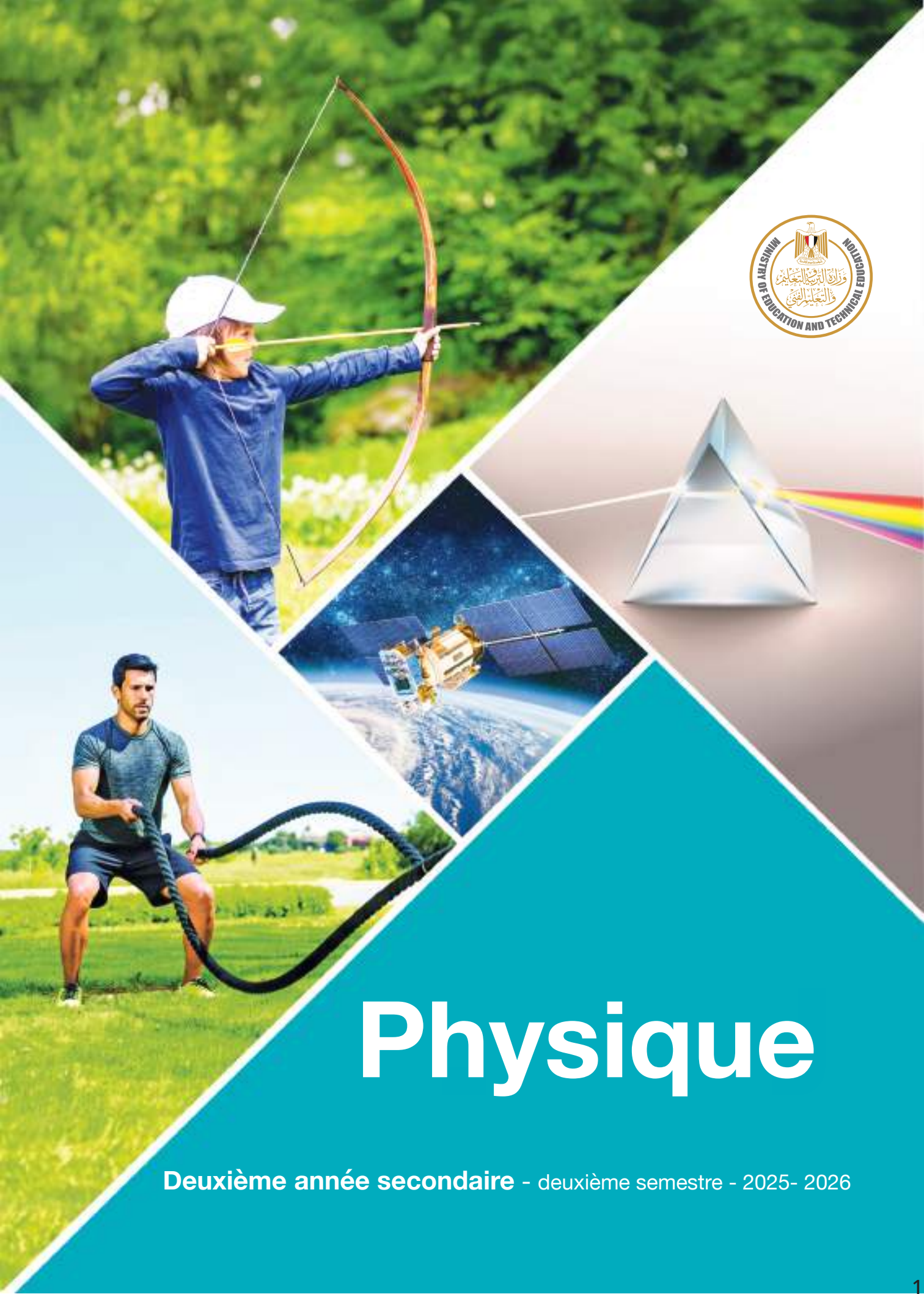




# Physique

Deuxième année secondaire - deuxième semestre - 2025- 2026



# Physique

Deuxième année secondaire - deuxième semestre - 2025- 2026

## Préparé par

Professeur Dr. Mohamed

Sameh Said, Prof. Karima

Abdel Aleem Sayed Ahmed

Professeur Dr. Mostafa Kamal Mohamed Youssef,

Dr. Mostafa Mohamed El-Sayed Mohamed

## Comité de révision

M. Yousry Fouad Sawiris

M. Said Mohamed Ali

M. Mohamed Sayed Mohamed

M. Abdalla Moustafa Mohamed

M. Magdy Fathy

M. Ayman Shawky

M. Ahmed Riyad Abu El-Saud

## Comité de traduction

Mme / Caroline Saïd Azer

Mme / Chérine Heshmat Abdel Hakam

Mme / Sahar Sayed Badawy

## Participation à la révision et au développement



**GPS** Gestion du contenu éducatif au sein de l'entreprise

## Conseiller en sciences

Dr. Aziza Ragab Khalifa

## Supervision générale

Dr. Akram Hassan Mohamed

Assistant du ministre chargé du développement des programmes scolaires

Superviseur de l'Administration centrale du développement des programmes scolaires

# Introduction

Ce livre constitue l'un des piliers du programme développé en physique pour la classe de seconde, aux côtés des activités et des exercices. Il contribue à atteindre les objectifs du processus de développement des programmes afin de relever les défis du XXI<sup>e</sup> siècle, en phase avec le début d'une révolution accélérée dans le domaine de l'information et des technologies de communication.

Le programme vise à réaliser les orientations suivantes :

- Mettre en valeur la relation entre la science et la technologie dans le domaine de la physique et leurs répercussions sur le développement.
- Insister sur la pratique par les élèves d'un comportement conscient et efficace vis-à-vis de l'utilisation des produits technologiques.
- Permettre aux élèves d'acquérir une méthodologie de pensée scientifique, leur ouvrant ainsi la voie vers un apprentissage autonome, agréable et stimulant.
- Encourager les élèves à recourir à l'exploration pour accéder à l'information et acquérir davantage d'expériences.
- Offrir l'opportunité de pratiquer les responsabilités citoyennes à travers des méthodes d'apprentissage autonome, le travail en équipe pour négocier, convaincre, accepter les opinions des autres, éviter le fanatisme et rejeter l'extrémisme.
- Développer les compétences de vie en renforçant l'intérêt pour l'aspect pratique et appliqué.
- Favoriser des attitudes positives envers l'utilisation des ressources environnementales et la préservation de l'équilibre écologique, aux niveaux local et mondial.

Ce livre contient un ensemble d'unités intégrées qui permettent d'atteindre les objectifs escomptés de chacune, à savoir :

1. Le travail et l'énergie dans notre vie quotidienne.
2. Les ondes.
3. Le mouvement circulaire.

Nous implorons Dieu Tout-Puissant que ce livre soit source de bénéfice, et nous Lui demandons qu'il soit l'une des pierres que nous posons dans le sanctuaire de l'amour de la patrie et de l'appartenance à celle-ci. Dieu est le garant de notre intention et Il guide vers le droit chemin.

**Les auteurs**

# Contenu

## Unité 1

Page

**Le travail et l'énergie dans notre vie quotidienne**

**Chapitre un : Le travail et l'énergie,** 6



## Unité 2

**Les ondes**

**Chapitre deux : Le mouvement ondulatoire.** 31

**Chapitre trois : La lumière.** 48



## Unité 3

**Le mouvement circulaire**

**Chapitre quatre : Les Lois du mouvement circulaire.** 78

**Chapitre cinq : La gravitation universelle et Le mouvement circulaire.** 93





Unité  
**Un**

# Le travail et l'énergie dans notre vie quotidienne

► Chapitre 1 : Le travail et l'énergie.



Chapitre  
**Un**

Le travail et l'énergie.



## Résultats d'apprentissage attendus

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

1. Expliquer la signification scientifique du concept de travail.
2. Dédire que le travail est une grandeur scalaire (non vectorielle).
3. Dédire les unités de mesure de l'énergie.
4. Conclure que l'énergie potentielle est un travail effectué qui a été transformé en énergie stockée.
5. Identifier les relations mathématiques (formules) de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle.
6. Comparer l'énergie cinétique et l'énergie potentielle.
7. Appliquer les variations d'énergie potentielle et cinétique lorsqu'un objet est lancé vers le haut, en considérant cela comme un exemple de la loi de conservation de l'énergie.

Appliquer la loi de conservation de l'énergie à des exemples de la vie quotidienne. tirés de la vie pratique.

## Termes du chapitre

- Travail
- Énergie
- Énergie cinétique
- Énergie potentielle
- Loi de conservation de l'énergie

## Introduction

L'énergie existe dans la nature sous plusieurs formes différentes, telles que l'énergie thermique, l'énergie chimique, l'énergie mécanique, etc.

Et cette énergie peut être transformée d'une forme à une autre, alors qu'entend-on par énergie ?

Et quel est son lien avec le travail effectué ?



Figure (1)

## Travail Travail

Le concept du travail en physique diffère de sa signification dans notre vie quotidienne. Dans la vie quotidienne, le travail peut désigner une activité mentale ou physique dans laquelle une personne déploie des efforts pour atteindre un certain objectif.

Mais en physique, pour qu'un travail soit effectué sur un objet, une **force** doit agir sur cet objet et celui-ci doit se **déplacer** sous l'effet de cette force. Si l'objet ne bouge pas, alors aucun travail n'est effectué quelle que soit l'intensité de la force exercée sur l'objet.

**Autrement dit, il existe deux conditions nécessaires pour qu'un travail existe (d'un point de vue physique) :**

- ① Qu'une force spécifique agisse sur l'objet.
- ② Que l'objet effectue un déplacement spécifique dans la même direction que la force.



Figure (2)

La figure (3) montre un exemple de travail :



Figure (3)

Le joueur fait un effort pour soulever les poids du sol.



Le travail effectué ( $W$ ) par une force ( $F$ ) sur un objet pour le déplacer d'une distance ( $d$ ) le long de la ligne d'action de la force est calculé par le produit scalaire à l'aide de la relation:

(1)

$$W = F \cdot d$$

Étant donné que la force et le déplacement sont tous deux des grandeurs vectorielles, leur produit scalaire donne une grandeur scalaire (travail), ce qui signifie que le travail n'est pas une grandeur vectorielle. Par exemple, lorsque vous tondez une pelouse plate, la direction dans laquelle la tondeuse se déplace n'a pas d'importance ; tondre une pelouse sur 5 m vers l'est demande le même travail que sur 5 m vers le sud.

Le travail est mesuré en newton-mètre (N.m), et cette unité est appelée le joule (J), en l'honneur du scientifique James Joule. La formule dimensionnelle du travail est  $ML^2T^{-2}$ .

**Le joule :** est le travail effectué par une force d'un newton pour déplacer un objet d'un mètre dans la direction de la force.

Si une force ( $F$ ) agit sur un objet et le déplace d'une distance ( $d$ ) telle que la direction de la force forme un angle ( $\theta$ ) avec la direction du déplacement, le vecteur force se décompose en deux composantes perpendiculaires. La composante de la force agissant dans la direction du déplacement de l'objet est responsable du travail effectué, comme le montre la figure (6), et le travail effectué est donné par la relation :

$$W = (F \cos \theta) (d)$$

(2)

$$W = Fd \cos \theta$$

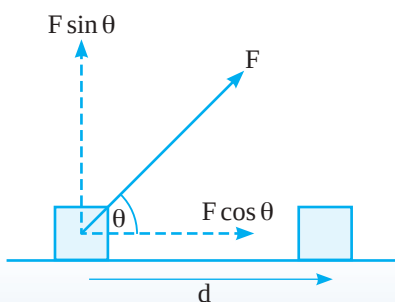


Figure (6b)



Figure (6a)



Figure (4)

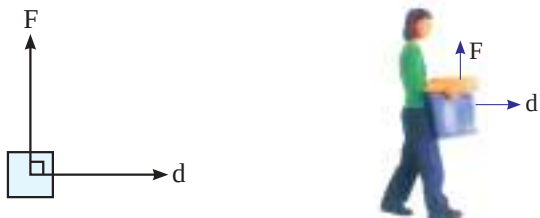
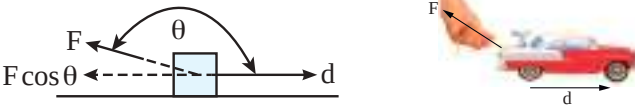


Figure (5)

Un enfant travaille



D'après l'équation précédente, il est clair que le travail peut être positif, négatif ou nul, comme le montre le tableau suivant :

| Angle $\theta$                     | Travail                                                                                                    | Exemples                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$   | Positif<br>(La force ou l'une de ses composantes agit dans la direction du déplacement de l'objet)         | Tirer un objet<br>                                                                               |
| $\theta = 90^\circ$                | Zero<br>(La force est perpendiculaire à la direction du déplacement de l'objet)                            | Mouvement horizontal d'un objet transporté<br>                                                   |
| $180^\circ \geq \theta > 90^\circ$ | Négatif<br>(La force ou l'une de ses composantes agit dans le sens opposé à celui du déplacement du corps) | Une personne tente de tirer un objet avec une force opposée à sa direction de déplacement.<br> |

### Exemple 1

Une boîte d'une masse de 20 kg se déplace sous l'effet d'une force de tension de 50 N formant un angle de  $60^\circ$  avec la direction du mouvement, comme le montre la figure. **Calculez** le travail effectué par la force de tension si la boîte se déplace de 4 m.

#### **Solution**

$$F = 50 \text{ N} \quad , \quad d = 4 \text{ m} \quad , \quad \theta = 60^\circ$$

$$W = Fd \cos \theta = (50)(4)(\cos 60) = 100 \text{ J}$$

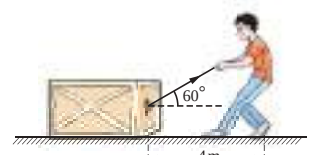


Figure (7)

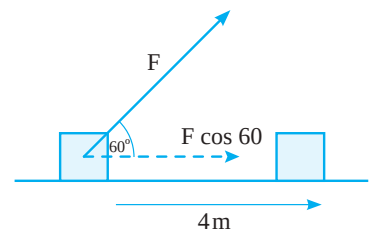


Figure (8)

Quoi ?  
si

Si l'angle entre les directions de la force de tension et du déplacement diminue alors que leurs amplitudes restent constantes, le travail effectué sur la boîte par la force de tension augmente-t-il ou diminue-t-il ?

## Exemple 2

**Calculez** le travail effectué sur un seau d'une masse de 300 g porté par une fille qui le déplace sur une distance de 10 m dans le sens horizontal, **puis calculez** le travail effectué par un garçon pour soulever un seau de même masse sur une distance de 10 cm dans le sens vertical ( $g = 10^{\text{m/s}^2}$ ).

### ☛ Solution

\* Le travail effectué par la jeune fille sur le seau :

Comme la force avec laquelle la fille porte le seau est perpendiculaire au déplacement, le travail est égal à zéro.

\* Le travail effectué par le garçon pour soulever le seau :

Calcul de la force :

$$F = mg = \frac{300}{1000} \times 10 = 3 \text{ N}$$

Calcul du travail :

$$W = Fd \cos \theta$$

Et comme la force agissant sur le seau et son déplacement sont dans la même direction, l'angle ( $\theta$ ) est égal à zéro.

$$W = 3 \times \frac{10}{100} \times \cos 0 = 0,3 \text{ J}$$



Figure (9)

Le travail peut également être représenté graphiquement à l'aide de la courbe (force-déplacement) illustrée dans la figure ci-contre, où la ligne droite représente une force constante en amplitude et en direction ( $F$ ) agissant sur un corps, provoquant un déplacement ( $d$ ) dans la même direction que la force agissante. En se référant à la définition du travail, lorsque ( $\theta = 0$ ), alors :

Travail = force  $\times$  déplacement = longueur  $\times$  largeur  
= l'aire sous la courbe (force-déplacement)

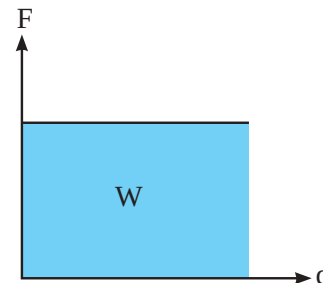


Figure (10)

Le travail est égal à l'aire sous la ligne droite.

## Des scientifiques qui ont servi l'humanité:

**James Joule (1818 - 1889 après J.-C.)** : Il était un scientifique anglais qui fut parmi les premiers à comprendre que le travail produit de la chaleur. Dans l'une de ses expériences, il a découvert que la température de l'eau au pied d'une cascade est plus élevée qu'au sommet, prouvant ainsi qu'une partie de l'énergie de l'eau qui tombe est convertie en chaleur.



Figure (11)  
James Joule

## Énergie Énergie

Si un corps est capable d'effectuer un travail, alors il possède de l'énergie. En termes plus simples, l'énergie d'un corps est sa capacité à effectuer un travail, donc les unités d'énergie sont les mêmes que celles du travail, y compris le joule.

Nous aborderons ci-dessous en détail deux des formes d'énergie les plus importantes : l'énergie cinétique et l'énergie potentielle.

### Énergie cinétique ( $E_c$ )

Lorsqu'une force ( $F$ ) agit sur un corps immobile de masse ( $m$ ) et le déplace ( $d$ ) dans la même direction, le travail ( $Fd$ ) effectué sur le corps est converti en une forme d'énergie appelée énergie cinétique ( $E_c$ ).



Figure (12)

#### Exemples d'énergie cinétique

En général, l'énergie cinétique d'un corps ayant une vitesse ( $v$ ) peut être calculée à partir de l'équation suivante :

(3)

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

D'après l'équation précédente, il est clair que l'énergie cinétique est directement proportionnelle à la masse du corps et au carré de sa vitesse.

L'unité de mesure de l'énergie cinétique est le joule, et sa formule dimensionnelle est  $ML^2T^{-2}$ .

#### Exemple

**Calculez** l'énergie cinétique d'une voiture d'une masse de 2000 kg se déplaçant à une vitesse de 72 km/h.

#### ☛ Solution

Calcul de la vitesse en (m/s):

$$v = \frac{72 \times 1000}{60 \times 60} = 20 \text{ m/s}$$

Calcul de l'énergie cinétique :

$$KE = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (2000) (20)^2 = 400000 \text{ J} = 4 \times 10^5 \text{ J}$$





### Applications concrètes

Lors de l'arrêt d'une voiture de masse ( $m$ ) se déplaçant à une vitesse ( $v$ ) en appuyant sur les freins, la voiture subit une force ( $F$ ) et se déplace d'une distance ( $d$ ) entre le moment où l'on appuie sur les freins jusqu'elle s'arrête. D'après l'équation ( $Fd = \frac{1}{2} mv^2$ ), il est clair que le travail effectué pour arrêter la voiture est directement proportionnel au carré de sa vitesse ( $v^2$ ). Ainsi, si une voiture roule à une vitesse de 60 km/h et qu'elle doit être arrêtée en appuyant sur la pédale de frein avec une certaine force, elle glissera sur une distance quatre fois supérieure à celle qu'elle aurait parcourue si elle roulait à 30 km/h avant de s'arrêter.



Figure (13)



### Informations complémentaires (à titre indicatif uniquement)

\* Calculer l'énergie cinétique d'un corps :

D'après vos études en mathématiques (mécanique), en supposant qu'une voiture se déplace en ligne droite à partir du repos avec une accélération constante ( $a$ ), alors :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad$$

Où :  $v_i$  est la vitesse initiale = zéro,  $v_f$  est la vitesse finale.

$$\therefore v_f^2 = 2ad \Rightarrow d = \frac{v_f^2}{2a}$$

En multipliant les deux côtés de l'équation précédente par ( $F$ ), qui est la force agissant sur la voiture pendant son mouvement, on obtient :

$$Fd = \frac{1}{2} \frac{F}{a} v_f^2$$

Et d'après la deuxième loi de Newton :

$$m = \frac{F}{a}$$

Et à partir des deux relations précédentes :

(4)

$$Fd = \frac{1}{2} mv_f^2$$

Où la quantité ( $Fd$ ) dans l'équation précédente représente le travail effectué (l'énergie nécessaire pour déplacer la voiture), et le côté droit représente ( $\frac{1}{2} mv_f^2$ ) la forme d'énergie dans laquelle le travail effectué est converti, connue sous le nom d'énergie cinétique (KE).



Figure (14)

Tout objet en mouvement possède une énergie cinétique.

## Expérience pratique visant à déterminer l'énergie cinétique d'un objet en mouvement

### Objectif de l'expérience :

L'énergie cinétique est l'énergie qu'un corps possède en raison de son mouvement, et elle est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$E_c = \text{énergie cinétique} \left( \frac{1}{2} \right) mv^2$$

À partir de la relation précédente, nous concluons que le carré de la vitesse de l'objet est inversement proportionnel à sa masse, lorsque l'énergie cinétique est constante, et c'est ce que nous allons essayer de prouver expérimentalement.

### Matériaux et outils :

- ① Un cavalier de masse  $m$  se déplaçant sur une piste aérienne.
- ② Fil élastique.
- ③ Cellule photoélectrique.
- ④ Horloge électrique ou chronomètre.

### Procédure :

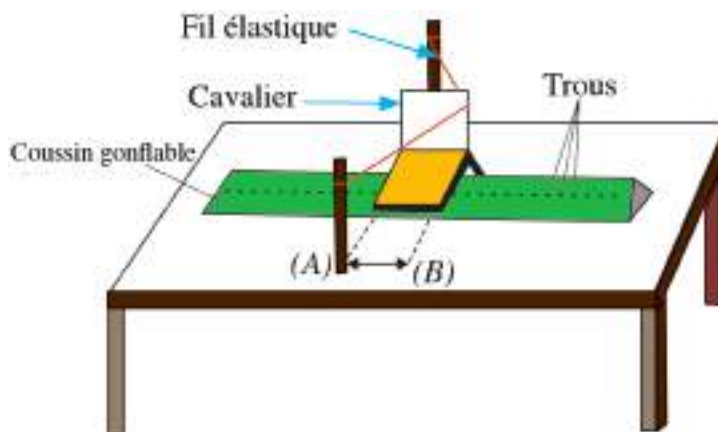


Figure (15)

- ① Déplacez le cavalier du point (A) au point (B) comme indiqué sur le schéma, puis laissez-le revenir à sa position initiale.
- ② Mesurez le temps mis par le cycliste pendant son déplacement sur le coussin gonflable à l'aide de l'horloge électrique reliée à la cellule photoélectrique ou du chronomètre.
- ③ Déterminez la vitesse du cycliste ( $v$ ) en divisant la distance parcourue par le temps (en secondes), puis déterminez la masse du cycliste ( $m$ ) en kilogrammes.
- ④ Répétez plusieurs fois les étapes ② , ③ , en modifiant la masse du cycliste ( $m$ ) et en déterminant la vitesse à laquelle il se déplace à chaque fois (en veillant à

maintenir fixe la distance (AB) parcourue par le cycliste à chaque fois).

⑤ Notez les résultats dans le tableau suivant :

| $v^2$ | $\frac{1}{m}$ | Vitesse $v$ (m/s) | Temps $t$ (s) | Masse du cavalier (kg) $m$ |
|-------|---------------|-------------------|---------------|----------------------------|
| ..... | .....         | .....             | .....         | .....                      |
| ..... | .....         | .....             | .....         | .....                      |
| ..... | .....         | .....             | .....         | .....                      |
| ..... | .....         | .....             | .....         | .....                      |

À l'aide du tableau précédent, tracez un graphique entre le carré de la vitesse ( $v^2$ ) sur l'axe des y et l'inverse de la masse du cycliste ( $\frac{1}{m}$ ) sur l'axe des x.

### Analyse des résultats :

À l'aide du graphique, répondez aux questions suivantes :

- ① Quel est le type de relation entre le carré de la vitesse du cycliste ( $v^2$ ) et sa masse ( $m$ ) ?  
le coussin gonflable
- ② Que représente la pente de la droite que vous avez obtenue ?
- ③ Calculez l'énergie cinétique du cycliste ( $E_c$ ) à partir du graphique.
- ④ Quelle est l'unité de mesure de l'énergie cinétique ?

## Énergie potentielle ( $E_p$ )

Les corps peuvent stocker de l'énergie à l'intérieur d'eux-mêmes en raison de leur nouvelle position, et cette énergie est appelée énergie potentielle ( $E_p$ ). Par exemple, comprimer ou étirer un ressort fait que ses composants stockent de l'énergie potentielle (appelée énergie potentielle élastique), puis le ressort fournit un travail pour se débarrasser de cette énergie et revenir à sa position stable.

Un autre exemple est celui d'un objet soulevé au-dessus de la surface de la Terre, qui acquiert une énergie potentielle (appelée énergie potentielle gravitationnelle), laquelle est liée à la position des objets par rapport à la surface de la Terre (c'est-à-dire par rapport au champ gravitationnel).



**Pourquoi les roches érodées s'effondrent-elles ? et tomber ?**



**Pourquoi la corde en caoutchouc tendue bouge-t-elle lorsque la force qui s'exerce sur elle est supprimée ?**



**Pourquoi le ressort comprimé bouge-t-il lorsque la force qui s'exerce sur lui est supprimée ?**

Figure (16)

Si un objet de masse ( $m$ ) est élevé à une hauteur ( $h$ ) au-dessus du sol, cet objet acquiert une énergie potentielle ( $E_p$ ) en raison de sa nouvelle position. Par conséquent, il peut fonctionner si on le laisse tomber. Ainsi, l'énergie potentielle de l'objet dans sa nouvelle position détermine sa capacité à effectuer un travail, c'est-à-dire que le travail effectué sur l'objet pour l'élever à un certain point = l' e son énergie potentielle à ce point.

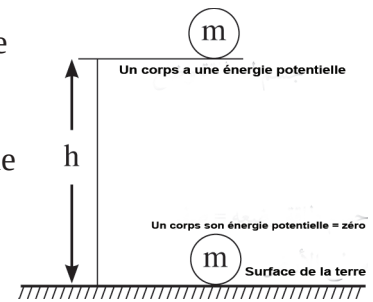
$$E_p = W = Fh$$

Et puisque la force minimale ( $F$ ) nécessaire pour soulever l'objet vers le haut est égale à son poids ( $mg$ ), alors :

(5)

$$E_p = Fh = (mg) (h) = mgh$$

L'unité de mesure de l'énergie potentielle est le joule, et sa formule dimensionnelle est  $ML^2T^{-2}$ .



**Figure (17)**

**Soulever un corps de masse ( $m$ ) à une hauteur ( $h$ )**



### Applications concrètes

Pour soulever une boîte afin de la placer dans une voiture, il faut fournir un effort physique. Par exemple, dans la figure (18), nous avons besoin d'une force de 450 N pour soulever la boîte à une hauteur de 1 m à la verticale. La même caisse peut être soulevée avec une force moindre, équivalente à 150 N, à l'aide d'un plan incliné lisse, mais cela nécessitera un déplacement plus important de 3 m.



**Figure (19)**

**L'utilisation du plan incliné nécessite une force inférieure au poids de la boîte pour la soulever, mais cette force doit agir sur une plus grande distance.**

$$W = 150 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 450 \text{ J}$$



**Figure (18)**

**Pour soulever la boîte verticalement vers le haut, il faut exercer une force égale au poids de la boîte, et le travail effectué est**

$$W = 450 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 450 \text{ J}$$



## Comparaison entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle gravitationnelle d'un objet:

| Aspect de comparaison         | Énergie cinétique                                                                                                               | Énergie potentielle gravitationnelle                                                                                                                                            |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Définition</b>             | C'est l'énergie qu'un objet possède en raison de son mouvement.                                                                 | C'est l'énergie qu'un objet possède en raison de sa position.                                                                                                                   |
| <b>Relation mathématique</b>  | $E_c = \text{énergie cinétique} \left( \frac{1}{2} \right) mv^2$                                                                | $E_p = mgh$                                                                                                                                                                     |
| <b>Facteurs d'influence</b>   | Il est directement proportionnel à chacun des éléments suivants :<br>- La masse de l'objet (m).<br>- La vitesse de l'objet (v). | Il est directement proportionnel à chacun des éléments suivants :<br>- La masse de l'objet (m).<br>- La hauteur au-dessus du sol (h).<br>- L'accélération due à la gravité (g). |
| <b>Unité de mesure</b>        | Joule                                                                                                                           | Joule                                                                                                                                                                           |
| <b>Formule dimensionnelle</b> | $ML^2T^{-2}$                                                                                                                    | $ML^2T^{-2}$                                                                                                                                                                    |

### La physique au service de l'environnement :

La plupart des énergies utilisées par les humains proviennent de sources d'énergie non renouvelables telles que le charbon et le pétrole. L'utilisation de la plupart des sources d'énergie non renouvelables produit de nombreuses substances nocives pour l'environnement et la santé humaine. Il existe donc une tendance mondiale à utiliser des sources naturelles propres pour produire de l'énergie tout en préservant l'environnement. Par exemple, l'énergie éolienne (énergie cinétique) et les chutes d'eau (énergie potentielle gravitationnelle) sont utilisées pour produire de l'électricité et la convertir en de nombreuses formes d'énergie nécessaires à la vie pratique des êtres humains.



Figure (21)



Figure (20)

### Développer l'esprit critique

Deux filles de même masse font la course pour monter les escaliers. La première fille a monté les escaliers en 5 secondes, et la deuxième fille les a montés en 15 secondes.

- La quantité de travail fournie par les deux filles pour monter les escaliers est-elle différente ?
- Est-ce que cela changerait quelque chose si les masses des deux filles étaient différentes ?



Figure (22)

## Loi de conservation de l'énergie mécanique

Nous avons déjà appris que l'énergie est la capacité d'effectuer un travail, et qu'il existe de nombreuses formes d'énergie. Le charbon, l'essence et d'autres types de carburants contiennent de l'énergie chimique stockée (une forme d'énergie potentielle) qui, après combustion, peut être convertie en travail mécanique, comme on le voit dans le mouvement des voitures, des trains et autres.



