercice 3-8 — Transmission par engrenages : perceuse à colonne**Contexte : Atelier — usinage**

Une perceuse à colonne possède une transmission par engrenages. Le moteur tourne à $N_1 = 2800$ tr/min. La roue dentée motrice (pignon) a $Z_1 = 20$ dents et entraîne une roue réceptrice de $Z_2 = 70$ dents, fixée à la broche du foret.



Deux roues en contact direct tournent toujours en sens opposés. La petite roue a moins de dents : elle doit faire plusieurs tours pendant que la grande n'en fait qu'un. Ici le rapport est de $70/20$, soit 3,5 tours du pignon pour un tour de la broche.

Méthode — Rapport de transmission

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2}, \quad \text{soit} \quad N_2 = N_1 \times \frac{Z_1}{Z_2}.$$

1. Calculer la fréquence de rotation de la broche N_2 , en tr/min.
2. Convertir N_2 en tr/s.
3. Un foret de diamètre $d = 10$ mm est monté sur la broche. Calculer la vitesse de coupe.
4. Le fabricant du foret recommande 25 m/min pour percer l'acier doux. La vitesse actuelle convient-elle ?
5. La broche tourne dans le sens horaire vue de dessus. Dans quel sens tourne le pignon moteur ? Justifier.

Correction de l'exercice 3-8

1. $N_2 = 2800 \times \frac{20}{70} = 800$ tr/min.
2. $n_2 = \frac{800}{60} \approx 13,3$ tr/s.
3. $v = \pi \times d \times n_2 = \pi \times 0,010 \times 13,3 \approx 0,42$ m/s, soit $0,42 \times 60 \approx 25,1$ m/min.
4. 25,1 m/min est très proche des 25 m/min recommandés : le réglage est **adapté**, il n'y a pas lieu de changer de couple de pignons.
5. Dans un engrenage à contact direct, les deux roues tournent en **sens opposés**. Si la broche tourne dans le sens horaire, le pignon moteur tourne dans le **sens anti-horaire**.

Exercice 3-9 — Dimensionner les volants d'une scie à ruban
Contexte : Atelier de menuiserie

Sur une scie à ruban, la lame est une boucle fermée qui défile sur deux volants de même diamètre ; la vitesse de défilement de la lame est celle d'un point du bord d'un volant. Un atelier reconstruit une machine ancienne : le moteur disponible tourne à 1500 tr/min et entraîne directement le volant inférieur, sans réducteur. Pour scier du bois massif, la vitesse de défilement recommandée est de 25 m/s. La lame mesure 3,60 m de long.

1. Déterminer le diamètre que devraient avoir les volants pour obtenir exactement la vitesse recommandée.
2. Le fournisseur ne propose que des volants de 500 mm. Calculer la vitesse de défilement obtenue, et la comparer à la recommandation.
3. Deux solutions permettent de revenir à 25 m/s avec des volants de 500 mm : un variateur sur le moteur, ou une transmission réductrice. Déterminer dans les deux cas la vitesse de rotation du volant à obtenir, en tr/min.
4. À la vitesse recommandée, combien de fois par minute un même point de la lame repasse-t-il dans la zone de coupe ?
5. Expliquer pourquoi une vitesse de défilement trop élevée n'améliore pas la coupe, et citer deux conséquences concrètes.

