

Chapitre 5 — Mouvement et trajectoire

Physique-chimie ■ Seconde Bac Pro ■ 15 exercices d'approfondissement

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

Rappel de cours

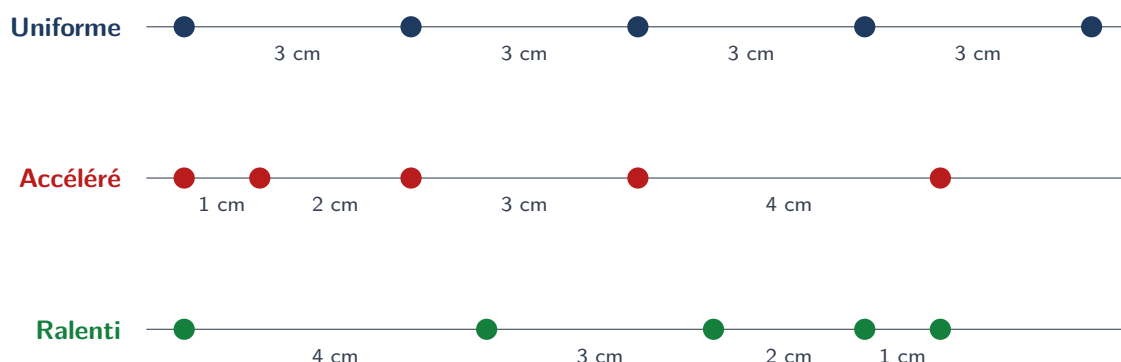
On **délimite** d'abord le système — l'objet étudié — et le point que l'on suit. Le **référentiel** est l'objet de référence choisi pour décrire le mouvement de ce point : un même point peut être en mouvement dans l'un et immobile dans un autre.

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 d'approfondissement

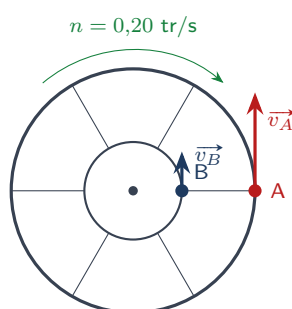
Série 3 — plusieurs étapes, un choix à justifier, ou une erreur à repérer.

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

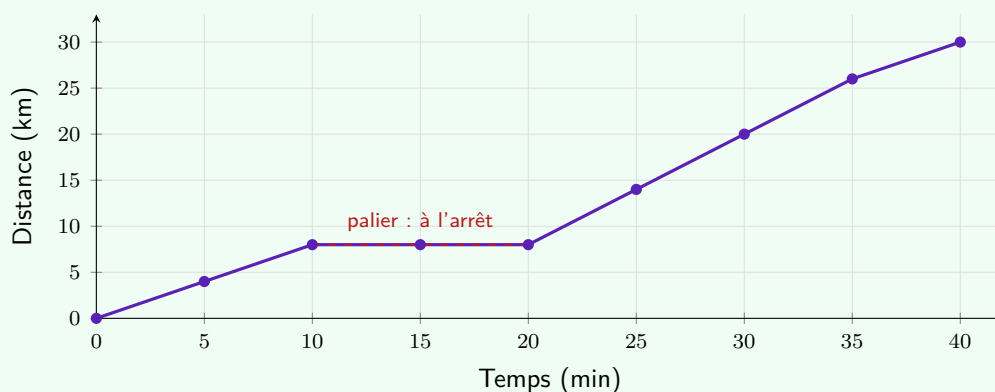
Le tableau donne la distance parcourue par un utilitaire de livraison en fonction du temps.

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 $R_T = 6371\text{ km}$.

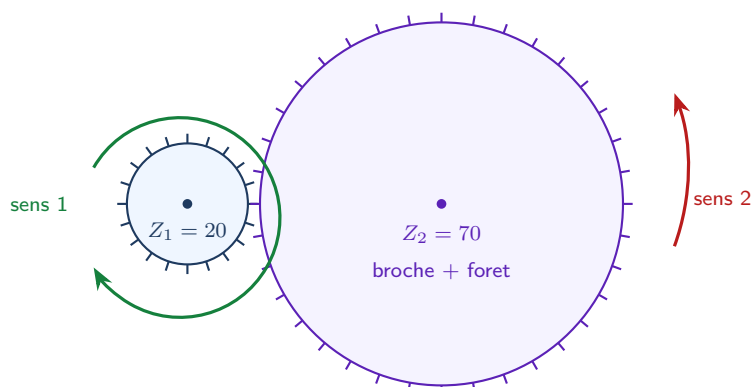
1. Dans quel référentiel étudie-t-on le mouvement du satellite ? Quelle est sa trajectoire ?
2. Calculer le rayon de l'orbite du satellite : $r = R_T + h$.
3. Calculer la circonférence de l'orbite.
4. Calculer la vitesse du satellite en km/h, puis en km/s.
5. Le satellite est-il immobile dans le référentiel 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 $N_1 = 2800 \text{ tr/min}$. 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 $d = 10 \text{ mm}$ 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. $N_2 = 2800 \times \frac{20}{70} = 800 \text{ tr/min}$.
2. $n_2 = \frac{800}{60} \approx 13,3 \text{ tr/s}$.
3. $v = \pi \times d \times n_2 = \pi \times 0,010 \times 13,3 \approx 0,42 \text{ m/s}$, soit $0,42 \times 60 \approx 25,1 \text{ m/min}$.
4. $25,1 \text{ m/min}$ 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.

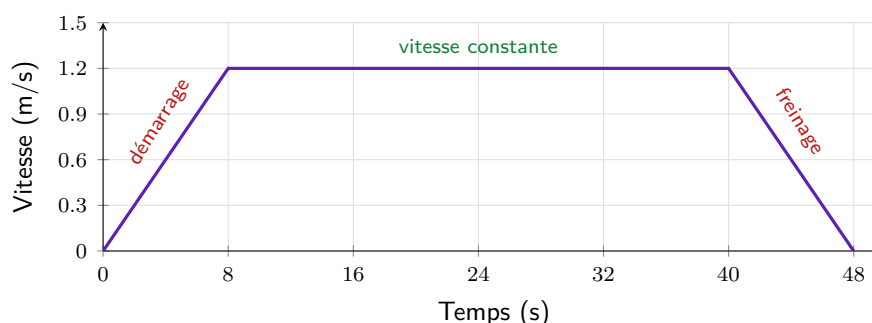


Diagramme de la vitesse en fonction du temps. Une portion montante signale un mouvement accéléré, une portion horizontale un mouvement uniforme, une portion descendante un mouvement ralenti. Ce n'est pas la trajectoire du chariot : celle-ci est une ligne droite.

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.

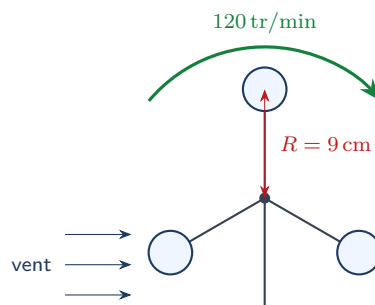
Alors $n = \frac{0,80}{\pi \times 0,080} \approx \frac{0,80}{0,251} \approx 3,18$ tr/s, soit $N \approx 191$ tr/min. Il faut donc multiplier la vitesse de rotation par environ 3,2, ce qui est cohérent avec le rapport des cadences : $40 \div 12,6 \approx 3,2$.

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.