Figure (23)

### Transformations énergétiques dans la voiture

De même, l'énergie électrique d'une lampe est convertie en énergie thermique et lumineuse, et l'énergie potentielle d'une cascade est convertie en énergie cinétique. Il existe de nombreux exemples de conversion d'énergie d'une forme à une autre, et ces transformations sont soumises à la loi de conservation de l'énergie, qui stipule que :

**« L'énergie ne se crée ni ne se détruit, mais elle peut être transformée d'une forme à une autre. »**

## La loi de conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un objet tombe sous l'influence de la seule gravité (en négligeant la résistance de l'air), il est soumis à une force constante égale à son poids et dirigée vers le bas. Le mouvement de cet objet est appelé « chute libre », et l'objet se déplace avec une accélération uniforme appelée accélération de la chute libre ( $g$ ) ou accélération due à la gravité.

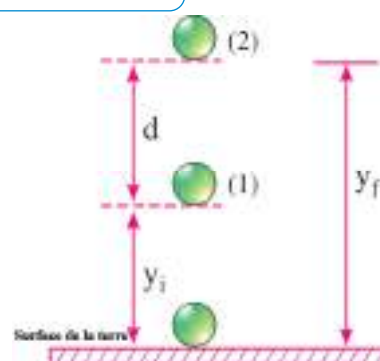


Figure (24)

Dans le cas où un objet de masse ( $m$ ) est lancé vers le haut à l'encontre de la direction de la gravité, et où sa vitesse initiale est ( $v_i$ ) au point (1) et sa vitesse finale est ( $v_f$ ) au point (2) comme dans la figure (24), l'énergie potentielle de l'objet augmente à mesure que la hauteur augmente, tandis que son énergie cinétique diminue à mesure que sa vitesse diminue.

**Et :** La somme des énergies potentielle et cinétique au point (1) = la somme des énergies potentielle et cinétique au point (2).

**C'est-à-dire :**

$$\begin{aligned}(E_p)_f + (E_c)_f &= (E_p)_i + (E_c)_i \\ mgy_f + \frac{1}{2} mv_f^2 &= mgy_i + \frac{1}{2} mv_i^2 \\ mgy_f - mgy_i &= -\left(\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2\right) \\ \textbf{(6)} \quad \Delta E_p &= -\Delta E_c\end{aligned}$$

**C'est-à-dire :** la diminution de l'énergie cinétique = l'augmentation de l'énergie potentielle.

**La loi de conservation de l'énergie mécanique :** Lorsqu'un corps se déplace sous l'influence d'un type particulier de force, telle que la gravité ou la force élastique, la somme des énergies potentielle et cinétique du corps en tout point de sa trajectoire est égale à une valeur constante.

En général, la somme des énergies potentielle et cinétique d'un corps est appelée énergie mécanique.

**Énergie mécanique = énergie potentielle + énergie cinétique = valeur constante**

À partir de la dernière équation, nous concluons que lorsqu'un corps se déplace sous l'influence de la seule gravité, chaque fois que l'énergie cinétique du corps augmente, cela se fait au détriment de l'énergie potentielle, c'est-à-dire que l'énergie potentielle diminue, et vice versa.

### Informations complémentaires (à titre indicatif uniquement)

\* Preuve de la loi de conservation de l'énergie mécanique :

Lorsqu'un corps est projeté verticalement vers le haut, il se déplace avec une accélération uniforme (a), donc :

$$v_f^2 - v_i^2 = 2ad$$

Et comme le corps se déplace vers le haut contre la direction de la gravité, il se déplace avec une accélération négative, c'est-à-dire :

$$a = -g$$

$$v_f^2 - v_i^2 = 2(-g)d$$

$$v_f^2 - v_i^2 = -2gd$$

En multipliant par  $(\frac{1}{2}m)$  et en remplaçant d par la valeur  $(y_f - y_i)$

$$\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = -mg(y_f - y_i)$$

$$\frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = -mgy_f + mgy_i$$

$$mgy_f + \frac{1}{2} mv_f^2 = mgy_i + \frac{1}{2} mv_i^2$$

**(7) ∴**  $(E_p)_f + (E_c)_f = (E_p)_i + (E_c)_i$



**Figure (25)**

L'énergie potentielle augmente avec la hauteur tandis que l'énergie cinétique diminue.

## Expérience pratique pour réaliser la loi de conservation de l'énergie mécanique

### Objectif de l'expérience :

Vérifier que la somme des énergies potentielle et cinétique d'un corps se déplaçant sous l'influence de la gravité en tout point de sa trajectoire est égale à une valeur constante appelée énergie mécanique.

### Matériaux et outils :

- ① Balle de tennis.
- ② Balance numérique.
- ③ Ruban adhésif.
- ④ chronomètre.
- ⑤ Mètre ruban.

### Procédure :

- ① Déterminez la masse de la balle de tennis à l'aide de la balance numérique en grammes, puis convertissez-la en kilogrammes.  
 $m = \dots\dots\dots g = \dots\dots\dots kg$
- ② Collez des morceaux de ruban adhésif sur le mur à une hauteur de (2,5 m , 2 m , 1 m)
- ③ Tenez la balle de tennis à une hauteur d'un mètre au-dessus du sol ( $h = 1$  m), puis laissez-la tomber au sol et déterminez le temps qu'il lui faut pour atteindre le sol.
- ④ Répétez plusieurs fois la tentative précédente.
- ⑤ Répétez les étapes ③ , ④ pour les autres hauteurs(2 m , 2,5 m) plusieurs fois.
- ⑥ Enregistrez les résultats obtenus dans le tableau suivant :

### Résultats :

| h (m)<br>Hauteur | Temps t (s)           |                    |                     |         |
|------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------|
|                  | La première tentative | Deuxième tentative | Troisième tentative | Moyenne |
| 1                | .....                 | .....              | .....               | .....   |
| 2                | .....                 | .....              | .....               | .....   |
| 2,5              | .....                 | .....              | .....               | .....   |
| 1                | .....                 | .....              | .....               | .....   |
| 2                | .....                 | .....              | .....               | .....   |
| 2,5              | .....                 | .....              | .....               | .....   |

- ① Calculez l'énergie potentielle (EP) à différentes hauteurs à l'aide de la relation suivante :

$$PE = mgh$$

$$\text{En notant que } g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

- ② Étant donné que la balle est tombée à partir d'une position de repos, la vitesse initiale  $v_i$  est nulle. La vitesse finale  $v_f$  de la balle au moment où elle touche le sol peut donc être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$v_f = gt$$

- ③ En connaissant  $v_f$ , l'énergie cinétique ( $E_c$ ) de la balle de tennis au moment où elle touche le sol peut être calculée à l'aide de la relation suivante :

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Notez les résultats dans le tableau suivant :

| Hauteur                   | 1 m   | 2 m   | 2,5 m |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| Énergie potentielle $E_p$ | ..... | ..... | ..... |
| Énergie cinétique $E_c$   | ..... | ..... | ..... |

### Analyse des résultats :

- ① En comparant les résultats du tableau pour les deux ( $E_p$ ,  $E_c$ ), que remarquez-vous ?
- ② Les résultats expérimentaux que vous avez obtenus correspondent-ils à vos attentes?
- ③ Si les résultats expérimentaux diffèrent de vos attentes, quelles pourraient en être les raisons ? Et comment peuvent-ils être ajustés ?



### Esprit critique

Imaginez que vous ayez trois trajectoires différentes qu'une balle immobile à la surface de la Terre peut suivre pour atteindre une hauteur fixe. Dans quel chemin le travail effectué pour soulever la balle est-il le plus important ?

- Chemin d'accès a
- Chemin d'accès b
- Chemin d'accès c
- Tous sont égaux.

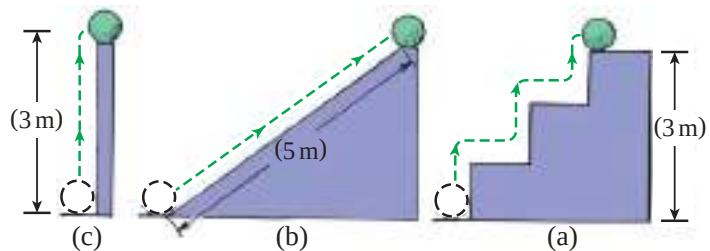


Figure (26)

### Exemple

Un objet immobile situé à une hauteur de 30 m au-dessus du sol possède une énergie potentielle de 1470 J . Si l'objet tombe, en négligeant la résistance de l'air, **calculez :**

- La masse de l'objet.
- L'énergie cinétique et l'énergie potentielle de l'objet à une hauteur de 20 m au-dessus du sol.
- La vitesse de l'objet au moment où il touche le sol ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )

### ☛ Solution

(a) Au point A:

$$E_p = mgh = 1470 \text{ J}$$

$$m \times 9,8 \times 30 = 1470 \text{ J}$$

$$m = 5 \text{ kg}$$

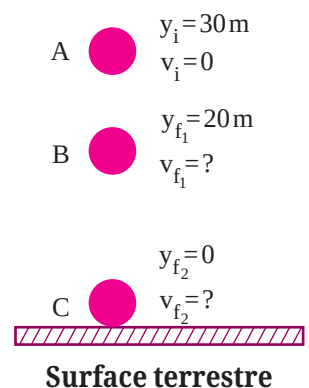


Figure (27)



(b) En appliquant la loi de conservation de l'énergie mécanique aux points B et A:

$$E_{p_f} + E_{c_f} = E_{p_i} + E_{c_i}$$

$$mg y_f + E_{c_f} = E_{p_i} + E_{c_i}$$

$$(5 \times 9,8 \times 20) + E_{c_f} = 1470 + 0$$

$$E_{c_f} = 490 \text{ J}$$

∴ L'énergie cinétique de l'objet à une hauteur de 20 m est de 490 J.

L'énergie potentielle de l'objet à une hauteur de 20 m est :

$$E_{p_f} = 1470 - 490 = 980 \text{ J}$$

Autre méthode :

$$E_{p_f} = mgy_f = 5 \times 9,8 \times 20 = 980 \text{ J}$$

(c) Pour calculer la vitesse de l'objet au moment où il touche le sol :  
En appliquant la loi de conservation de l'énergie mécanique aux points C et A:

$$(5 \times 9,8 \times 30) + 0 = 0 + \left(\frac{1}{2} \times 5 \times v_f^2\right) \quad \therefore v_f = 24,25 \text{ m/s}$$

**Quoi si?**

Si l'objet est lancé verticalement vers le bas à partir de la même hauteur au lieu d'être en chute libre à partir du repos, lesquelles des valeurs calculées dans l'exemple changent-elles ?

### La loi de conservation de l'énergie dans la vie pratique :

Lorsque vous lancez un objet en l'air, vous observez un exemple de la loi de conservation de l'énergie, ou de la transformation mutuelle entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle.

Lorsque nous lançons une balle vers le haut depuis la surface de la Terre, son énergie potentielle est nulle et son énergie cinétique est maximale. Lorsque la balle commence à monter, son énergie potentielle augmente au détriment de son énergie cinétique, et ainsi la transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle se poursuit jusqu'à ce qu'elle atteigne sa hauteur maximale. À ce stade, son énergie cinétique devient nulle, tandis que son énergie potentielle est maximale. Après cela, la balle commence à retomber vers le sol, et son énergie cinétique augmente progressivement à mesure que son énergie potentielle diminue, jusqu'à ce qu'elle atteigne à nouveau la surface de la terre et que son énergie potentielle devienne nulle.



**Figure (28)**

**La transformation mutuelle entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique d'un objet lancé vers le haut**

Il existe de nombreux exemples de transformation de l'énergie cinétique en énergie potentielle ou vice versa, comme le montrent les figures suivantes :



**Figure (31)**  
La transformation mutuelle entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique dans des montagnes russes



**Figure (30)**  
La transformation réciproque entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique lors du tir à l'arc



**Figure (29)**  
La transformation mutuelle entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique lors du saut à la perche en athlétisme

### Développer l'esprit critique

Des dauphins sautant hors de l'eau :

- Quelles sont les transformations d'énergie mécanique qui se produisent entre le début du saut et le retour du dauphin dans l'eau ?
- Peut-on calculer la vitesse d'impact du dauphin avec l'eau après son saut si l'on connaît la hauteur qu'il a atteinte ?
- Proposez une expérience simple pour simuler le saut du dauphin à l'aide d'une petite balle en plastique et d'un récipient profond rempli d'eau.



**Figure (32)**

### Exemple

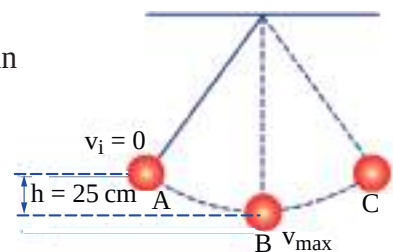
La figure ci-contre montre une balle suspendue à une ficelle, oscillant librement dans un plan vertical défini. Si la masse de la balle est  $m$  et que la résistance de l'air est négligeable, **quelle** est la vitesse maximale atteinte par la balle pendant son mouvement ?

(Sachant que :  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ).

### ☛ Solution

La vitesse maximale atteinte par la balle pendant son mouvement est au point B, et en appliquant la loi de conservation de l'énergie mécanique aux points B et A :

$$\begin{aligned} mgh + 0 &= 0 + \frac{1}{2} mv_f^2 \\ m \times 9,8 \times 25 \times 10^{-2} &= \frac{1}{2} \times m \times v_f^2 \\ v_f &= 2,2 \text{ m/s} \end{aligned}$$



**Figure (33)**

## Conceptions erronées

**Certains pensent** que plus la masse d'une boule qui roule du haut d'un plan incliné lisse est grande, plus sa vitesse en bas du plan est élevée.

**Or,** la vérité est qu'augmenter la masse d'une boule qui roule du haut d'un plan incliné lisse augmente son énergie cinétique en bas du plan, tandis que sa vitesse en bas du plan reste la même que dans le cas initial.

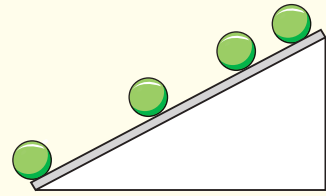


Figure (34)

## Résumé

### Premièrement: Définitions et concepts de base

- Travail : C'est le produit scalaire de la force agissant sur un objet et de son déplacement. Il s'agit d'une grandeur scalaire mesurée en joules (J).
- Joule : Le travail effectué par une force d'un newton pour déplacer un objet d'une distance d'un mètre dans la direction de la force.
- Énergie : C'est la capacité à accomplir un travail.
- Énergie cinétique : C'est l'énergie qu'un corps possède en raison de son mouvement.
- Énergie potentielle : C'est l'énergie qu'un corps possède en raison de sa position, et elle est stockée à l'intérieur de celui-ci.

### Deuxièmement : Lois fondamentales

- Loi de conservation de l'énergie : L'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais elle peut être transformée d'une forme à une autre.
- Loi de conservation de l'énergie mécanique : La somme des énergies potentielle et cinétique d'un corps se déplaçant sous l'influence de la gravité en tout point de sa trajectoire est constante.

### Troisièmement : Relations fondamentales

- Travail effectué :  $W = Fd \cos \theta$
- Énergie cinétique :  $E_c = \frac{1}{2} mv^2$
- Énergie potentielle gravitationnelle :  $E_p = mgh$
- Énergie mécanique :  $E = E_p + E_c$

# Questions et exercices



## Premièrement: Choisissez la bonne réponse.

1. Une personne pousse un chariot transportant des boîtes, et les forces suivantes agissent sur le chariot :

- (I) La force de poussée de la personne
- (II) Force de frottement
- (III) Force gravitationnelle terrestre
- (IV) Force de réaction normale de la surface de la Terre

Laquelle de ces deux forces n'agit pas sur le chariot lorsqu'il se déplace d'une distance (d) ?

- (a) Les forces (I), (II)
- (b) Les deux forces (III), (IV)
- (c) Les deux forces (I), (IV)
- (d) Les deux forces (II), (III)



2. Un objet a une énergie cinétique de 4 J. Quelle sera son énergie cinétique si sa vitesse est doublée ?

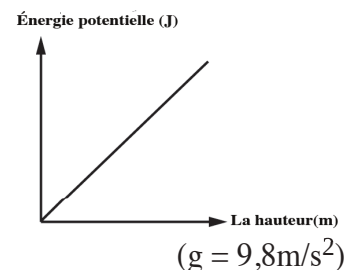
- (a) 8 J
- (b) 16 J
- (c) 4 J
- (d) 0,8 J

3. Un homme est arrivé à son appartement une première fois en montant les escaliers, puis une deuxième fois en utilisant l'ascenseur . Laquelle des affirmations suivantes est correcte ?

- (a) L'énergie potentielle de l'homme est plus grande lorsqu'il monte les escaliers.
- (b) L'énergie potentielle de l'homme est plus grande lorsqu'il utilise l'ascenseur.
- (c) Il n'y a pas d'énergie potentielle pour l'homme lorsqu'il utilise l'ascenseur.
- (d) L'énergie potentielle de l'homme est égale dans les deux cas.

4. La pente de la droite dans le graphique ci-contre représente .....

- (a) La masse du corps
- (b) Le poids du corps
- (c) Le déplacement du corps
- (d) La vitesse du corps



5. Un objet d'une masse de 2 kg se trouve à une hauteur de 5 m au-dessus du sol, son énergie potentielle est donc de .....

- (a) 98 J
- (b) 10 J
- (c) 2,5 J
- (d) 9,8 J

6. L'énergie stockée dans un ressort comprimé est .....

- (a) Énergie cinétique
- (b) Énergie potentielle
- (c) Énergie nucléaire
- (d) Énergie thermique

7. Si un objet est lancé verticalement vers le haut, laquelle des grandeurs physiques suivantes est égale à zéro à la hauteur maximale atteinte ?

- (a) Son poids
- (b) Son accélération
- (c) Son énergie potentielle
- (d) Sa vitesse

8. La figure ci-contre montre un haltérophile soulevant une masse de 100 kg. Le travail effectué par l'haltérophile pour soulever cette masse du sol à une hauteur de 2 m est donc de .....

(Sachant que :  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

(a) 100 J (b) 200 J  
(c) 1000 J (d) 2000 J



9. L'énergie mécanique d'un corps est égale à .....

(a) La différence entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle  
(b) La somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle  
(c) Le rapport entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle  
(d) Le produit de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle

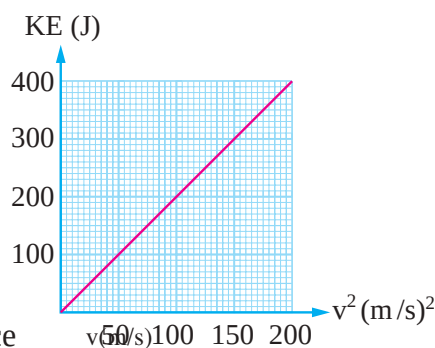
10. Dans la figure ci-contre, une balle d'une masse de 12 kg tombe librement à partir du repos. Si son énergie mécanique au point médian entre son point de chute et le sol est de 150 J, alors sa vitesse au moment où il touche le sol est de .....

(a) 5 m/s (b) 25 m/s (c) 50 m/s (d) 100 m/s

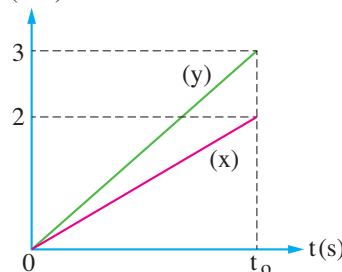


11. Le graphique ci-contre montre la relation entre l'énergie cinétique (KE) d'un corps tombant d'une hauteur de 10 m au-dessus du sol et le carré de sa vitesse ( $v^2$ ) pendant la chute. Son énergie potentielle à une hauteur de 2 m est.....

(a) 20 J (b) 40 J  
(c) 60 J (d) 80 J



12. Deux corps (y) et (x) ont la même masse et chacun se déplace à partir du repos sur une surface horizontale sous l'effet d'une force horizontale résultante de différentes amplitudes. Le graphique ci-contre représente la relation entre la vitesse (v) de chaque corps et le temps (t). Le rapport entre les quantités de travail effectuées sur les deux corps ( $\frac{W_x}{W_y}$ ) par la force résultante:



(A) Quand ils parcourent même déplacement, est égal à .....

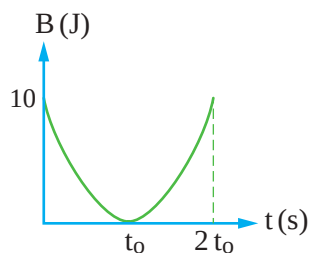
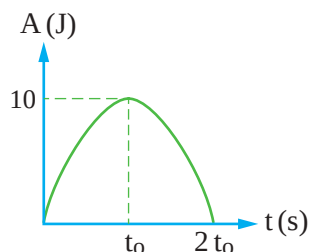
(a)  $\frac{2}{3}$  (b)  $\frac{3}{2}$  (c)  $\frac{4}{9}$  (d)  $\frac{9}{4}$

(B) Pendant la période comprise entre 0 et  $t_0$  représentée dans le graphique, égale à .....

(a)  $\frac{2}{3}$  (b)  $\frac{3}{2}$  (c)  $\frac{4}{9}$  (d)  $\frac{9}{4}$



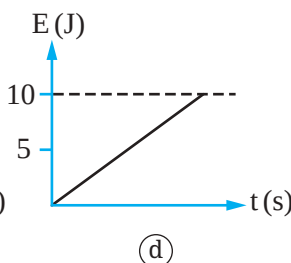
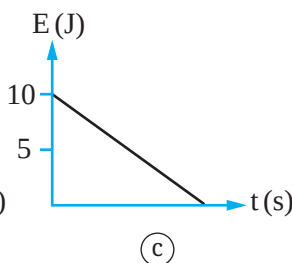
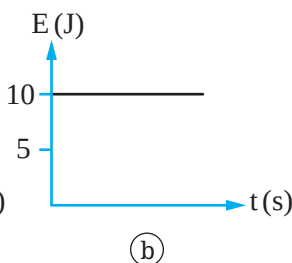
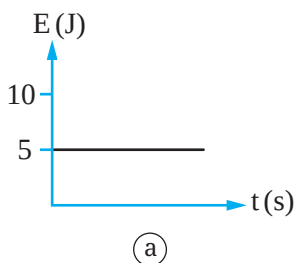
13. Chacun des graphiques adjacents montre la relation entre l'une des quantités physiques d'un corps projeté verticalement vers le haut et le temps (t) :



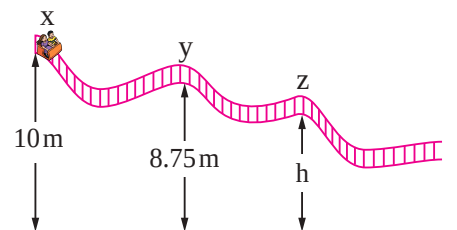
(A) Laquelle des options suivantes représente la quantité A et la quantité B indiquées sur l'axe vertical dans les deux graphiques ?

|     | Quantité (A)        | Quantité (B)        |
|-----|---------------------|---------------------|
| (a) | Énergie potentielle | Énergie cinétique   |
| (b) | Énergie cinétique   | Énergie potentielle |
| (c) | Énergie mécanique   | Énergie cinétique   |
| (d) | Énergie mécanique   | Énergie potentielle |

(B) Lequel des graphiques suivants représente la relation entre l'énergie mécanique (E) du corps et le temps (t)?



14. Dans la figure ci-contre, un corps de masse 1 kg commence à glisser à partir du repos sur une courbe lisse à partir du point x: ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



(A) La vitesse du corps au point y est égale à .....

- (a) 3 m/s      (b) 5 m/s      (c) 6 m/s      (d) 6,5 m/s

(B) Si la vitesse du corps au point z est de 7 m/s, alors la hauteur du point z au-dessus du sol est égale à .....

- (a) 8,45 m      (b) 7,55 m      (c) 7,25 m      (d) 6,85 m

15. Deux corps A et B ont la même masse et ont été lancés verticalement vers le haut à partir du sol avec des vitesses respectives  $v$  et  $2v$ . Le rapport entre l'énergie mécanique acquise par chacun d'eux ( $\frac{E_A}{E_B}$ ) est donc .....

- (a)  $\frac{4}{1}$       (b)  $\frac{1}{1}$       (c)  $\frac{1}{2}$       (d)  $\frac{1}{4}$

## Deuxièmement : Questions à développement

- Expliquez ce qui suit :
  - Le travail est une grandeur scalaire.
  - L'énergie potentielle de l'eau au sommet de la cascade est supérieure à son énergie potentielle au bas de la cascade.
  - Lorsqu'une personne porte un sac et marche horizontalement sur le sol, elle n'effectue aucun travail sur le sac.
- L'énergie cinétique est-elle une grandeur physique vectorielle ou scalaire ? Et pourquoi ?
- Lorsque vous poussez un mur fixe avec une force de 100 N, effectuez-vous un travail physique ? Et pourquoi ?
- Dans les deux figures illustrées, deux corps a et b sont placés sur une surface horizontale lisse. Si chacune est soumise à des forces  $F$  et  $2F$  respectivement, et que chacune se déplace horizontalement d'une distance  $d$ , sur quel corps la force résultante agissant sur chacune d'elles effectue-t-elle le plus de travail ?



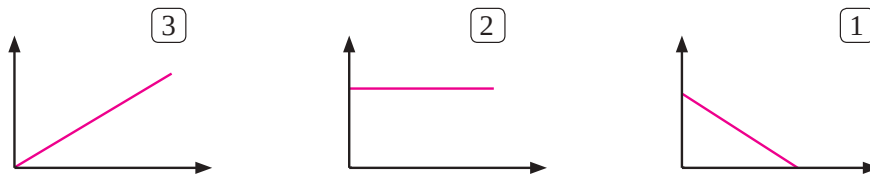
- Un corps de masse 4 kg tombe librement d'une hauteur de 20 m au-dessus du sol. Complétez les espaces vides dans le tableau suivant en considérant que l'accélération due à la gravité est de  $10 \text{ m/s}^2$  et en négligeant la résistance de l'air.

|   | Déplacement du corps en mètres depuis le point de chute | Énergie potentielle en joules | La vitesse du corps | Énergie cinétique en joules | L'énergie mécanique du corps en joules |
|---|---------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| a | 0                                                       | .....                         | .....               | .....                       | .....                                  |
| b | .....                                                   | .....                         | 5 m/s               | .....                       | .....                                  |
| c | .....                                                   | 400 J                         | .....               | .....                       | .....                                  |
| d | .....                                                   | .....                         | .....               | 800 J                       | .....                                  |

À partir des résultats obtenus, déterminez la position du point pendant la chute à laquelle l' :

- L'énergie mécanique du corps est égale à son énergie cinétique.
- L'énergie mécanique du corps est égale à son énergie potentielle.
- L'énergie cinétique du corps est égale à l'énergie potentielle.

6. Un objet a été lancé verticalement vers le haut jusqu'à atteindre sa hauteur maximale, et vous disposez de trois graphiques : 1, 2, 3 pour exprimer la relation entre certaines de ses grandeurs physiques.



Déterminez lequel exprime la relation entre chacun des éléments suivants :

- (a) L'énergie potentielle du corps (PE) et sa hauteur au-dessus du sol (h).
- (b) L'énergie cinétique du corps (KE) et sa hauteur au-dessus du sol (h).
- (c) L'énergie mécanique du corps (E) et sa hauteur au-dessus du sol (h).

### Troisièmement : Exercices

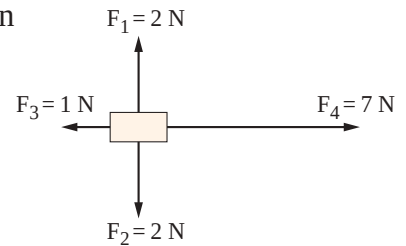
- Calculez le travail effectué lorsque l'on pousse un chariot sur une distance horizontale de 3,5 m avec une force de 20 N dans le sens du mouvement du chariot. (70 J)
- Une force de 100 N agit sur un corps. Calculez le travail effectué par cette force si le corps se déplace de 2,5 m dans les cas suivants :
  - (a) Si la force est dans le même sens que le mouvement du corps.
  - (b) Si la force forme un angle de  $60^\circ$  par rapport à la direction du mouvement.
  - (c) Si la force est perpendiculaire à la direction du mouvement du corps. (250 J, 125 J, 0 J)
- Une mère pousse le chariot de son enfant à vitesse constante sur un trajet horizontal rectiligne avec une force formant un angle de  $60^\circ$  avec l'horizontale. Si le chariot est soumis à une force de frottement de 20 N, calculez le travail effectué par la mère sur le chariot pour parcourir une distance de 5 m. (100 J)
- Calculez l'énergie cinétique d'une voiture d'une masse de 2000 kg se déplaçant à une vitesse de 60 km/h ( $2,78 \times 10^5$  J)
- Une voiture d'une masse de  $3 \times 10^3$  kg et d'une vitesse de 16 m/s est entrée en collision avec un arbre. L'arbre n'a pas bougé et la voiture s'est arrêtée, comme le montre la figure suivante :



- (a) Quelle est la quantité de travail effectuée sur l'arbre lorsque l'avant de la voiture heurte l'arbre ?
- (b) Quelle est la variation de l'énergie cinétique de la voiture ?
- (c) Calculez la force moyenne qui a agi sur l'avant de la voiture pour la faire plier vers l'intérieur sur une distance de 50 cm.