Correction de l'exercice 3-9

1. $n = \frac{1\,500}{60} = 25 \text{ tr/s}$. De $v = \pi \times d \times n$ on tire $d = \frac{v}{\pi \times n} = \frac{25}{\pi \times 25} = \frac{25}{78,5} \approx 0,318 \text{ m}$, soit environ 318 mm.
2. $v = \pi \times 0,500 \times 25 \approx 39,3 \text{ m/s}$: **1,6 fois** la vitesse recommandée. Monter ces volants en prise directe ferait défiler la lame beaucoup trop vite.
3. Il faut ramener la fréquence à $n = \frac{25}{\pi \times 0,500} \approx \frac{25}{1,571} \approx 15,9 \text{ tr/s}$, soit $N \approx 955 \text{ tr/min}$. Avec un variateur, on règle le moteur sur cette valeur ; avec une transmission réductrice, le moteur garde ses 1500 tr/min et la transmission divise la vitesse par $\frac{1\,500}{955} \approx 1,6$.
4. En une seconde, la lame défile de 25 m. Comme la boucle mesure 3,60 m, un même point revient $\frac{25}{3,60} \approx 6,94$ fois par seconde, soit environ **417 fois par minute**.
5. Au-delà de la vitesse prévue, chaque dent enlève moins de matière mais frotte davantage : la coupe n'est pas plus rapide, seulement plus abrasive. Deux conséquences : l'**échauffement de la lame** (perte de trempe, dents qui s'émoussent, brûlures sur le bois) et la **fatigue mécanique** de la boucle, qui repasse 417 fois par minute sur les volants et finit par se fissurer à la soudure, avec un risque de rupture en pleine coupe.

Exercice 3-10 — Deux lignes fausses sur une fiche de réglage
Contexte : Atelier de menuiserie

Un apprenti remplit la fiche de réglage d'une scie circulaire sur table équipée d'une lame de 30 cm de diamètre, tournant à 4500 tr/min. Deux lignes de sa fiche sont erronées.

Erreur fréquente — Fiche de l'apprenti

(a) « Fréquence de rotation : $n = 4\,500 \text{ tr/s}$. »

(b) « Vitesse en bord de lame : $v = d \times n = 0,30 \times 4\,500 = 1\,350 \text{ m/s}$. »

1. Identifier l'erreur de la ligne (a) et donner la valeur correcte.
2. Identifier l'erreur de la ligne (b), indépendante de la précédente, et donner la valeur correcte de la vitesse de coupe, en m/s puis en km/h.
3. Calculer la période de rotation de la lame.
4. On remplace la lame par une lame de 60 cm de diamètre, sans changer la vitesse de rotation. Déterminer la nouvelle vitesse de coupe et la nouvelle période, puis énoncer ce qui change et ce qui ne change pas.
5. La lame de 60 cm porte l'inscription « vitesse de coupe maximale : 80 m/s ». Le montage de la question 4 est-il acceptable ? Sinon, déterminer la vitesse de rotation maximale admissible, en tr/min.

Correction de l'exercice 3-10

1. La conversion des tours par minute en tours par seconde a été oubliée : $n = \frac{N}{60} = \frac{4\,500}{60} = 75 \text{ tr/s}$.
2. En un tour, un point du bord ne parcourt pas le diamètre mais la **circonférence**, soit $\pi \times d$. La formule correcte est $v = \pi \times d \times n$:
 $v = \pi \times 0,30 \times 75 \approx 70,7 \text{ m/s}$, soit $70,7 \times 3,6 \approx 255 \text{ km/h}$. La valeur de l'apprenti, 1350 m/s, dépassait la vitesse du son dans l'air : elle était absurde, ce qui aurait dû l'alerter.
3. $T = \frac{1}{75} \approx 0,0133 \text{ s} = 13,3 \text{ ms}$.
4. $v = \pi \times 0,60 \times 75 \approx 141,4 \text{ m/s}$: la vitesse de coupe est **doublée**, puisqu'elle est proportionnelle au diamètre. En revanche $T = \frac{1}{75} = 13,3 \text{ ms}$: la période est **inchangée**, car elle ne dépend que de la fréquence de rotation, pas de la taille de la lame. Tous les points d'une même lame font un tour dans le même temps, mais ceux du bord parcourent un plus grand cercle.
5. Le montage **n'est pas acceptable** : 141,4 m/s dépasse largement les 80 m/s inscrits ; lancée au-delà de sa vitesse admissible, une lame peut se déformer, se fissurer et éclater. Vitesse maximale :
 $n = \frac{80}{\pi \times 0,60} \approx \frac{80}{1,885} \approx 42,4 \text{ tr/s}$, soit $N \approx 2\,550 \text{ tr/min}$. Il faut donc réduire la vitesse de la machine de près de moitié avant de monter cette lame.