(0 J,  $3,84 \times 10^5$  J,  $7,68 \times 10^5$  N)

6. La figure montre une vue de dessus de l'intensité et de la direction de chacune des quatre forces horizontales agissant sur un corps placé sur une surface horizontale. Calculez la variation de l'énergie cinétique du corps pendant son déplacement 4 m

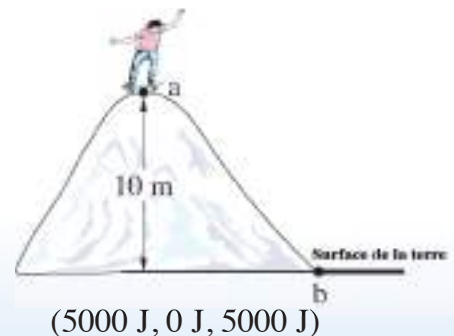


(24 J)

7. Un athlète pesant 700 N a gravi une montagne jusqu'à une hauteur de 200 m au-dessus du sol. Déterminez la force minimale que l'homme doit exercer contre la gravité pour atteindre cette hauteur. (1,4 × 10<sup>5</sup> J)
8. Vous avez deux boîtes (A) et (B) pesant respectivement 40 N et 60 N. La boîte (A) est posée au sol, tandis que la boîte (B) est placée à une hauteur de 2 m au-dessus du sol. À quelle hauteur la boîte (A) doit-elle être soulevée pour avoir la même énergie potentielle que la boîte (B) ? (3 m)
9. Calculez la masse d'un corps dont l'énergie potentielle à un point situé à 5 m au-dessus du sol est de 980 J (sachant que : l'accélération due à la gravité est de 9,8 m/s<sup>2</sup>) (20 kg)
10. Calculez le travail nécessaire pour soulever un corps de masse 50 kg du sol à une hauteur de 2,2 m (g = 10 m/s<sup>2</sup>) (1100 J)
11. Une balle d'une masse de 0,5 kg a été lancée verticalement vers le haut, et sa vitesse était de 3 m/s à une hauteur de 4 m. Quelle est la quantité de travail effectuée pour lancer la balle si l'accélération due à la gravité est de 10 m/s<sup>2</sup> (22,25 J)?
12. Un objet d'une masse de 0,2 kg a été lancé verticalement vers le haut à une vitesse de 20 m/s. En négligeant la résistance de l'air et en considérant l'accélération due à la gravité comme étant de 10 m/s<sup>2</sup>, calculez :
- (a) La hauteur maximale atteinte par l'objet.
  - (b) La vitesse de l'objet à une hauteur de 10 m au-dessus du sol. (20 m, 14,14 m/s)

13. La figure ci-contre montre un patineur pesant 500 N. Si le patineur est immobile au point (a), calculez chacune des valeurs suivantes :

- (a) L'énergie potentielle du patineur au point a
- (b) L'énergie potentielle du patineur au point b
- (c) L'énergie mécanique du patineur au point b



(5000 J, 0 J, 5000 J)

Unité

# Deux

## Les ondes

- **Chapitre Deux** : Le mouvement ondulatoire
- **Chapitre Trois** : La lumière





Chapitre  
**Deux**

# Le mouvement ondulatoire



## Objectifs d'apprentissage attendus

**À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :**

- 1- Expliquer la signification du mouvement oscillatoire et certaines grandeurs physiques qui y sont liées, telles que : le déplacement, l'amplitude d'oscillation, l'oscillation complète, la fréquence et la période.
- 2- Représenter graphiquement le déplacement d'un corps vibrant.
- 3- Identifier le mouvement harmonique simple et donner des exemples de celui-ci.
- 4- Rappeler la relation mathématique entre la fréquence et la période.
- 5- Expliquer les conditions nécessaires à l'apparition des ondes mécaniques.
- 6- Comparer entre les ondes électromagnétiques et les ondes mécaniques.
- 7- Comparer entre les ondes transversales et les ondes longitudinales.
- 8- Rappeler la définition de certains concepts tels que : le mouvement ondulatoire, la fréquence des ondes, la longueur d'onde et la vitesse des ondes.
- 9- Expliquer la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de propagation des ondes.
- 10- Résoudre des problèmes sur la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse d'une onde.

## Termes du chapitre

- L'onde Wave
- Les ondes mécaniques
- Les ondes électromagnétiques
- Le mouvement oscillatoire
- Le déplacement
- L'amplitude
- L'oscillation complète
- Le temps périodique
- La fréquence
- L'onde longitudinale
- L'onde transversale
- La longueur

## Introduction

Certains d'entre nous trouvent du plaisir à observer les vagues ondulent sur la surface de l'eau, caressant un petit flotteur attaché à une canne à pêche, ou frappant légèrement une petite barque la faisant osciller et vibrer. D'autres trouvent du plaisir à s'asseoir sur la rive d'un lac ou d'un étang, jetant de temps à autre un petit caillou dans l'eau. La collision de chaque caillou avec la surface de l'eau constitue une source de perturbation qui se propage à la surface de l'eau sous forme de cercles réguliers, dont le centre est le point de chute de ce caillou Figure(1). C'est ce que nous appelons des ondes. Alors, qu'est-ce qu'une onde? Et quels sont ses types?

**L'onde:** est une perturbation qui se propage et transfère de l'énergie.



**Figure (1)**  
**Propagation d'une onde à la surface de l'eau**

Les vagues d'eau ne sont pas les seules vagues que nous connaissons. Chaque matin, nous entendons souvent la voix du présentateur annoncer : « Ici le Caire,, Radio Le Caire vous salue et commence sa diffusion pour vous sur une onde moyenne de longueur 366,7 m par exemple." De plus, la télévision transmet le son et l'image, qui sont convertis en ondes qui se propagent dans l'air et sont reçues par l'antenne, puis ces ondes sont converties en signaux électriques dans le récepteur, où elles sont transformées en son et en image. De même, le téléphone portable traite les ondes qui transmettent le son de l'émetteur au récepteur, où les vibrations sonores sont converties en signaux électriques, puis en signaux électromagnétiques qui se propagent dans l'air ou le vide, et sont reçues par l'antenne du téléphone portable du récepteur, puis converties en un signal électrique et ensuite en son.

Nous voyons des vagues d'eau, mais les ondes utilisées dans la radio, la télévision et les téléphones mobiles sont perçues par leurs effets. Les vagues d'eau sont des ondes mécaniques, tout comme les ondes sonores et les ondes se propageant dans les cordes pendant leur vibration. Cependant, les ondes reçues par les antennes des radios, des télévisions et des téléphones mobiles sont appelées ondes électromagnétiques.

Parmi ces ondes électromagnétiques, on trouve également les ondes lumineuses et les ondes de rayons X qui sont utilisées dans le diagnostic radiologique médical et autres. Les ondes mécaniques nécessitent un milieu matériel pour se propager, tandis que les ondes électromagnétiques ne nécessitent pas nécessairement un tel milieu, car elles peuvent se propager dans le vide.

## Ondes mécaniques

**Les ondes mécaniques nécessitent la présence de :**

- ① Une source de vibration ou un oscillateur.
- ② Un type de perturbation qui se propage de la source au milieu.
- ③ Le milieu qui transporte la vibration (perturbation).

**Il existe des sources de vibrations nombreuses et variées, parmi lesquelles :**

- ① Le pendule simple vibrant, tel que le pendule d'horloge Figure (2).
- ② Le diapason vibrant Figure (3).
- ③ La corde vibrante Figure (4).
- ④ Un poids suspendu dans un ressort pendant sa vibration, connu sous le nom de Yoyo Figure (5).



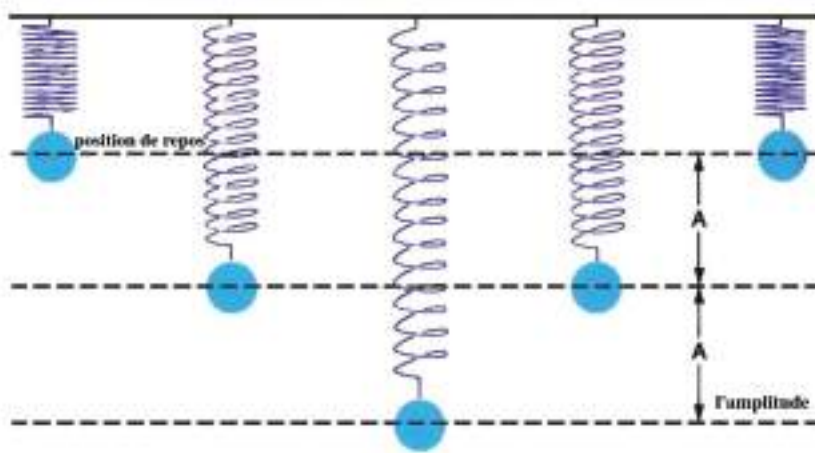
**Figure (2)**  
Le pendule  
d'horloge



**Figure (3)**  
Le diapason  
vibrant



**Figure (4)**  
La corde  
vibrante



**Figure (5)**

### Un poids suspendu dans un ressort (le yoyo)

Certaines grandeurs physiques essentielles sont liées au mouvement vibratoire, telles que :

**Le déplacement (d) :** est la distance du corps vibrant à un instant donné par rapport à sa position initiale de repos ou d'équilibre. C'est une grandeur vectorielle, et son unité de mesure est le mètre.

**Amplitude (A) :** est le déplacement maximal du corps vibrant par rapport à sa position de repos, ou c'est la distance entre deux points dans le trajet de son mouvement où sa vitesse à l'un est maximale et à l'autre est nulle. Son unité de mesure est le mètre (mètre).

**L'oscillation complète :** est le mouvement effectué par le corps vibrant pendant l'intervalle de temps qui se déroule entre son passage par un seul point dans le trajet de son mouvement deux fois successives et dans un même sens, c'est-à-dire ayant la même phase Phase par rapport au point de départ de cet intervalle.

**Fréquence (v) :** est le nombre d'oscillations complètes effectuées par le corps vibrant en une seconde, et son unité est le hertz (Hz) ce qui est équivalent à ( $s^{-1}$ ). La fréquence d'un corps vibrant peut être trouvée par la relation :

$$(1) \quad v = \frac{N}{t}$$

Où : (N) est le nombre d'oscillations complètes effectuées par le corps vibrant, (t) est le temps nécessaire à ces oscillations.

**Période (T) :** est le temps mis par le corps vibrant pour effectuer une oscillation complète, ou le temps qu'un corps vibrant met pour passer par un seul point dans le trajet de son mouvement deux fois consécutives dans le même sens. Son unité de mesure est la seconde, et la relation entre la période et la fréquence est la suivante :

$$(2) \quad v = \frac{1}{T}$$

## Développer la pensée critique

Si vous déplacez une balançoire loin de sa position d'équilibre et que vous la laissez ensuite osciller :

- Quelles sont les transformations d'énergie qui se produisent au cours d'un cycle complet ?
- Pourquoi la balançoire s'arrête-t-elle au bout d'un moment si on n'intervient pas pour la pousser ?



Figure(6)

## Mouvement harmonique simple

Si on imagine un poids mis sur une surface horizontale lisse et fixé sur l'un des extrémités d'un ressort dont l'autre extrémité est fixée sur un mur vertical, puis on attire le poids dans le sens de l'axe du ressort afin de stocker une énergie potentielle. Lorsqu'on lâche le poids, il se met à se déplacer autour de sa position d'équilibre par un mouvement oscillatoire vers le mur et loin de celui-ci. Si on trace la courbe représentant le mouvement du centre de gravité du corps par rapport à sa position d'équilibre en fonction du temps, on obtient une courbe graphique qui est une courbe sinusoïdale. Figure (7). Ce type de mouvement est appelé mouvement harmonique simple.

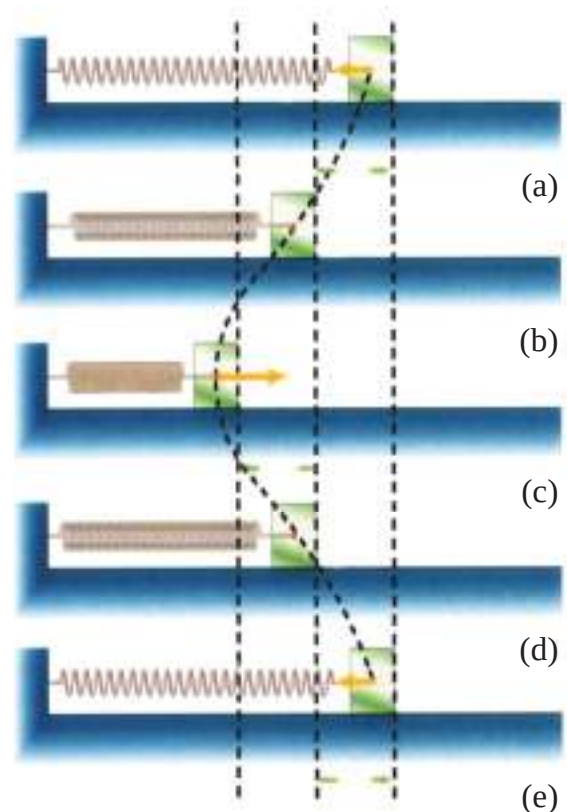


Figure (7)

**La courbe sinusoïdale représente un mouvement harmonique simple**



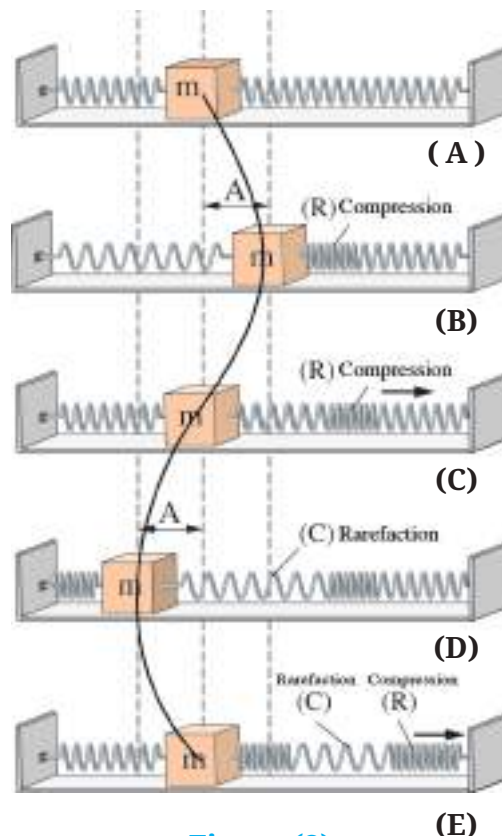
A une source vibrante qui produit un mouvement harmonique simple peut générer une onde mécanique qui se propage dans un certain milieu avec une vitesse  $v$ , où chaque partie du milieu effectue à son tour un mouvement harmonique simple autour de sa position d'équilibre.

**Les ondes mécaniques peuvent être classées en ondes longitudinales et ondes transversales.**

### Premièrement

### Les ondes longitudinales

- Placez un poids ( $m$ ) sur une surface horizontale lisse, attaché d'un côté à un long ressort et de l'autre côté à un ressort court, les deux ressorts étant fixés au mur (Figure 8 A).
- Tirez le poids sur une certaine distance  $A$  à droite, de sorte que la partie du ressort adjacente au poids est comprimée vers la droite, formant une impulsion de compression (Figure 8 b).
- Libérez le poids pour qu'il revienne à sa position d'équilibre initiale sous l'influence de la force générée dans le ressort, tandis que l'impulsion de compression se propage à travers le ressort vers la droite du poids (Figure 8 c).
- Le poids dépasse la position d'équilibre initiale en se déplaçant vers la gauche, créant une rarefaction dans les spires du ressort vers la droite (Figure 8 d).
- Le mouvement du poids vers la droite est répété, et l'impulsion de rarefaction se déplace également vers la droite (Figure 8 e).

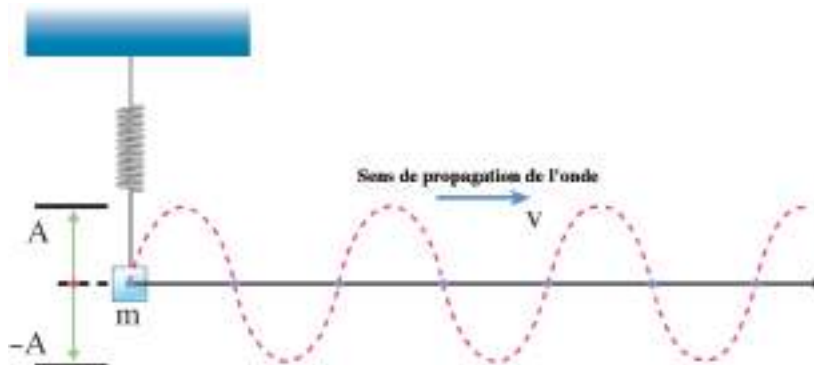


**Figure (8)**

**Onde longitudinale**

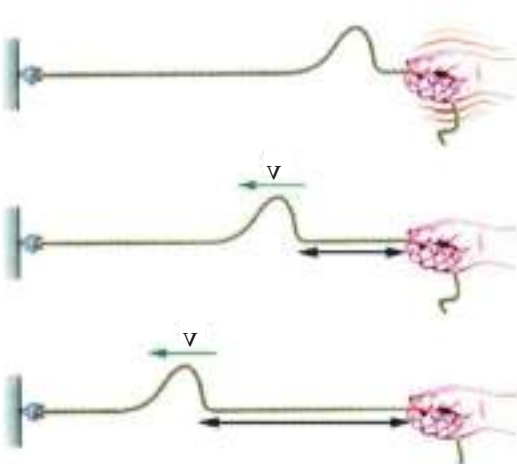
Cette série de compressions et de rarefactions représente une onde résultant de l'oscillation des particules du milieu (représentées par ce ressort) en mouvement harmonique simple, mais la direction de propagation de l'onde est la même que la direction de transmission de la perturbation. Cette onde est appelée onde longitudinale, où les compressions et les rarefactions se propagent le long du ressort. Un exemple de cela est les ondes sonores longitudinales qui se propagent dans l'air.

Si nous imaginons que la masse  $m$  est attachée à un ressort vertical et qu'une longue corde horizontale tendue est fixée à celle-ci, son extrémité éloignée étant attachée à un mur vertical, alors lorsque la masse  $m$  effectue un mouvement harmonique simple dans la direction verticale, l'extrémité de la corde attachée à elle se déplacera également de la même manière. Cela provoque l'oscillation des parties suivantes de la corde successivement, l'une après l'autre. Ainsi, le mouvement se propage le long de la corde sous forme d'une onde dans la direction horizontale à la vitesse de  $v$ , tandis que les parties de la corde se déplacent en mouvement harmonique simple dans la direction verticale. Cette onde est appelée onde transversale figure (9).



**Figure (9)**  
Onde transversale

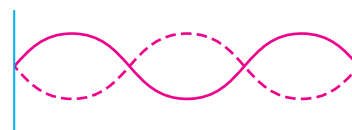
Vous pouvez effectuer vous-même une telle expérience en utilisant une longue corde tendue, avec une extrémité (l'extrémité éloignée) fixée à un mur vertical et l'autre extrémité tenue tendue dans votre main. Lorsque vous déplacez votre main verticalement vers le haut et vers le bas sous la forme d'une pulsation, vous remarquerez une onde sous forme d'une impulsion se propageant le long de la corde. Cette onde est appelée onde voyageuse Figure (10).



**Figure (10)**  
Impulsion voyageuse

#### Informations complémentaires (À titre de référence uniquement)

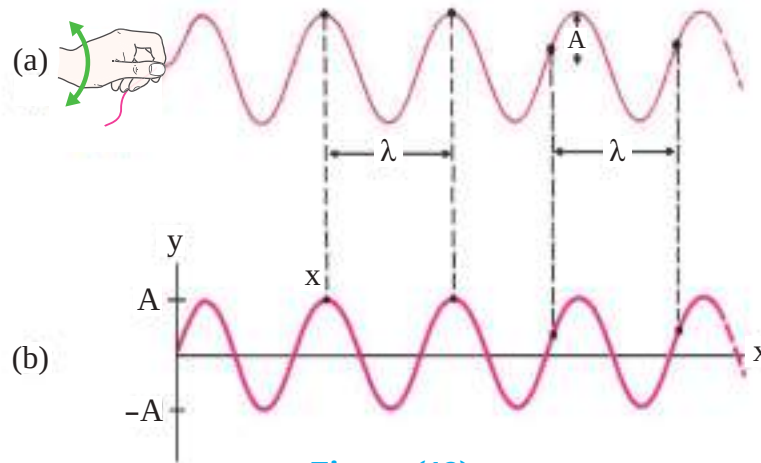
Les ondes qui se propagent dans une direction spécifique sont appelées ondes voyageuses, pour les distinguer des ondes stationnaires qui résultent de la superposition de deux ondes identiques, telles que l'onde réfléchie de l'extrémité fixe de la corde et l'onde incidente sur celle-ci, comme cela se produit dans les cordes des instruments de musique.



**Figure (11)**  
Onde stationnaire

Il est évident que le travail effectué par la source vibrante sur la corde est transféré sous forme d'énergie potentielle représentée par la tension de la corde, et d'énergie cinétique représentée par la vibration de la corde. dans la direction positive sont appelés crêtes (au singulier : crête Crête), tandis que les points représentant le déplacement maximum dans la direction négative sont appelés creux (au singulier : creux Creux). En observant n'importe quelle partie de la corde pendant sa vibration à partir de sa position d'équilibre, nous constatons qu'une crête et un creux se produisent successivement pendant une vibration complète, c'est-à-dire que l'onde transversale est constituée de crêtes et de creux successifs.

Cette onde sera continue (un train d'ondes en mouvement) tant que le mouvement harmonique simple se poursuit Figure (12).



**Figure (12)**

**Un train d'ondes se propageant dans une corde tendue à la suite d'un mouvement harmonique simple à l'une de ses extrémités**

Et lorsque la corde tendue est remplacée par un ressort spiralé, une onde longitudinale peut être générée Figure (13) ou une onde transversale Figure (14). Comme nous le voyons, lorsque la source vibre, les particules du milieu environnant vibrent de la même manière. La vibration est transmise d'abord de la source aux particules adjacentes ou connectées du milieu, puis aux particules suivantes, et ainsi de suite. Ainsi, cette vibration ou perturbation se propage dans le milieu sous forme de mouvement ondulatoire. Comme nous l'avons mentionné précédemment, une onde n'est rien d'autre qu'une perturbation qui se propage et transfère de l'énergie.



**Figure (13)**

**Onde longitudinale dans un ressort enroulé**



**Figure (14)**

**Onde transversale dans un ressort enroulé**

## Représentation graphique des ondes mécaniques :

L'onde transversale ou longitudinale est représentée par la représentation graphique de la relation entre :

- ① Déplacement des particules du milieu ( $d$ ) à un certain moment et la distance ( $x$ ) que l'onde a parcourue Figure (15).
- ② Déplacement d'une particule du milieu ( $d$ ) et temps ( $t$ ) Figure (16).

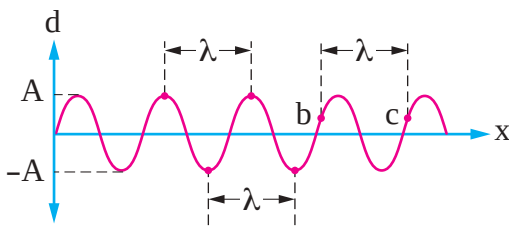


Figure (15)

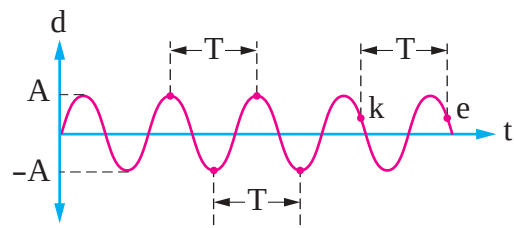


Figure (16)



### Idées pour stimuler la créativité

- Recherchez sur Internet comment les baleines utilisent les ondes mécaniques pour communiquer entre elles dans l'eau et comment elles bénéficient de ces ondes pour déterminer leur position par rapport aux objets qui les entourent dans les profondeurs de l'océan ?



Figure(17)

Ainsi, les ondes mécaniques sont classées en deux types :

- ① **Ondes transversales** : sont des ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leurs positions d'équilibre dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.
- ② **Ondes longitudinales** : sont des ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leurs positions d'équilibre le long de la même ligne que la direction de propagation de l'onde.

## Longueur d'onde Longueur d'onde et fréquence Fréquence

La distance entre deux crêtes successives ou deux creux successifs dans une onde transversale est exprimée par sa longueur d'onde Figure (18), et la distance entre les centres de deux compressions successives ou de deux rarefactions successives dans une onde longitudinale est également exprimé en fonction de sa longueur d'onde Figure (19).

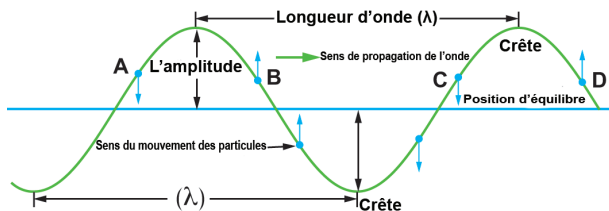


Figure (18)

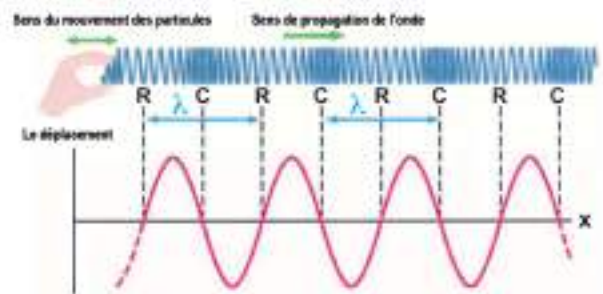


Figure (19)

**Longueur d'onde dans une onde transversale**      **Longueur d'onde dans une onde longitudinale**

Par conséquent, la longueur d'onde peut être représentée par l'une des deux distances (BD), (AC) comme dans la figure (18). Il est à noter que chaque deux points successifs (D, B), (C, A) qui se déplacent en même temps, de la même manière et dans la même direction, ont la même phase (c'est-à-dire qu'ils ont le même déplacement et la même direction).

∴ **Longueur d'onde** : est la distance entre deux points successifs ayant la même phase Figure (20)

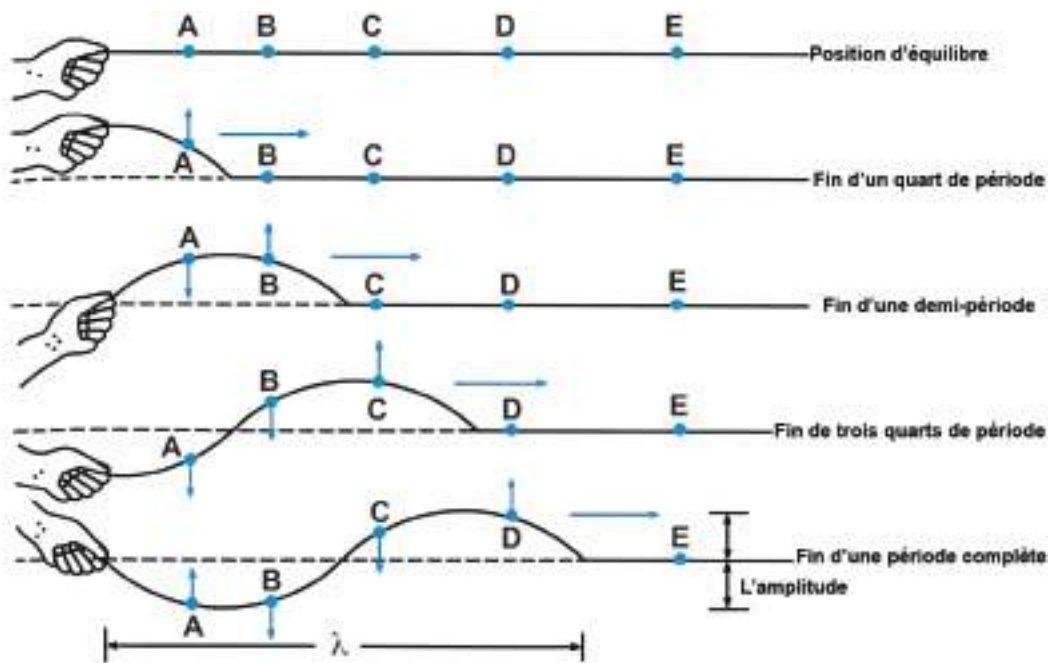


Figure (20)

**La longueur d'onde est la distance entre deux points successifs ayant la même phase**



La longueur d'onde est également définie comme étant la distance parcourue par l'onde pendant une période Figure (21)

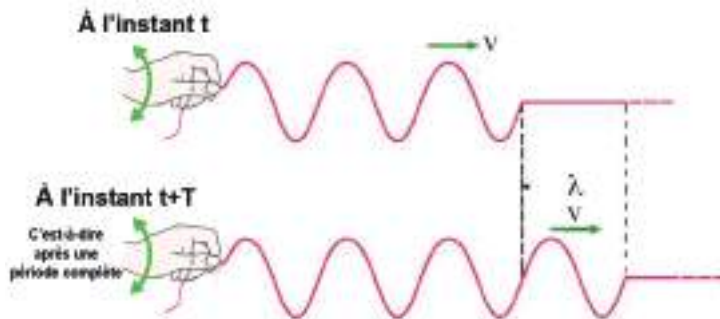


Figure (21)

**La longueur d'onde équivaut à la distance parcourue par l'onde pendant une période**  
Le nombre d'ondes qui passent par un certain point sur la trajectoire du mouvement ondulatoire en une seconde est appelé la fréquence.

### La relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de propagation de l'onde

Si une onde se propage à une vitesse  $v$  d'un endroit à un autre séparé par une distance égale à la longueur d'onde  $\lambda$ , l'onde met un temps égal à la période  $T$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Et puisque

$$v = \frac{1}{T} \quad \text{Ou} \quad T = \frac{1}{v}$$

Alors

$$(3) \quad v = \lambda v$$

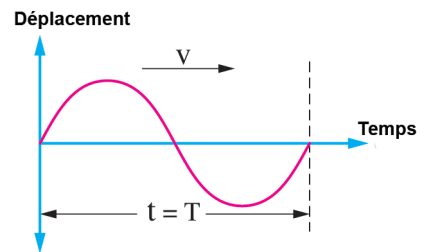


Figure (22)

Ceci est une relation générale pour la propagation de tous les types d'ondes, qu'il s'agisse d'un train d'ondes ou d'une seule impulsion.

**Et la fréquence :** est le nombre de vibrations de la source par seconde, ou c'est le nombre des longueurs d'ondes parcourues par l'onde qui se propage dans une certaine direction en une seconde.

#### Exemple 1

Si la longueur d'onde des ondes sonores émise par un train immobile est 0,6 m et sa fréquence est 550 Hz , **quelle** est la vitesse de propagation de l'onde sonore dans l'air ?

#### ☛ Solution

$$v = \lambda v, \quad v = 0,6 \times 550 = 330 \text{ m/s}$$

**Quoi  
if**

Si la fréquence de l'onde sonore émise par le train était plus élevée, cela changerait-il la vitesse de la propagation de l'onde dans l'air ?

### Exemple 2

Si le nombre d'ondes d'eau passant par un certain point en une seconde est 12 les ondes et la longueur d'onde de chaque onde est 0,1 m **Calculez** la vitesse de propagation des ondes.

#### ☛ Solution

$$v = \lambda \nu, \quad v = 12 \times 0,1 = 0,2 \text{ m/s}$$

### Exemple 3

Les ondes lumineuses se propagent dans l'espace à une vitesse égale à  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Si la longueur d'onde de la lumière est  $5000 \text{ \AA}$ , **alors** quelle est la fréquence de cette lumière ?  
(1 Angström ( $\text{\AA}$ ) =  $10^{-10} \text{ m}$ )

#### ☛ Solution

$$v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 5 \times 10^3 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}, \quad c = \lambda \nu$$

$$3 \times 10^8 = 5 \times 10^{-7} \times \nu, \quad \nu = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

## Conceptions incorrectes

Certains croient que l'augmentation de la vitesse de vibration d'une corde en tant que corps vibrant entraîne une augmentation de la vitesse du son dans l'air.

**En fait**, l'augmentation de la vitesse de vibration de la corde en tant que corps vibrant augmente la fréquence du son, et n'affecte pas la vitesse du son dans l'air, car la vitesse de l'onde dans un milieu dépend des propriétés



Figure (23)



### Idées pour stimuler la créativité

- ▶ Pourquoi sentons-nous parfois le sol trembler sous nos pieds lorsqu'un train passe rapidement à côté de nous ?
- ▶ Cela aide-t-il à expliquer pourquoi beaucoup de gens ressentent le tremblement de terre même si leurs zones sont éloignées de son épicerie ?
- ▶ En utilisant Internet, expliquez Comment l'étude des ondes mécaniques aide à se préparer aux tremblements de terre et à réduire leurs effets négatifs.



Figure(42)  
Sismographe



Figure(52)

# Résumé

## Premièrement: Définitions et concepts de base

- Onde : est une perturbation qui se déplace et transfère de l'énergie.
- Déplacement : c'est la distance du corps vibrant à un instant donné par rapport à sa position initiale de repos (ou d'équilibre).
- Amplitude de vibration (A): est le déplacement maximum du corps vibrant par rapport à sa position de repos, ou c'est la distance entre deux points de la trajectoire du corps vibrant où sa vitesse est maximale à l'un et nulle à l'autre.
- L'oscillation complète : c'est le mouvement effectué par le corps vibrant (comme un simple pendule) dans l'intervalle de temps entre son passage par un certain point dans le trajet de son mouvement deux fois consécutives dans un seul sens.
- Fréquence ( $\nu$ ) d'un corps vibrant : est le nombre de vibrations complètes effectuées par le corps vibrant en une seconde.
- Fréquence ( $\nu$ ) d'une onde : est le nombre d'ondes qui passent à travers un certain point sur le trajet du mouvement ondulatoire en une seconde.
- Période (T): c'est le temps que met le corps vibrant pour effectuer une vibration complète, ou c'est le temps que met le corps vibrant (comme un simple pendule) pour passer par un certain point dans le trajet de son mouvement deux fois consécutives dans un seul sens.
- Il existe deux types d'ondes :
  - (1) Ondes électromagnétiques : ce sont des ondes qui se propagent dans les milieux matériels et dans le vide, comme ondes de la radio et les ondes lumineuses.
  - (2) Ondes mécaniques : sont des ondes qui ne se propagent que dans les milieux matériels, comme les vagues dans l'eau et les ondes sonores.
- Il existe deux types d'ondes mécaniques :
  - (1) Ondes transversales : ce sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leurs positions d'équilibre dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation du mouvement de l'onde et se composent de crêtes et creux successifs.
  - (2) Ondes longitudinales : ce sont les ondes dans lesquelles les particules du milieu vibrent autour de leurs positions de compressions et de rarefactions successives.
- Longueur d'onde : est la distance entre deux points consécutifs dans la direction de propagation de l'onde qui ont la même phase (même déplacement et même direction)

## Deuxièmement : Relations fondamentales

- Fréquence : 
$$\nu = \frac{N}{t}$$
- Temps périodique : 
$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu}$$
- Vitesse de propagation de l'onde : 
$$v = \lambda \nu$$

# Questions et exercices

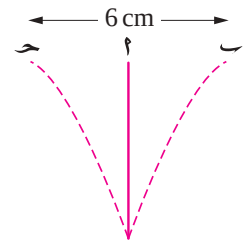
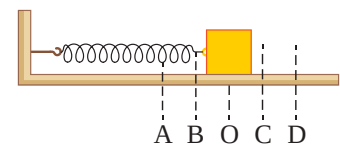


## Premièrement: Complétez les phrases suivantes

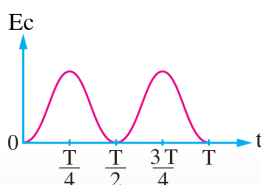
1. Le déplacement du corps vibrant est .....
2. L'amplitude de vibration est .....
3. La vibration complète est ..... 4. La période est .....
5. La fréquence de l'onde est .....

## Deuxièmement : Choisissez la bonne réponse

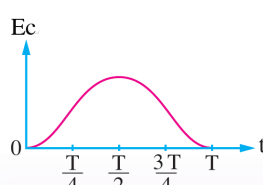
1. La figure ci-contre représente un corps attaché à un ressort oscillant entre les deux points A, D, a valeur minimale de l'énergie potentielle du corps est au .....  
 (a) Point A ou point D (b) Point O  
 (c) Point B (d) Point C
2. Dans la figure ci-contre, une tige flexible vibrante met un temps de 0,01 s pour se déplacer du point (a) au point (b), alors :



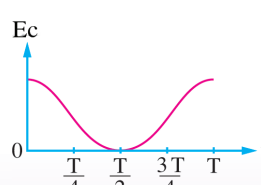
- (a) La période du mouvement de la tige est égale à .....  
 (a) 0,02 s (b) 0,04 s  
 (c) 0,06 s (d) 0,08 s
  - (b) L'amplitude de la vibration de l'extrémité de la tige est égale à .....  
 (a) 3 cm (b) 6 cm (c) 9 cm (d) 12 cm
  - (c) La vitesse moyenne de l'extrémité de la tige pendant son mouvement du point (c) est égale à .....  
 (a) 600 cm/s (b) 300 cm/s (c) 150 cm/s (d) 75 cm/s
3. Un simple pendule se déplace en mouvement harmonique simple, commençant son mouvement à partir de son déplacement maximal par rapport à sa position d'équilibre initiale à  $t = 0$  et accomplit une oscillation complète en un temps  $T$ . Lequel des graphiques suivants représente la relation entre l'énergie cinétique de la masse du pendule ( $E_c$ ) et le temps ( $t$ )?



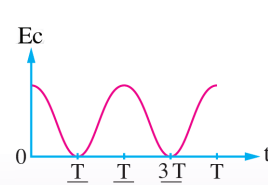
(a)



(b)



(c)



(d)

4. Les ondes transversales sont des ondes qui se composent de .....

- Ⓐ Compressions et rarefactions, et les particules du milieu se déplacent autour de leurs position de repos dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation
- Ⓑ Crêtes et creux, et les particules du milieu se déplacent autour de leurs positions d'équilibre le long de la même ligne de propagation
- Ⓒ Crêtes et creux, et les particules du milieu se déplacent autour de leurs positions d'équilibre dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation
- Ⓓ Compressions et rarefactions, et les particules du milieu se déplacent autour de leurs positions d'équilibre le long de la même ligne de propagation

5. La relation entre la vitesse de propagation des ondes ( $v$ ) dans un milieu matériel et sa fréquence ( $\nu$ ), et sa longueur d'onde ( $\lambda$ ) est .....

- Ⓐ  $v = \lambda \times \nu$
- Ⓑ  $\frac{v}{\lambda} = \nu$
- Ⓒ  $\frac{\lambda}{v} = \nu$
- Ⓓ  $v = (\lambda \times \nu)^2$

6. Si la longueur d'onde de l'onde sonore émise par une source sonore est 0,5 m et la fréquence du ton est 666 Hz, la vitesse de propagation du son dans l'air est .....

- Ⓐ 338 m/s
- Ⓑ 333 m/s
- Ⓒ 330 m/s
- Ⓓ 346 m/s

7. Une tonalité avec une fréquence de 225 Hz se propage dans l'air. Si vous savez que la vitesse du son dans l'air est 340 m/s, alors la longueur d'onde du ton est égale à .....

- Ⓐ 1,33 m
- Ⓑ 0,75 m
- Ⓒ 2 m
- Ⓓ 1,51 m

8. Le graphique ci-contre représente la relation entre le déplacement ( $d$ ) de la particule dans un milieu à travers lequel une onde se propage et le temps ( $t$ ) est, donc :

(a) L'amplitude de l'onde est égale à .....

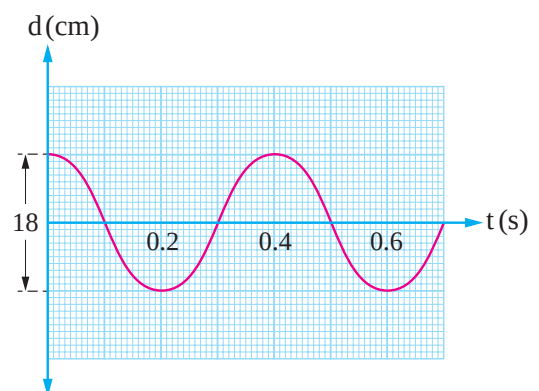
- Ⓐ 9 cm
- Ⓑ 17,5 cm
- Ⓒ 18 cm
- Ⓓ 35 cm

(b) La fréquence de cette onde est égale à .....

- Ⓐ 1,7 Hz
- Ⓑ 2,5 Hz
- Ⓒ 3,3 Hz
- Ⓓ 5 Hz

(c) La période du mouvement ondulatoire est égale à .....

- Ⓐ 0,4 s
- Ⓑ 0,6 s
- Ⓒ 0,7 s
- Ⓓ 0,8 s





9. Une lumière de longueur d'onde de  $6000 \text{ \AA}$  se propage dans l'espace à une vitesse de  $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ , donc sa fréquence est .....

(a)  $4 \times 10^{10} \text{ Hz}$

(b)  $4 \times 10^{14} \text{ Hz}$

(c)  $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$

(d)  $5 \times 10^{12} \text{ Hz}$

10. Deux ondes avec des fréquences de  $512 \text{ Hz}$ ,  $256 \text{ Hz}$  se propagent dans un certain milieu.

Le rapport entre leurs longueurs d'onde est respectivement de .....

(a)  $\frac{2}{1}$

(b)  $\frac{1}{2}$

(c)  $\frac{3}{1}$

(d)  $\frac{1}{3}$

### Troisièmement: Questions à développement

1. Décrivez les changements d'énergie potentielle et d'énergie cinétique qui se produisent dans la balançoire représenté sur la figure ci-contre pendant une oscillation complète à partir de la position d'équilibre.



2. Déduisez la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de propagation des ondes.

3. Définissez chacun des éléments suivants :

(a) L'onde.

(b) L'onde transversale.

(c) L'onde longitudinale.

(d) Longueur d'onde.

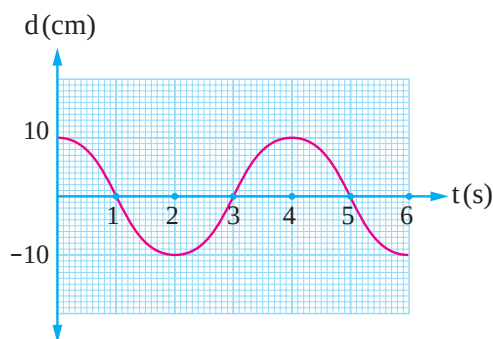
### Quatrièmement : Exercices

1. Le graphique ci-contre représente la relation entre le déplacement ( $d$ ) d'un corps qui se déplace avec un mouvement harmonique simple et le temps ( $t$ ). Calculez :

(a) L'amplitude de l'oscillation du corps.

(b) La période du mouvement du corps.

(10 cm, 4 s)



2. Si la distance entre la deuxième et la septième crêtes d'une onde transversale est  $20 \text{ m}$  et le temps écoulé entre le passage de la première et de la cinquième crêtes en un point fixe sur la trajectoire de l'onde est  $0,1 \text{ s}$ , calculez :

(a) La longueur d'onde de l'onde.

b) La vitesse de propagation de l'onde.

(4 m, 160 m/s)

3. A Une pierre a été jetée dans un lac, formant 50 ondes circulaires à la surface de l'eau après 5 secondes du choc de la pierre avec l'eau, et le rayon du cercle extérieur était 2 m. Calculez :

(a) La longueur d'onde de l'onde résultante.

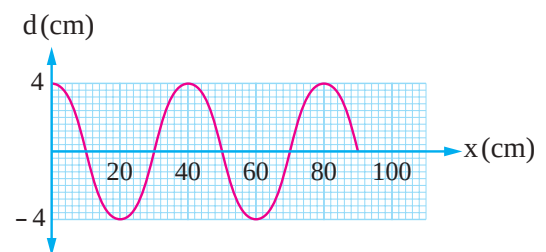
(b) La fréquence de l'onde.

(c) La vitesse de propagation de l'onde.

(0,04 m, 10 Hz, 0,4 m/s)

4. Une station d'émission sans fil sur Terre envoie des ondes électromagnétiques vers un satellite avec une vitesse de  $m/s \ 3 \times 10^8$ , et après 0,03 s la station a reçu les ondes réfléchies par le satellite. Calculez la distance entre la station de transmission et le satellite.  $(4,5 \times 10^6 \text{ m})$

5. Le graphique ci-contre représente la relation entre le déplacement (d) des particules du milieu à travers lequel une onde se propage à un certain moment et la distance (x) que l'onde parcourt dans la direction de sa propagation. Si une particule du milieu met un temps t pour avoir un déplacement de 4 cm par rapport à sa position d'équilibre, quelle est la distance que l'onde parcourt pendant le temps t?  $(10 \text{ cm})$



Chapitre

**Trois**

**La lumière**



## Objectifs d'apprentissage attendus

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- 1- Montrer la nature ondulatoire de la lumière.
- 2- Appliquer les lois de la réflexion de la lumière.
- 3- Vérifier les lois de réfraction de la lumière et résoudre des problèmes en les utilisant.
- 4- Identifier la relation entre les propriétés de la lumière dans le milieu et l'indice de réfraction absolu d'un milieu.
- 5- Appliquer la loi de Snell pour la lumière.
- 6- Montrer les phénomènes d'interférence et de diffraction de la lumière.
- 7- Montrer la signification de la réflexion totale et de l'angle critique.
- 8- Discuter certaines de certaines applications de la réflexion totale.
- 9- Déduire les facteurs affectant la déviation de la lumière dans le prisme triangulaire.
- 10- Identifier le trajet d'un rayon lumineux à travers un prisme triangulaire et déduire pratiquement les lois du prisme.
- 11- Déterminer les conditions de la position de déviation minimale dans le prisme triangulaire.

## Chapter Terms

- Le spectre électromagnétique
- La réflexion
- La réfraction
- La loi de Snell
- L'interférence
- La diffraction
- La réflexion totale
- L'angle critique
- Les fibres optiques
- Le mirage
- La dispersion de la lumière

## Introduction

La lumière fait partie d'un large éventail d'ondes électromagnétiques, qui se propagent toutes avec une vitesse constante dans le vide  $3 \times 10^8$  m/s. Ils diffèrent les uns des autres en fréquence et en longueur d'onde, formant ce qu'on appelle le spectre électromagnétique Spectre électromagnétique Figure (1).

Alors, qu'est-ce que le spectre électromagnétique ? Et quelles sont ses propriétés ?

Le spectre électromagnétique comprend les ondes de la radio, les micro-ondes (microwave), les ondes infrarouges, les ondes lumineuses visibles, les ondes ultraviolettes, les ondes des rayons X, et les ondes des rayons gamma.

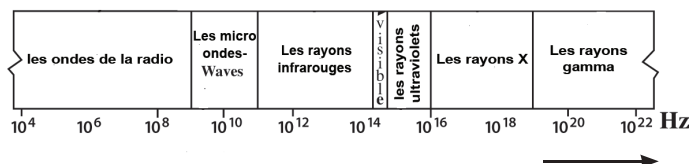


Figure (1)

## Le spectre électromagnétique

L'onde électromagnétique est constituée de deux champs, l'un électrique et l'autre magnétique, oscillant à une fréquence  $\nu$ , en phase et perpendiculaires l'un à l'autre d'une part, et perpendiculaires à la direction de propagation d'autre part, comme le montre la figure (2). Ainsi, il s'agit d'une onde transversale.

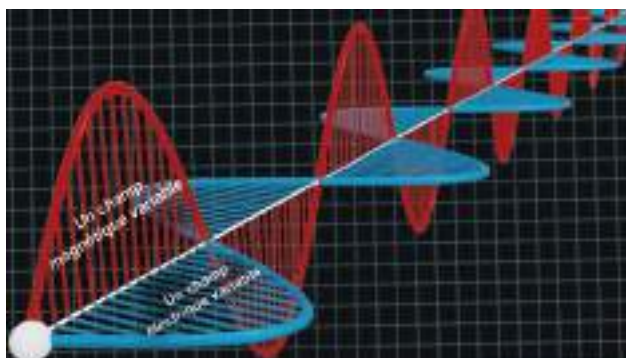


Figure (2)

L'onde électromagnétique est constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaires l'un à l'autre et à la direction de propagation de l'onde

## Réflexion et réfraction de la lumière

La lumière se propage dans toutes les directions en lignes droites à moins qu'elle ne rencontre un obstacle matériel. Si c'est le cas, elle subit une réflexion, une réfraction ou une absorption dans des degrés variables en fonction de la nature du médium obstruant.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur l'interface entre deux médiums ayant des densités optiques différentes, une partie de la lumière est réfléchi et l'autre partie est réfractée, en négligeant la partie absorbée.

Nous observons ce qui suit sur la figure ci-contre :

Les rayons incidents, réfléchis et réfractés, ainsi que la normale (N) sur l'interface du point d'incidence, tous se trouvent dans un même plan perpendiculaire à l'interface.

- Dans le cas de la réflexion :

Angle d'incidence = angle de réflexion

- Dans le cas de la réfraction :

Le rapport du sinus de l'angle d'incidence dans le premier milieu au sinus de l'angle de réfraction dans le deuxième milieu est égal au rapport de la vitesse de la lumière dans le premier milieu à la vitesse de la lumière dans le deuxième milieu,

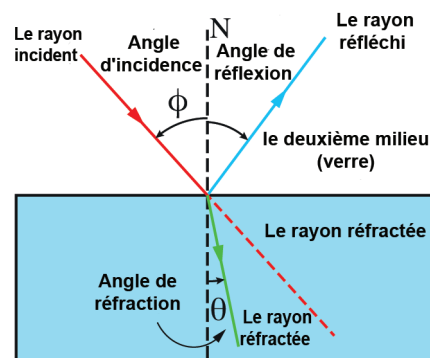
**C'est-à-dire :**

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Et le rapport  $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$  est un rapport constant pour ces deux milieux et est appelé l'indice de réfraction relatif du premier milieu au second milieu, noté par  ${}_2n_1$

**C'est-à-dire : (1)**

$$\frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} = {}_1n_2$$



**Figure (3)**  
**Réflexion et réfraction de la lumière**



### Idées pour stimuler la créativité

- Comment la propriété de réflexion des ondes électromagnétiques, y compris la lumière, peut-elle être utilisée dans l'espace pour soutenir les communications et générer de l'électricité à la surface de la Terre ?



**Figure (4)**  
**Miroir spatial de Zaniama**



## Résultats importants

- ① La vitesse de la lumière dans le vide est l'une des constantes universelles et elle est égale à  $3 \times 10^8$  m/s. La vitesse de la lumière dans le vide est supérieure à sa vitesse dans tout milieu matériel. Si nous notons la vitesse de la lumière dans le vide par le symbole  $C$  et la vitesse de la lumière dans le milieu matériel par le symbole  $V$ , alors le rapport  $\frac{C}{V}$  est appelé l'indice de réfraction absolu de ce milieu et symbolisé par  $n$ . Sa valeur est toujours supérieure à un.

(2)

$$\frac{C}{V} = n$$

- ② À partir de l'équation (2) il est clair que :

$$V = \frac{C}{n}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

**C'est-à-dire :**

Et de là, il s'ensuit

(3)

$$n_1 n_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

Et en substituant à partir de (3) dans (1)

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \phi}{\sin \theta}$$

**C'est-à-dire :**

(4)

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta$$

Cela est connu sous le nom de loi de Snell

**C'est-à-dire :** le produit de l'indice de réfraction absolu du milieu incident et du sinus de l'angle d'incidence est égal au produit de l'indice de réfraction absolu du milieu réfractif et du sinus de l'angle de réfraction.

- ③ La réfraction peut être utilisée pour analyser un faisceau lumineux en ses composantes de différentes longueurs d'onde, car l'indice de réfraction absolu d'un seul milieu varie selon la longueur d'onde du spectre qui le traverse. Ainsi, la lumière blanche se disperse en ses composants (ses spectres), ce qui peut être observé dans l'apparition d'un arc-en-ciel après pluie.

| Le milieu matériel       | Son indice de réfraction $n$ |
|--------------------------|------------------------------|
| Air                      | 1.000293                     |
| Eau                      | 1.33300                      |
| Benzene                  | 1.50100                      |
| Tétrachlorure de carbone | 1.46100                      |
| Alcool éthylique         | 1.36100                      |
| Verre à couronne         | 1.52000                      |
| Verre à silex            | 1.66000                      |
| Quartz                   | 1.48500                      |
| Diamant                  | 2.41900                      |

**"Indices de réfraction de certains matériaux"**

## Explication de la réfraction :

Si la lumière passe d'un milieu de faible densité optique à un milieu de forte densité optique, le rayon réfracté se courbe vers la normale. Cela ressemble à un chariot où une roue entre dans une zone boueuse le ralentit, tandis que l'autre roue est sur une route pavée et se déplace plus vite, ce qui fait courber le chemin comme dans la figure (5). À l'inverse, lorsque la lumière passe d'une région de densité optique plus élevée à une région de densité optique plus faible, elle se réfracte et s'éloigne de la normale comme dans la figure (6).

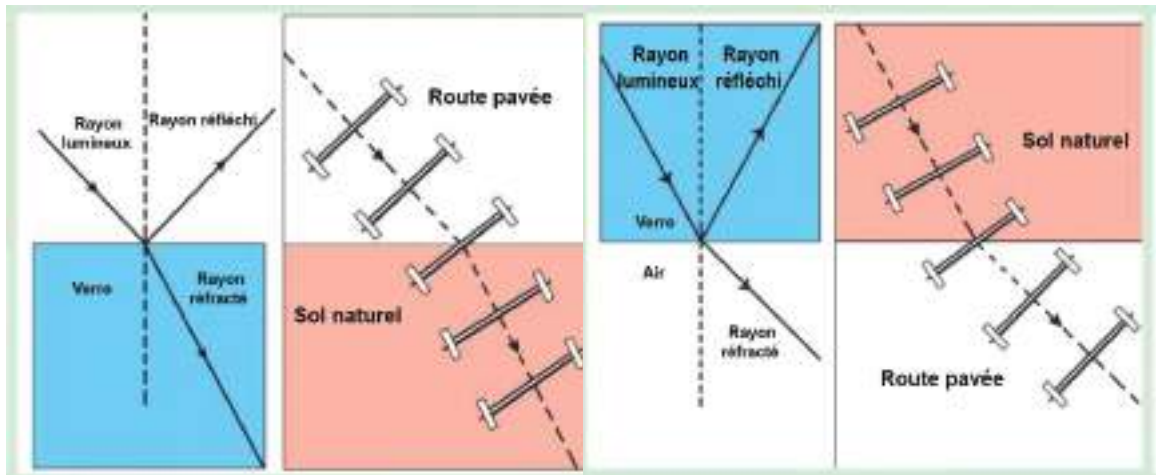


Figure (5)

Réfraction d'un milieu de faible densité optique vers un milieu de forte densité optique

Figure (6)

Réfraction d'un milieu de densité optique supérieure vers un milieu de densité optique inférieure

### Exemple 1

Si un rayon lumineux tombe de l'air sur la surface d'une plaque de verre avec un indice de réfraction de 1,5 et un angle d'incidence de  $30^\circ$ , **alors calculez** l'angle de réfraction.

#### ☛ Solution

En général, dans tous les problèmes mentionnés dans le contenu de cette étude, l'indice de réfraction absolu de l'air est considéré comme étant 1

$$\begin{aligned} \because n &= \frac{\sin \phi}{\sin \theta} & \therefore 1,5 &= \frac{\sin 30}{\sin \theta} \\ \therefore \sin \theta &= \frac{0,5}{1,5} = 0,333, \therefore \theta = 19,5^\circ \end{aligned}$$

**Quoi if**

L'angle d'incidence du rayon a augmenté à  $60^\circ$ , quel est l'effet de cela sur l'indice de réfraction du verre et l'angle de réfraction du rayon ?

### Exemple 2

Si l'indice de réfraction absolu de l'eau est  $\frac{4}{3}$  et l'indice de réfraction absolu du verre est  $\frac{3}{2}$

**alors trouvez :**

- (a) L'indice de réfraction relatif de l'eau au verre.
- (b) L'indice de réfraction relatif du verre à l'eau.

### ✚ Solution

- (a) L'indice de réfraction relatif de l'eau au verre :

$${}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

- (b) L'indice de réfraction relatif du verre à l'eau :

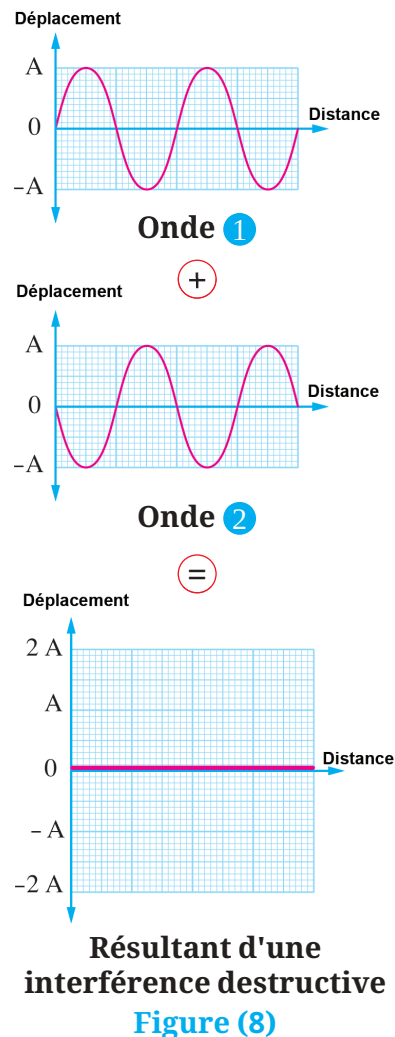
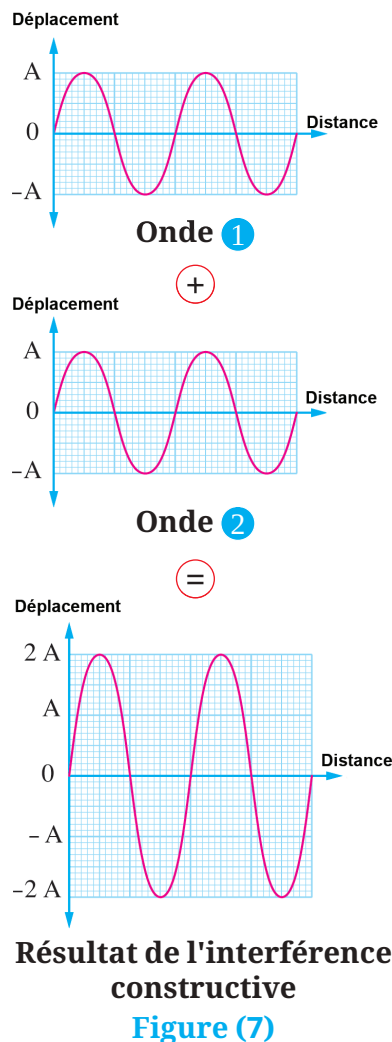
$${}_2n_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{4}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

Et à partir de cet exemple, nous voyons que :  ${}_1n_2 = \frac{1}{{}_2n_1}$ , et c'est un résultat important.