Exercice 3-11 — Chariot filoguidé : exploiter un enregistrement de vitesse**Contexte : Atelier — logistique interne**

Un chariot filoguidé transporte des bacs de pièces entre deux postes d'un atelier. Un enregistreur relève sa vitesse pendant un trajet complet, du départ à l'arrêt.

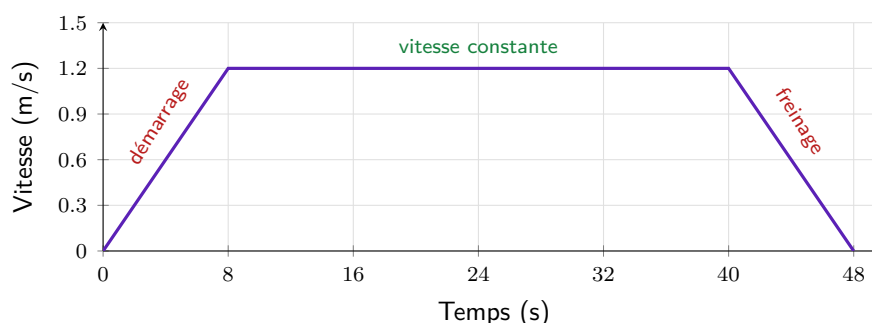


Diagramme de la vitesse en fonction du temps. Une portion montante signale un mouvement accéléré, une portion horizontale un mouvement uniforme, une portion descendante un mouvement ralenti. Ce n'est pas la trajectoire du chariot : celle-ci est une ligne droite.

1. Relever la durée de chacune des trois phases du trajet et nommer le type de mouvement correspondant.
2. Relever la vitesse maximale atteinte, en m/s puis en km/h.
3. Calculer la distance parcourue pendant la phase à vitesse constante.
4. Pendant les phases de démarrage et de freinage, la vitesse varie régulièrement : on peut donc y raisonner sur la vitesse moyenne. Calculer la distance parcourue pendant chacune de ces deux phases.
5. En déduire la distance totale entre les deux postes, puis la vitesse moyenne du chariot sur l'ensemble du trajet. Expliquer pourquoi elle est inférieure à la vitesse maximale.
6. Le chariot stationne 25 s à chaque poste pour être chargé puis déchargé. Déterminer le nombre d'allers-retours complets qu'il peut réaliser en une heure.

Correction de l'exercice 3-11

1. Phase 1, de 0 à 8 s (durée 8 s) : la vitesse augmente régulièrement, mouvement **uniformément accéléré**. Phase 2, de 8 à 40 s (durée 32 s) : vitesse constante, mouvement **uniforme**. Phase 3, de 40 à 48 s (durée 8 s) : la vitesse diminue jusqu'à zéro, mouvement **uniformément ralenti**.

2. $v_{\max} = 1,2 \text{ m/s}$, soit $1,2 \times 3,6 = 4,32 \text{ km/h}$: l'allure d'un piéton, ce qui est cohérent pour un engin circulant parmi des opérateurs.

3. $d = v \times \Delta t = 1,2 \times 32 = 38,4 \text{ m}$.

4. Démarrage : la vitesse passe régulièrement de 0 à 1,2 m/s, sa valeur moyenne est $\frac{0 + 1,2}{2} = 0,6 \text{ m/s}$, d'où $d = 0,6 \times 8 = 4,8 \text{ m}$. Freinage : même raisonnement, $d = 4,8 \text{ m}$.