## Interférence lumineuse

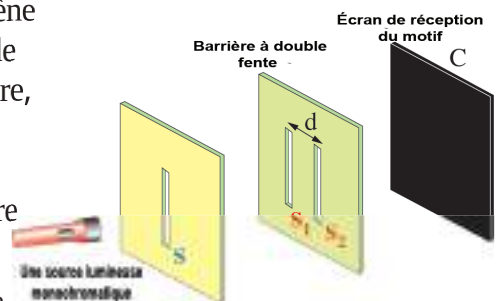
Les ondes se caractérisent par leur capacité à interférer. Par exemple, lorsque deux ondes de la même fréquence et amplitude se rencontrent et se propagent dans la même direction, comme deux ondes émises par deux sources cohérentes (sources qui émettent des ondes identiques avec la même phase), elles se superposent **et cela donne :**

- ① **Renforcement** de l'intensité des deux ondes à certaines positions **à la suite de** la rencontre d'un sommet d'une onde avec un sommet de l'autre onde, ou d'un creux d'une onde avec un creux de l'autre onde, et cela s'appelle **interférence constructive** comme le montre la figure (7).
- ② **Annulation** de l'intensité des deux ondes à d'autres positions **à la suite de** la rencontre d'un sommet d'une onde avec un creux de l'autre onde, et cela s'appelle **interférence destructive** comme le montre la figure (8).



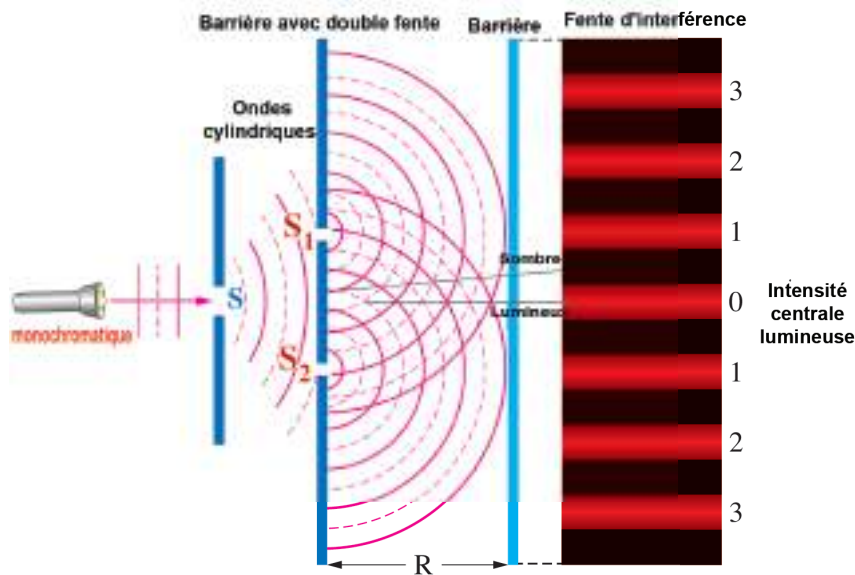
Thomas Young a mené une expérience pour étudier le phénomène d'interférence de la lumière, connue sous le nom d'expérience de la double fente, qui est illustrée dans la figure (9). Sur cette figure, une source lumineuse monochromatique, i.e., c'est-à-dire que la longueur d'onde  $\lambda$  a une seule valeur fixe et est située à une distance appropriée d'une barrière avec une ouverture rectangulaire étroite  $S$  à travers laquelle passent des ondes cylindriques vers une barrière avec deux ouvertures rectangulaires étroites  $S_1, S_2$  fonctionnant comme une double fente. La barrière à double fente est réglée de manière à ce que les deux ouvertures  $S_1, S_2$  sont situées sur le même front d'onde cylindrique, de sorte que les ondes qu'ils émettent ont la même phase, car les deux ouvertures rectangulaires se comportent comme des sources cohérentes, qui sont des sources dont les ondes ont la même fréquence et amplitude et la même phase.

Et à l'écran  $C$ , les ondes des deux mouvements ondulatoires qui lui parviennent de  $S_1, S_2$  sont superposés



**Figure (9)**  
**Expérience de Young**  
**avant d'allumer la source**  
**lumineuse**

En conséquence de cette superposition, des régions lumineuses apparaissent entrecoupées de régions sombres, connues sous le nom de franges d'interférence, comme dans la figure (10),



**Figure (10)**

### Schéma du dispositif de l'expérience de Young

La distance entre les centres de deux franges successives quelconques  $\Delta y$  du même type est déterminée par la relation :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d} \quad (5)$$

Où :  $\lambda$  est la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée,  $R$  est la distance entre la double fente et l'écran préparé pour recevoir les franges, et  $d$  est la distance entre  $S_1$ ,  $S_2$ ,

Par conséquent, cette expérience est utilisée pour déterminer la longueur d'onde de toute lumière monochromatique.

### Exemple

Dans l'expérience des fentes doubles, si la distance entre les deux fentes rectangulaires étroites est  $1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$ , et la distance entre la fente et l'écran préparé pour recevoir les franges est  $0,75 \text{ m}$ , et la distance entre les centres de deux franges lumineuses successives est  $3 \text{ mm}$ , **calculez** la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée en angströms.

### ☛ Solution

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}, \quad 3 \times 10^{-3} = \frac{0,75 \times \lambda}{1,5 \times 10^{-4}}$$

$$\lambda = \frac{1,5 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{-3}}{0,75} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}, \quad \lambda = 6 \times 10^{-7} \times 10^{10} = 6000 \text{ Å}$$



## Diffraction de la lumière

La direction de propagation de l'onde change (s'écarte de sa direction) lorsqu'elle tombe sur une fente étroite ou un bord tranchant ou pointu. Par exemple, lorsque la lumière monochromatique tombe sur une ouverture circulaire dans une barrière, selon nos connaissances sur la propagation de la lumière en ligne droite, nous nous attendons à ce qu'un point circulaire lumineux défini se forme sur l'écran montré dans la figure. Cependant, une étude approfondie de la tache lumineuse, c'est-à-dire l'étude de la distribution de l'éclairage sur l'écran, montre la présence de franges claires et sombres comme dans la figure (11), et la frange centrale lumineuse est appelée la frange du disque d'Airy.

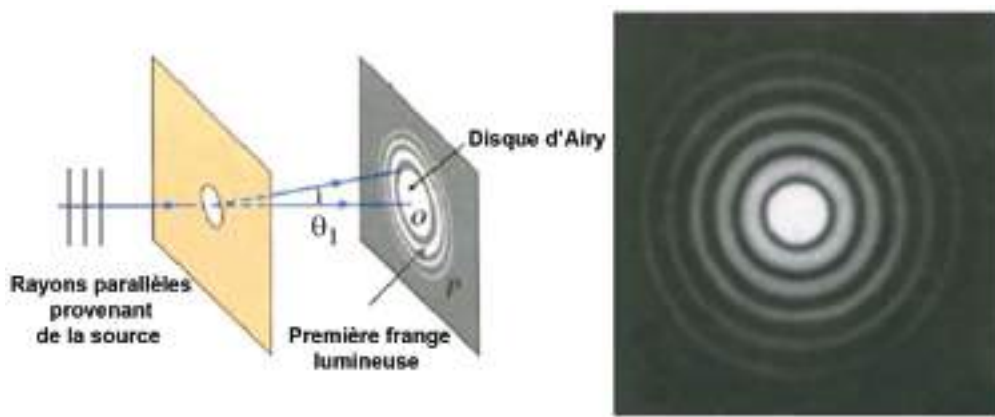


Figure (11)

### Diffraction à travers une ouverture circulaire

La figure (12) montre la diffraction à travers une ouverture rectangulaire, et en général, la diffraction apparaît clairement si la longueur d'onde est approximative aux dimensions de l'ouverture de l'obstacle, et vice versa.

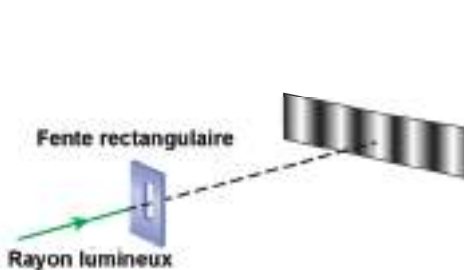


Figure (12)

### Diffraction à travers une ouverture rectangulaire

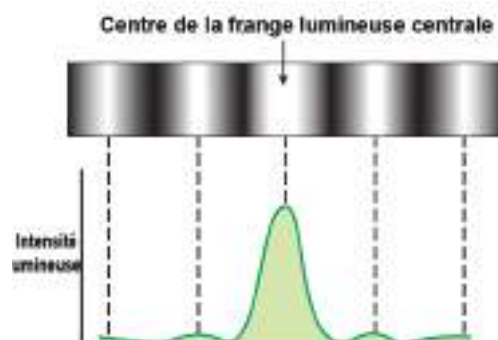
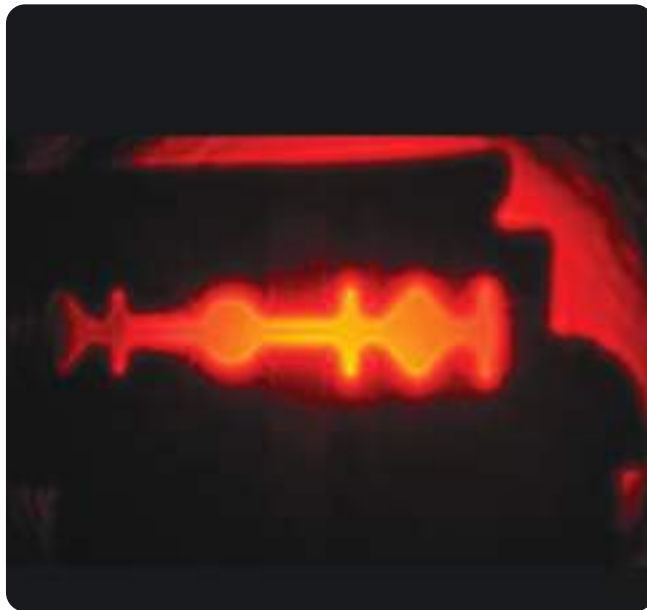


Figure (13)

### Répartition de l'intensité lumineuse sur l'écran avec la séquence de franges résultant de la diffraction à travers une ouverture rectangulaire



**Figure (14)**

### **Diffraction de la lumière à un bord net**

Il convient de mentionner qu'il n'y a pas de différence fondamentale entre les modèles d'interférence et de diffraction, car les deux résultent de la superposition d'ondes.

## **La lumière est un mouvement ondulatoire**

Il ressort clairement des paragraphes précédents que la lumière :

- ① Se propage en ligne droite.
- ② Se réfléchit lorsqu'elle rencontre une surface réfléchissante selon les lois de la réflexion.
- ③ Se réfracte lorsqu'elle rencontre une interface entre deux milieux transparents selon les lois de la réfraction.
- ④ La lumière interfère, et l'interférence entraîne une augmentation de l'intensité lumineuse à certaines positions (fentes lumineuses) et une diminution de l'intensité à d'autres positions (fentes sombres).
- ⑤ La lumière s'écarte de son trajet lorsqu'elle passe à travers une ouverture dont les dimensions sont approximatives à la longueur d'onde de la lumière ou à un bord net ou pointu.

Ce sont les mêmes propriétés générales des ondes, et donc la propagation de la lumière se fait sous forme de mouvement ondulatoire.

## Réflexion totale et angle critique

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu de densité optique plus élevée, comme l'eau (ou le verre), à un milieu de densité optique plus faible, comme l'air, le rayon réfracté s'éloigne de la normale, comme le montre le trajet du rayon (B) dans la figure (15). À mesure que l'angle d'incidence augmente dans le milieu de densité optique plus élevée (avec un indice de réfraction absolu élevé), l'angle de réfraction augmente dans le milieu de densité optique plus faible (avec un indice de réfraction absolu faible), comme le montre le trajet du rayon (C) dans la figure (15).

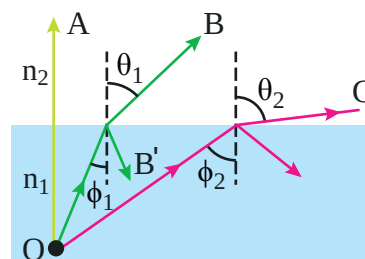


Figure (15)

Et lorsque l'angle d'incidence dans le milieu de densité optique plus élevée atteint une certaine valeur  $\phi_c$ , l'angle de réfraction dans le milieu de densité plus faible atteint sa valeur maximale et est égal à  $90^\circ$ , et à ce moment le rayon réfracté émerge coïncidant avec l'interface. L'angle d'incidence dans ce cas est appelé l'angle critique  $\phi_c$ , qui est l'angle d'incidence dans le milieu de densité supérieure correspondant à un angle de réfraction de  $90^\circ$  dans le milieu de densité inférieure.

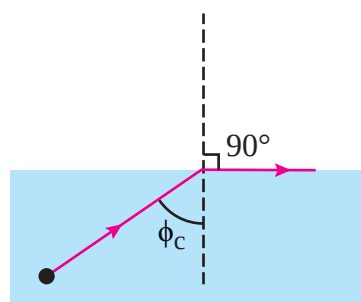


Figure (16)

En appliquant la loi de Snell dans ce cas :  $n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90$

et de celle-ci

(6)

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = {}_1n_2$$

Où :  $n^1$  est l'indice de réfraction du milieu à plus forte densité optique,  $n^2$  est l'indice de réfraction du milieu à plus faible densité optique, et  $\phi_c$  est l'angle critique entre les deux milieux.

Et lorsque le milieu de densité optique inférieure est l'air,  $n_2 = 1$ , et alors la relation précédente s'écrit comme suit :

(7)

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1}$$

Où :  $\phi_c$  représente l'angle critique pour le milieu à plus forte densité optique, et  $n^1$  est son indice de réfraction absolu,

Ainsi, l'indice de réfraction du milieu peut être calculé en connaissant son angle critique. Si l'angle d'incidence dans le milieu de densité optique plus élevée dépasse l'angle critique, le rayon lumineux ne passe pas dans le deuxième milieu de densité optique plus faible, mais subit une réflexion interne totale dans le même milieu, contrairement à tout autre angle d'incidence inférieur à l'angle critique, où une partie de la lumière est pénétrée et une partie est réfléchie, comme dans la figure (17).



**Figure (17)**  
**Réflexion totale**

### Exemple

Si les indices de réfraction du verre et de l'eau sont 1.6 et 1.33 respectivement, calculez :

- (a) L'angle critique pour le verre. (b) L'angle critique pour l'eau.  
(c) L'angle critique entre le verre et l'eau.

### ☞ Solution

(a)

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_1} = \frac{1}{1.6} = 0,625$$

Et de là :

$$\phi_c = 38,68^\circ$$

(b)

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n_2} = \frac{1}{1,33} = 0,7519$$

Et de là :

$$\phi_c = 48,76^\circ$$

(c)

$$\sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1,33}{1,6} = 0,8313$$

Et de là :

$$\phi_c = 56,23^\circ$$

**Quoi  
Si**

Un rayon lumineux est tombé avec un angle d'incidence de  $57^\circ$  de l'eau sur le verre, la réflexion interne totale se produit-elle pour le rayon ?

## Applications de la réflexion interne totale

### 1 Fibres optiques

Si nous avons un tube creux et nous regardons d'une extrémité pour voir un objet lumineux à l'autre extrémité, dans ce cas, l'objet lumineux peut être vu. Mais si le tube creux est courbé, l'objet lumineux ne peut pas être vu.

Alors, comment peut-on le voir dans ce cas ? En supposant que nous plaçons des miroirs réfléchissants aux points où le rayon lumineux frappe la paroi intérieure du tube, nous pouvons alors voir l'objet lumineux. De même, les fibres optiques peuvent être utilisées : lorsqu'un rayon lumineux tombe à un angle supérieur à l'angle critique, des réflexions internes totales se produisent, permettant au rayon de sortir avec toute son énergie de l'autre extrémité malgré la courbure de ces fibres.



**Figure (18)**  
**Fibres optiques**

Une fibre optique est une tige solide fine faite d'un matériau transparent. Si la lumière entre par une extrémité et frappe sa paroi interne à des angles d'incidence supérieurs à l'angle critique, elle subit des réflexions internes totales successives jusqu'à ce qu'elle sorte de l'autre extrémité, comme le montre la figure (19).

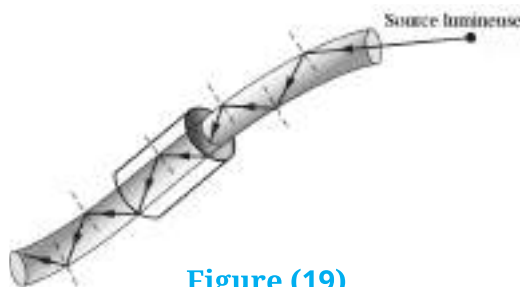


Figure (19)

Figure (20) montre un faisceau composé de milliers de fibres ensemble, flexible de sorte qu'il peut se courber et atteindre des endroits difficiles d'accès, et peut être utilisé pour transmettre la lumière avec une perte négligeable de son intensité.



Figure (20)

Les fibres optiques reçoivent maintenant une grande attention. Les fibres optiques ou photoniques sont désormais utilisées dans les examens médicaux tels que les endoscopes médicaux Figure (21), qui sont utilisés dans le diagnostic, ainsi que dans l'exécution d'opérations chirurgicales à l'aide d'un faisceau laser. Les fibres optiques et les lasers sont également utilisés dans les communications en convertissant les signaux électriques en impulsions lumineuses qui peuvent être transmises efficacement à travers un câble de fibre optique.



Figure (21)

Réalisation de chirurgies  
à l'aide d'endoscopes  
médicaux



### Idées pour stimuler la créativité

- En plus de l'utilisation des fibres optiques dans les domaines des communications et de la médecine, les fibres optiques peuvent-elles être utilisées dans d'autres domaines ?



Figure (22)

## Informations d'enrichissement (à titre de référence uniquement)

Pendant la transmission de la lumière à l'intérieur de la fibre optique, les rayons lumineux peuvent tomber sur la paroi de la fibre avec un angle d'incidence inférieur à l'angle critique, ce qui les fait réfracter et s'échapper hors de la fibre, ce qui réduit par conséquent l'efficacité de la transmission de la lumière.

C'est pour cela que, la fibre optique est constituée de deux couches (interne et externe), de sorte que l'indice de réfraction de la couche externe est inférieur à celui de la couche interne, ce qui aide à augmenter la probabilité de réflexion interne totale et augmente ainsi l'efficacité de la transmission de la lumière.

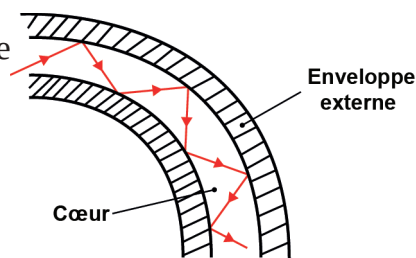
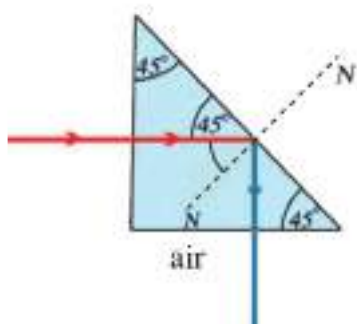


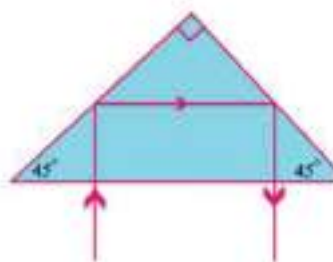
Figure (23)

## 2 Prisme réfléchissant

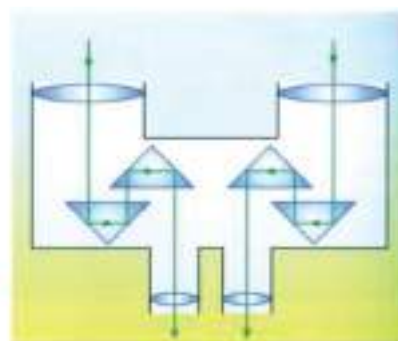
- Puisque l'angle critique entre le verre dont l'indice de réfraction absolu est (1,5) et l'air est d'environ  $42^\circ$ , alors un prisme en verre triangulaire avec des angles ( $45^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ) est utilisé pour changer la trajectoire d'un faisceau lumineux de  $90^\circ$  ou  $180^\circ$ . Un tel prisme est utilisé dans certains dispositifs optiques tels que le périscope utilisé dans les sous-marins et dans les jumelles de campagne Figure (24).



a. Le prisme réfléchissant change la trajectoire de la lumière en  $90^\circ$



b. Le prisme réfléchissant change la trajectoire de la lumière en  $180^\circ$



c. Utilisation du prisme dans les jumelles de campagne

Figure (24)

### Prisme réfléchissant

L'utilisation du prisme à cette fin est préférable à l'utilisation d'une surface réfléchissante métallique (ou d'un miroir).

- 1 Parce que la lumière est totalement réfléchi à l'intérieur du prisme, et il est rare de trouver une surface métallique réfléchissante d'une efficacité de 100 %.



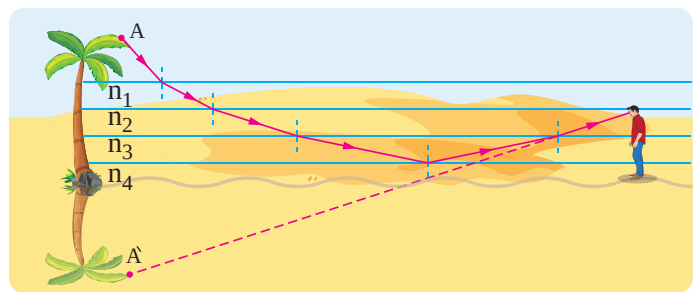
- ② La surface métallique peut perdre son éclat ou sa brillance, réduisant ainsi sa capacité à réfléchir la lumière, ce qui ne se produit pas dans le prisme. Pratiquement, une partie de la lumière est perdue lorsqu'elle entre ou sort du prisme, mais cela peut être évité en recouvrant la surface par laquelle la lumière entre ou sort d'un mince film non réfléchissant tel que le fluorure d'aluminium ou le fluorure de magnésium (dont l'indice de réfraction est inférieur à celui du verre).

### 3 Mirage

Le mirage est un phénomène familier au temps chaud (très chaud), et peut être observé en été sur les routes où la route semble être, pour le passager de la voiture, recouverte d'eau, Figure (52 A), Il peut être également observé dans les déserts où les palmiers où on voit des images inversées des palmiers ou des collines similaires à celles produites par la réflexion d'une surface d'eau, faisant penser à l'observateur qu'il y a de l'eau, Figure (52 B).



**Figure (25 A)**  
Les routes pavées  
semblent mouillées



**Figure (25 B)**  
Voir l'image d'un palmier dans le désert  
suggère la présence d'eau

#### Ce phénomène s'explique comme suit :

Dans les temps très chaud, la température des couches d'air adjacentes au sol augmente, ce qui rend leur densité inférieure à celle des couches au-dessus d'elles. En conséquence, les indices de réfraction des couches d'air supérieures sont supérieurs à ceux des couches inférieures. Par conséquent, si nous traçons un rayon lumineux provenant du sommet d'un palmier, par exemple, ce rayon, lorsqu'il passe de la couche supérieure à celle qui se trouve en dessous, se réfracte à l'écart de la normale à l'interface entre les deux couches.

Lorsqu'il passe de cette couche à la suivante, sa déviation augmente, et ainsi le rayonnement se dévie à mesure qu'il traverse les couches d'air successives, suivant un chemin courbé. Lorsque son angle d'incidence dans l'une des couches devient supérieur à l'angle critique pour la couche située en dessous, le rayon lumineux subit une réflexion interne totale, suivant un chemin courbé vers le haut jusqu'à ce qu'il atteigne l'œil, qui voit l'image du sommet du palmier le long du chemin du rayonnement arrivant. Cela explique pourquoi son image apparaît inversée (Figure 52 B) et l'observateur pense qu'il y a de l'eau.

## Déviation de la lumière dans le prisme triangulaire

Lorsqu'un rayon de lumière tel que le rayon (ab) tombe sur la face (XY) d'un prisme triangulaire, ce rayon se réfracte à l'intérieur du prisme, prenant le chemin (bc) jusqu'à ce qu'il frappe la face (XZ) comme dans la figure (26), puis sort vers le milieu d'origine dans la direction (cd).

À partir de cette figure, nous voyons que le rayon lumineux dans le prisme triangulaire se réfracte deux fois, une fois à la première face (XY) et à nouveau à la deuxième face (XZ), Par conséquence, le rayon s'écarte de sa trajectoire d'un certain angle appelé angle de déviation  $\alpha$ .

**L'angle de déviation :** est l'angle aigu entre les extensions des rayons incident et émergent, noté ici par le symbole  $\alpha$ .

Si l'angle d'incidence est  $\phi_1$ , l'angle de réfraction à la première face est  $\theta_1$ , l'angle d'incidence à la deuxième face est  $\phi_2$ , l'angle d'émergence est  $\theta_2$ , et l'angle du sommet du prisme est A, nous constatons à partir de la géométrie de la figure (26) ce qui suit :

$$\alpha = (\phi_1 - \theta_1) + (\theta_2 - \phi_2)$$

$$\alpha = (\phi_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \phi_2)$$

$$e + A = 180^\circ$$

$$e + \theta_1 + \phi_2 = 180^\circ$$

(8)

$$\therefore A = \theta_1 + \phi_2$$

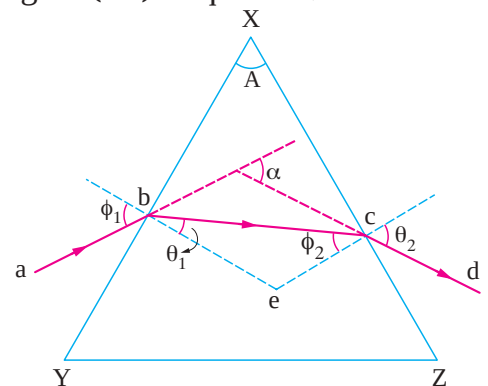
Par substitution de l'équation(8), nous trouvons que:

(9)

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$$

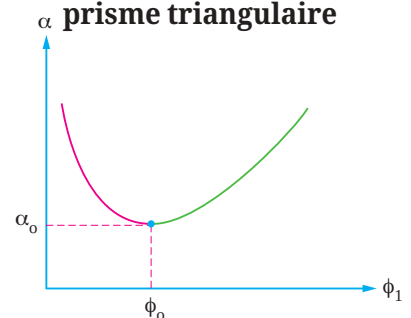
De cette relation, il ressort clairement que l'angle de déviation dans un prisme triangulaire avec un angle d'apex A dépend de l'angle d'incidence  $\phi_1$ .

Pratiquement, on peut démontrer que l'angle de déviation diminue progressivement à mesure que l'angle d'incidence augmente jusqu'à ce que l'angle de déviation atteigne une certaine limite connue sous le nom de déviation minimale ( $\alpha_0$ ), après quoi l'angle de déviation augmente progressivement à mesure que l'angle d'incidence augmente, comme dans la figure (27).



**Figure (26)**

**Le trajet du rayon lumineux dans un prisme triangulaire**



**Figure (27)**

**La relation graphique entre l'angle de déviation et l'angle d'incidence dans le prisme triangulaire**

À la position de déviation minimale, on peut démontrer, scientifiquement et théoriquement que :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

Et les équations (8) et (9) deviennent comme suit :

$$A = 2 \theta_o$$

$$= \frac{A}{2} \theta_o$$

$$\alpha_o = 2 \phi_o - A$$

De là

$$\phi_o = \frac{\alpha_o + A}{2}$$

Dans le cas où le prisme triangulaire est entouré d'air, l'indice de réfraction de son matériau est :

$$n = \frac{\sin \phi_o}{\sin \theta_o}$$

En substituant  $\theta_o$ ,  $\phi_o$ , nous constatons que l'indice de réfraction du matériau du prisme dans la position de déviation minimale est déterminé par la relation :

$$(10) \quad n = \frac{\sin \left( \frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left( \frac{A}{2} \right)}$$

## **Expérience pratique pour déterminer le trajet d'un rayon lumineux à travers un prisme triangulaire**

### **Outils nécessaires :**

- |                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| ① Prisme en verre avec angle d'apex 60° | ② Épingles |
| ③ Équerre                               | ④ Règle    |

### **Procédure :**

- ① Placez le prisme sur une feuille blanche et marquez sa base triangulaire, puis retirez le prisme et tracez une ligne (ab) incliné sur l'une des faces du prisme représentant un rayon incident d'un certain angle d'incidence.
- ② Placez le prisme dans sa position, puis regardez du côté opposé et déterminez la position du rayon émergent (cd) en utilisant des épingles, ou en plaçant une règle de sorte que le bord de la règle se trouve à l'étendu de l'image du rayon incident (ab), puis dessinez une ligne (cd) le long du bord de la règle.

③ Soulevez le, puis reliez (bc) de sorte que le trajet du rayon lumineux soit (abcd) de l'air au verre à l'air à nouveau.

④ Étendez le rayon émergent (cd) en ligne droite jusqu'à ce qu'elle rencontre l'extension du rayon incident (ab). Dans ce cas, l'angle aigu compris entre eux devient l'angle de déviation  $\alpha$  comme indiqué dans la figure (28).

⑤ Mesurez chacun des éléments suivants : angle d'incidence  ${}_1\phi$ , angle de réfraction  $\theta_1$ , angle d'incidence interne  ${}_2\phi$ , angle d'émergence  $\theta_2$ , et angle de déviation  $\alpha$

⑥ Répétez la procédure précédente plusieurs fois, en changeant l'angle d'incidence, et placez les résultats dans un tableau comme suit :

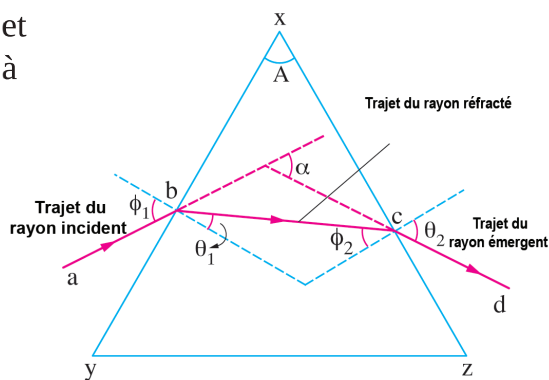


Figure (28)

Le trajet du rayon lumineux dans un prisme triangulaire

| Angle d'apex du prisme A | Angle d'incidence ${}_1\phi$ | Angle de réfraction $\theta_1$ | angle d'incidence interne ${}_2\phi$ | Angle d'émergence $\theta_2$ | Angle de déviation $\alpha$ |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| .....                    | .....                        | .....                          | .....                                | .....                        | .....                       |

Utilisez les équations (8) et (9) pour calculer les valeurs de  $\alpha$  et A, et comparez les résultats avec les valeurs mesurées expérimentalement.

### Exemple

La figure ci-contre représente un rayon lumineux incident avec un angle de  $45^\circ$  sur une face d'un prisme triangulaire équilatéral avec un indice de réfraction de son matériau 1,5 **Calculez :**

(a) L'angle d'émergence du rayon lumineux sortant du prisme.

(b) L'angle de déviation du rayon lumineux.

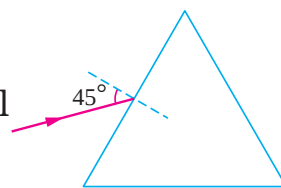


Figure (29)

### ☛ Solution

(a) \* En appliquant la loi de Snell :

$$\sin \phi_1 = n \sin \theta_1 \because$$

$$\therefore \sin \theta_1 = \frac{\sin 45^\circ}{1,5}$$

$$\therefore \theta_1 = 28,13^\circ$$

$$\therefore A = \theta_1 + \phi_2$$

$$\therefore \phi_2 = A - \theta_1 = 60 - 28,13 = 31,87^\circ$$

$$\therefore \sin \phi_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,5}$$

$$\therefore \phi_c = 41,81^\circ$$

\* En comparant le deuxième angle d'incidence ( $\phi_2$ ) avec l'angle critique du matériau du prisme, nous trouvons que :  $\phi_2 < \phi_c$   
 $\therefore$  Le rayon traverse la face du prisme et la loi de Snell s'applique.

$$\therefore \sin \theta_2 = n \sin \phi_2 = 1,5 \sin 31,87 \quad \therefore \theta_2 = 52,37^\circ$$

$$\therefore \alpha = \phi_1 + \theta_2 - A \quad \therefore \alpha = 45 + 52,37 - 60 = 37,37^\circ \quad (B)$$

**Quoi Si**

L'angle d'incidence ( $\phi_1$ ) a été progressivement augmenté jusqu'à  $52,37^\circ$ , Quel effet a-t-il sur l'angle de déviation du rayon ?

## Conceptions incorrectes

**Certains croient** que l'angle de déviation de la lumière ( $\alpha$ ) dans un prisme triangulaire augmente avec l'augmentation de l'angle d'incidence ( $\phi_1$ ) selon la relation ( $\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$ )

**En fait**, la relation entre les deux quantités n'est pas aussi simple qu'elle en a l'air, puisque la valeur de ( $\theta_2$ ) change également avec le changement de l'angle d'incidence ( $\phi_1$ ).

## Dispersion de la lumière par le prisme triangulaire

Nous avons conclu dans le paragraphe précédent que, dans la position de déviation minimale, l'indice de réfraction du matériau du prisme entouré d'air est déterminé par la relation :

$$n = \frac{\sin \left( \frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left( \frac{A}{2} \right)}$$

Où :  $n$  l'indice de réfraction du matériau du prisme,  $\alpha_o$  est l'angle de déviation minimale et  $A$  est l'angle du sommet du prisme.

Étant donné que l'angle d'apex du prisme est constant, il est clair qu'un changement de l'indice de réfraction du matériau du prisme s'accompagne d'un changement de la valeur de l'angle de déviation minimale. À mesure que l'indice de réfraction augmente, l'angle de déviation minimale augmente, et vice versa.

Étant donné que l'indice de réfraction  $n$  dépend de la longueur d'onde de la lumière traversant le prisme, l'angle de déviation minimale dépend également de la longueur d'onde de cette lumière.

Par conséquent, si un faisceau de lumière blanche tombe sur un prisme triangulaire placé dans la position de déviation minimale, la lumière qui sort du prisme se disperse dans les couleurs du spectre connues comme le montre la figure (30),

De la figure, nous constatons que les rayons de lumière violette sont les plus déviés parmi les rayons de lumière visible (l'indice de réfraction du matériau du prisme est plus élevé pour la lumière violette), et les rayons de lumière rouge sont les moins déviés (l'indice de réfraction du matériau du prisme est moins élevé pour la lumière rouge). L'ordre des couleurs du spectre visible dans lequel la lumière blanche se disperse, de l'apex du prisme à sa base, est : rouge - orange - jaune - verte – bleue - indigo - Violette.



Figure (30)

Le prisme disperse les couleurs du spectre

### Informations d'enrichissement (à titre de référence uniquement)

#### \* Explication du phénomène de l'arc-en-ciel :

Lorsque la lumière du soleil traverse des gouttelettes d'eau suspendues dans l'air après la pluie, ce qui suit se produit à l'intérieur de chaque gouttelette :

- ① La lumière se réfracte lorsque le rayon entre de l'air à l'eau.
- ② La lumière se disperse alors que les différentes couleurs de lumière se réfractent sous différents angles, car chaque couleur a une longueur d'onde différente, et donc l'indice de réfraction de l'eau varie selon chaque longueur d'onde.
- ③ La lumière est totalement réfléchiée sur la surface intérieure de la goutte lorsqu'elle tombe à des angles d'incidence supérieurs à l'angle critique.
- ④ La lumière se réfracte à nouveau lorsqu'elle sort de la goutte dans l'air, et atteint nos yeux de sorte que nous voyons les sept couleurs du spectre.



Figure (31)

### Développer la pensée critique

Le prisme triangulaire disperse la lumière en ses composants. Les bulles de savon, les DVD, les gouttelettes d'eau dans l'atmosphère et la couche de kérosène flottant à la surface de l'eau font de même. **Sont-ils tous d'accord** sur la façon dont ils dispersent la lumière ?



Figure (32)

Dispersion de la lumière à la surface d'un disque DVD



Figure (33)

Dispersion de la lumière dans une bulle de savon



# Résumé

## Premièrement: Définitions et concepts de base

- Les deux lois de la réflexion de la lumière :
  - (1) Angle d'incidence = angle de réflexion.
  - (2) Le rayon lumineux incident, le rayon lumineux réfléchi et la normale tracée du point d'incidence sur la surface réfléchissante sont tous situés dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.
- La lumière change de direction de propagation lorsqu'elle tombe à un angle aigu sur l'interface entre deux milieux transparents en raison de la différence de vitesse de la lumière dans le deuxième milieu  $v_2$  comparé à sa vitesse dans le premier médium  $v_1$ , et la réfraction de la lumière est soumise à ce qui suit :
  - (1) Le rapport du sinus de l'angle d'incidence dans le premier milieu au sinus de l'angle de réfraction dans le second milieu est une constante pour ces deux milieux, appelée indice de réfraction relatif du premier milieu par rapport au second, noté  ${}_1n_2$  et il est également égal au rapport de la vitesse de la lumière  $v_1$  dans le premier milieu à la vitesse de la lumière  $v_2$  dans le second milieu.
  - (2) Le rayon lumineux incident, le rayon lumineux réfracté et la normale tracée du point d'incidence sur l'interface sont tous situés dans un même plan perpendiculaire à l'interface.
- L'indice de réfraction absolu d'un milieu est le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide à la vitesse de la lumière dans le milieu.
- La loi de Snell sur la lumière stipule : Le produit de l'indice de réfraction absolu du milieu d'incidence et du sinus de l'angle d'incidence est égal au produit de l'indice de réfraction absolu du milieu de réfraction et du sinus de l'angle de réfraction.
- Interférence : Le phénomène de superposition des ondes lumineuses émises par deux sources cohérentes, entraînant une augmentation de l'intensité lumineuse à certains points (fentes lumineuses) et l'absence d'intensité lumineuse à d'autres points (fentes sombres).
- Diffraction : Le changement de direction de la propagation des ondes lorsqu'elle tombe sur une fente étroite ou un bord tranchant ou pointu.
- La lumière se propage sous forme d'une onde, car les ondes lumineuses subissent la réflexion, la réfraction, l'interférence et la diffraction.
- L'angle critique : C'est l'angle d'incidence dans le milieu de densité optique plus élevée qui correspond à un angle de réfraction dans le milieu de densité optique plus faible de  $90^\circ$
- L'indice de réfraction absolu d'un milieu est égal à l'inverse du sinus de son angle critique lorsque la lumière passe de ce milieu à l'air ou au vide.

- Réflexion totale : Lorsque l'angle d'incidence de la lumière dans le milieu de densité optique plus élevée est supérieur à l'angle critique, la lumière ne passe pas dans le milieu de densité optique plus faible mais est totalement réfléchi à l'interface.
- Applications de la réflexion totale (phénomène de mirage - prisme réfléchissant - fibres optiques).
- L'angle de déviation  $\alpha$  est l'angle aigu entre les extensions des rayons incident et émergent.

## **Deuxièmement : Lois et relations de base**

- L'indice de réfraction relatif entre deux milieux :

$${}_1n_2 = \frac{\sin \phi}{\sin \theta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

- L'indice de réfraction absolu d'un milieu :

$$n = \frac{c}{v}$$

- Loi de Snell :

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \theta$$

- Dans l'expérience des deux fentes, la distance entre les centres de deux franges consécutives du même type :

$$\Delta y = \frac{\lambda R}{d}$$

- L'angle critique d'un milieu :

$$\sin \phi_c = \frac{1}{n}$$

- L'angle au sommet du prisme triangulaire :

$$A = \theta_1 + \phi_2$$

- L'angle de déviation de la lumière dans un prisme triangulaire :

$$\alpha = \phi_1 + \theta_2 - A$$

- Dans la position de déviation minimale pour le prisme triangulaire :

$$\phi_1 = \theta_2 = \phi_o$$

$$\theta_1 = \phi_2 = \theta_o$$

$$n = \frac{\sin \left( \frac{\alpha_o + A}{2} \right)}{\sin \left( \frac{A}{2} \right)}$$

## Questions et exercices

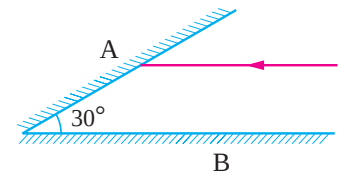


### Premièrement: Complétez les phrases suivantes

1. Dans l'expérience de Young, la distance entre les centres de deux franges consécutives du même type est déterminée par la relation .....
2. La loi de Snell stipule .....

### Deuxièmement : Choisissez la bonne réponse

1. Dans la figure ci-contre, un rayon de lumière a frappé le miroir A de manière à être parallèle au miroir B, donc lorsque :



(A) Le rayon se reflète sur le miroir A et

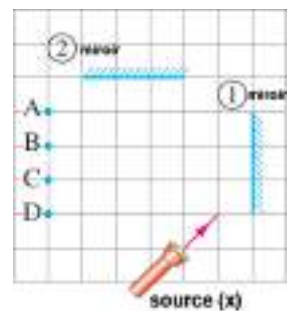
tombe sur le miroir B L'angle d'incidence est .....

- (a)  $90^\circ$                       (b)  $60^\circ$                       (c)  $30^\circ$                       (d)  $0^\circ$

(B) Le rayon réfléchi par le miroir B retombe sur le miroir A L'angle d'incidence est .....

- (a)  $90^\circ$                       (b)  $45^\circ$                       (c)  $30^\circ$                       (d)  $0^\circ$

2. La figure ci-contre montre, à une certaine échelle, un faisceau laser tombant de la source x vers le miroir ①, de sorte que le rayon, après réflexion sur le miroir ②, passe par le point .....



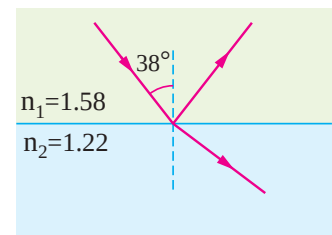
- (a) A                                      (b) B  
(c) C                                      (d) D

3. Le rapport du sinus de l'angle d'incidence dans le premier milieu au sinus de l'angle de réfraction dans le second milieu est appelé .....

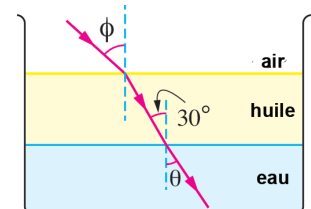
- (a) L'indice de réfraction absolu du premier milieu  
(b) Le absolu indice de réfraction du deuxième milieu  
(c) L'indice de réfraction relatif du deuxième milieu au premier milieu  
(d) L'indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième milieu

4. Un rayon de lumière tombe sur une surface séparant deux milieux. Si l'angle d'incidence dans le premier milieu est  $60^\circ$  et l'angle de réfraction dans le deuxième milieu est  $30^\circ$ , alors l'indice de réfraction relatif du premier milieu au deuxième milieu est .....
- (a)  $\sqrt{3}$       (b)  $\frac{1}{2}$       (c)  $\sqrt{2}$       (d) 2
5. Un rayon de lumière tombe à un angle de  $48.6^\circ$  sur une face d'un bloc de verre rectangulaire avec un indice de réfraction de 1.5, donc l'angle de réfraction dans le verre est .....
- (a)  $20^\circ$       (b)  $30^\circ$       (c)  $35^\circ$       (d)  $40^\circ$
6. Un rayon de lumière tombe sur l'interface entre deux milieux dont les indices de réfraction sont tels que montrés sur la figure adjacente, de sorte que les valeurs de l'angle de réflexion et de l'angle de réfraction sont .....

|     | Angle de réflexion | Angle de réfraction |
|-----|--------------------|---------------------|
| (a) | $38^\circ$         | $68.38^\circ$       |
| (b) | $52.88^\circ$      | $38^\circ$          |
| (c) | $28.38^\circ$      | $38^\circ$          |
| (d) | $38^\circ$         | $52.88^\circ$       |

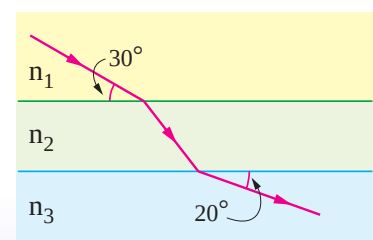


7. La figure ci-contre montre la transition d'une lumière ray du air à l'huile puis à l'eau. Si l'indice de réfraction absolu de l'huile est 1.48 et pour l'eau est 1.33, alors les valeurs de  $\theta$ ,  $\phi$  sont .....



|     | $\phi$        | $\theta$      |
|-----|---------------|---------------|
| (a) | $41.6^\circ$  | $33.81^\circ$ |
| (b) | $41.6^\circ$  | $41.6^\circ$  |
| (c) | $47.73^\circ$ | $33.81^\circ$ |
| (d) | $47.73^\circ$ | $41.6^\circ$  |

8. La figure ci-contre montre la transition d'un rayon de lumière à travers trois différents médias transparents, donc la relation entre :
- (A) Les indices de réfraction absolus de ces milieux sont .....



- (a)  $n_3 > n_1 > n_2$       (b)  $n_1 > n_2 > n_3$   
(c)  $n_2 > n_1 > n_3$       (d)  $n_2 > n_3 > n_1$

(B) La vitesse de la lumière dans les trois milieux est .....

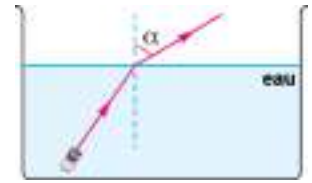
(a)  $v_1 > v_2 > v_3$

(b)  $v_2 < v_1 < v_3$

(c)  $v_1 > v_3 > v_2$

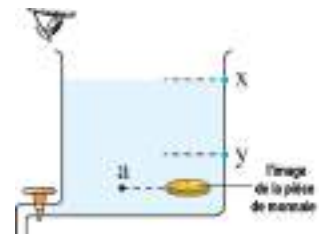
(d)  $v_3 < v_1 < v_2$

9. Dans la figure ci-contre, un rayon de lumière est passé de l'eau à l'air et est sorti à un angle  $\alpha$ . Si un liquide transparent qui ne se mélange pas à l'eau et qui a une densité inférieure à celle de l'eau est ajouté lentement de sorte qu'il flotte à la surface de l'eau, alors l'angle d'émergence du rayon dans l'air sera .....



(a) Supérieur à  $\alpha$  (b) Inférieur à  $\alpha$  (c) Égal à  $90^\circ$  (d) Égal à  $\alpha$

10. Une personne regarde attentivement une pièce de monnaie placée au fond d'un récipient rempli d'eau jusqu'au niveau . x, donc la pièce lui apparaît à une certaine position (a) comme dans la figure adjacente. Si le robinet est ouvert de manière à ce que l'eau quitte progressivement le récipient jusqu'à ce que sa surface atteigne le niveau y, la personne voit l'image de la pièce de monnaie .....



(a) S'élève progressivement vers le haut  
(b) Diminue progressivement vers le bas  
(c) Au fond du navire (d) Reste fixé à sa position (a)

11. Dans l'expérience des fentes doubles, si la distance entre les fentes est  $10^{-4}$  m, et la distance entre les centres de deux franges successives du même type est 3,75 mm, et l'écran recevant la frange d'interférence est à une distance de 0,75 m à partir de la barrière fendue, puis la longueur d'onde de la lumière utilisée est .....

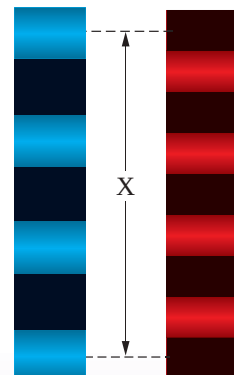
(a) 5000 Å

(b) 5400 Å

(c) 6000 Å

(d) 6400 Å

12. Deux tentatives ont été faites pour réaliser l'expérience des fentes doubles : la première en utilisant de la lumière rouge monochromatique et la seconde en utilisant de la lumière bleue monochromatique, la distance entre les fentes étant maintenue constante. La figure adjacente représente les franges d'interférence formées lors des deux tentatives. Si la distance entre l'écran et la barrière à double fente dans les deux cas est  $R_b$ ,  $R_r$  respectivement, puis le ratio  $\left(\frac{R_r}{R_b}\right)$  .....



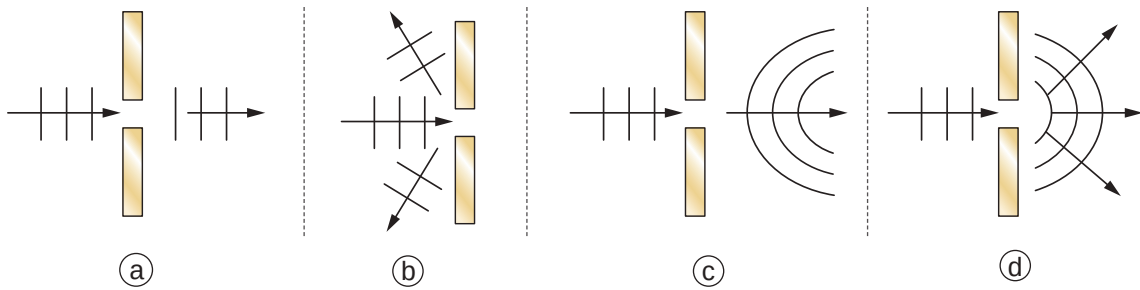
(a) Supérieur à un (b) Inférieur à un

(c) Égal à un

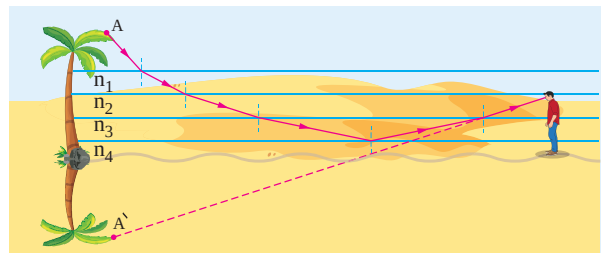
(d) Impossible à déterminer

Deuxième tentative Première tentative

13. Quelle des figures suivantes représente correctement la diffraction de la lumière lorsqu'elle tombe sur une barrière avec une petite ouverture?



14. La figure ci-contre représente l'occurrence du phénomène de mirage. Le bon ordre des indices de réfraction de la les couches d'air est.....



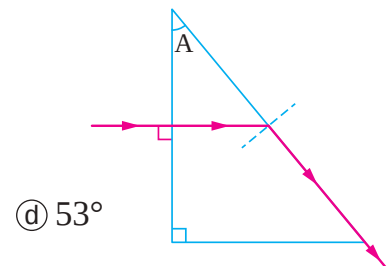
- (a)  $n_3 < n_2 < n_1$  (b)  $n_1 < n_2 < n_3$   
(c)  $n_2 < n_1 < n_3$  (d)  $n_3 < n_1 < n_2$

15. Si l'angle critique pour un milieu par rapport à l'air est  $45^\circ$ , alors l'indice de réfraction de ce milieu est .....

- (a) 1.64 (b) 2 (c) 1.7 (d)  $\sqrt{2}$

16. Dans la figure ci-contre, un rayon de lumière traverse un prisme triangulaire en matériau transparent à une vitesse de  $0.8c$ , où  $c$  est la vitesse de la lumière dans l'air. L'angle A est approximativement égal à .....

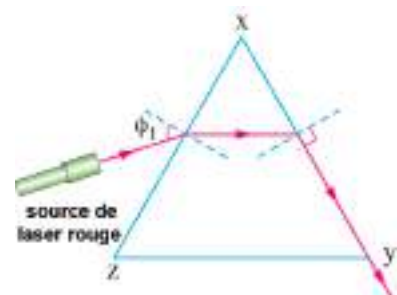
- (a)  $37^\circ$  (b)  $40^\circ$  (c)  $50^\circ$



- (d)  $53^\circ$

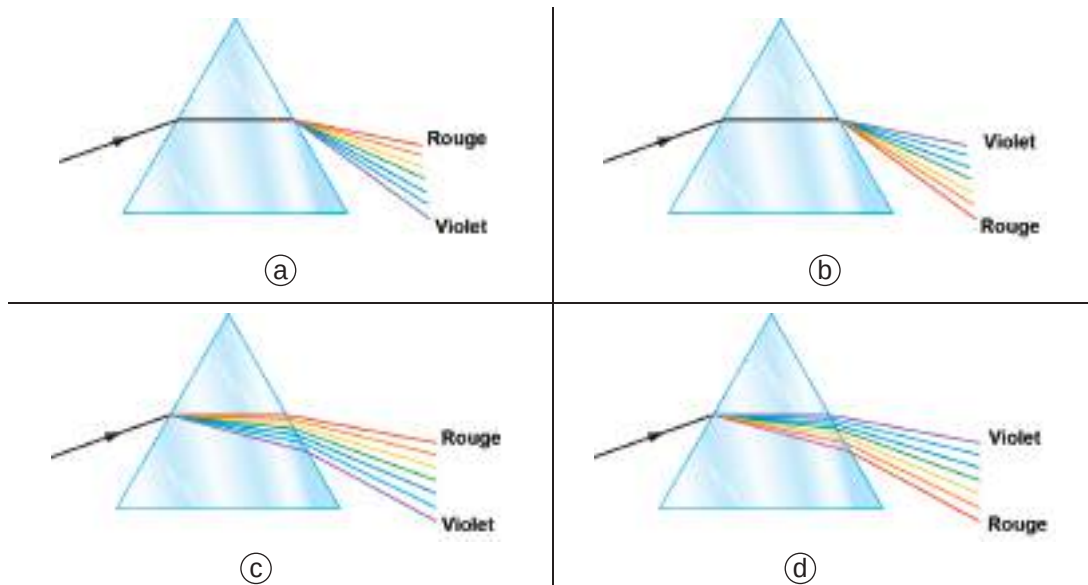
17. Dans la figure ci-contre, si on vous demande de remplacer la source laser rouge par une source laser bleue de sorte que le faisceau bleu émerge tangent à l'interface, comment est l'angle d'incidence  $\phi_1$  Quel changement faut-il apporter pour y parvenir ?

- (a) Augmenter  
(b) Diminuer  
(c) Ne le modifiez pas  
(d) Impossible de déterminer la réponse





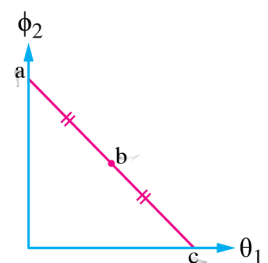
18. Si un faisceau étroit de lumière blanche tombe sur une face d'un prisme triangulaire en position de déviation minimale, laquelle des figures suivantes montre correctement la dispersion de ce faisceau lumineux ?



19. Le graphique ci-contre représente la relation entre le deuxième angle d'incidence ( $\phi_2$ ) et le premier angle de réfraction ( $\theta_1$ ) lorsqu'un rayon de lumière traverse un prisme triangulaire équilatéral, de sorte que la position de la déviation minimale est représentée par.....

- (a) Le point d  
(c) Le point c

- (b) Le point b  
(d) Les deux points a, c



20. Dans une expérience visant à déterminer l'écart minimal dans un prisme triangulaire, il a été constaté que cet angle est égal à  $2,84^\circ$ . Si l'angle du sommet du prisme est  $58,8^\circ$ , alors l'indice de réfraction de son matériau est .....

- (a) 1,5                      (b) 1,64                      (c) 1,82                      (d) 1,85

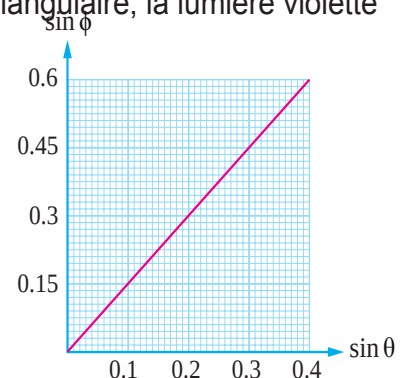
### Troisièmement : Questions à développement

- Expliquez pourquoi on peut dire que la lumière est un mouvement ondulatoire.
- Définissez chacun des éléments suivants :
  - L'indice de réfraction relatif entre deux milieux.
  - L'indice de réfraction absolu d'un milieu.
  - L'angle critique.
  - L'angle de déviation.
- Expliquez une expérience qui démontre le phénomène d'interférence dans la lumière.

4. L'expérience des deux fentes a été réalisée avec de la lumière rouge, que se passe-t-il avec la distance entre les centres des franges formées si :
- (A) La distance entre les fentes est réduite ?
  - (B) On utilise de la lumière bleue à la place de la lumière rouge ?
  - (C) L'écran recevant les franges est-il déplacé plus loin de la barrière à double fente ?
5. Trois lampes distinctes ont été placées au fond plat d'une piscine dans un hôtel. La première émet une lumière jaune, la seconde émet une lumière rouge et la troisième émet une lumière bleue. Des taches circulaires colorées se sont formées à la surface de l'eau avec des zones  $A_b$ ,  $A_r$ ,  $A_y$  respectivement. Trier les zones des cercles lumineux sur la surface de l'eau par ordre croissant, avec une explication de la raison de la différence de la zone du cercle lumineux de chaque couleur par rapport aux autres.
6. Expliquez l'apparition du phénomène de mirage.
7. Dérivez la relation utilisée pour trouver l'angle de déviation minimum de la lumière ( $\alpha_0$ ) lorsqu'elle passe à travers un prisme triangulaire avec un angle d'apex ( $A$ ) et un indice de réfraction de son matériau ( $n_p$ ) tandis qu'elle est immergée dans un liquide tel que l'eau avec un indice de réfraction ( $n_w$ ).
8. Expliquez : Lorsqu'une lumière blanche tombe sur un prisme triangulaire, la lumière violette est déviée davantage que la lumière rouge.

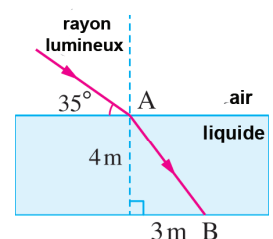
### Quatrièmement : Exercices

1. Le graphique ci-contre représente la relation entre le sinus de l'angle d'incidence d'un rayon lumineux dans un milieu transparent ① et le sinus de son angle de réfraction dans le milieu qu'il entre ②, et si la vitesse de la lumière dans le milieu ① est  $2 \times 10^8$  m/s, calculez :
- (a) L'indice de réfraction relatif du milieu ① au milieu ②.
  - (b) La vitesse de la lumière dans le milieu ②.