5. Distance totale : $4,8 + 38,4 + 4,8 = 48,0 \text{ m}$. Vitesse moyenne : $v = \frac{48,0}{48} = 1,00 \text{ m/s}$. Elle est inférieure à la vitesse maximale parce que le chariot ne roule à 1,2 m/s que pendant 32 s sur les 48 s du trajet : les 16 s de démarrage et de freinage se font plus lentement et tirent la moyenne vers le bas.

6. Un aller-retour comprend deux trajets de 48 s et deux arrêts de 25 s : $2 \times 48 + 2 \times 25 = 146 \text{ s}$. En une heure : $\frac{3600}{146} \approx 24,7$. Le chariot réalise donc **24 allers-retours complets** par heure, le vingt-cinquième n'étant pas terminé.

Exercice 3-12 — Convoyeur à rouleaux : atteindre la cadence demandée
Contexte : Atelier — conditionnement

Un convoyeur à rouleaux motorisés achemine des caisses vers un poste de contrôle. Les caisses reposent sur les rouleaux et avancent à la vitesse du dessus des rouleaux, sans glisser.

Diamètre d'un rouleau	80 mm
Vitesse de rotation actuelle des rouleaux	60 tr/min
Espacement entre deux caisses successives	1,20 m
Cadence demandée au poste de contrôle	40 caisses par minute

1. Calculer la vitesse d'avance des caisses, en m/s puis en m/min.
2. En déduire la cadence actuelle du convoyeur, en caisses par minute.
3. Première solution : accélérer les rouleaux sans modifier l'espacement. Déterminer la vitesse d'avance nécessaire, puis la vitesse de rotation à régler, en tr/min.
4. Seconde solution : garder les rouleaux à 60 tr/min et rapprocher les caisses. Déterminer l'espacement à respecter.
5. Comparer les deux solutions et proposer, en le justifiant, celle qu'il vaut mieux retenir.

Correction de l'exercice 3-12

1. $n = \frac{60}{60} = 1$ tr/s et $d = 80$ mm = 0,080 m, donc $v = \pi \times 0,080 \times 1 \approx 0,251$ m/s, soit $0,251 \times 60 \approx 15,1$ m/min.

2. Chaque minute, 15,1 m de convoyeur défilent devant le poste ; comme une caisse occupe 1,20 m de ligne, il en passe $\frac{15,1}{1,20} \approx 12,6$ caisses par minute, soit environ 12 caisses complètes. La cadence demandée est loin d'être atteinte.

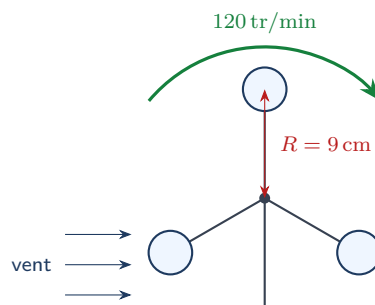
3. Pour 40 caisses espacées de 1,20 m, il faut faire défiler $40 \times 1,20 = 48$ m/min, soit $\frac{48}{60} = 0,80$ m/s. Alors $n = \frac{0,80}{\pi \times 0,080} \approx \frac{0,80}{0,251} \approx 3,18$ tr/s, soit $N \approx 191$ tr/min. Il faut donc multiplier la vitesse de rotation par environ 3,2, ce qui est cohérent avec le rapport des cadences : $40 \div 12,6 \approx 3,2$.

4. À 15,1 m/min, il faut que 40 caisses tiennent dans ces 15,1 m : l'espacement devient $\frac{15,1}{40} \approx 0,38$ m, soit 38 cm.

5. La première solution triple la vitesse d'avance : les caisses arrivent à 0,80 m/s, près de 3 km/h, avec un risque de glissement, de basculement et de choc à l'arrivée, sans compter l'usure des motorisations. La seconde ne change rien à la vitesse : elle demande seulement d'alimenter la ligne plus densément, ce qui est un réglage d'organisation, pas de mécanique. **La seconde solution est préférable**, à condition que 38 cm soit compatible avec la taille des caisses et laisse au contrôleur le temps de traiter chacune d'elles — c'est la vraie limite : 40 caisses par minute ne laissent que 1,5 s par caisse.

Exercice 3-13 — Mesurer le vent avec un anémomètre à coupelles**Contexte : Énergie — étude d'implantation**

Avant d'implanter une petite éolienne, on installe un mât de mesure équipé d'un **anémomètre à coupelles**. Trois coupelles fixées à des bras de 9 cm tournent autour d'un axe vertical, d'autant plus vite que le vent est fort. Le constructeur indique que la vitesse du vent vaut environ **2,5 fois** la vitesse des coupelles (facteur d'étalonnage propre à l'appareil). L'éolienne envisagée démarre à partir d'un vent de 3 m/s. Un relevé donne une vitesse de rotation de 120 tr/min.



Vue de dessus de l'anémomètre. Les coupelles décrivent un cercle de **diamètre** 18 cm : c'est le double du bras, et c'est le piège de l'exercice, la relation $v = \pi d n$ réclamant un diamètre, pas un rayon.

1. Calculer la fréquence de rotation, en tr/s, et la période de rotation des coupelles.
2. Calculer la vitesse d'une coupelle, en m/s.
3. En déduire la vitesse du vent, en m/s puis en km/h.
4. L'éolienne démarrerait-elle dans ces conditions ? Justifier.
5. Déterminer la vitesse de rotation minimale des coupelles, en tr/min, à partir de laquelle l'éolienne démarrerait.
6. Citer deux raisons pour lesquelles la valeur obtenue à la question 3 ne doit être considérée que comme une estimation.

Correction de l'exercice 3-13

1. $n = \frac{120}{60} = 2 \text{ tr/s}$ et $T = \frac{1}{2} = 0,50 \text{ s}$.

2. Le rayon vaut 9 cm, donc le diamètre du cercle décrit vaut $d = 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$. Alors $v = \pi \times 0,18 \times 2 \approx 1,13 \text{ m/s}$.

3. $v_{\text{vent}} = 2,5 \times 1,13 \approx 2,83 \text{ m/s}$, soit $2,83 \times 3,6 \approx 10,2 \text{ km/h}$, une brise légère.

4. **Non** : 2,83 m/s est inférieur au seuil de démarrage de 3 m/s. L'éolienne resterait à l'arrêt — et il s'en faut de peu, moins de 6 %, ce qui montre l'intérêt d'une campagne de mesure sur plusieurs mois avant toute implantation.

5. Il faut que les coupelles atteignent $v = \frac{3}{2,5} = 1,2 \text{ m/s}$. Alors $n = \frac{1,2}{\pi \times 0,18} \approx \frac{1,2}{0,565} \approx 2,12 \text{ tr/s}$, soit $N \approx 127 \text{ tr/min}$.

6. Deux limites parmi d'autres. (i) Le facteur 2,5 n'est pas une constante universelle : il dépend de la forme et de la taille des coupelles, et doit être vérifié par étalonnage en soufflerie. (ii) Les coupelles ont de l'**inertie** : elles accélèrent vite dans une rafale mais ralentissent lentement quand le vent retombe, si bien que l'appareil **surestime** la vitesse moyenne dans un vent irrégulier. On peut ajouter que la mesure ne donne aucune indication de direction, alors que l'orientation du vent dominant conditionne l'implantation.

Exercice 3-14 — Pourquoi les départs sont-ils décalés sur une piste ?
Contexte : Sport — athlétisme

Une piste d'athlétisme de 400 m est formée de deux lignes droites de 84,39 m et de deux virages en demi-cercle. Sur la ligne de mesure du **couloir 1**, chaque virage a un rayon de 36,80 m. Chaque couloir est large de 1,22 m, si bien que la ligne de mesure du couloir 8 est décalée de sept largeurs de couloir vers l'extérieur.

1. Caractériser la trajectoire d'un coureur dans une ligne droite, puis dans un virage. Comment qualifier sa trajectoire sur un tour complet ?
2. Les deux virages mis bout à bout forment un cercle complet. Calculer la longueur totale des virages du couloir 1, puis vérifier que le tour mesure bien 400 m.
3. Déterminer le rayon de la ligne de mesure du couloir 8, puis la longueur totale de ses virages.
4. En déduire de combien de mètres le couloir 8 est plus long que le couloir 1 sur un tour complet.
5. Deux athlètes courent tous deux à 8,5 m/s, l'un au couloir 1, l'autre au couloir 8, et partent de la même ligne. Calculer la durée du tour de chacun, puis le retard du second.
6. Conclure sur la règle du départ décalé et donner la valeur du décalage à appliquer au couloir 8.

Correction de l'exercice 3-14

1. Dans une ligne droite, la trajectoire est **rectiligne** ; dans un virage en demi-cercle, elle est **circulaire**. Sur un tour complet, elle n'est ni l'une ni l'autre : c'est une trajectoire **curviligne**, formée de portions droites et de portions de cercle.
2. Les deux demi-cercles forment un cercle de rayon 36,80 m, de longueur $2\pi R = 2\pi \times 36,80 \approx 231,22$ m. Tour complet : $231,22 + 2 \times 84,39 = 231,22 + 168,78 = 400,00$ m : la piste mesure bien 400 m.
3. $R_8 = 36,80 + 7 \times 1,22 = 36,80 + 8,54 = 45,34$ m. Longueur des virages : $2\pi \times 45,34 \approx 284,88$ m.
4. Les lignes droites sont identiques pour tous les couloirs ; seul l'écart des virages compte : $284,88 - 231,22 = 53,66$ m. Un tour au couloir 8 mesure donc environ 453,7 m contre 400,0 m au couloir 1.
5. Couloir 1 : $\Delta t = \frac{400,00}{8,5} \approx 47,06$ s. Couloir 8 : $\Delta t = \frac{453,66}{8,5} \approx 53,37$ s. Retard : $53,37 - 47,06 \approx 6,31$ s, un écart énorme alors que les deux athlètes courent exactement à la même vitesse.
6. Partir de la même ligne pénaliserait lourdement les couloirs extérieurs, sans aucun rapport avec la valeur des athlètes. On décale donc les départs pour que chacun parcoure la même distance : le coureur du couloir 8 part 53,66 m **en avant** de celui du couloir 1, soit environ 53,7 m.

Exercice 3-15 — Distance d'arrêt : ce que la vitesse change vraiment
Contexte : Sécurité routière

La **distance d'arrêt** d'un véhicule est la somme de deux distances : celle parcourue pendant le **temps de réaction** du conducteur, pendant lequel le véhicule roule sans ralentir, et celle parcourue pendant le **freinage** proprement dit. On retient un temps de réaction de 1,0 s pour un conducteur attentif. Les distances de freinage ci-dessous sont des valeurs usuelles sur chaussée sèche.

Vitesse	Distance de freinage (chaussée sèche)
90 km/h	40 m
130 km/h	84 m

Sur autoroute, les bandes blanches tracées le long de la bande d'arrêt d'urgence sont espacées de 39 m : la règle dite « des deux traits » correspond donc à environ 78 m.

1. Convertir les deux vitesses en m/s.
2. Calculer, pour chaque vitesse, la distance parcourue pendant le temps de réaction, puis la distance d'arrêt totale.
3. Un conducteur roulant à 130 km/h aperçoit un obstacle immobile 78 m devant lui. Peut-il s'arrêter à temps ? Et à 90 km/h ?
4. Ce résultat signifie-t-il que la règle des deux traits est inutile ? Expliquer ce dont elle protège réellement.
5. Un conducteur consulte son téléphone pendant 2,0 s à 130 km/h. Calculer la distance parcourue sans regarder la route et la comparer aux 78 m précédents.
6. La vitesse passe de 90 à 130 km/h, soit environ 1,4 fois plus. Comparer le facteur d'augmentation de la distance de réaction et celui de la distance de freinage. Que peut-on en conclure ?

Correction de l'exercice 3-15

1. $\frac{90}{3,6} = 25,0 \text{ m/s}$ et $\frac{130}{3,6} \approx 36,1 \text{ m/s}$.
2. Distance de réaction : $d = v \times \Delta t$ avec $\Delta t = 1,0 \text{ s}$. À 90 km/h : $25,0 \times 1,0 = 25 \text{ m}$, donc distance d'arrêt $25 + 40 = 65 \text{ m}$. À 130 km/h : $36,1 \times 1,0 \approx 36 \text{ m}$, donc distance d'arrêt $36 + 84 = 120 \text{ m}$.
3. À 130 km/h, la distance d'arrêt (120 m) dépasse largement les 78 m disponibles : **le choc est inévitable**, et il se produirait encore à vitesse élevée. À 90 km/h, 65 m suffisent : **le véhicule s'arrête à temps**, avec une marge de 13 m.
4. Non, elle n'est pas inutile : elle ne protège simplement pas du même danger. Face à un **obstacle immobile**, c'est la distance d'arrêt qui compte. Face au **véhicule qui précède**, celui-ci freine lui aussi et parcourt à son tour une distance de freinage : il suffit alors de disposer de l'écart correspondant au temps de réaction, soit environ 36 m à 130 km/h. Les 78 m de la règle des deux traits offrent donc une marge confortable dans ce cas — mais ne dispensent jamais de regarder loin devant.
5. $d = 36,1 \times 2,0 \approx 72 \text{ m}$ parcourus à l'aveugle, soit presque exactement l'écart des deux traits : un simple coup d'œil au téléphone consomme toute la distance de sécurité réglementaire.
6. Distance de réaction : de 25 m à 36 m, soit $\frac{36}{25} \approx 1,4$, **le même facteur que la vitesse** — logique, puisque $d = v \times \Delta t$ avec Δt fixe : elle est proportionnelle à la vitesse. Distance de freinage : de 40 m à 84 m, soit $\frac{84}{40} = 2,1$, **bien plus que 1,4**. La distance de freinage n'est donc **pas proportionnelle** à la vitesse : elle augmente beaucoup plus vite qu'elle. C'est pourquoi une vitesse « à peine plus élevée » se traduit par une distance d'arrêt presque doublée (65 m contre 120 m), et par un choc bien plus violent.

Bilan des compétences travaillées

Les numéros signalent les exercices principaux pour chaque capacité.

Capacité	Exercices principaux
Délimiter un système, choisir un référentiel et décrire la relativité du mouvement	1-1, 1-11, 1-12, 2-11, 2-13, 3-7
Nommer et caractériser la trajectoire d'un point	1-2, 1-11, 1-12, 2-1, 3-14
Calculer une vitesse moyenne et convertir des unités	1-3, 1-5, 1-10, 1-13, 1-15, 2-2, 2-5, 2-8, 2-9, 2-14, 3-6, 3-15
Exploiter une chronophotographie ou un graphique	1-4, 2-1, 2-4, 2-8, 3-6, 3-11
Déterminer expérimentalement une vitesse moyenne ou une fréquence de rotation	2-2, 2-6
Calculer une fréquence de rotation et une période	1-7, 1-14, 2-6, 2-12, 2-13, 2-15, 3-1, 3-3, 3-8, 3-9, 3-10, 3-13
Utiliser la relation $v = \pi \times d \times n$	1-8, 1-9, 2-6, 2-7, 2-12, 2-13, 3-1, 3-3, 3-5, 3-8, 3-9, 3-10, 3-12, 3-13