(1.5,  $1.33 \times 10^8$  m/s)

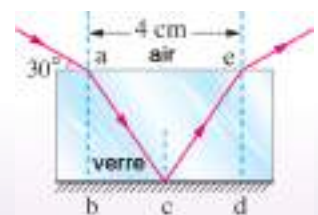
2. La figure ci-contre montre un rayon lumineux passant de l'air à une couche de liquide d'une épaisseur de 4 m. Si vous savez que la vitesse de la lumière dans l'air est égale à  $3 \times 10^8$  m/s, calculez :



- (a) L'indice de réfraction du liquide.
- (b) Le temps que met le rayon pour se déplacer du point A au point B

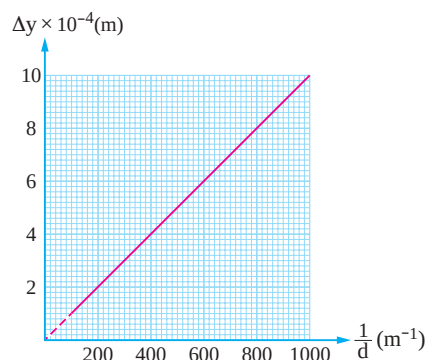
(1.37,  $2.28 \times 10^{-8}$  s)

3. La figure ci-contre montre le trajet d'un rayon lumineux incident sur un bloc de verre rectangulaire d'indice de réfraction absolu  $\sqrt{3}$  placé au-dessus d'un miroir plan jusqu'à ce qu'il ressorte à nouveau dans l'air, donc quelle est l'épaisseur du bloc rectangulaire ed ou ab? (3,46 cm)

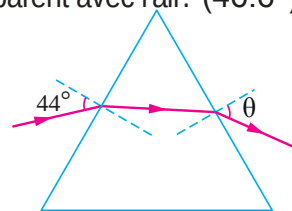


4. Le graphique ci-contre représente la relation entre la distance entre les centres de deux franges lumineuses successives ( $\Delta y$ ) et le réciproque de la distance entre la double fente ( $\frac{1}{d}$ ), si la distance entre la barrière de la double fente et l'écran des franges est 2 m, calculez la longueur d'onde de la lumière utilisée.

$$(5 \times 10^{-7} \text{ m})$$



5. Un rayon de lumière est tombé avec un angle d'incidence de  $54^\circ$  de l'air sur la surface d'un matériau transparent, une partie est réfléchie et une partie réfractée de telle sorte que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté. Calculer l'angle critique du matériau transparent avec l'air. ( $46.6^\circ$ )

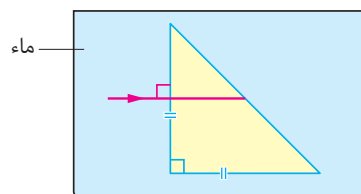


6. La figure ci-contre montre le trajet d'un rayon lumineux à travers un prisme en verre équilatéral avec un indice de réfraction de son matériau 1.5. Calculez :

(a) L'angle d'émergence du rayon.

(b) L'angle de déviation du rayon. ( $53.5^\circ, 37.5^\circ$ )

7. Dans la figure ci-contre, tracez le trajet du rayon lumineux incident jusqu'à sa sortie du prisme, sachant que l'angle critique du matériau du prisme avec l'air est  $42^\circ$  et l'indice de réfraction absolu de l'eau est 1.33

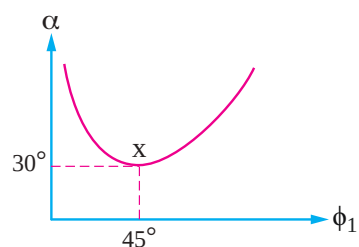


8. Le graphique ci-contre représente la relation entre l'angle de déviation d'un rayon de lumière ( $\alpha$ ) à travers un prisme triangulaire et le premier angle d'incidence ( $\phi_1$ ) du rayon sur une face du prisme. Calculez :

(a) L'angle du sommet du prisme.

(b) L'indice de réfraction absolu du matériau du prisme.

(c) L'angle d'émergence du rayon en position x



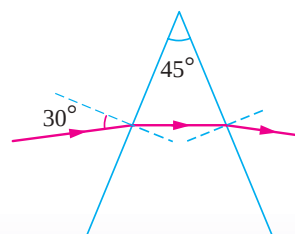
$$(60^\circ, \sqrt{2}, 45^\circ)$$

9. La figure ci-contre montre un prisme triangulaire isocèle avec un angle d'apex de  $45^\circ$  fait d'un matériau transparent. Un rayon de lumière a frappé l'une de ses faces selon un angle de  $30^\circ$  et réfracté à l'intérieur du prisme parallèlement à la base. Calculez :

(a) L'angle d'émergence du rayon de lumière sortant du prisme.

(b) L'angle de déviation du rayon de lumière.

(c) L'indice de réfraction du matériau du prisme.



$$(30^\circ, 15^\circ, 1.31)$$



Unité

## Trois

# Le mouvement circulaire

- **Chapitre quatre** : Les lois du mouvement circulaire
- **Chapitre cinq** : La gravitation universelle et le mouvement circulaire.





Chapitre

# quatre

## Les lois du mouvement circulaire



## Résultats d'apprentissage attendus

**À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :**

- 1- Identifier le concept du mouvement circulaire uniforme.
- 2- Déduire les facteurs qui déterminent l'amplitude de la force centripète.
- 3- Calculer la force centripète et l'accélération centripète.
- 4- Analyser les instructions de trafic et leur relation avec la force centripète.
- 5- Analyser certaines situations de la vie quotidienne liées au mouvement d'un corps dans une trajectoire circulaire.

## Termes du chapitre

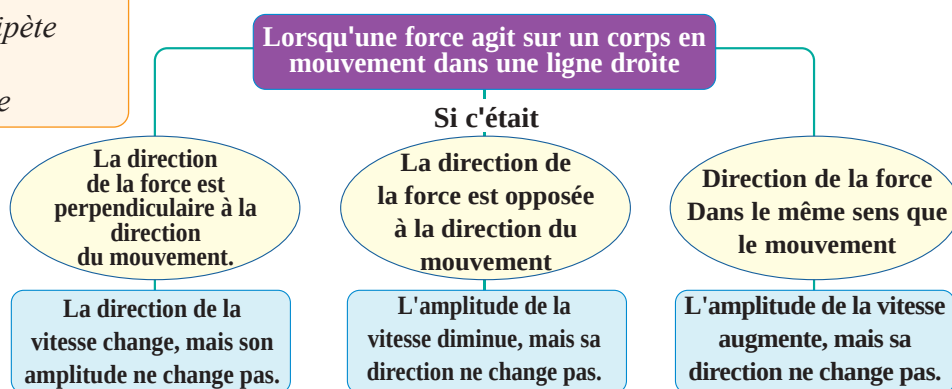
- Le mouvement circulaire uniforme
- L'accélération centripète
- La force centripète
- la vitesse tangentielle

## Introduction

Le mouvement circulaire est considéré comme l'un des types de mouvement périodique les plus importants, comme le mouvement de certaines attractions dans les parcs d'attractions, le mouvement de la Terre autour du Soleil, celui de la Lune autour de la Terre, etc. Quelles sont les caractéristiques du mouvement circulaire ? Quelles sont les relations mathématiques les plus importantes utilisées pour le décrire ? Et quelles sont les applications technologiques et les implications pour la vie quotidienne les plus importantes qui y sont liées ?

## Mouvement circulaire uniforme

En étudiant la deuxième loi de Newton, vous avez appris que lorsqu'une force agit sur un corps se déplaçant à une vitesse constante, celui-ci acquiert une accélération, ce qui signifie que sa vitesse change. Le changement de vitesse dépend de la direction de la force appliquée par rapport à la direction du mouvement, comme suit :



Ainsi, lorsque le coureur de moto augmente ② dans la figure (1) le débit de carburant, la moto est soumise à une force dans le même sens que le mouvement, ce qui augmente sa vitesse. Mais lorsque les freins sont actionnés, la force s'exerce dans le sens opposé au mouvement, ce qui entraîne une diminution de la vitesse. Et lorsque le coureur penche ① ou ③ son vélo vers la droite ou vers la gauche, une force perpendiculaire à la direction du mouvement est générée et Cette force est appelée force centripète. La direction du mouvement change alors et il se déplace selon une trajectoire circulaire.



**Figure (1)**  
**Mouvement sur des trajectoires courbées**



# Expérience pratique pour démontrer le mouvement circulaire

## Objectif de l'expérience :

Nous avons appris que la force centripète est nécessaire pour qu'un objet tourne selon une trajectoire circulaire. L'expérience vise à décrire le mouvement d'un objet tournant selon une trajectoire circulaire et à comprendre le concept de force centripète.

## Matériaux et outils :

- 1 Balle de tennis.
- 2 Fil .

## Procédure :

- 1 Attachez une balle de tennis à un fil d'une longueur d' environ 120 cm et tenez le fil à un certain point (x), puis laissez le reste du fil à une longueur appropriée.
- 2 Faites tourner la balle dans un plan horizontal à une vitesse appropriée, de manière à ce qu'elle se déplace le long de la circonférence d'un cercle.
- 3 Lâchez brusquement le fil de votre main et notez la direction dans laquelle la balle se déplace.
- 4 Répétez les étapes précédentes avec différentes longueurs de fil (50 - 40 - 30 - 20 cm), avec l'aide des membres de votre groupe.

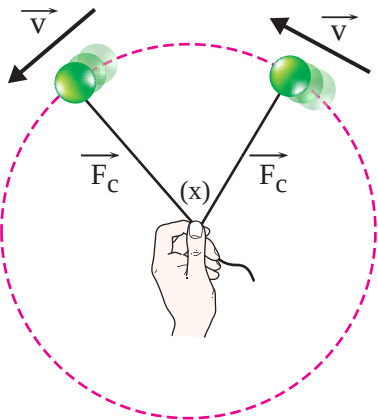


Figure (2)

## Remarques :

| Longueur du fil | Description du mouvement |
|-----------------|--------------------------|
| 20 cm           | .....                    |
| 30 cm           | .....                    |
| 40 cm           | .....                    |
| 50 cm           | .....                    |

- Avez-vous ressenti le besoin de tirer le fil vers l'intérieur pour que la balle continue à tourner dans sa trajectoire ? (Oui/Non).
- Lorsque vous avez soudainement lâché le fil, avez-vous remarqué que la balle a continué à suivre une trajectoire circulaire ou qu'elle s'est déplacée dans la direction de la vitesse tangentielle (linéaire) en ligne droite ?
- Dessinez une flèche représentant la direction du mouvement de la balle au point où elle a quitté la balle à sur la circonférence du cercle.
- Expliquez les résultats que vous avez obtenus.

### À partir de ce qui précède, nous concluons que :

- Pour qu'un objet se déplace selon une trajectoire circulaire, une force ( $F_c$ ) perpendiculaire à sa direction de mouvement et dirigée vers le centre du cercle doit agir sur lui, afin de le forcer à poursuivre son mouvement circulaire.
- Si cette force disparaît, l'objet se déplacera dans la direction tangente à la trajectoire circulaire qu'il suivait au moment de la libération, à une vitesse constante en amplitude et en direction (en ligne droite), et cette vitesse est appelée vitesse tangentielle ( $v$ ).

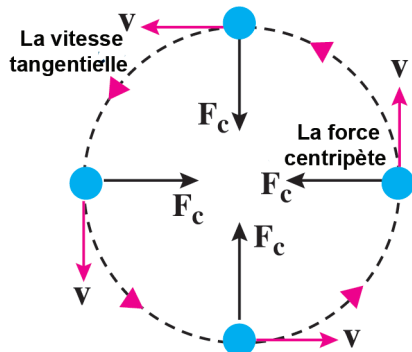


Figure (3)

La direction de la force et la vitesse dans le mouvement circulaire

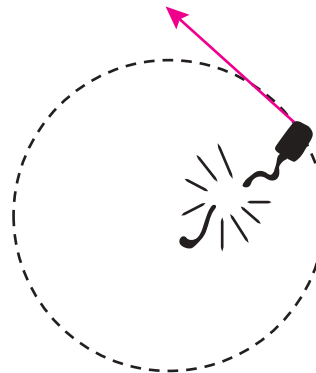


Figure (4)

La direction du mouvement de l'objet lorsque le fil se rompt

## Types de forces centripètes

Lorsqu'un objet se déplace dans une trajectoire circulaire avec une vitesse constante d'amplitude et de direction variable, ce mouvement est appelé mouvement circulaire uniforme, et la force qui agit de manière continue dans une direction perpendiculaire au mouvement de l'objet est appelée force centripète. La force centripète n'est pas un nouveau type de force ; c'est simplement le nom donné à toute force qui agit perpendiculairement sur la trajectoire du mouvement d'un objet et le fait se déplacer selon une trajectoire circulaire. La force centripète peut être une force de tension, une force :

- 1 **Force de tension ( $F_T$ )** : Lorsqu'un objet est tiré à l'aide d'une corde ou d'un fil métallique, une force de tension s'exerce sur celui-ci. Lorsque la force de tension est perpendiculaire à la direction du mouvement d'un objet se déplaçant à vitesse constante, celui-ci se déplace selon une trajectoire circulaire, et la force de tension est égale à la force centripète.



Figure (5)

Pourquoi l'athlète ressent-il une force de tension dans ses bras lorsqu'il tourne ?

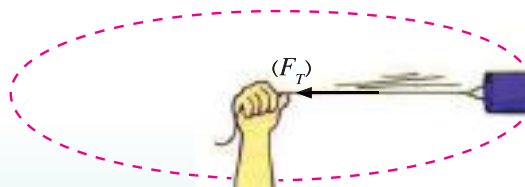


Figure (6)

La force de tension dans le fil agit comme une force centripète.

- ② **Force gravitationnelle ( $F_G$ )** : Une force gravitationnelle s'exerce entre la Terre et le Soleil, perpendiculairement à la direction du mouvement de la Terre, de sorte que la Terre se déplace sur une trajectoire circulaire autour du Soleil.

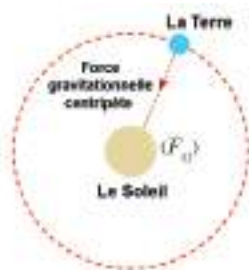


Figure (7)

La force d'attraction physique agit comme une force centripète.

- ③ **Force de frottement ( $F_f$ )** : Lorsqu'une voiture tourne dans un virage ou sur une courbe, une force de frottement supplémentaire apparaît entre la route et les pneus de la voiture. Cette force est perpendiculaire à la direction du mouvement de la voiture et dirigée vers le centre du cercle, ce qui fait que la voiture se déplace le long d'une trajectoire courbe.

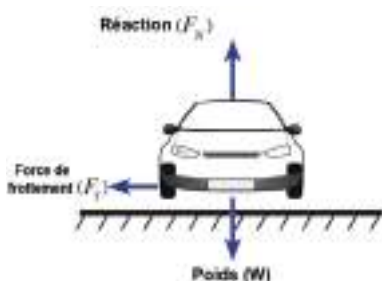


Figure (8)

La force de frottement agit comme une force centripète.

### Informations complémentaires (à titre indicatif uniquement)

Certaines courbes, telles que certaines parties d'un circuit automobile ou certains ponts, sont conçues de manière à ce que le bord extérieur de la courbe soit plus haut que son bord intérieur. Quelle en est la raison ?

Dans le cas où la trajectoire circulaire de la voiture est inclinée par rapport à l'horizontale, une composante horizontale de la force de réaction est produite vers le centre du cercle, ce qui aide la voiture à tourner. Dans ce cas, la force centripète est la somme de la composante horizontale de la force de réaction et de la composante horizontale de la force de frottement où agissent toutes deux vers le centre de rotation.



Figure (9)

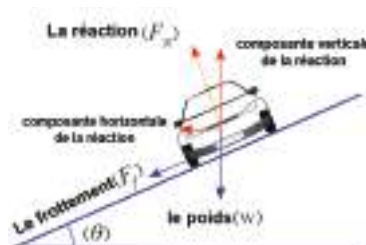


Figure (10)

La force centripète est la somme des composantes des forces de réaction et de frottement dans la direction horizontale.

## Développer l'esprit critique

Dans le jeu du train à grande vitesse représenté sur la figure, où la force résultante agissant sur le train est-elle la plus importante, dans la partie circulaire du trajet du train ? Est-ce lorsqu'il se trouve en haut du trajet ou en bas ? Et pourquoi ?



Figure (11)

## Accélération centripète

Lorsqu'une force d'intensité ( $F_c$ ) agit perpendiculairement à la direction du mouvement d'un corps de masse ( $m$ ) et de vitesse ( $v$ ), celui-ci se déplace selon une trajectoire circulaire de rayon ( $r$ ), ce qui entraîne un changement dans la direction de la vitesse. Ainsi, le corps subit une accélération ( $a_c$ ) appelée accélération centripète, dont la direction est identique à celle de la force centripète.

On observe sur la figure (12) que la vitesse ( $v$ ) a une amplitude constante, mais que sa direction change continuellement.

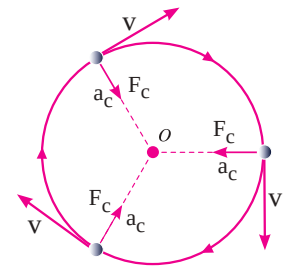


Figure (12)

**Vecteur vitesse et vecteur accélération**  
**Pendant un mouvement uniforme sur une trajectoire circulaire**

**Accélération centripète ( $a_c$ ) :** est l'accélération acquise par

le corps en mouvement circulaire à la suite du changement de direction de la vitesse.

L'accélération centripète ( $a_c$ ) est calculée à partir de la relation suivante :

(1)

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Où : ( $v$ ) est la magnitude de la vitesse linéaire avec laquelle le corps se déplace, et ( $r$ ) est le rayon de la trajectoire circulaire.

### Exemple

Un corps se déplace le long de la circonférence d'un cercle horizontal de rayon 2m avec une vitesse linéaire constante de 10 m/s. **Calculez l'accélération centripète avec laquelle le corps se déplace.**

### ☛ Solution

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{2} = 50 \text{ m/s}^2$$



## Informations complémentaires

(à titre indicatif uniquement)

Déduction de la valeur de l'accélération centripète

On observe sur la figure ( 13) que lorsque le corps se déplace du point ( A) au point (B), la vitesse ( v) change de direction mais conserve une amplitude constante.

Ainsi, la variation de la vitesse ( $\Delta v$ ) résulte uniquement de la variation de la direction de la vitesse.

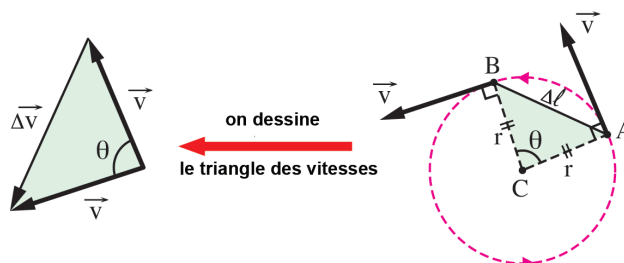


Figure (13)

Mouvement d'un corps de (A) à (B)

À partir de la similitude entre le triangle (CAB) et le triangle de vitesse illustré à la figure (13), on peut écrire la relation suivante :

$$\textcircled{1} \quad \frac{\Delta \ell}{r} = \frac{v \Delta}{v}$$

Où  $\Delta v$  est dans la direction du centre du cercle.

$$\textcircled{2} \quad \therefore \Delta v = \frac{\Delta \ell}{r} \cdot v$$

Si le corps se déplace du point ( A) au point ( B) dans un intervalle de temps (  $\Delta t$ ), alors l'accélération vers le centre ( $a_c$ ) est calculée en divisant l'équation  $\textcircled{2}$  par (  $\Delta t$ ):

$$\therefore a_c = \frac{v \Delta}{t \Delta} = v \frac{\Delta \ell}{t \Delta} \frac{1}{r}$$

Et puisque l' $\frac{\Delta \ell}{t \Delta}$  est égale à ( v), alors l'accélération centripète est :

$$\therefore a_c = \frac{v^2}{r}$$

## Calcul de l'amplitude de la force centripète ( $F_c$ )

D'après la deuxième loi de Newton, la force est donnée par la relation ( $F = ma$ ), c'est-à-dire :

La force centripète pendant un mouvement circulaire uniforme = masse  $\times$  accélération centripète

Et en substituant la valeur de l'accélération centripète à partir de la relation (1), nous trouvons que :

(2)

$$F_c = m \times \frac{v^2}{r}$$



## Calcul de la valeur de la vitesse tangentielle (v)

Si nous supposons que le corps effectue une révolution complète sur la trajectoire circulaire pendant un temps (T), qui représente la période, Pendant ce temps, il parcourt une distance égale à la circonférence du cercle qui est ( $2 \pi r$ ). Ainsi, la vitesse tangentielle (vitesse de rotation) peut être calculée comme suit :

(3)

$$v = \frac{\text{Distance}}{\text{Temps}} = \frac{2 \pi r}{T}$$

Cela signifie que la vitesse tangentielle (v) peut être calculée si la période (T) et le rayon de rotation (r) sont connus.

### Le mini-laboratoire

#### Vérification de la relation de force centripète :

- \* Attachez un bouchon en caoutchouc de masse (m) à une ficelle, puis passez la ficelle dans un tube en métal ou en plastique (tel qu'un tube de stylo), puis attachez l'autre extrémité à un poids de masse (M).
- \* Lorsque nous déplaçons le bouchon en caoutchouc selon une trajectoire circulaire, la force centripète provient de la tension dans la ficelle ( $F_T$ ), qui est égale au poids de la masse suspendue, **c'est-à-dire :**  $F_c = F_T = Mg$
- \* À l'aide du matériel ci-dessus et d'un chronomètre, prouvez expérimentalement la validité de la relation suivante :  $F_c = Mg = m \frac{v^2}{r}$



Matériaux de l'expérience

Figure (14)

#### Exemple

Dans l'expérience précédente, la masse du bouchon en caoutchouc était de 13 g, et le bouchon a été mis en rotation selon une trajectoire circulaire horizontale de rayon 0,93 m afin d'effectuer 50 tours dans un temps de 59s. **Calculez la masse du poids suspendu à l'autre extrémité de la ficelle.**

( $\pi = 3,14$ ,  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )

#### ☞ Solution

Calcul de la période :

$$T = \frac{\text{Temps total}}{\text{Nombre de tours}} = \frac{59}{50} = 1,18 \text{ s}$$

Calcul de la vitesse :

$$v = \frac{r \pi 2}{T} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,93}{1,18} = 4,9 \text{ m/s}$$

Calcul de la force de tension :

$$F_c = m \frac{v^2}{r} = 0,013 \times \frac{(4,9)^2}{0,93} = 0,34 \text{ N}$$

Calcul de la masse du poids :

$$M = \frac{F_c}{g} = \frac{0,34}{9,8} = 0,035 \text{ kg}$$

**Quoi  
Si**

Le bouchon a été tourné plus rapidement ; quel effet cela a-t-il sur le rayon de rotation du bouchon ?

## Les facteurs dont dépend la force centripète

Il est nécessaire de calculer la force centripète lors de la conception des courbes routières et ferroviaires, afin que les voitures et les trains puissent se déplacer dans la trajectoire courbée sans déraper. En étudiant la relation ( $F_c = \frac{mv^2}{r}$ ), on peut conclure que la force centripète dépend des facteurs suivants:

- ① **La masse de l'objet (m):** La force centripète est directement proportionnelle à la masse (lorsque  $r$ ,  $v$  sont constants), donc la force nécessaire pour qu'un vélo se déplace le long d'une trajectoire courbe est inférieure à la force nécessaire pour qu'un camion se déplace le long de la même trajectoire. Cela explique pourquoi les véhicules de transport lourd sont interdits dans certains virages dangereux.



Figure (15)

Les remorques et les camions ne sont pas autorisés à passer.

- ② **Vitesse tangentielle (v):** L'effet de la force centripète est directement proportionnelle au carré de la vitesse (lorsque  $m$  et  $r$  sont constants). Plus la vitesse de la voiture est élevée, plus la force centripète nécessaire pour se déplacer le long de la trajectoire courbe est importante. Par conséquent, les ingénieurs routiers fixent une vitesse spécifique pour les déplacements dans les virages, qui ne doit pas être dépassée.



Figure (16)

Vitesse maximale  
Sur cette courbe (80 km/h)

La figure (17) montre l'effet du changement de vitesse d'un objet sur la force centripète nécessaire pour qu'il se déplace le long d'une trajectoire courbe.

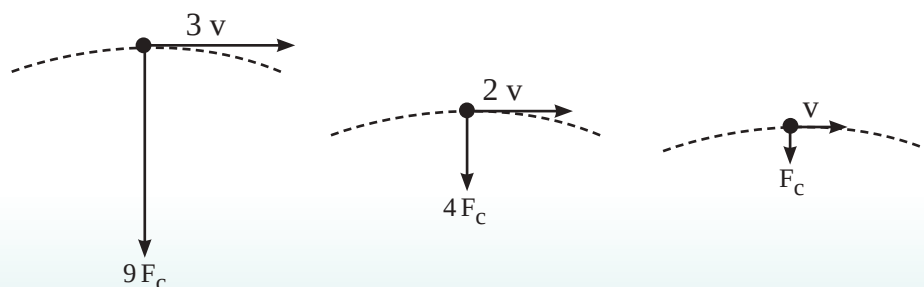


Figure (17)

- ③ **Rayon de rotation (r)**: La force centripète est inversement proportionnelle au rayon de la trajectoire (lorsque  $m$  et  $v$  sont constants). Plus le rayon de la courbe est petit, plus la force centripète nécessaire pour que la voiture tourne est importante, et donc plus cette courbe est dangereuse. Pour éviter cela, il faut rouler à faible vitesse dans les virages dangereux.

**La figure suivante montre les instructions de circulation indiquant la vitesse maximale des véhicules dans certains virages :**

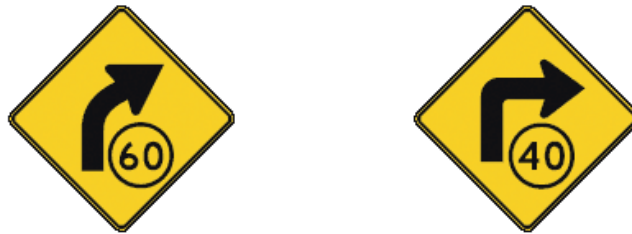


Figure (18)

Quel est l'effet de la diminution de la force centripète sur le rayon de rotation ?

Lorsque la force centripète diminue, cela signifie que le rayon de la trajectoire dans laquelle l'objet se déplace augmentera, car  $(F_c \propto \frac{1}{r})$ , ce qui signifie que l'objet s'éloignera du centre du cercle, et si la force centripète devient nulle, il se déplacera en ligne droite en raison de l'inertie. Si nous supposons qu'une voiture roule le long d'une trajectoire courbe et que la route est glissante, alors les forces de frottement peuvent ne pas être suffisantes pour maintenir la voiture sur la trajectoire courbe. La voiture dérapera alors et les pneus glisseront vers le côté de la route, empêchant la voiture de continuer à rouler sur la trajectoire courbe.



Figure (19)

**La voiture dérape sur la route sinueuse si la force centripète est insuffisante.**



### Applications concrètes

Le phénomène selon lequel les objets s'éloignent de la trajectoire circulaire lorsque la force centripète est insuffisante pour le mouvement circulaire est utilisé dans de nombreuses applications pratiques, telles que le séchage des vêtements, la fabrication de barbe à papa et les manèges à tonneaux dans les parcs d'attractions. Par exemple, lors du séchage des vêtements, les molécules d'eau sont attachées aux vêtements avec une certaine force, et lorsque le sèche-linge tourne à grande vitesse, cette force n'est pas suffisante pour maintenir les molécules dans leur orbite, elles se déplacent donc tangentiellement à la circonférence de la rotation et se séparent des vêtements.



Figure (20)

**Lorsque le sèche-linge tourne à grande vitesse, les molécules d'eau sont propulsées dans la direction tangente à la circonférence du cercle de rotation.**

## Conceptions erronées

**Certaines personnes pensent** que lorsqu'un objet se déplace dans une trajectoire circulaire, une force le pousse vers l'extérieur et cette force est appelée force centrifuge.

### Exemple

Une pierre d'une masse de 60 g est attachée à une ficelle de 30 cm de long. **Calculez** la force centripète requise pour qu'elle tourne à une vitesse de 3 m/s sur une trajectoire circulaire. **Que** pensez-vous qu'il se passera si la tension maximale que la corde peut supporter est de 1,5 N?

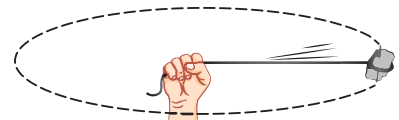


Figure (21)

### ✎ Solution

Calcul de la force centripète :

$$F_c = m \frac{v^2}{r} = 0,06 \times \frac{(3)^2}{0,3} = 1,8 \text{ N}$$

Comme la force centripète est supérieure à la tension maximale que la corde peut supporter, celle-ci se rompra. À ce moment-là, la pierre se déplacera en ligne droite tangente à la trajectoire circulaire qu'elle suivait à l'instant où la ficelle s'est rompue.

### Développer l'esprit critique et la pensée critique

Force centripète :

- Remplissez un seau à moitié avec de l'eau et faites-le tourner verticalement en formant un cercle.

L'eau déborde-t-elle de l'ouverture du seau ?

Et pourquoi ?



Figure (22)



## Idées pour stimuler la créativité

► Recherchez en vous aidant du réseau Internet sur le mécanisme de fonctionnement des appareils centrifuges utilisés dans le domaine de l'analyse médicale.

Au cours de vos recherches, discutez avec vos collègues en donnant des exemples : la force centrifuge existe-t-elle réellement ou non ?



Figure (23)

## Résumé

### Premièrement: Définitions et concepts de base

- Mouvement circulaire uniforme : Il s'agit du mouvement d'un objet suivant une trajectoire circulaire à une vitesse constante en amplitude, mais dont la direction varie.
- Force centripète : C'est la force qui agit continuellement perpendiculairement au mouvement de l'objet, le faisant se déplacer selon une trajectoire circulaire.
- Accélération centripète : Il s'agit de l'accélération acquise par l'objet en mouvement circulaire à la suite du changement de direction de la vitesse.
- Durée de l' : Il s'agit de l'intervalle de temps pendant lequel l'objet effectue une révolution complète.

### Deuxièmement : Lois fondamentales et relations

- Accélération centripète :

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

- Force centripète :

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

- Vitesse tangentielle :

$$v = \frac{r\pi^2}{T}$$

# Questions et exercices

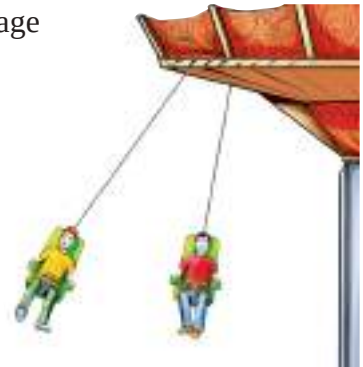


## Premièrement: Choisissez la bonne réponse.

1. La force centripète agissant sur une voiture se déplaçant le long d'une courbe est produite par .....

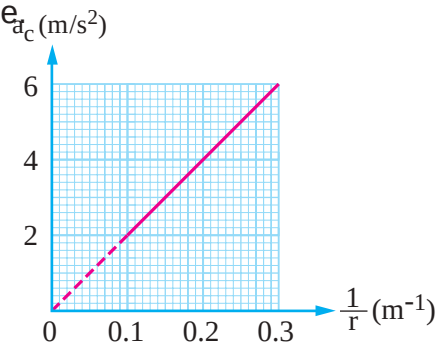
- (a) La force gravitationnelle de la Terre sur la voiture
- (b) La force de frottement entre les pneus de la voiture et la route
- (c) L'inertie agissant sur le conducteur
- (d) La force de freinage

2. Dans l'un des manèges du parc d'attractions, les sièges tournent selon une trajectoire circulaire horizontale régulière. Si une chaise se trouve à une distance de 1,5 m du centre et une autre à une distance de 2 m du centre, et que les deux sont alignées avec le centre comme indiqué, laquelle se déplace à une vitesse tangentielle plus élevée?



- (a) La chaise qui se trouve à 1,5 m du centre
- (b) La chaise qui se trouve à 2 m du centre
- (c) Les deux ont la même vitesse.
- (d) Il faut connaître la période pour déterminer la réponse.

3. Le graphique ci-contre montre la relation entre l'accélération centripète ( $a_c$ ) avec laquelle un corps se déplace sur une trajectoire circulaire horizontale et l'inverse du rayon de cette trajectoire ( $\frac{1}{r}$ ).



La vitesse tangentielle avec laquelle le corps se déplace est alors égale à .....

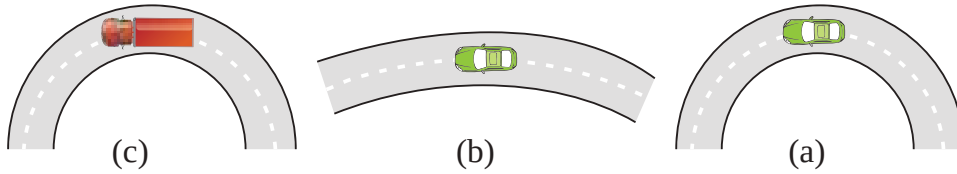
- (a) 4,47 m/s
- (b) 5,58 m/s
- (c) 3,13 m/s
- (d) 9,8 m/s

4. Si le rayon de l'orbite d'une particule se déplaçant sur une trajectoire circulaire est multiplié par quatre par rapport à sa valeur initiale, la force centripète nécessaire pour maintenir la vitesse de la particule constante sur sa trajectoire circulaire .....

- (a) Diminue de moitié par rapport à ce qu'il était
- (b) Reste constant en magnitude
- (c) Augmente jusqu'à atteindre le double de sa valeur initiale
- (d) Diminue jusqu'à atteindre un quart de sa valeur initiale



5. La figure suivante montre trois voitures a , b , c se déplaçant sur trois trajectoires courbes horizontales à la même vitesse. Si les masses des voitures sont respectivement de  $m$  ,  $m$  ,  $3m$  et que les rayons de leurs trajectoires circulaires sont respectivement de  $d$  ,  $2d$  ,  $d$  , le classement correct de ces voitures en fonction de leur susceptibilité au dérapage est le suivant : .....



- (a)  $b < a < c$       (b)  $a < b < c$       (c)  $c < a < b$       (d)  $c < b < a$

## Deuxièmement: Questions à développement

- Écrivez le terme scientifique indiqué par chacune des affirmations suivantes :
  - Mouvement d'un corps le long de la circonférence d'un cercle à vitesse constante mais en changeant de direction. (.....)
  - Le temps mis par un corps se déplaçant sur une trajectoire circulaire pour effectuer une révolution complète. (.....)
  - Une force agissant sur un corps se déplaçant sur une trajectoire circulaire toujours dirigée vers le centre et perpendiculaire à la direction de sa vitesse linéaire . (.....)
- Expliquez ce qui suit :
  - Dans un virage, le motocycliste se penche avec sa moto et son corps vers le centre de la trajectoire circulaire.
  - À l'issue des virages dangereux, certaines voitures d'urgence maintiennent leur trajectoire dans le virage et ne s'en écartent pas.
  - Bien qu'un corps se déplaçant selon un mouvement circulaire uniforme soit soumis à une accélération, sa vitesse linéaire reste constante.
  - Le danger de rouler à grande vitesse dans les virages.
- Dans les deux figures suivantes, identifiez dans chaque cas le type de force centripète parmi (attraction gravitationnelle, attraction électrique, force de tension, force de frottement) :



**Rotation dans le jeu des chaises volantes**



**Le mouvement d'un train dans une courbe**

- Lorsque l'on fait tourner une pierre attachée à l'extrémité d'une ficelle selon une trajectoire circulaire horizontale, quelle est la direction de la force qui s'exerce sur elle et qui la maintient dans sa trajectoire circulaire ? Quelle est la direction du mouvement au moment où la corde se rompt ?

## Troisièmement: Exercices

1. Un corps de masse 100 g se déplace le long de la circonférence d'un cercle de rayon 50 cm dans un mouvement circulaire uniforme, mettant 90 s pour effectuer 45 tours complets. Calculez :  
(a) La période. (b) La vitesse linéaire. (c) L'accélération centripète. (2 s , 1,57 m/s , 4,9m/s<sup>2</sup>)
2. Un corps de masse 2 kg est attaché à l'extrémité d'une corde afin de tourner selon une trajectoire circulaire horizontale d'un rayon de 1,5 m et effectuant 3 tours en 9 s. Calculez :  
(a) La vitesse linéaire (tangentielle).  
(b) L'accélération centripète.  
(c) La force de tension de la corde sur le corps. (3,14 m/s , 6,57m/s<sup>2</sup> , 13,14 N)
3. Une voiture d'une masse de 1 000 kg se déplace à une vitesse constante de 5 m/s dans un virage sur un plan horizontal d'un rayon de 50 m. Calculez la force de frottement qui maintient la voiture dans le virage. (500 N)
4. Un cycliste se déplace sur une trajectoire circulaire avec une vitesse tangentielle d' ,soit 13,2 m/s. Si le rayon de la trajectoire est de 40 m et que la force qui maintient le vélo sur sa trajectoire circulaire est de 377 N, calculez la masse totale du vélo et du cycliste. (86,5 kg)
5. Une voiture de course d'une masse de 905 kg se déplace dans un cercle d' horizontale et d'une circonférence de 3,25 km. Calculez la vitesse tangentielle de la voiture si la force nécessaire pour maintenir le mouvement circulaire de la voiture est N 2140 (34,97 m/s).

Chapitre

**Cinq**

# La gravitation universelle et le mouvement circulaire



## Résultats d'apprentissage attendus

À la fin de ce chapitre, vous serez capable de :

- 1- Dédire la loi de la gravitation universelle.
- 2- Expliquer le mouvement de la lune autour de la Terre sur une trajectoire fixe.
- 3- Dédire les facteurs dont dépend la vitesse orbitale d'un satellite lorsqu'il se déplace autour d'une planète.

## Termes du chapitre

- Gravitation universelle
- Constante gravitationnelle
- Champ gravitationnel
- Intensité du champ gravitationnel
- Satellite
- Vitesse orbitale

## Introduction

Dans notre étude du mouvement circulaire uniforme, nous avons appris comment les objets se déplacent sur une trajectoire circulaire grâce à une force centrale qui les maintient sur leur trajectoire. Mais quelle est la source de cette force dans le cas de la Lune orbitant autour de la Terre, ou de la Terre orbitant autour du Soleil ?

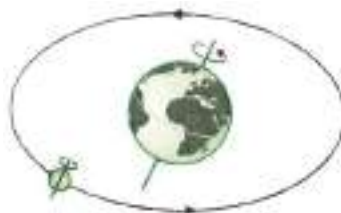


Figure (1)

### Le mouvement de la lune autour de la Terre

Dans ce chapitre, nous allons nous rapprocher de l'un des grands secrets de l'univers : **la force de gravité** qui influence le mouvement des objets, du plus petit atome aux plus grandes galaxies. Nous allons découvrir comment « Newton » a pu formuler une loi qui explique la rotation des planètes sur leurs orbites. Notre compréhension de cette force ne se limite pas à expliquer les phénomènes naturels, mais elle est aussi la clé des technologies modernes telles que le lancement de satellites et l'exploration spatiale.

## Loi de la gravitation universelle

Newton a étudié la nature de cette force d'attraction et a conclu qu'elle dépendait des masses des corps qui s'attirent ainsi que de la distance qui les sépare, comme suit :

« Tout corps matériel de l'univers attire tout autre corps avec une force directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance entre leurs centres. »

La loi est rédigée comme suit :

(1)

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Où : (r) est la distance entre les centres des deux corps, (G) est la constante de proportionnalité, une constante universelle connue sous le nom de constante gravitationnelle universelle, et sa valeur est :

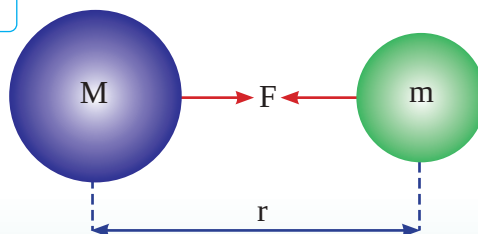


Figure (2)

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$$



Il convient de noter que la force gravitationnelle est une force mutuelle entre les deux corps, chacun attirant l'autre avec la même force. En raison de sa généralité, cette loi est connue sous le nom de **loi de la gravitation universelle**.

#### Exemple

Deux sphères identiques, chacune d'une masse de 7,3 kg, la distance entre leurs centres est de 0,5 m. **Calculez** la force gravitationnelle mutuelle entre eux et rédigez le commentaire approprié.

#### ☛ Solution

Selon la loi de la gravitation universelle, la force gravitationnelle est égale à :

$$F = \frac{GMm}{r^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11}) (7,3)^2}{(0,5)^2}$$

$$F = 1,4 \times 10^{-8} \text{ N}$$

Dans cet exemple, on remarque que la force gravitationnelle mutuelle entre les deux sphères est très faible car la valeur de la constante gravitationnelle universelle est très faible. Par conséquent, la force gravitationnelle entre les objets n'est significative et importante que lorsque leurs masses sont grandes ou que les distances qui les séparent sont faibles, ou les deux simultanément..

### Champ gravitationnel

Nous avons appris que la force gravitationnelle est inversement proportionnelle au carré de la distance entre les centres des deux corps, et qu'elle diminue donc brusquement jusqu'à ce que la distance entre eux atteigne un point où l'effet gravitationnel de chacun sur l'autre disparaît.

À ce stade, chacun d'eux se trouve en dehors du champ gravitationnel de l'autre corps, et **le champ gravitationnel** est donc défini comme : « la région dans laquelle la force gravitationnelle apparaît. »

**L'intensité du champ gravitationnel terrestre en un point donné** : est la force gravitationnelle exercée par la Terre sur une masse de 1 kg en ce point. Elle est désignée par le symbole «g» et est numériquement égale à l'accélération due à la gravité à ce point. En appliquant la loi de la gravitation universelle, nous constatons que :

(2)

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Sachant que : (M) est la masse de la Terre =  $5,98 \times 10^{24}$  kg , et (r) est le rayon du chemin et est égal à (R + h),

Où: (R) est le rayon de la Terre = 6378 km, et (h) est l'altitude au-dessus de la surface de la Terre.

À partir de l'équation (2), déduisez les facteurs dont dépend l'intensité du champ gravitationnel de la Terre en un point.

## Les satellites

L'exploration de l'espace environnant était le rêve de l'humanité, qui n'a cessé de développer des instruments d'observation et des fusées capables de lancer des engins spatiaux en orbite autour de la Terre ou de voyager sur de plus grandes distances pour atteindre, par exemple, une autre planète comme Mars.

Le monde s'est réveillé le 4 octobre 1957, surpris par le lancement réussi du satellite Spoutnik dans l'espace, premier satellite artificiel de la planète Terre. Ces succès ont été suivis de lancements d'autres satellites, et même d'un atterrissage sur la Lune, et l'exploration spatiale continue de remporter de grands succès..

### L'idée de lancer un satellite

(Isaac Newton) est considéré comme le premier à avoir expliqué les bases scientifiques du lancement de satellites. Il imaginait que lorsqu'un boulet de canon est tiré horizontalement du sommet d'une montagne, il retombe librement et suit une trajectoire courbe vers la Terre. Si la vitesse de lancement augmente, la balle atteindra la Terre en un point plus éloigné et suivra une trajectoire moins incurvée. Lorsque la courbure de la trajectoire du boulet de canon sera égale à la courbure de la surface de la Terre, il orbitera sur une trajectoire fixe et deviendra un satellite de la Terre, ressemblant à l'orbite naturelle de la lune autour d'elle. C'est pourquoi on l'appelle un satellite

### Détermination de la vitesse orbitale du satellite

Supposons qu'il existe un satellite de masse ( $m$ ) se déplaçant à vitesse constante ( $v$ ) sur une orbite circulaire de rayon ( $r$ ) autour de la Terre, et dont la masse est ( $M$ ).), comme le montre la figure : On constate que la force gravitationnelle entre la Lune et la Terre est perpendiculaire à la trajectoire du mouvement de la Lune et tend à la maintenir sur son orbite circulaire. Autrement dit, la force gravitationnelle entre la Lune et la Terre est la même que la force centripète.



Figure (3)

Lancer une fusée pour placer un satellite en orbite.

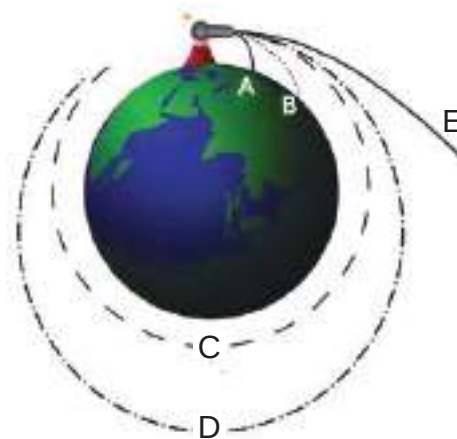


Figure (4)

Lancer un projectile horizontalement

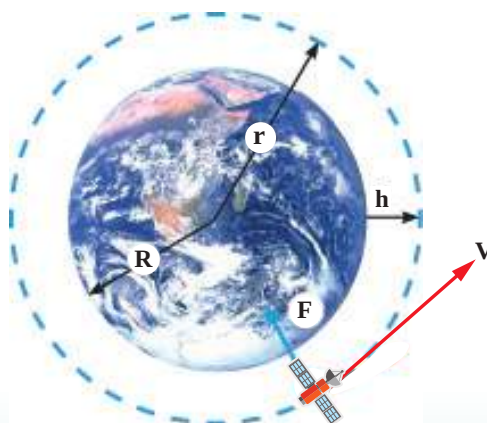


Figure (5)

L'orbite du satellite autour de la Terre



### C'est-à-dire:

$$F = m \frac{v^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}$$

$$m \frac{v^2}{r} = G \times \frac{mM}{r^2}$$

D'après l'équation précédente, il est clair que la vitesse du satellite qui le maintient sur son orbite est:

(3)

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

La valeur de la vitesse (v) de l'équation (3) représente la vitesse que doit recevoir le satellite pour qu'il orbite autour de la Terre ; on l'appelle vitesse orbitale. (r) représente le rayon de l'orbite sur laquelle il est lancé dans l'espace. Si la hauteur au-dessus de la surface de la Terre est (h) et le rayon de la Terre est (R), alors le rayon de l'orbite (r) :  $r = R + h$

### Les facteurs dont dépend la vitesse orbitale d'un satellite lorsqu'il se déplace autour d'une planète:

D'après l'équation (3), il est clair que la vitesse du satellite sur son orbite ne dépend pas de sa masse mais des facteurs suivants :

- La masse de la planète autour de laquelle elle orbite.
- La hauteur du satellite au-dessus du centre de la planète autour de laquelle il orbite.



Figure (6)

Le satellite autour de la Terre



### Informations complémentaires (à titre indicatif seulement)

Plus la masse du satellite à envoyer dans l'espace est importante, plus la fusée nécessaire pour le placer sur son orbite et lui donner la vitesse nécessaire pour tourner autour de la Terre doit être puissante.

### Développer la pensée critique

Certains satellites, comme les satellites de communication, sont lancés sur une orbite qui les fait apparaître immobiles par rapport à un point précis à la surface de la Terre.

- Comment peut-on déterminer le rayon de cette orbite ?

### Exemple 1

La Lune tourne autour de la Terre sur une orbite circulaire de rayon  $3,85 \times 10^5$  km et effectue un cycle complet en 27,3 jours. **Calculez** la masse de la Terre ( $\pi = 3,14$ , constante gravitationnelle =  $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ )



Figure (7)

#### **☛ Solution**

Calcul de la période :

$$T = 27,3 \times 24 \times 60 \times 60 = 2,36 \times 10^6 \text{ s}$$

Calcul de la vitesse de la lune :  $v = \frac{2 \pi r}{T} = \frac{2 \times 3,14 \times 3,85 \times 10^5 \times 10^3}{2,36 \times 10^6} = 1024,5 \text{ m/s}$

Calcul de la masse de la Terre :

$$v^2 = G \frac{M}{r}$$

Donc:  $M = \frac{v^2 \times r}{G} = \frac{(1024,5)^2 \times 3,85 \times 10^5 \times 10^3}{6,67 \times 10^{-11}} = 6,06 \times 10^{24} \text{ kg}$

### Exemple 2

Un satellite artificiel orbite autour de la Terre sur une orbite quasi circulaire à une altitude de 940 km. au-dessus de la surface de la Terre. **Calculez** la vitesse orbitale et le temps nécessaire pour effectuer une révolution complète autour de la Terre. (Sachant que :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$ ,  $\pi = 3,14$ ,  $R = 6360 \text{ km}$ ,  $M = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$ )



Figure (8)

#### **☛ Solution**

Calcul du rayon de l'orbite de la Lune autour de la Terre :

$r = R + h = 6360 + 940 = 7300 \text{ km} = 7,3 \times 10^6 \text{ m}$  Calcul de la vitesse orbitale :

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$$

$$v = \sqrt{6,67 \times 10^{-11} \times \frac{6 \times 10^{24}}{7,3 \times 10^6}} = 7,4 \times 10^3 \text{ MS}$$

Calcul de la période :

$$v = \frac{2 \pi r}{T}$$

$$T = \frac{2 \pi r}{v} = \frac{2 \times 3,14 \times 7,3 \times 10^6}{7,4 \times 10^3} = 6195 \text{ s}$$

**Quoi Si**

Si le rayon de l'orbite du satellite était le double de la valeur donnée dans l'exemple, quel effet cela aurait-il sur sa période ?

## L'importance des satellites

L'utilisation des satellites a engendré une véritable révolution dans de nombreux domaines, le satellite étant considéré comme une tour de grande hauteur pouvant servir à transmettre et à recevoir des ondes radio. Il existe de nombreux types de satellites, notamment :



Figure (9)

L'importance des satellites

- ① **Satellites de communication** : Autoriser la transmission de la télévision, de la radio et du téléphone depuis et vers n'importe quel endroit à la surface de la Terre.
- ② **Satellites astronomiques** : Ce sont de grands télescopes qui flottent dans l'espace et peuvent photographier l'espace avec précision.
- ③ **Satellites de télédétection** : Utilisé pour étudier et surveiller les oiseaux migrateurs, identifier et cartographier les ressources minérales, surveiller les cultures agricoles pour les protéger des aléas climatiques et étudier la formation des ouragans.
- ④ **Satellites de reconnaissance et d'espionnage** : Utilisé pour fournir aux dirigeants politiques et militaires les informations nécessaires à la prise de décision et à la gestion des guerres.

### Développer la pensée critique

La gravité terrestre peut faire tomber des objets à la surface de la Terre (comme les météorites), tandis qu'à d'autres moments, elle peut les faire (comme les satellites) orbiter autour de la Terre sans atteindre sa surface. Comment ça se fait ?



Figure (10)

## Conceptions erronées

**Certaines personnes croient** que les satellites orbitent autour de la Terre sur une seule orbite. **En réalité**, les satellites orbitent à différentes altitudes au-dessus de la surface de la Terre. Il y a :

- Satellites en orbite terrestre basse (LEO) à une altitude approximative de 200 km à 2000 km, utilisés pour l'imagerie, la télédétection et les stations spatiales.
- Satellites en orbite terrestre moyenne (MEO) à une altitude approximative de 2000 km à 35000 km, souvent utilisés dans les systèmes de positionnement.
- Satellites à haute altitude ou géostationnaires (GEO) à une altitude d'environ 36 000 km, utilisés dans les communications, la diffusion télévisée et la météorologie.

## Résumé

### Premièrement: Définitions et concepts de base

- Loi de la gravitation universelle : Tout corps matériel de l'univers attire tout autre corps avec une force directement proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance entre leurs centres.
- Le champ gravitationnel d'un corps : la région dans laquelle apparaît la force gravitationnelle du corps.
- L'intensité du champ gravitationnel terrestre en un point : est la force avec laquelle la Terre attire une masse de 1 kg, et est numériquement égale à l'accélération due à la gravité en ce point.

### Deuxièmement: lois et relations fondamentales

- Calcul de la force gravitationnelle :

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

- Calcul de l'intensité du champ gravitationnel terrestre en un point :

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

- Calcul de la vitesse orbitale du satellite :

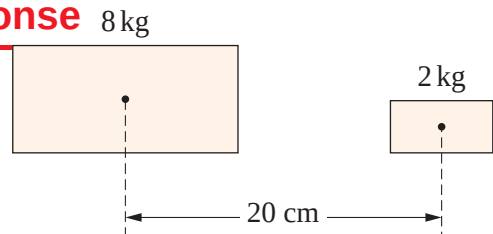
$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

# Questions et exercices

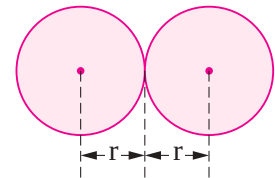


## Premièrement: Choisissez la bonne réponse

1. Deux corps dont les masses sont de 2 kg et 8 kg, et la distance entre eux est de 20 cm. comme le montre la figure ci-contre. Si vous savez que la constante gravitationnelle universelle est  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ , alors la force gravitationnelle mutuelle entre eux est égale à .....

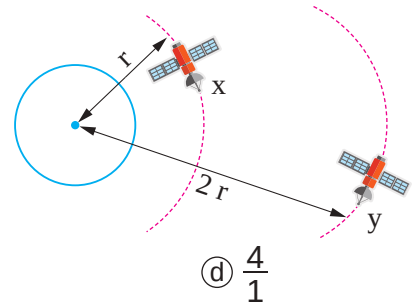


- (a)  $2,67 \times 10^{-8} \text{ N}$  (b)  $2,67 \times 10^{-12} \text{ N}$   
 (c)  $5,34 \times 10^{-9} \text{ N}$  (d)  $5,34 \times 10^{-11} \text{ N}$
2. Sur la figure ci-contre, deux sphères identiques, chacune de masse  $m$  et de rayon  $r$ , sont placées en contact. L'intensité de la force gravitationnelle entre eux est donnée par la relation .....



- (a)  $F = \frac{Gm^2}{r^2}$  (b)  $F = \frac{Gm^2}{4r^2}$   
 (c)  $F = \frac{2g}{r^2}$  (d)  $F = \frac{Gm^2}{2r^2}$
3. Si la distance entre les centres de deux sphères identiques est 1 m, et la force gravitationnelle entre eux est égale à  $10^{-8} \text{ N}$ , alors la masse de chacun est .....  
 ( $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )
- (a) 1 kg (b) 12,2 kg  
 (c)  $2 \times 10^5 \text{ kg}$  (d) 0,1 kg
4. Si la distance entre les centres de deux corps est doublée et que leurs masses restent constantes, alors la force gravitationnelle entre eux .....
- (a) double (b) devient la moitié de sa valeur initiale  
 (c) devient un quart de sa valeur initiale (d) devient quatre fois sa valeur

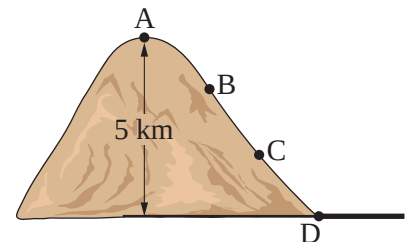
5. La figure ci-contre montre deux satellites y et x en orbite autour d'une planète. Si la force gravitationnelle exercée par la planète sur les deux satellites est égale, alors le rapport entre les masses des deux satellites ( $\frac{m_x}{m_y}$ ) est égal à .....



- (a)  $\frac{1}{1}$                       (b)  $\frac{1}{2}$                       (c)  $\frac{1}{4}$                       (d)  $\frac{4}{1}$
6. L'accélération due à la gravité terrestre .....
- (a) est une constante universelle  
 (b) varie en fonction de l'altitude au-dessus de la surface de la Terre  
 (c) varie selon les saisons  
 (d) varie en fonction de la distance de la Terre au Soleil
7. Deux satellites artificiels (A), (B) orbitent autour de la Terre. Si le rayon orbital du satellite (A) est quatre fois le rayon orbital du satellite (B), alors le rapport de la vitesse du satellite (A) à la vitesse du satellite (B) ( $\frac{v_A}{v_B}$ ) est égal .....
- (a)  $\frac{2}{1}$                       (b)  $\frac{4}{1}$                       (c)  $\frac{1}{2}$                       (d)  $\frac{1}{4}$

## Deuxièmement: Questions de dissertation

1. Sur la figure ci-contre, une montagne a une hauteur de 5 km. En lequel des points D, C, B, A l'intensité du champ gravitationnel terrestre est-elle la plus faible ? Et pourquoi ?
2. La Station spatiale internationale orbite autour de la Terre sur une orbite de rayon  $r$  telle qu'elle effectue une révolution complète autour de la Terre en un temps  $T$ . Si un élément d'une masse égale à 0,1 fois la masse de la station se détache de celle-ci, expliquez ce qui arrive à la période orbitale de la station autour de la Terre..

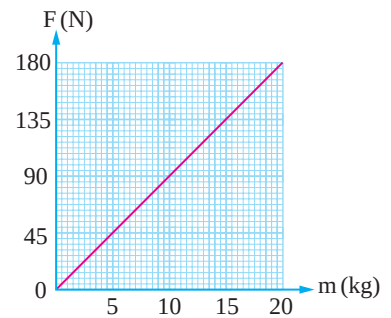


## Troisièmement: Exercices

1. Si la masse de la planète Mercure est Un objet a une masse de  $3,3 \times 10^{23}$  kg et un rayon de  $2,439 \times 10^6$  m. Quel est le poids d'un corps de 65 kg ? sur sa surface et quel est le poids de ce même corps à la surface de la Terre ?
- (Note: La constante gravitationnelle universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2.\text{kg}^{-2}$ , et l'accélération due à la gravité à la surface de la Terre est  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) (240,5 N , 637 N)



2. Plusieurs corps de masses différentes sont présents à la surface d'une planète de masse  $4.88 \times 10^{24}$  kg. Le graphique adjacent représente la relation entre la force gravitationnelle (F) exercée par la planète sur chacun de ces corps et la masse de chaque corps (m).



Calculer: (Note:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )

- (a) L'intensité du champ gravitationnel de cette planète à sa surface.  
 (b) Le rayon de la planète. (9 N/kg ,  $6 \times 10^3$  km)
3. Un satellite artificiel orbite à une altitude de  $h = 300$  km au-dessus de la surface de la Terre. Trouver: (Note: rayon de la Terre  $R = 6378$  km, masse de la Terre  $M = 6 \times 10^{24}$  kg, constante gravitationnelle universelle  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N}^{\text{m}^2}.\text{kg}^{-2}$ , accélération due à la gravité à la surface de la Terre  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ):
- (a) Sa vitesse sur son orbite.  
 (b) La période de révolution du satellite autour de la Terre.  
 (c) La valeur de l'accélération due à la gravité sur son orbite.

( $7,7 \times 10^3 \text{ m/s}$  ,  $5,45 \times 10^3 \text{ s}$  ,  $8,97 \text{ m/s}^2$ )

4. À quelle altitude au-dessus de la surface de la Terre un satellite doit-il orbiter pour que sa période de révolution autour de la Terre soit égale à la période de rotation de la Terre autour de son axe ?

(Note: La constante gravitationnelle universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2.\text{kg}^{-}$

La masse de la Terre est  $M = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ,

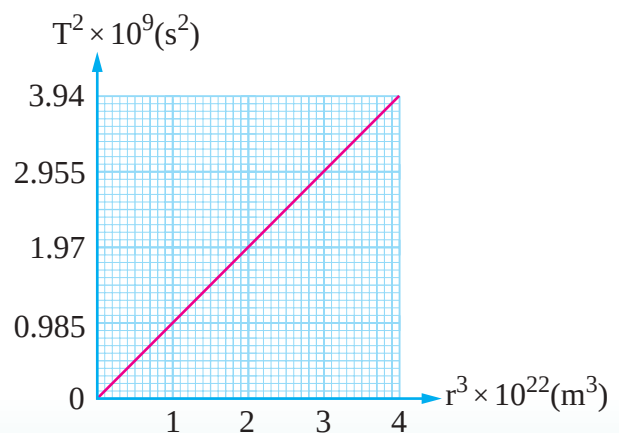
rayon de la Terre  $R = 6378 \text{ km}$ )

( $3,59 \times 10^7 \text{ m}$ )

5. Plusieurs satellites orbitent autour d'une planète sur des orbites différentes, de rayons différents, et le graphique ci-contre représente la relation entre le carré de la période orbitale du satellite autour de la planète. ( $T^2$ ) et le cube du rayon de l'orbite du satellite ( $r^3$ ).

Calculez la masse de la planète.

(Sachant que :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )



( $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ )