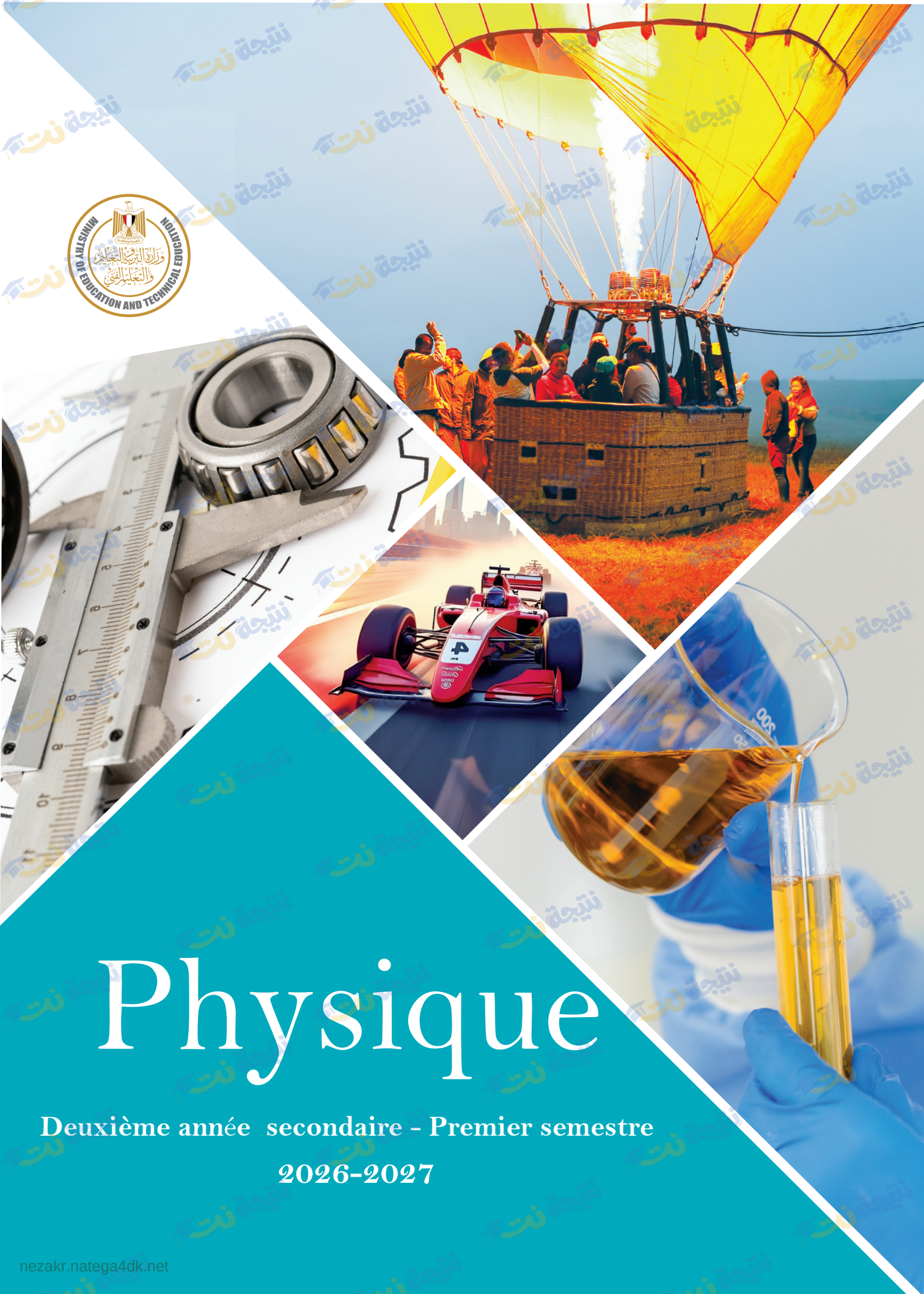


# Physique

**Deuxième année secondaire - Premier semestre**

**2026-2027**

nezakr.natega4dk.net



# Physique

deuxième année secondaire- Premier semestre 2026 - 2027


**Préparation**

**Dr. Mostafa Kamal Mohamed Youssef**
**Dr. Mohamed Sameh Saeed**
**Dr. Mostafa Mohamed El-Sayed Mohamed**
**Mme. Karima Abdel-Alim Sayed Ahmed**

**Comité de révision**

**M. Yousri Fouad Soweiris**
**M. Magdy Fathi**
**M. Ayman Shawky**
**M. Saïd Mohamed Ali**
**Mr. Mohamed Sayed Mohamed**

**Ont Participé à la révision et au développement**

**Gestion du contenu éducatif de l'entreprise de** GPS للطبع والنشر والتوزيع

**Conseillère de sciences**
**Dr. Aziza Ragab Khalifa**

**Comité de traduction**

**Mme / Caroline Saïd Azer**
**Mme / Chérine Heshmat Abdel Hakam**
**Mme / Sahar Sayed Badawy**
**Mme / Héba Nabil Ramzi**

**Supervision générale**

**Dr. Akram Hassan Mohamed**
Assistant du Ministre chargé des Affaires des Programmes éducatifs
et Superviseur de l'administration centrale pour le développement des Programmes



**Il est interdit de diffuser ce livre en dehors du Ministère de L'Éducation et de l'Enseignement technique**





nezakr.natega4dk.net

# Introduction

Ce manuel constitue l'un des éléments essentiels du programme rénové de physique pour la classe de seconde. Il est accompagné d'activités et d'exercices destinés à soutenir l'apprentissage et à contribuer à la réalisation des objectifs de la réforme éducative, afin de préparer les élèves aux défis du XXI$^{e}$ siècle marqué par l'essor rapide de l'information et des technologies de communication.

**Le programme vise notamment à :**

- Mettre en évidence la relation entre la science et la technologie dans le domaine de la physique et ses retombées sur le développement.
- Sensibiliser les élèves à une utilisation responsable et efficace des applications technologiques.
- Développer chez les élèves une démarche de pensée scientifique leur permettant d'accéder progressivement à un apprentissage autonome, motivant et stimulant.
- Encourager l'exploration, la recherche personnelle et l'acquisition d'expériences nouvelles.
- Favoriser l'exercice de la citoyenneté à travers l'apprentissage autonome, le travail en équipe, la négociation, la persuasion, l'ouverture aux opinions d'autrui et le rejet de toute forme d'extrémisme.
- Renforcer l'acquisition de compétences de vie par une attention accrue portée à la dimension pratique et expérimentale.
- Développer des attitudes positives vis-à-vis de l'environnement, en encourageant l'utilisation raisonnée des ressources naturelles et la préservation de l'équilibre écologique à l'échelle locale et mondiale.

**Ce manuel se compose de plusieurs unités intégrées qui permettent d'atteindre les objectifs propres à chacune :**

1. Les grandeurs physiques et les unités de mesure
2. Le mouvement rectiligne
3. Les propriétés de la matière
4. La chaleur

Nous implorons Dieu, le Tout-Puissant, de faire en sorte que ce livre soit bénéfique, et nous L'invoquons pour qu'il soit une pierre parmi celles que nous posons dans l'édifice de l'amour de la patrie et de l'appartenance à celle-ci. Dieu est le meilleur garant de nos intentions, et c'est Lui qui guide vers le droit chemin.

**Les auteurs**



nezakr.natega4dk.net

# Le contenu


## Unité 1

Page



**Les grandeurs physiques et les unités de mesure**

**Chapitre 1:** La mesure physique **6**

## Unité 2



**Le mouvement linéaire**

**Chapitre 2 :** Le mouvement en ligne droite **26**

**Chapitre 3:** La force et le mouvement **38**

## Unité 3



**Les propriétés de la matière**

**Chapitre 4 :** Propriétés des fluides en mouvement (Hydrodynamiques) **48**

**Chapitre 5 :** Propriétés des fluides au repos (Hydrostatiques) **62**

## Unité 4



**La chaleur**

**Chapitre 6:** Les lois des gaz **80**




nezakr.natega4dk.net

Unité

1

# Les grandeurs physiques et les unités de mesure

## Chapitre 1 : La mesure physique



nezakr.natega4dk.net

Chapitre

1

# La mesure physique



nezakr.natega4dk.net

**Résultats d'apprentissage attendus**

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

1.Distinguer entre les grandeurs physiques fondamentales et dérivées.

2.Identifier les grandeurs physiques fondamentales dans le Système international (SI) et leurs unités de mesure.

3.Nommer les instruments de mesure de la longueur, de la masse et du temps.

4. Déduire l'équation des dimensions des grandeurs physiques.

5.Déduire les unités du Système international pour les grandeurs physiques dérivées.

6.Utiliser l'équation des dimensions pour vérifier la validité des lois physiques.

7. Énumérer les sources d'erreur dans la mesure.

**Terminologie du chapitre**

Grandeur physique

Unité de mesure

# Introduction

Les sciences naturelles s'intéressent à l'étude des phénomènes qui se produisent dans l'univers. Elles décrivent ces phénomènes, tentent de les expliquer et les soumettent à l'expérimentation dans le but d'en tirer profit au service de l'homme. Il est impossible de décrire ces phénomènes avec précision sans effectuer des mesures exactes des différentes grandeurs physiques.

## Concept de la mesure physique

Décrire la température d'une personne comme étant élevée est scientifiquement imprécis. Il est préférable de dire, par exemple, que sa température est de 40 degrés Celsius (40 °C). Les mesures transforment nos observations en quantités numériques exprimables par des chiffres



**Figure (1)**
Les différentes mesures dans la vie quotidienne

### Qu'est-ce que la mesure ?

La mesure est un processus de comparaison d'une quantité inconnue avec une autre quantité du même type (appelée unité de mesure), afin de déterminer combien de fois la première contient la seconde.

Le processus de mesure comporte trois éléments principaux :

1. Les grandeurs physiques à mesurer.
2. Les instruments de mesure nécessaires.
3. Les unités de mesure utilisées (unités standards).

Nous allons détailler chacun de ces éléments.



nezakr.natega4dk.net

Les grandeurs avec lesquelles nous travaillons, telles que la masse, le temps, la longueur, le volume, entre autres, sont appelées grandeurs physiques, et nous avons besoin de les mesurer avec précision dans notre vie quotidienne.

**Et on peut classer les grandeurs physiques en :**

**a- Grandeur physique fondamentale :**

c'est une grandeur physique qui ne se définit pas en fonction d'autres grandeurs physiques.

**Exemples :** la longueur, le temps, la masse.

**b- Grandeur physique dérivée :**

c'est une grandeur physique qui se définit en fonction des grandeurs physiques fondamentales.

**Exemples :** le volume, la vitesse, l'accélération.

Par exemple :

Volume du parallélépipède rectangle =

longueur × largeur × Hauteur

$$V_{ol} = L_1 \times L_2 \times L_3$$

C'est-à-dire que le volume est dérivé de la longueur.

Il existe dans le monde plusieurs systèmes pour définir les grandeurs physiques fondamentales et leurs unités de mesure, parmi lesquels :

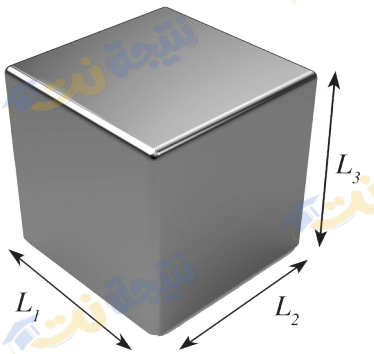



**Figure (2)**
Parallélépipède rectangle

| La grandeur fondamentale | Les unités de mesure | | |
|---|---|---|---|
| | Le système Français (système de Gauss) (C.G.S) | Le système Anglais (F.P.S) | Le système Métrique (M.K.S) |
| La longueur | Centimètre | Foot | Mètre |
| La masse | Gramme | Pound | Kilogramme |
| Le temps | Seconde | Second | Seconde |

## Intégration avec les mathématiques

Les grandeurs physiques et leurs relations sont toujours exprimées par des équations mathématiques. Ces équations mathématiques sont une forme abrégée de description physique, et chaque équation physique possède une signification particulière, que l'on appelle le sens physique.

# Le système international d'unités (SI)

On l'appelle aussi le système métrique moderne. Lors de la onzième Conférence générale des poids et mesures tenue en 1960, il a été convenu d'ajouter quatre unités au système métrique précédent, qui est ainsi devenu sous la forme suivante :



nezakr.natega4dk.net

| | La grandeur physique | | L'unité dans le système International |
|---|---|---|---|
| 1 | La longueur | (L) | Mètre (m) |
| 2 | La masse | (M) | Kilogramme (kg) |
| 3 | Le temps | (t) | Seconde (s) |
| 4 | L'intensité du courant électrique | (I) | Ampère (A) |
| 5 | Le degré de température absolue | (T) | Kelvin (K) |
| 6 | La quantité de la matière | (n) | Mole (mol) |
| 7 | L'intensité lumineuse | ($I_v$) | Candela (cd) |

**Aussi deux unités supplémentaires ont été ajoutées :**

**- Radian** pour mesurer l'angle plan.

**- Stéradian** pour mesurer l'angle solide.

Le Système international a ainsi été adopté dans tous les domaines scientifiques différents à travers le monde.

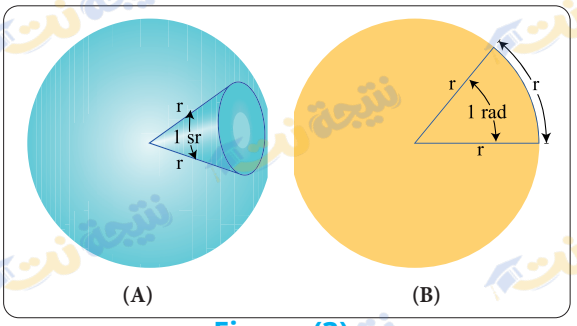
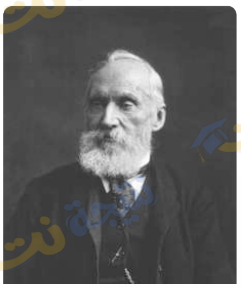



**Figure (3)**

(A L'angle solide

(B) L'angle plan

## Scientifiques qui ont servi l'humanité :



**William Thomson (Lord Kelvin) :** scientifique britannique, considéré comme l'un des plus grands savants ayant développé le système métrique.

Il a défini le zéro absolu sur l'échelle de température avec une précision totale, et a montré qu'il correspond à –273 °C, appelé aujourd'hui le Kelvin.



**Ahmed Zewail:** scientifique égyptien, lauréat du prix Nobel en 1999.

Il a utilisé le laser pour étudier les réactions chimiques entre molécules, qui se produisent dans un laps de temps mesuré en femtoseconde **($10^{-15}$ s).**

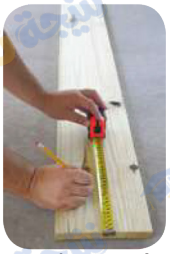


nezakr.natega4dk.net

## Les instruments de mesure:

Dans le passé, l'être humain utilisait des parties de son corps et des phénomènes naturels comme moyens de mesure : il se servait du bras, de la paume de la main, du pied et d'autres encore comme unités de longueur. Il tirait également profit du lever et du coucher du soleil ainsi que du cycle de la lune pour établir une mesure du temps.

Ainsi, différents systèmes de mesure sont apparus, variés et multiples selon les pays. Les instruments de mesure ont ensuite connu un développement considérable dans le cadre de l'essor industriel, ce qui a permis à l'homme de décrire les phénomènes avec précision et de parvenir à la connaissance des réalités des choses.

| La grandeur | Les instruments de mesure: anciens et modernes |
|---|---|
| **La longueur** |  Le ruban métrique<br> La règle<br> Le pied à coulisse (vernier)<br> Le micromètre |
| **La masse** |  La balance romaine<br> La balance à deux plateaux<br> La balance à un seul plateau (après étalonnage)<br> La balance numérique (après étalonnage) |
| **Le temps** |  L'horloge sableux (Le sablier)<br> L'horloge à pendule<br> Le chronomètre<br> La montre numérique (digitale) |



nezakr.natega4dk.net

## Une expérience pratique pour mesurer des longueurs à l'aide du pied à coulisse (le vernier )

### La Structure :

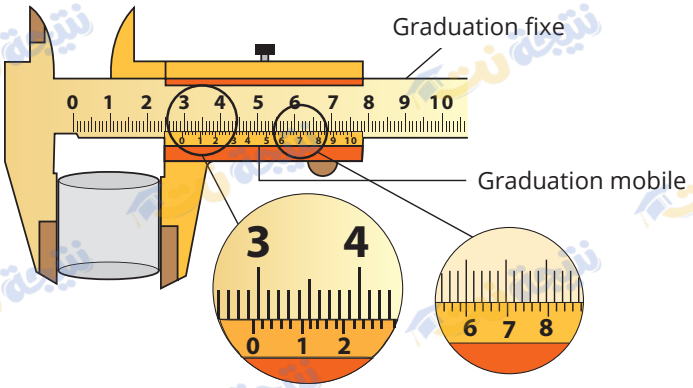



**Figure (4)**
Le vernier

Le pied à coulisse ( le vernier) est constitué d'une graduation mobile (vernier) qui se déplace le long d'une autre graduation fixe. La graduation du vernier est divisée en plusieurs divisions dont la valeur est légèrement inférieure à celle des divisions de l'échelle fixe. En effet :

Une division sur l'échelle fixe = 1 mm

Une division sur le vernier = 0,9 mm

Donc chaque division du vernier est plus petite que celle de l'échelle fixe de 0,1 mm. Ainsi, la lecture du vernier se calcule en multipliant le nombre de divisions correspondantes par 0,1 mm.

### Étapes de travail :

(1) On place l'objet entre les mâchoires du pied à coulisse et on exerce une légère pression.

(2) On lit la graduation principale qui précède le zéro du vernier, par exemple 29 mm.

(3) On cherche sur le vernier la division qui coïncide avec une division de l'échelle fixe; supposons que ce soit la sixième ligne.

⟶ Alors : 6×0,1=0,6mm.

⟶ On ajoute cette valeur à la lecture précédente : 29mm+ 0,6 mm =29,6 mm

(4) Il est conseillé de répéter la mesure plusieurs fois et de calculer la moyenne des valeurs obtenues afin d'assurer la précision de la mesure.

## les unités de référence (les unités standards)

Sans l'utilisation des unités de mesure, de nombreuses tâches que nous accomplissons dans notre vie quotidienne perdraient tout leur sens.

Par exemple, lorsque nous disons que la masse d'un objet est égale à 5, sans préciser l'unité de mesure utilisée, cela nous amène à nous demander : s'agit-il du gramme, du kilogramme ou de la tonne... ?

En revanche, lorsque nous disons que la masse est égale à 5 kg, la grandeur est parfaitement claire.



nezakr.natega4dk.net

Les savants ont cherché à donner la définition la plus précise possible de chaque unité de référence, comme la longueur, la masse et le temps. Voici quelques-unes de ces définitions.

## La longueur référentielle ( le mètre )

Les Français furent les premiers à utiliser le mètre comme unité standard de mesure de longueur.
La définition du mètre a évolué au fil du temps afin de rechercher la définition la plus précise.
**le mètre référentiel :** C'est la distance entre deux repères gravées aux extrémités d'une barre en alliage de platine – iridium conservé à 0°C au bureau international de Poids et de Mesure près de Paris.



**Figure (5)**
Le mètre référentiel

### Information enrichissante

En 1960, les scientifiques réunis lors de la Conférence générale des poids et mesures ont convenu de remplacer l'ancien mètre référentiel par une définition fondée sur une constante atomique, selon la définition suivante :
Le mètre référentiel: il est égal à 1 650 763,73 longueurs d'onde de la lumière rouge-orangée émise dans le vide par les atomes de l'isotope du krypton de masse atomique 86, dans un tube à décharge contenant du gaz krypton.

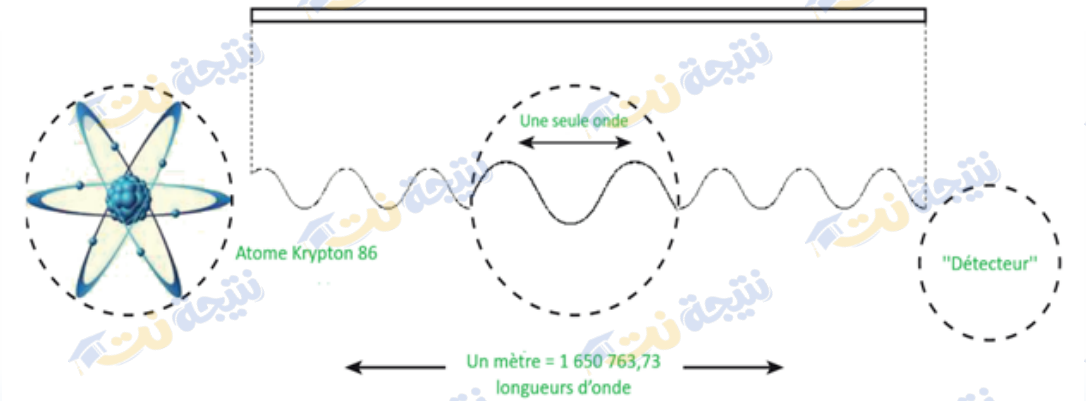



**Figure (6)**
**Le mètre défini en fonction des longueurs d'onde de la lumière rouge-orangée de l'atome de krypton 86**



nezakr.natega4dk.net

### Idées pour stimuler la créativité

En utilisant le réseau Internet, cherchez les réponses aux questions suivantes :

- Comment pouvez- vous mesurer la distance de la Lune à la Terre ?
- Comment pouvez- vous mesurer la longueur de la circonférence de la Terre ?

## La masse référentielle ( le kilogramme) :

**( le kilogramme référentiel ) :** Est égale à la masse d'un cylindre en alliage de platine – iridium de dimensions déterminées conservé à 0°C au bureau international de Poids et de Mesure près de Paris.



**Figure (7)**
le kilogramme référentiel

## Le temps référentiel (la seconde)

**La seconde :** est l'unité de mesure du temps. Elle a été définie dès l'Antiquité, car l'alternance du jour et de la nuit ainsi que la durée d'une journée représentaient un moyen simple et fiable pour établir une unité de temps. En effet :

1 jour = 24 heures = 24 × 60 minutes = 24 × 60 × 60 secondes = 86 ,400 secondes

Donc : 1 seconde = $\frac{1}{86400}$ d'un jour solaire moyen.

Par la suite, les scientifiques ont proposé l'utilisation des horloges atomiques, comme l'horloge au césium, pour mesurer le temps avec une précision extrême. L'usage des horloges atomiques, d'une exactitude remarquable, permet d'étudier un grand nombre de phénomènes d'importance scientifique et pratique, tels que :

la détermination précise de la durée de rotation de la Terre sur elle-même (durée du jour),

l'amélioration de la navigation aérienne et terrestre, la précision des voyages spatiaux pour l'exploration de l'univers, etc.



nezakr.natega4dk.net

### Information enrichissante

Les scientifiques sont parvenus à la définition suivante de la seconde en utilisant l'horloge au césium :
La seconde référentielle: elle correspond à la durée nécessaire pour que l'atome de césium de masse atomique 133 émette 9 ,192,631,700 ondes.




**8 Figure**
L'horloge atomique au césium

### Développement de la pensée critique

- Pourquoi ne pas utiliser une tige de verre semblable au mètre étalon pour la conserver comme unité de référence de la longueur ?
- Pourquoi, à votre avis, les scientifiques ont-ils choisi le mètre atomique et l'ont-ils préféré au mètre étalon international ?
- Pourquoi les scientifiques cherchent-ils la norme la plus précise pour mesurer une grandeur physique ?

## Formule de dimensions :

On peut exprimer chaque grandeur physique sous une forme symbolique.
Par exemple :la longueur est notée par le symbole L .
la masse est notée par le symbole M .
le temps est noté par le symbole T.
Lorsqu'on exprime la définition d'une grandeur physique en fonction de ces symboles, on obtient ce qu'on appelle la formule des dimensions de la grandeur physique.
Exemple :

$$\text{Vitesse} = \frac{\text{Distance}}{\text{temps}} = \frac{\text{Longueur}}{\text{temps}} \qquad [v] = \frac{[\text{Distance}]}{[\text{temps}]} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

Ainsi, la vitesse est exprimée en fonction des dimensions fondamentales.

$$[A] = L^{\pm a}\, M^{\pm b}\, T^{\pm c}$$

Où A est la grandeur physique, et a, b, c sont les exposants des dimensions L, M et T, respectivement.



nezakr.natega4dk.net

**Unité de mesure de la grandeur physique :**
On obtient l'unité de mesure en exprimant la formule dimensionnelle avec les unités appropriées.
**Par exemple**, la vitesse se mesure en mètres par seconde : (m/s).

**Exemple**

Déterminez la formule de dimension de l'accélération ainsi que son unité de mesure, sachant que l'accélération est définie comme le taux de variation de la vitesse par rapport au temps.

**La solution**

$$\text{L'accélération} = \frac{\text{Vitesse}}{\text{Temps}} \qquad [a] = \frac{[\text{Vitesse}]}{[\text{Temps}]} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$$

Quant à l'unité de mesure de l'accélération, elle est ($m/s^2$).

**Formule de dimension de quelques grandeurs physiques :**

| Grandeur physique | Relation avec d'autres grandeurs | Formule de dimension | Unité de mesure |
|---|---|---|---|
| Aire (A) | Longueur × Largeur | $L \times L = L^2$ | $m^2$ |
| Volume (V) | Longueur × Largeur × Hauteur | $L \times L \times L = L^3$ | $m^3$ |
| Masse volumique (Densité) ($\rho$) | Masse / Volume | $M / L^3 = M L^{-3}$ | $kg/m^3$ |
| Vitesse (V) | Distance / Temps | $L / T = L T^{-1}$ | m/s |
| Accélération (a) | Vitesse / Temps | $(L T^{-1}) / T = L T^{-2}$ | $m/s^2$ |
| Force (F) | Masse × Accélération | $M \times L T^{-2} = M L T^{-2}$ | Newton (N) |
| Pression (P) | Force / Aire | $M L T^{-2} / L^2 = M L^{-1} T^{-2}$ | Pascal (Pa) |
| Travail (W) | Force × Déplacement | $M L T^{-2} \times L = M L^2 T^{-2}$ | Joule (J) |



nezakr.natega4dk.net

## Attention

- Lorsqu'on additionne ou soustrait deux grandeurs physiques, elles doivent être du même type, c'est-à-dire avoir la même formule dimensionnelle. On ne peut donc pas additionner une masse avec une distance, par exemple : 2 m + 2 kg est impossible.
- Si deux grandeurs sont du même type mais exprimées avec des unités différentes, il faut d'abord convertir l'une des unités dans l'unité de l'autre pour pouvoir les additionner ou les soustraire :

$$1\ \text{m} + 170\ \text{cm} = 100\ \text{cm} + 170\ \text{cm} = 270\ \text{cm}$$

- On peut multiplier ou diviser des grandeurs physiques qui n'ont pas la même formule de dimension. Dans ce cas, on obtient une nouvelle grandeur physique.
- Par exemple, en divisant une distance par un temps, on obtient une vitesse.
- Importance des équations de dimension :

On peut utiliser une équation de dimension pour vérifier la validité d'une loi. Les dimensions des deux côtés de l'équation doivent être identiques : c'est ce qu'on appelle la vérification de l'homogénéité

### Exemple 1

Vérifier la validité de la relation:

L'énergie cinétique = $\frac{1}{2}$ × masse × carré de la vitesse: $ML^2T^{-2}$

**La solution**

Formule de dimension du membre droite est: $ML^2T^{-2}$

Formule de dimension du membre gauche:

On sait que la fraction $\frac{1}{2}$ n'a pas d'unité de mesure $M(L/T)^2 = ML^2T^{-2}$

Elle a donc la même formule de dimension que le membre de droite.On en conclut que la relation peut être correcte.

Remarque : On ne peut pas vérifier la validité des valeurs numériques présentes dans la relation en utilisant uniquement les formules de dimension.

### Exemple 2

Quelqu'un a proposé que le volume d'un cylindre soit donné par la relation :

$V_{ol} = \pi rh$ où (r) est le rayon de la base du cylindre et (h) est sa hauteur.

Utilisez les formules de dimension pour vérifier si cette relation peut être correcte.

**La solution**

On écrit l'équation : $V_{ol} = \pi rh$ où ($\pi$ est une constante sans unité.)

Formule de dimension du membre de gauche (volume): $L^3$

Formule de dimension du membre de droite : (longueur × longueur): = $L^2$

Résultat : les dimensions des deux côtés de l'équation ne sont pas identiques.

Conclusion : l'équation est fausse.



nezakr.natega4dk.net

Remarque :

Le fait d'avoir la même formule de dimension des deux côtés d'une équation ne garantit pas sa validité. En revanche, si les dimensions sont différentes, cela prouve que l'équation est fausse.

## Multiples et sous-multiples d'unités dans le système international

Lors d'une mesure, une grandeur physique est généralement décrite par une valeur numérique et une unité de mesure.

Par exemple:La distance entre les étoiles est très grande et peut être estimée à environ (100,000,000,000,000,000 m)Tandis que la distance entre les atomes dans les solides est très petite et estimée à environ (0,000000001m.)

Il est clair qu'il est très difficile de lire de tels nombres. C'est pourquoi on préfère les écrire à l'aide du nombre 10 élevé à une puissance donnée.

Ainsi :

La distance entre les étoiles peut s'écrire : ($1 \times 10^{17}$m)

La distance entre les atomes dans les solides peut s'écrire : ($1 \times 10^{-9}$m)

Cette manière de représenter les grandeurs physiques est appelée notation scientifique.

Le coefficient devant la puissance de 10 est appelé le coefficient et des noms précis pour les puissances de $10^{\pm x}$ ont été fixés par accord entre les scientifiques.

Ils sont présentés dans le tableau suivant :

| Coefficient | $10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^{3}$ | $10^{6}$ | $10^{9}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nom | Nano | Micro | Milli | Centi | Kilo | Mega | Giga |
| Symbole | n | μ | m | c | k | M | G |

**Exemple**

Un courant électrique d'une intensité de 7milliampères (7mA), Exprimez l'intensité de ce courant en microampères (μA).

**La solution**

D'après le tableau précédent, nous trouvons que :

$$1\ \text{mA} = 10^{-3}\ \text{A}$$

$$1\ \mu\text{A} = 10^{-6}\ \text{A}$$

En divisant les deux relations précédentes, il résulte que :

$$\frac{1\ \text{mA}}{1\ \mu\text{A}} = 10^{3}$$

C'est-à-dire que :

$$1\ \text{mA} = 10^{3}\ \mu\text{A}$$

Et en multipliant les deux côtés par (7), nous trouvons que : $7\ \text{mA} = 7 \times 10^{3}\ \mu\text{A}$.

Ce qui signifie que : 7 milliampères = 7000 microampères.



nezakr.natega4dk.net

## Erreur de mesure :

L'homme s'est intéressé tout au long de son histoire à l'amélioration des méthodes de mesure et au développement de ses instruments, en raison du lien évident entre la précision du processus de mesure et le progrès scientifique et technologique. Il est impossible d'effectuer une mesure avec une précision de 100 %, mais il doit toujours exister un certain pourcentage, même faible, d'erreur. Par exemple, lors de la mesure de la longueur d'une pièce, on constate une différence entre la valeur mesurée et la valeur réelle. Cette différence peut être minime ou importante selon la précision de la mesure.

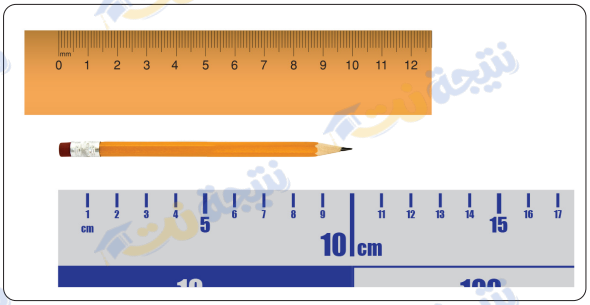
## Exercice

Un enseignant a demandé à 5 élèves de mesurer la longueur d'un crayon, et les résultats sont les suivants :

| (étudiant) ou Élève | Premier | Deuxième | Troisième | Quatrième | Cinquième |
|---|---|---|---|---|---|
| Résultat de Mesure | 10,1 cm | 10,0cm | 9,8 cm | 10,0 cm | 10,0 cm |

- Que pouvez-vous déduire du tableau précédent ?
- Citez les causes possibles ayant entraîné des erreurs de mesure.

Quelle règle est la plus précise pour mesurer la longueur du crayon ? Et pourquoi ?




(a) Règle graduée au millimètre (1 mm).

(b) Règle graduée au centimètre (1 cm).

Figure (9)

## Sources d'erreur dans la mesure

Les sources d'erreur lors de la mesure de différentes grandeurs physiques sont multiples, parmi lesquelles :

① **Choix d'un instrument de mesure inapproprié** : une erreur courante est d'utiliser un instrument non adapté à la mesure. Par exemple, utiliser une balance ordinaire au lieu d'une balance de précision pour mesurer la masse d'une bague en or conduit à une erreur plus importante.

② **Défaut dans l'instrument de mesure** : il peut y avoir un ou plusieurs défauts dans l'instrument. Par exemple, dans un ampèremètre :



Figure (10)
Un ancien ampèremètre



nezakr.natega4dk.net

- L'appareil peut être ancien et l'aimant à l'intérieur est devenu faible.
- L'aiguille de l'ampèremètre ne revient pas à zéro lorsque le courant est coupé, comme illustré sur la figure. (Figure.10)

### ③ Erreurs dans la méthode de mesure :

Les erreurs proviennent souvent des débutants et des personnes non formées à effectuer des mesures avec précision. Parmi ces erreurs, on trouve :
- Ne pas savoir utiliser des appareils à échelles multiples comme le multimètre.
- Regarder l'indicateur ou l'échelle sous un angle au lieu d'avoir une ligne de vue perpendiculaire à la partie de l'échelle qui détermine la lecture de l'instrument.

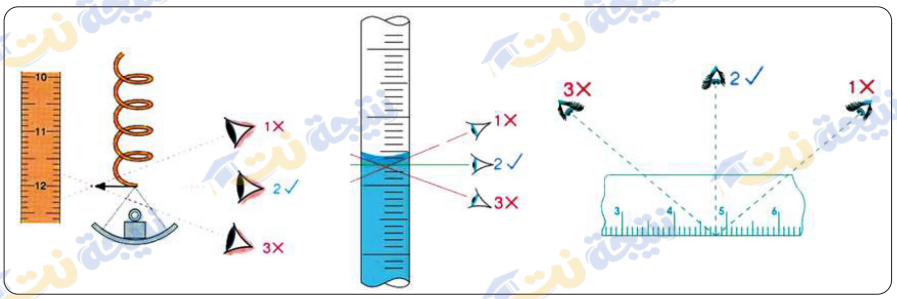



**Figure (11)**
La droite de vision doit être perpendiculaire à l'instrument de mesure

### ④ Facteurs environnementaux :

tels que la température, l'humidité ou les courants d'air.
Lors de la mesure de la masse d'un petit objet avec une balance sensible, les courants d'air peuvent provoquer une erreur dans la mesure ; pour éviter cette erreur, la balance sensible est placée à l'intérieur d'une boîte en verre.



**Figure (12)**
Balance sensible à l'intérieur d'une boîte en verre

### On peut distinguer deux types de mesure :

① Mesure directe : elle utilise un seul instrument de mesure ; par exemple, on peut mesurer la densité d'un liquide avec un seul instrument appelé « hydromètre ».
② Mesure indirecte : elle utilise plusieurs instruments de mesure. Par exemple, on peut mesurer la densité en mesurant la masse avec une balance et le volume avec une éprouvette graduée, puis calculer la densité en divisant la masse par le volume.



**Figure (13)**
Mesure de la densité à l'aide de l'hydromètre



**Figure (14)**
Mesure de la densité à l'aide de la balance et de l'éprouvette graduée



nezakr.natega4dk.net

| Point de Comparaison | Mesure Directe | Mesure Indirecte |
|---|---|---|
| **Nombre d'Opérations de Mesure** | Une seule opération de mesure est effectuée | Plus d'une opération de mesure est effectuée |
| **Opérations Mathématiques** | Aucune substitution dans une équation mathématique n'est requise | La substitution dans une équation mathématique est requise pour calculer la grandeur |
| **Erreurs de Mesure** | Il y a une seule erreur dans le processus de mesure | Plusieurs erreurs peuvent survenir au cours du processus de mesure, entraînant ce qu'on appelle l'accumulation des erreurs |
| **Exemples** | Mesurer le volume à l'aide d'une éprouvette graduée | Mesurer le volume en multipliant la longueur × largeur × hauteur |



nezakr.natega4dk.net

# Résumé

## Définitions et concepts fondamentaux

- Mesure : C'est le processus de comparaison d'une quantité inconnue avec une autre quantité de même nature afin de déterminer combien de fois la première contient la seconde.
- Grandeurs physiques fondamentales : Ce sont les grandeurs physiques qui ne sont pas définies en fonction d'autres grandeurs physiques.
- Grandeurs physiques dérivées : Ce sont les grandeurs physiques définies en fonction des grandeurs physiques fondamentales.
- La formule dimensionnelle est utilisée pour vérifier la validité des lois physiques, car la présence de la même formule dimensionnelle des deux côtés de l'équation ne garantit pas sa validité, mais une différence entre elles confirme son erreur.
- Sources d'erreur dans la mesure :

1. Choix d'un instrument de mesure inapproprié.
2. Présence d'un défaut dans l'instrument de mesure.
3. Réalisation incorrecte de la mesure.
4. Facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, les courants d'air.

- Types de mesure :

1. Mesure directe : Elle consiste en une seule opération de mesure sans substitution dans une relation mathématique.
2. Mesure indirecte : Elle implique plusieurs opérations de mesure avec substitution dans une relation mathématique pour calculer la grandeur.



nezakr.natega4dk.net

# Questions et exercices

## Premièrement : Complétez le tableau suivant

| Grandeur Physique | Unité de Mesure | Formule de Dimension |
|---|---|---|
| **Vitesse** | ..... | ..... |
| ..... | $m/s^2$ | ..... |
| ..... | ..... | $MLT^{-2}$ |
| **Densité** | ..... | ..... |

## Deuxièmement : Choisissez la bonne réponse

1. La grandeur dérivée parmi les suivantes est : .....

A) Longueur B) Masse C) Temps D) Vitesse

2. Dans le Système international (SI), l'ampère est une unité de base pour mesurer : .....

A) Courant électrique B) Charge électrique

C) Longueur D) Intensité lumineuse

3. La formule dimensionnelle de l'accélération est : .....

A) $L^2 T^{-1}$ B) $LT^{-2}$ C) $LT^{-1}$ D) $LT$

## Troisièmement : Questions à développement

1. Quelle est la différence entre une grandeur physique fondamentale et une grandeur physique dérivée ?

2. Définissez chacun des éléments suivants : la longueur référentielle , la masse référentielle et le temps référentiel .

3. Pourquoi une tige en verre de la même longueur que le mètre référentiel n'est-elle pas utilisée comme unité étalon pour mesurer la longueur ?

4. Sachant que le travail = $\frac{1}{2}$ $mv^2$, déduisez la formule de dimension du travail.

5. Écrivez la formule de dimension pour chacun des éléments suivants : force – travail – pression (qui est égale à la force divisée par la surface).



nezakr.natega4dk.net

6. Dans un examen de physique, un étudiant a écrit l'équation suivante :
Vitesse (en $m/s$) = Accélération (en $m/s^2$) × Temps (en s)
Utilisez la formule des dimensions pour prouver la validité de cette relation.

7. Einstein a proposé sa célèbre équation : $E=mc^2$, où (c) est la vitesse de la lumière et (m) la masse.
Utilisez cette équation pour déduire les unités du Système international (unités SI) de la grandeur (E).

8. En utilisant les formules de dimensions des grandeurs physiques, vérifiez si l'équation donnée est valide :

$$P = P_a + \rho gh$$

Sachant que ; densité du liquide (ρ), pression atmosphérique ($P_a$), pression totale en un point à l'intérieur d'un liquide (P) : où profondeur du point (h), accélération due à la gravité terrestre (g).

9. Mentionnez les précautions à prendre lors de l'utilisation d'une règle métrique pour mesurer la longueur d'un objet.

## Quatrièmement : Problèmes.

1. Écrivez les lectures suivantes en utilisant la notation scientifique pour écrire les nombres :

a) La masse de l'éléphant est égale à 5000 kg. $(5 \times 10^3\ kg)$

(B) La vitesse de la lumière dans le vide est approximativement 300 000 000 m/s.

$(3 \times 10^8\ m/s)$

(C) Le rayon de la Terre est 6 000 000 m. $(6 \times 10^6 m)$

(D) Le rayon de l'atome d'hydrogène est 0,00000000005 m. $(5 \times 10^{-11} m)$

2. Exprimez les quantités suivantes selon l'unité indiquée en utilisant la notation scientifique :

(A) 1mg en kilogramme $(1 \times 10^{-6}\ kg)$

(B) (3 × 10-9 s) en millisecondes $(3 \times 10^{-6}\ ms)$

(C) 88 km en mètre $(8.8 \times 10^4 m)$



nezakr.natega4dk.net

3. Sachant que le diamètre d'un cheveu humain est d'environ 0,05 mm, calculez ce diamètre en mètres. ($5 \times 10^{-5}$m)

4- Le rayon de la planète Saturne est de $5{,}85 \times 10^{7}$ m et sa masse est de $5{,}68 \times 10^{26}$ kg.

(A) Calculez la densité de la matière de la planète en g/cm³ (0.677 g/cm³)

(B) Calculez la surface de la planète en m². ($4.3 \times 10^{16}$ m²)



nezakr.natega4dk.net

# Unité 2

# Le mouvement linéaire

- Chapitre 2 : Le mouvement en ligne droite
- Chapitre 3: La force et le mouvement




nezaki.nabega4dz.net

Chapitre

2

# Le mouvement en ligne droite




nezakr.natega4dk.net

## Résultats d'apprentissage attendus

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

1. Définir le concept de mouvement rectiligne.
2. Expliquer les types de mouvement.
3. Tracer et interpréter les graphiques représentant la relation entre le déplacement et le temps, et entre la vitesse et le temps.
4. Différencier les différents types de vitesses et les comparer.
5. Découvrir le concept d'accélération et ses types.
6. Rechercher, interpréter et analyser les différents graphiques liés au mouvement rectiligne.

## Terminologie du chapitre

Le mouvement - La vitesse scalaire - La vitesse vectorielle - L'accélération

## Introduction

Si nous observons les corps qui nous entourent, nous constatons que certains sont fixes et d'autres sont mobiles. Il est essentiel, tout en suivant le mouvement des différents corps, de comprendre et de décrire ce mouvement. En l'absence de méthodes pour décrire et analyser le mouvement, les voyages en bateaux, trains et avions se transformeraient en chaos. Les temps et les vitesses sont ce qui déterminent les horaires de départ et d'arrivé des moyens de transport, quels qu'ils soient. Sur la base de ce qui précède, nous tentons dans ce chapitre de nous familiariser avec le concept de mouvement et les grandeurs physiques nécessaires à sa description..



**Figure (1)**

**Quel est l'impact de l'étude du mouvement sur les différents moyens de transport ?**

## Le mouvement

La figure correspondante montre une bande cinématographique qui indique les positions d'une souris à des intervalles de temps égaux. La souris est-elle en mouvement ou au repos ?



**Figure (2)**

Le mouvement : est le changement de la position d'un corps au fil du temps par rapport à la position d'un autre corps. Ainsi, lorsque la position d'un corps change sur une période de temps, le corps s'est déplacé. Si le mouvement se produit dans une seule direction, c'est-à-dire qu'il suit une trajectoire rectiligne, le mouvement est alors appelé mouvement rectiligne, qui représente le type de mouvement le plus simple.



**Figure (3)**

Le mouvement d'un train est un exemple de mouvement rectiligne. Dans de nombreuses régions , les rails de chemin de fer ne changent pas de direction sur de longues distances.



nezakr.natega4dk.net

## Types de mouvement

**Le mouvement peut être classé en deux types principaux : le mouvement translatoire et le mouvement périodique.**



**Figure (4)**
**Mouvement translatoire**



**Figure (5)**
**Mouvement périodique**

① **Mouvement translatoire** : il s'agit d'un mouvement caractérisé par un point de départ et un point d'arrivée, comme le mouvement en ligne droite, le mouvement des projectiles et le mouvement des moyens de transport.

② **Mouvement périodique**: c'est un mouvement qui se répète à intervalles de temps égaux, comme le mouvement circulaire et le mouvement vibratoire.

**Développement des compétences scientifiques**

Classez les mouvements des objets suivants en mouvement de translation ou périodique :

- Mouvement du pendule d'une horloge.
- Mouvement des projectiles.
- Mouvement des trains.
- Mouvement de la branche d'une fourche vibrante.

Dans un souci d'intégration des connaissances entre les matières, l'étude de cette unité en physique met l'accent sur les concepts physiques liés à la force et au mouvement, ainsi que leurs applications dans la vie quotidienne, ouvrant ainsi la voie à l'étude mathématique rigoureuse des lois et aux applications calculatoires en mathématiques et en applications des mathématiques.

## La vitesse

Les objets qui nous entourent sont en mouvement ; certains sont qualifiés de lents, d'autres de rapides, mais ces descriptions ne sont pas précises scientifiquement. Pour décrire le mouvement d'un objet, il faut l'évaluer de manière quantitative à travers le concept de vitesse : c'est la vitesse parcourue par l'objet en une seconde, ou le taux de variation temporelle du déplacement.

La vitesse se mesure en mètres par seconde (m/s) ou en kilomètres par heure (km/h).



nezakr.natega4dk.net

**Représentation graphique de la relation entre le déplacement et le temps :**

Observez un objet en mouvement et enregistrez son déplacement en fonction du temps.
La relation entre le déplacement (sur l'axe vertical) et le temps (sur l'axe horizontal) peut être représentée comme suit:

- Tracez une ligne verticale (a) pour marquer les instants sur l'axe du temps.
- Tracez une ligne horizontale (b) correspondant au déplacement sur l'axe du déplacement.
- Identifiez le point d'intersection entre la ligne verticale et la ligne horizontale.

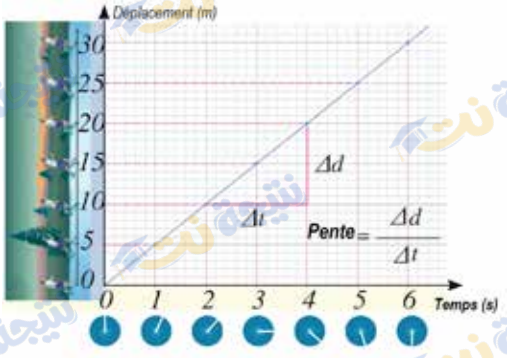



Figure (6)

## Types de vitesse

### 1 Vitesse scalaire et vitesse vectorielle

Lorsque vous montez dans une voiture, vous pouvez remarquer la présence d'un compteur devant le conducteur. L'aiguille se déplace vers la droite ou vers la gauche, et ce compteur indique une vitesse de 80 km/h (par exemple). Cependant, ce chiffre ne nous renseigne pas sur la direction du mouvement de la voiture. Cette valeur est appelée vitesse scalaire.




Fifure (7)

**Est-ce que le compteur d'une voiture mesure la vitesse scalaire ou la vitesse vectorielle (vélocité)? Et pourquoi?**

Et dire qu'une voiture roule à 80 km/h est une description incomplète, car on ne sait pas dans quelle direction elle se déplace. Pour décrire complètement la vitesse d'une voiture, il faut indiquer la direction de son mouvement, par exemple: la voiture roule à 80 km/h vers l'est. Dans ce cas, on parle de vitesse vectorielle.

| Point de Comparaison | Vitesse scalaire (numérique) | Vitesse vectorielle (Vélocité) |
|---|---|---|
| **Définition** | La distance parcourue par un objet par unité de temps. | Le déplacement effectué par un objet par unité de temps. |
| **Genre de la Grandeur** | Scalaire : déterminée par la quantité (valeur) seule. | Vectorielle : déterminée par la quantité (valeur) et le sens. |
| **Signe** | Toujours positive | Positive lorsque l'objet se déplace dans une certaine direction et négative lorsqu'il se déplace dans la direction opposée |

Il convient de noter que le terme « vitesse » utilisé dans les textes et problèmes suivants fait référence à la vélocité (vitesse vectorielle), et non à la vitesse (vitesse scalaire), car c'est la vitesse vectorielle qui décrit complètement le mouvement d'un objet.



nezakr.natega4dk.net

## 2 Vitesse constante et vitesse variable

Lorsqu'un coureur se déplace à vitesse constante, les déplacements entre les positions successives sont égaux pendant des intervalles de temps égaux. En revanche, s'il se déplace à vitesse variable, les déplacements entre les positions successives ne sont pas égaux pendant des intervalles de temps égaux.

**Vitesse constante** : c'est la vitesse à laquelle un objet parcourt des déplacements égaux pendant des intervalles de temps égaux, et l'objet se déplace à une vitesse constante en ligne droite (direction constante).

**Vitesse variable** : c'est la vitesse à laquelle un corps parcourt des déplacements inégaux en des temps égaux, la vitesse étant variable en grandeur ou en direction.

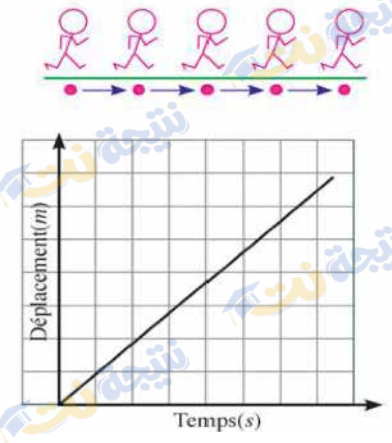



**Figure (8)**
Mouvement à vitesse constante

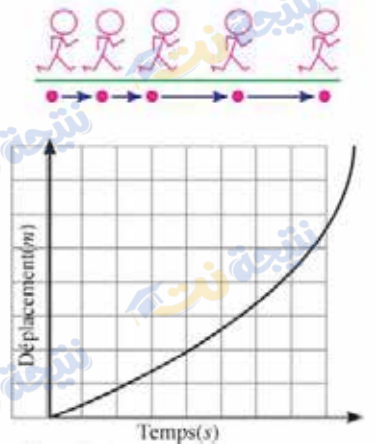



**Figure (9)**
Mouvement à vitesse variable

## 3 Vitesse instantanée et vitesse moyenne

Si l'on observe le mouvement d'une voiture sur une route, on remarque que sa vitesse n'est pas constante, mais qu'elle change en fonction des conditions de la route. Elle augmente parfois, diminue à d'autres moments, et ne reste pas constante. Pour comprendre le mouvement de cette voiture, il faut distinguer entre sa vitesse instantanée et sa vitesse moyenne.

### Vitesse instantanée (v)

C'est la vitesse du corps à un instant donné. Sa valeur peut être déduite en lisant l'indicateur du compteur de vitesse de la voiture à un moment précis. Pour déterminer la vitesse de la voiture à un instant donné, on trace la tangente à la courbe au point correspondant à cet instant, et la pente de cette tangente représente la vitesse instantanée de la voiture.

### Vitesse moyenne ($\bar{v}$)

C'est le déplacement total d'un point de départ à un point d'arrivée divisé par le temps total. La vitesse moyenne peut être déterminée en trouvant la pente de la droite reliant le point de départ du mouvement au point d'arrivée.



nezakr.natega4dk.net

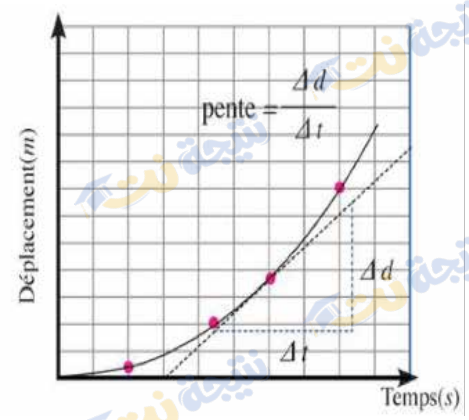



Figure (10)

**La vitesse instantanée (v)** = la pente de la tangente à la courbe à un instant donné.

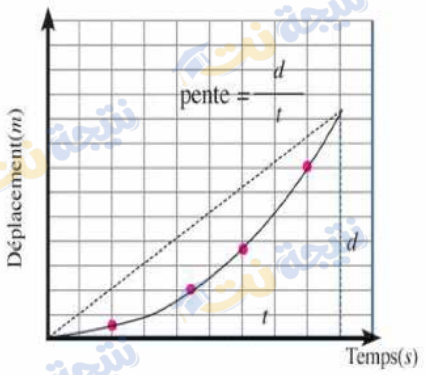
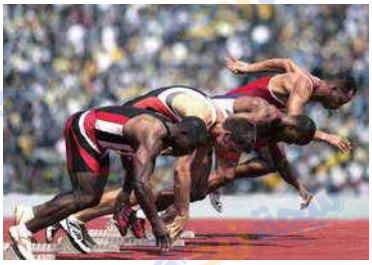



Figure (11)

La vitesse moyenne ($\bar{v}$) = $\frac{\text{déplacement total (d)}}{\text{temps total (t)}}$

## L'accélération

Nous avons précédemment discuté du concept de vitesse variable (en grandeur, en direction ou les deux). Le mouvement dans lequel la vitesse change au fil du temps s'appelle un mouvement accéléré. La grandeur physique qui exprime le changement de vitesse (a) par rapport au temps est appelée accélération (a).



Au début du mouvement, la vitesse augmente .



Dans les courbes, la direction de la vitesse change.



à la fin du mouvement, la vitesse diminue.

Figure (12)

Le terme accélération est utilisé pour décrire comment la vitesse change au cours du temps.

Pour comprendre le concept d'accélération, étudiez le diagramme de mouvement suivant qui montre la lecture du compteur de vitesse d'une voiture démarrant à l'arrêt et augmentant sa vitesse en roulant sur une route droite.

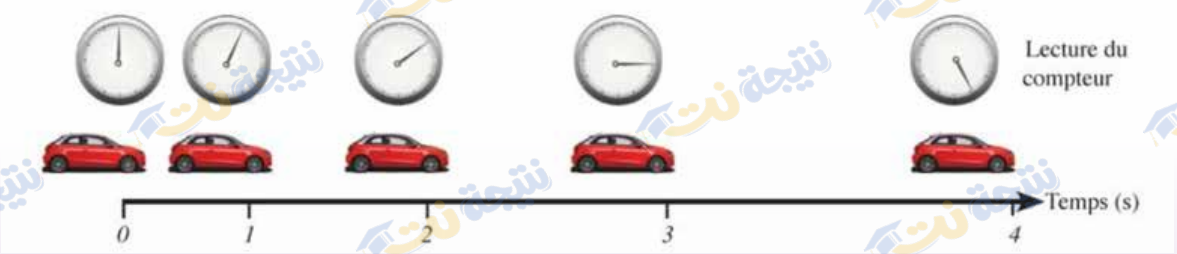



Figure (13)



nezakr.natega4dk.net

## Connais - tu ?

On peut convertir la lecture du compteur de la voiture de l'unité km/h en unité m/s par la relation:

$$1\ \text{km/h} = \frac{1\ \text{km}}{\text{h}} = \frac{1000\ \text{m}}{60 \times 60\ \text{s}} = \frac{5}{18}\ \text{m/s}$$

À partir de l'étude de ce graphique, on peut observer la relation entre la vitesse en (m/s) et le temps en (s), comme le montre le tableau suivant:

| Temps(s) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Vitesse (m/s) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |

Du tableau, on trouve que la vitesse de la voiture augmente avec un taux constant, elle augmente chaque seconde (5 m/s). On explique cette quantité par l'accélération qui se calcule avec la formule:

$$\text{Accélération} = \frac{\text{Variation de la vitesse}}{\text{Temps de variation}} = \frac{\text{Vitesse finale} - \text{vitesse initiale}}{\text{Temps final} - \text{temps initial}} =$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad (2)$$

Et en appliquant cette formule sur l'exemple précédent, l'accélération est calculée de la manière suivante:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10 - 5}{2 - 1} = 5\ \text{m/s}^2$$

L'accélération : c'est la variation de la vitesse d'un corps par unité de temps, c'est-à-dire le taux temporel de changement de la vitesse. Elle se mesure en m/s² (mètres par seconde au carré) ou en km/h² (kilomètres par heure au carré).

**Représentation graphique de la relation entre la vitesse et le temps :**

Le graphique (vitesse - temps) illustre le mouvement de la voiture dans le schéma précédent. On peut observer que le graphique est une ligne droite, ce qui signifie que la vitesse de la voiture augmente à un rythme constant. L'accélération peut être déterminée en calculant la pente de cette ligne droite.

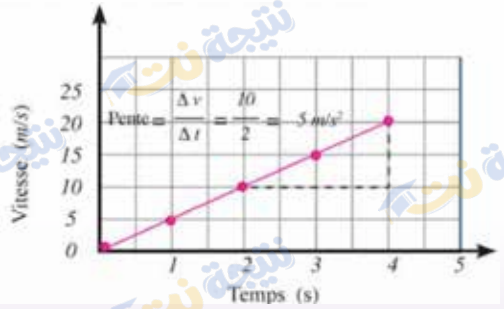


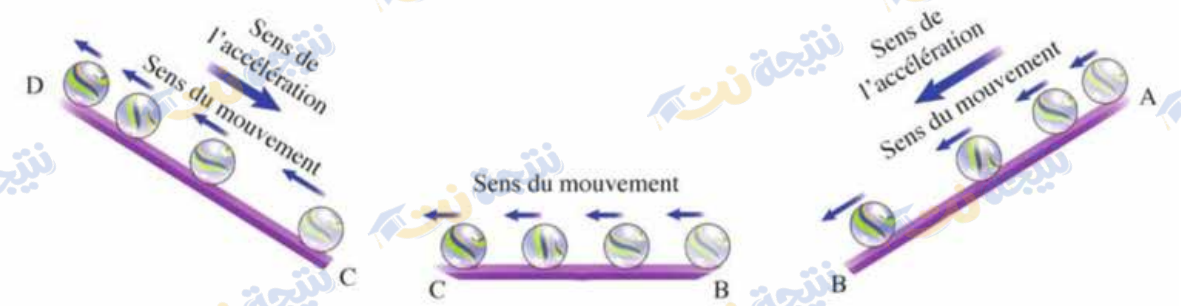

Figure (14)



nezakr.natega4dk.net

## Types d'accélération:

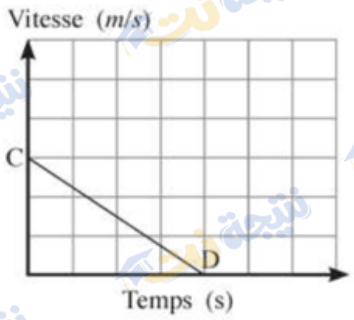
Si l'on considère que la direction de la vitesse du corps est la direction positive, ce corps peut avoir une accélération positive (vitesse croissante), une accélération négative (vitesse décroissante) ou une accélération nulle. Pour comprendre les types d'accélération, étudiez le schéma de mouvement suivant qui montre le déplacement d'une petite balle sur une surface inclinée lisse et variable.




Lorsque la balle monte la pente inclinée, sa vitesse diminue avec le temps, donc l'accélération est négative.

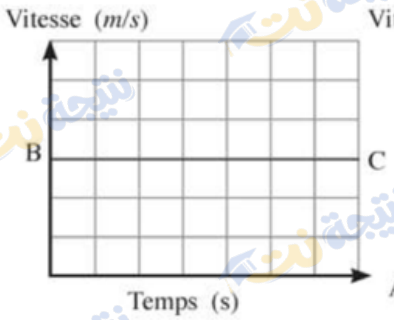
Lorsque la balle se déplace sur une surface horizontale lisse, sa vitesse ne change pas, donc l'accélération est nulle.

Lorsque la balle descend la pente inclinée, sa vitesse augmente avec le temps, donc l'accélération est positive.



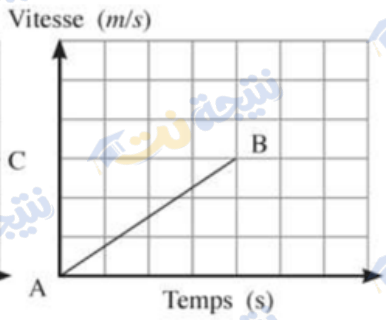

Accélération négative

**Figure (15)**




Accéleration nulle

**Figure (16)**




Accéleration positive

**Figure (17)**

### : Applications pratiques

Dans chaque voiture, il y a trois commandes permettant de contrôler la vitesse et la direction : la pédale d'accélérateur pour augmenter la vitesse, la pédale de frein pour la réduire, et le volant pour changer la direction du mouvement.



nezakr.natega4dk.net

# Résumé

## Premièrement : Définitions et concepts de base

- Mouvement : c'est le changement de position d'un corps au fil du temps par rapport à la position d'un autre corps.
- Mouvement de translation : mouvement caractérisé par un point de départ et un point d'arrivée.
- Mouvement périodique : mouvement qui se répète à intervalles de temps égaux.
- Vitesse : c'est le déplacement parcouru par un corps en une seconde.
- Vitesse constante : vitesse à laquelle un corps parcourt des déplacements égaux en des temps égaux.
- Vitesse variable : vitesse à laquelle un corps parcourt des déplacements inégaux en des temps égaux.
- Accélération : changement de la vitesse d'un corps par unité de temps.

## Deuxièmement : Lois et relations importantes

- Vitesse (v): $v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$
- Vitesse moyenne ($\bar{v}$): $\bar{v} = \frac{\text{déplacement total (d)}}{\text{temps total (t)}}$
- Accélération (a): $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$



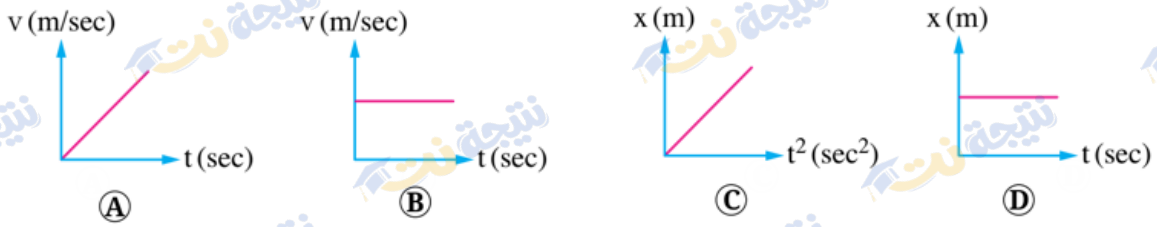
nezakr.natega4dk.net

# Questions et exercices

## Premièrement : Choisissez la bonne réponse

1. Le graphique qui représente un corps se déplaçant à vitesse constante

.....




2. Un corps se déplace avec une accélération constante lorsque .....

Ⓐ il parcourt des distances égales en des temps égaux

Ⓑ sa vitesse diminue par des quantités égales en des temps égaux

Ⓒ sa vitesse augmente par des quantités égales en des temps inégaux

Ⓓ la force résultante exercée sur le corps est nulle

3. L'équation dimensionnelle de l'accélération est .....

Ⓐ $LT^{-1}$ Ⓑ $LT^{-2}$

Ⓒ $L^{-1}T^{-2}$ Ⓓ $L^{-2}T^{-2}$

4. Lorsque le changement de vitesse d'un corps glissant est nul, .....

Ⓐ son accélération est positive Ⓑ son accélération est négative

Ⓒ son accélération est nulle Ⓓ le corps est immobile

5. Si la direction de la vitesse et de l'accélération est négative, .....

Ⓐ la vitesse du corps augmente Ⓑ la vitesse du corps diminue

Ⓒ le corps se déplace à vitesse constante Ⓓ le corps s'arrête de bouger

6. Lorsque la direction de l'accélération est opposée à celle de la vitesse .....

Ⓐ La vitesse du corps augmente avec un taux non constant

Ⓑ La vitesse du corps augmente avec un taux constant

Ⓒ La vitesse du corps reste constante

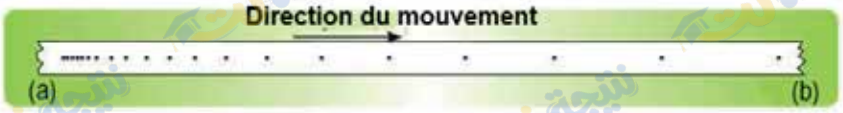
Ⓓ La vitesse du corps diminue



nezakr.natega4dk.net

## Deuxièmement : Questions à développement

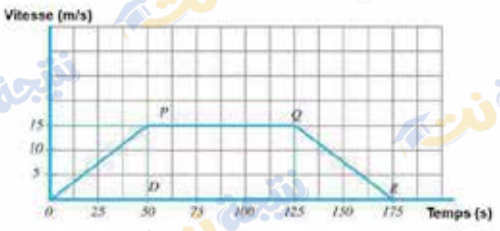
1. Un élève a réalisé une expérience pour étudier le mouvement en utilisant un chariot mécanique et une sonnette chronométrique, où il a marqué la position du chariot chaque seconde sur une bande de papier, obtenant ainsi la bande illustrée dans le schéma:




(a) Décrivez le mouvement du chariot.

(b) Calculez la vitesse moyenne si le déplacement effectué de a à b est égal à 190 m.

2. Le graphique ci-contre illustre un trajet effectué par une voiture. Observez le graphique, puis répondez aux questions suivantes:




(a) Quelle est la vitesse maximale atteinte par la voiture ?

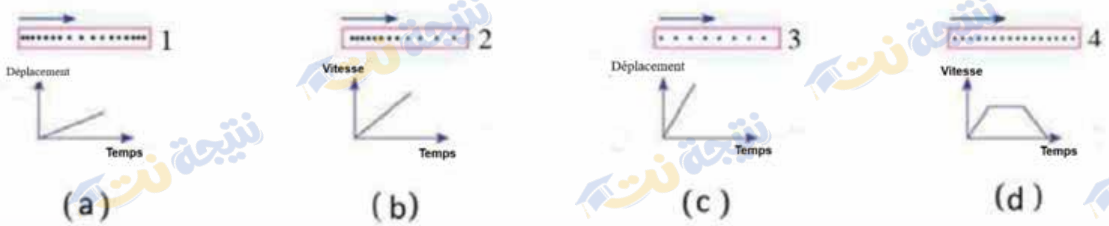
(b) Décrivez le mouvement de la voiture dans la portion PQ.

(c) Décrivez le mouvement de la voiture dans la portion QR.

(d) À quel point parmi R, Q ou P les freins ont-ils été utilisés ?

(e) Calculez la distance totale parcourue pendant le trajet.

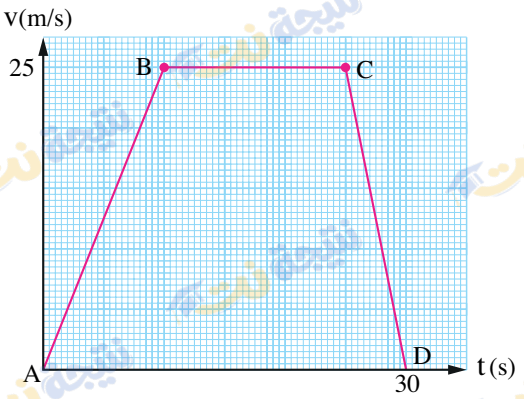
3. Une balle roule lorsqu'elle est poussée, puis ralentit et s'arrête. La vitesse de la balle et son accélération ont-elles le même signe ? Justifiez votre réponse?
4. Si l'accélération d'un corps est nulle, cela signifie-t-il que sa vitesse est nulle ? Donnez un exemple.
5. Pour chaque modèle ponctuel décrivant le mouvement d'un corps, associez-le au graphique qui décrit le même mouvement:






nezakr.natega4dk.net

6. Une voiture s'est déplacée en ligne droite, et sa vitesse a été enregistrée pendant 30 secondes, puis représentée graphiquement dans la figure ci-contre. Partagez avec un camarade l'analyse du graphique représentant le mouvement de la voiture et extrayez les informations nécessaires pour compléter le tableau suivant :




| Étapes du Mouvement de la Voiture | Étape AB | Étape BC | Étape CD |
|---|---|---|---|
| Vitesse initiale ($v_i$) | | | |
| Vitesse finale ($v_f$) | | | |
| Variation de la vitesse de la voiture ($\Delta v$) | | | |
| Durée de l'étape (t) | | | |
| Valeur de l'accélération (a) | | | |
| Description du mouvement pendant l'étape | | | |

## Troisièmement : Problèmes

7. Calculez la vitesse moyenne en (km/h) d'un coureur qui a parcouru une distance de (4000 m) en (30 min), puis calculez la distance qu'il parcourt après (45 min) depuis le début de la course à la même vitesse moyenne. (8km/h,6000m)



nezakr.natega4dk.net

Chapitre

3

# La force et le mouvement



nezakr.natega4dk.net

**Résultats d'apprentissage attendus**

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

1. Comprendre le concept de force.
2. Connaître la première loi de Newton.
3. Expliquer le phénomène d'inertie.
4. Comprendre le concept de quantité de mouvement (momentum).
5. Appliquer la relation entre force, masse et accélération.
6. Expliquer certains phénomènes de la vie courante à l'aide de la deuxième loi de Newton.
7. Expliquer le phénomène de l'action et de la réaction.

**Terminologie du chapitre**

- Force - Inertie - Quantité de mouvement - Masse - Action - Réaction - Première loi de Newton

## Introduction

Dans les sections précédentes, nous avons étudié la description du mouvement en abordant les concepts de vitesse et d'accélération, sans examiner les causes du mouvement des corps. Dans ce chapitre, nous verrons comment l'accélération résulte de la force. Nous discuterons également des trois lois du mouvement de Newton, qui ont une importance fondamentale en physique.

## La force



Figure (1)

**Quelle est la cause du mouvement du chariot d'enfant?**

La force est définie comme : un agent extérieur qui agit sur un corps, modifiant ou tentant de modifier son état ou sa direction.

Elle se mesure à l'aide d'un dynamomètre, et son unité de mesure est le newton (N).

**Des scientifiques au service de l'humanité:**

Bien que de nombreux philosophes anciens aient tenté d'expliquer et d'interpréter les causes du mouvement des corps et leur manière de se déplacer, aucune théorie organisée du mouvement n'a été formulée avant le XVIIe siècle. Le mérite principal revient aux réalisations de deux grands scientifiques, Galilée et Newton.





## La première loi de Newton

Peut-être es-tu déjà rentré un jour chez toi après une longue absence, et en regardant autour de toi tu as dit avec soulagement : « Tout objet garde son état . » As-tu déjà pensé que cette phrase renferme l'une des lois naturelles les plus importantes ?

motion Il est également connu que lorsqu'on pousse un objet sur le sol, il glisse sur une certaine distance puis ralentit jusqu'à s'arrêter. Les anciens croyaient que la nature de la matière était le repos, c'est-à-dire que le mouvement de tout objet



nezakr.natega4dk.net

tendait à s'arrêter. Mais les expériences scientifiques ont montré que cela est dû à l'existence de forces de frottement qui s'opposent au corps en glissement et agissent pour le ralentir jusqu'à l'arrêt. S'il n'existait pas ces forces, le corps continuerait à se déplacer indéfiniment sans s'arrêter.

Ce qui précède est appelé la première loi de Newton du mouvement.

**Première loi de Newton du mouvement :** Un corps conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme tant qu'aucune force résultante n'agit sur lui.

La formulation mathématique de la loi est: $\sum F = 0$ **(1)**

ΣF représente la force résultante, car plusieurs forces peuvent agir sur le corps, mais leurs effets peuvent s'annuler mutuellement ; dans ce cas, on dit que la force résultante est nulle.




**Figure (2)**

**La première loi de Newton**

Ainsi, nous déduisons de la première loi de Newton que lorsque la force exercée sur un corps est nulle (F = 0), l'accélération est également nulle (a = 0). La vitesse du corps ne change donc pas, qu'il soit au repos ou en mouvement. Nous en concluons qu'il faut une force pour mettre en mouvement un corps immobile ou pour arrêter un corps en mouvement, mais aucune force n'est nécessaire pour qu'il continue à se déplacer à vitesse constante.

La première loi de Newton est étroitement liée au concept d'inertie, c'est pourquoi on l'appelle loi de l'inertie.

**L'inertie:** c'est la tendance d'un corps au repos de garder son état de repos, et le corps mobile de continuer son mouvement avec sa vitesse initiale en ligne droite. En d'autres termes, les corps résistent au changement de leur état de repos ou de mouvement.

- On remarque que la possibilité d'arrêter des corps en mouvement sous l'effet de l'inertie dépend de leur masse et de leur vitesse :
- Il est difficile d'arrêter un gros camion, alors qu'il est facile d'arrêter une petite bicyclette si tous deux se déplacent à la même vitesse.
- Il est difficile d'arrêter une voiture lorsqu'elle roule à grande vitesse, alors qu'il est facile de l'arrêter si sa vitesse est faible.
- De ces deux observations, il ressort que la masse et la vitesse sont liées dans une grandeur physique importante appelée la quantité de mouvement.

Quantité de mouvement = Masse x Vitesse

$P = mv$ **(2)**

**C'est une grandeur vectorielle, et son unité de mesure est kg·m/s**



nezakr.natega4dk.net

## La deuxième loi de Newton

D'après la première loi de Newton, un corps sur lequel aucune force n'agit ne subit pas d'accélération. Cela nous conduit sans doute au fait que lorsqu'une force résultante extérieure agit sur un corps ($\Sigma F \neq 0$) sa vitesse change et il acquiert une accélération ($a \neq 0$) Newton a déterminé les facteurs dont dépend cette accélération grâce à sa deuxième loi.

**Deuxième loi de Newton du mouvement :** La force résultante agissant sur un corps est égale au taux de variation temporelle de la quantité de mouvement de ce corps.

D'après la deuxième loi de Newton :

$$F = \frac{\Delta mv}{\Delta t} = \frac{mv_f - mv_i}{\Delta t}$$

$$F = m\frac{v_f - v_i}{\Delta t} = m\frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad \boxed{F = ma} \longrightarrow a = \frac{F}{m} \qquad (3)$$

On peut en déduire que l'accélération est directement proportionnelle à la force exercée sur le corps et inversement proportionnelle à sa masse.




**Figure (3)**
Augmentation de l'accélération avec l'augmentation de la force.




**Figure (4)**
Diminution de l'accélération avec l'augmentation de la masse.

**Ainsi, on peut formuler la deuxième loi de Newton de la manière suivante:**

**Autre formulation de la deuxième loi du mouvement de Newton :**

Lorsqu'une force résultante agit sur un corps, elle lui communique une accélération directement proportionnelle à la force exercée et inversement proportionnelle à sa masse La formule mathématique de la loi est.

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

En traçant la relation graphique entre l'accélération du corps et la force qui agit sur lui, on constate que l'accélération augmente avec la force.

Par exemple :

Un corps de masse 100 kg acquiert une accélération plus grande qu'un corps de masse 200 kg si la même force agit sur les deux.

À la lumière de la deuxième loi de Newton, on peut redéfinir l'unité du newton comme suit :

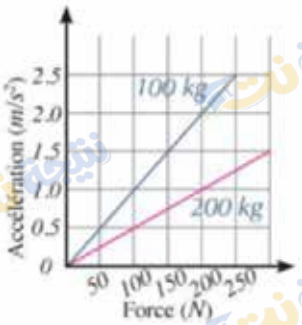



**Figure (5)**
Relation graphique entre la force et l'accélération avec différentes masses



nezakr.natega4dk.net

**Newton :** c'est la valeur de la force exercée sur un corps de masse 1 kg, lui acquiert une accélération de 1 m/s². c.a.d 1 Newton = 1 kg . m/s².

## Développement de la pensée critique

Si une force de valeur N agit sur un cube en bois, elle lui communique une accélération déterminée. Lorsque la même force agit sur un autre cube, celui-ci acquiert une accélération trois fois plus grande. Que pouvez-vous en déduire sur la masse de chacun de ces deux cubes ? (Relation entre la masse et l'accélération)

## Applications pratiques

À partir de l'étude de la relation:

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (4)$$

on peut conclure que la force exercée sur un corps augmente en augmentant la masse et la variation de la vitesse, et diminue lorsque la durée d'action augmente. À la lumière de ce qui précède, expliquez les phénomènes de la vie quotidienne suivants:

Si la variation de quantité de mouvement se produit sur une période plus longue, l'effet de la force de collision est plus faible.

Si la variation de quantité de mouvement se produit sur une courte période, l'effet de la force de collision est plus grand.

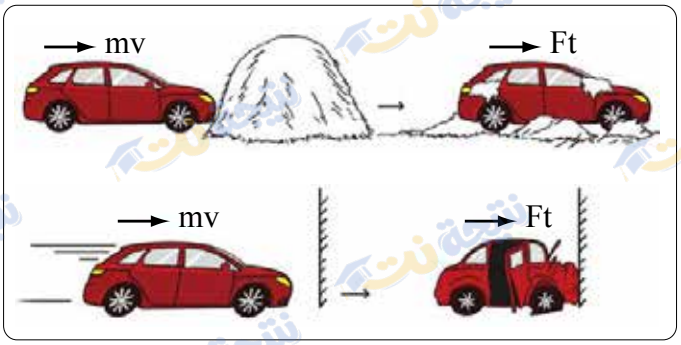



Figure (6)

- Une collision d'une voiture contre un mur est plus destructrice qu'une collision contre un tas de paille.
- Si une personne tombe de haut dans l'eau, elle ne se blesse pas, tandis que si elle tombe sur le sol, elle peut se blesser.
- La gravité de la blessure augmente avec la hauteur de la chute.
- Si un œuf tombe sur un coussin, il ne se casse pas, mais il se casse s'il tombe sur le sol.
- Une collision d'un grand camion contre un mur est plus destructrice qu'une collision d'un petit camion.
- Les coussins d'air gonflables sont utilisés dans les voitures pour protéger le conducteur en cas de collision.



Figure (7)



nezakr.natega4dk.net

## La troisième loi de Newton



**Figure (8)**
Si vous gonflez un ballon avec de l'air puis vous le lâchez pour que l'air s'en échappe, que se passe-t-il avec le ballon ?



**Figure (9)**
Si vous vous asseyez sur une chaise roulante (munie de roues) et que vous poussez le mur devant vous avec vos pieds, que se passe-t-il ?



**Figure (10)**
Lorsqu'un projectile sort du fusil, que se passe-t-il pour le fusil ?

Newton a trouvé une explication à tous les phénomènes précédents grâce à sa troisième loi, qui traite de la nature des forces agissant sur les corps, lesquelles existent toujours sous forme de paires égales en intensité (valeur) et de sens contraire.

**Coin de réflexion**

Lorsqu'un grand camion entre en collision avec une petite voiture, sur lequel des deux corps la force de la collision est-elle la plus grande ?



**Figure (11)**
La force d'action est égale à la force de réaction en intensité et de sens contraire.

**Troisième loi de Newton du mouvement :** Si un corps exerce une force sur un autre corps, le second exerce sur le premier une force égale en intensité et de sens contraire, c'est-à-dire que toute action subit une réaction égale en intensité et de sens contraire.

La formulation mathématique de la loi est: $F_1 = -F_2$ **(5)**

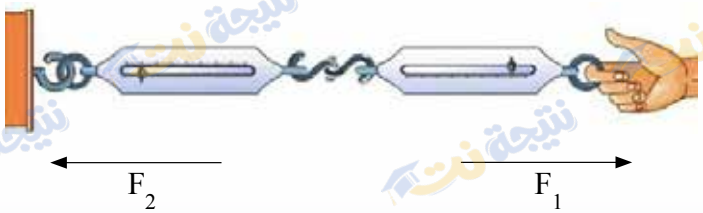



**Figure (12)**
**La lecture du premier dynamomètre est égale à la lecture du second dynamomètre.**



nezakr.natega4dk.net

**La troisième loi comprend ce qui suit :**

- Il n'existe aucune force unitaire dans l'univers ; alors, la force d'action et la force de réaction se produisent et s'annulent ensemble.
- L'action et la réaction ont la même nature : si l'action est une force de gravitation, alors la réaction est également une force de gravitation.
- On ne peut pas dire que la résultante de l'action et de la réaction est nulle, car elles agissent sur deux corps différents.

## Applications scientifiques

Le principe de fonctionnement de la fusée repose sur la troisième loi de Newton : une masse énorme de gaz brûlants est éjectée vers le bas de la fusée, et en réaction la fusée est propulsée vers le haut.





nezakr.natega4dk.net

# Résumé

**Premièrement : Définitions et concepts de base**

- Force : une influence externe qui agit sur un corps et modifie ou tente de modifier son état ou sa direction.
- Première loi de Newton : un corps reste dans son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite à moins qu'une force résultante n'agisse sur lui pour changer cet état.
- Inertie : la tendance d'un corps au repos à rester au repos et la tendance d'un corps en mouvement à continuer son mouvement à vitesse constante en ligne droite.
- Quantité de mouvement (momentum) : une grandeur physique égale au produit de la masse du corps par sa vitesse.
- Deuxième loi de Newton : la force résultante agissant sur un corps est égale au taux de variation temporelle de la quantité de mouvement de ce corps.
- Troisième loi de Newton : à chaque action correspond une réaction égale en grandeur et opposée en direction.

**Deuxièmement : Lois et relations importantes**

- Première loi de Newton $\Sigma F = 0$
- Quantité de mouvement $P = mv$
- Deuxième loi de Newton $F = ma$
- Troisième loi de Newton : $F_1 = -F_2$



nezakr.natega4dk.net

# Questions et Exercices

## Premièrement : Choisissez la bonne réponse

1. 1. Un vélo se déplace à vitesse constante en ligne droite vers l'est, lorsque la force résultante agissant sur le vélo est .....

Ⓐ nulle. Ⓑ négative.

Ⓒ positive. Ⓓ dirigée vers l'est.

2. Lorsque la force résultante agissant sur une voiture en mouvement est nulle,.....

Ⓐ la voiture accélère positivement.

Ⓑ la voiture accélère négativement.

Ⓒ la voiture se déplace à vitesse constante.

Ⓓ la voiture s'arrête.

3. La troisième loi de Newton s'exprime par la relation mathématique.....

Ⓐ $\Sigma F = 0$

Ⓑ $\Sigma F \neq 0$

Ⓒ $F = ma$

Ⓓ $F_1 = -F_2$

## Deuxièmement : Questions à développement

1. Si un train démarre soudainement vers l'avant, dans quelle direction se déplacera un petit sac placé sous un des sièges ?

2. On peut dire que la première loi du mouvement est un cas particulier de la deuxième loi. Expliquez cela.

3. Un astronaute lance un petit objet dans une certaine direction, que se passe-t-il pour cet astronaute ? À la lumière de cela, proposez une méthode permettant au véhicule spatial de changer de direction en dehors de l'atmosphère terrestre.



nezakr.natega4dk.net

Unité

3

# Les propriétés de la matière

Chapitre 4 : Propriétés des fluides en mouvement (Hydrodynamiques)

Chapitre 5 : Propriétés des fluides au repos (Hydrostatiques)



nezakr.natega4dk.net

Chapitre

4

# Propriétés des fluides en mouvement (Hydrodynamiques)



nezakr natega4dk.net

**Résultats d'apprentissage attendus**

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

1.Définir la notion de fluide.

2.Définir la masse volumique et citer certaines de ses applications pratiques.

3. Identifier certaines propriétés des fluides en mouvement (hydrodynamiques).

4. Comparer entre l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent.

5. Énoncer les conditions de l'écoulement stationnaire.

6. Établir la relation entre le débit volumique, l'équation de continuité dans l'écoulement stationnaire.

7. Définir et expliquer le sens de la viscosité

8.Démontrer mathématiquement le coefficient de viscosité.

9- Discuter certaines applications particulières de la viscosité.

**Terminologie du chapitre**

- Fluide
- masse volumique
- Densité relative
- Écoulement laminaire
- Écoulement turbulent
- Écoulement stationnaire (ou permanent)
- Viscosité

# Introduction

Les fluides: ce sont des substances caractérisées par leur capacité à s'écouler. Ils incluent à la fois les substances liquides et gazeuses. Cependant, les gaz se distinguent des liquides par leur forte compressibilité, alors que les liquides résistent pratiquement à toute pression. Ainsi, les liquides se caractérisent par un mouvement d'écoulement incompressible, car ils conservent pratiquement un volume constant, tandis que les gaz occupent tout l'espace disponible dans lequel ils se trouvent.

## masse volumique

La masse volumique est une propriété fondamentale de toute substance et elle est représentée par le symbole ρ. Elle est définie comme la masse par unité de volume. Son unité dans le Système International (SI) est le kg/m³.

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}} \qquad (1)$$

**La variation de la masse volumique d'une substance à une autre est attribuée à :**

(1) la différence de masse atomique ou moléculaire de la substance.

(2) la différence des distances interatomiques ou intermoléculaires.

Nous savons déjà que les corps de petite masse volumique flottent au dessus des liquides de grande masse volumique.

Le tableau suivant illustre des exemples de la masse volumique de quelques substances courantes.



nezakr.natega4dk.net

| Substance | Masse volumique ( Kg / $m^3$ ) | Substance | Masse volumique $kg/m^3$ |
|---|---|---|---|
| **Les solides** | | Kérosène | 820 |
| Aluminium | 2700 | Mercure | 13600 |
| Cuivre jaune | 8600 | Glycérine | 1260 |
| Cuivre rouge | 8890 | Eau | 1000 |
| Verre ordinaire | 2600 | | |
| Or | 19300 | Les gaz | |
| Glace (neige) | 910 | Air | 1.29 |
| Fer | 7900 | Ammoniac | 0.76 |
| Plomb | 11400 | Dioxyde de carbone | 1.96 |
| Platine | 21400 | Monoxyde de carbone | 1.25 |
| Acier | 7830 | Hélium | 0.18 |
| Sucre | 1600 | Hydrogène | 0.090 |
| Cire | 1800 | Azote | 1.25 |
| | | Oxygène | 1.43 |
| **Les liquides** | | | |
| Alcool éthylique | 790 | | |
| Benzène | 900 | | |
| Sang | 1040 | | |
| Gazoline | 690 | | |

On appelle le rapport de la masse volumique d'une substance à celle de l'eau à 4°C par la densité relative.

$$\text{La densité relative d'une substance} = \frac{\text{La masse volumique d'une substance à une température donnée}}{\text{La masse volumique de l'eau à } 4^0\text{C}} \quad (2)$$

Sachant que la masse volumique de l'eau à 4 °C est égale à 1000 kg/m³.

**De façon générale, on peut écrire :**

$$\text{La densité relative d'une substance} = \frac{\text{Masse d'un volume donné d'une substance à une température donnée}}{\text{Masse du même volume de l'eau à } 4^0\text{C}}$$

Comme la densité relative d'une substance est le rapport entre deux grandeurs de même nature, donc elle est **sans unité.**



nezakr.natega4dk.net

## Applications de la masse volumique

La mesure de la masse volumique revêt une grande importance dans les domaines scientifiques et pratiques, car elle constitue l'une des techniques analytiques.

1.La mesure de la masse volumique de l'électrolyte dans la batterie de voiture est utilisée comme indicateur de l'état de charge de la batterie. Lors de la décharge électrique de la batterie, la masse volumique de l'électrolyte (solution diluée d'acide sulfurique) diminue, en raison de la consommation d'acide sulfurique dans sa réaction avec les plaques de plomb, entraînant la formation de sulfate de plomb.



**Figure (1)**

Mesure de la masse volumique de l'électrolyte dans la batterie de la voiture

Lors de la recharge de la batterie, les ions sulfate se libèrent des plaques de plomb et retournent dans la solution, ce qui augmente à nouveau la densité de l'électrolyte. Ainsi, la mesure de la densité permet de déterminer le degré de charge de la batterie

2. Les applications de la masse volumique sont également utilisées dans les sciences médicales pour mesurer la densité du sang et de l'urine. La masse volumique normale du sang se situe entre 1040 kg/m³ et 1060 kg/m³. Si la densité augmente, cela indique une augmentation de la concentration des cellules sanguines. Si elle diminue, cela traduit une diminution de la concentration des cellules sanguines, ce qui peut être un signe **d'anémie.**

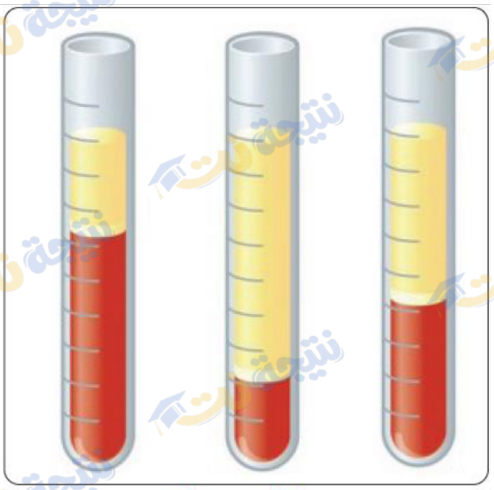


**Figure (2)**

Mesure de la masse volumique du sang

La **masse volumique** de l'urine normale est 1020 kg/m³. Certaines maladies entraînent une hypersécrétion des sels, ce qui provoque une augmentation correspondante de la masse volumique de l'urine.

### Développement de la pensée critique

L'or est l'un des métaux les plus denses de la Terre. L'or pur, généralement appelé or 24 carats, possède une masse volumique d'environ 19,32 g/cm³. L'or possède également d'autres alliages comme l'or 18 carats dont la masse volumique est d'environ 15,45 g/cm³ et l'or 14 carats dont la densité est d'environ 13,1 g/cm³.



• Qu'est-ce qui fait varier la masse volumique des alliages d'or ?

• Comment peut-on identifier le carat de l'or dans une pièce de bijouterie ?



nezakr.natega4dk.net

## Écoulement des fluides

L'écoulement d'un fluide peut être classé en écoulement laminaire et écoulement turbulent.

### Premièrement L'écoulement laminaire

Lorsqu'un fluide s'écoule de manière à ce que ses couches adjacentes glissent les unes sur les autres avec régularité et douceur, on dit que le fluide s'écoule de façon laminaire. Dans ce type d'écoulement, chaque petite quantité de fluide suit ou prend une trajectoire continue appelée ligne d'écoulement. On peut donc représenter l'écoulement d'un fluide dans un tube réel ou imaginaire en traçant un ensemble de lignes d'écoulement, obtenues en suivant les trajectoires des différentes parties du fluide ( figure 3).

Ce qui distingue le plus les lignes de courant dans un écoulement laminaire c'est qu'elles ne se croisent jamais. De même, la tangente en tout point d'une ligne d'écoulement indique la direction de la vitesse instantanée de chaque petite quantité du fluide en ce point. Ainsi, le nombre de lignes d'écoulement passant perpendiculairement par unité de surface en un point donné est appelé la densité des lignes, qui détermine la vitesse d'écoulement en ce point. C'est pour cela que les lignes se resserrent lorsque la vitesse du fluide augmente et s'écartent lorsque sa vitesse diminue.

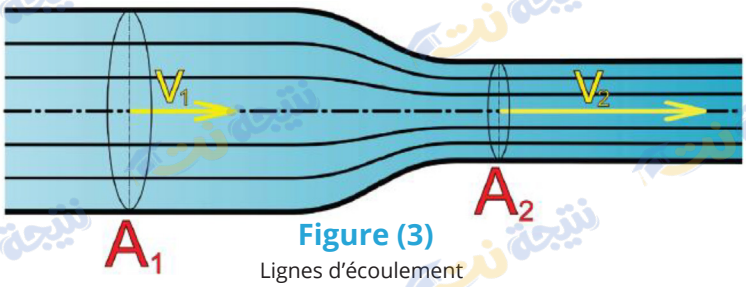



**Figure (3)**
Lignes d'écoulement

### Deuxièmement l'écoulement turbulent

Lorsque la vitesse d'écoulement d'un fluide dépasse une certaine limite, l'écoulement devient turbulent, se caractérisant par l'apparition de petits tourbillons circulaires (figure 4). Le même phénomène se produit avec les gaz : lors de la diffusion d'un gaz d'un volume réduit vers un volume plus grand, ou d'une zone de haute pression vers une zone de plus basse pression, le mouvement devient tourbillonnaire ( figure 5).

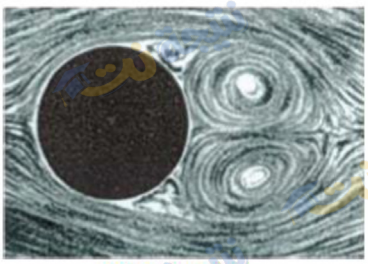


**Figure (4)**
**Les tourbillons en résultats de l'écoulement violent du fluide ou du mouvement rapide d'un corps à l'intérieur de celui-ci**



**Figure (5)**
**La fumée se transforme d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent**



nezakr.natega4dk.net

## L'écoulement stationnaire

L'écoulement laminaire peut être un écoulement stationnaire lorsque la vitesse du fluide en chaque point de sa trajectoire est constante au cours du temps.

### Taux d'écoulement et équation de continuité

Lors de l'étude de l'écoulement stationnaire, on imagine un tube d'écoulement de sorte que :

(1) le fluide doit remplir complètement le tube.

(2) la quantité de fluide entrant dans le tube à une extrémité est égale à la quantité de fluide sortant de l'autre extrémité pendant le même intervalle de temps. Autrement dit, le taux d'écoulement du fluide est constant tout au long de son trajet, puisque le fluide est incompressible et que sa masse volumique ne varie pas avec la distance ni avec le temps

(3) la vitesse d'écoulement du fluide en un point quelconque du tube ne varie pas avec le temps.

La relation qui relie le taux d'écoulement du fluide à sa vitesse et à la surface de la section du tube est appelée **équation de continuité**.

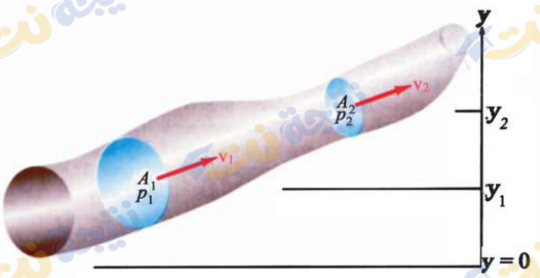



**Figure (6)**

Modèle pour déduire l'équation de continuité

Pour comprendre ce que l'on entend par **équation de continuité**, on choisit deux plans perpendiculaires aux lignes d'écoulement, situées en deux points du tube Figure (6) :

L'aire de la section du premier plan est A1 et celle du second est $A_2$, Le volume de fluide qui s'écoule à travers la surface $A_1$ par unité de temps **( le débit volumique )** est :

$Q_v = A_1 v_1$ où $V_1$ est la vitesse du fluide en $A_1$.

La masse de fluide qui s'écoule par unité de temps dont sa densité ρ ( le débit massique) est : $Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1$. De même, le débit massique **à travers la surface A**2 , est :

$\rho Q_v = \rho A_2 v_2$. Or, puisque le débit massique est constant dans le cas de l'écoulement stationnaire, alors :

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \qquad (3)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

l'**é**quation de continuité est donc la suivante : $$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \qquad (4)$$



nezakr.natega4dk.net

D'après la relation (4), on constate que la vitesse du fluide en un point quelconque du tube est inversement proportionnelle à l'aire de la section du tube en ce point. Ainsi, le fluide s'écoule très lentement dans le tube lorsque sa section est grande($A_1$), et plus rapidement lorsque sa section est petite ($A_2$) Figure (7).

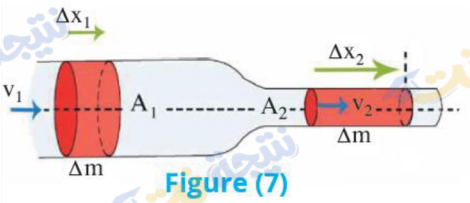


Figure (7)
Base de l'équation de continuité

Pour comprendre plus clairement l'équation de continuité, imaginons une petite masse d'un fluide $\Delta m$ , cette masse $\Delta m = \rho \Delta V_{ol}$ et puisque ( $\Delta V_{ol} = A_1 \Delta x_1$) où $\Delta x_1$ est la distance parcourue par le fluide dans un temps $\Delta t$ et puisque $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$ , alors $\Delta V_{ol} = A_1 v_1 \Delta t$

Ce même volume doit être transmis vers l'autre côté du tube, car le fluide est incompressible. Ainsi :

$$A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Il faut souligner ici que le débit du fluide peut être exprimé soit comme un **débit volumique** ($Q_v$), dont l'unité est ($m^3/s$) soit comme un débit massique ($Q_m$), dont l'unité est le (kg/s). Dans les deux cas, il s'agit d'une grandeur constante quelle que soit la section considérée.

Ceci constitue la loi de conservation de la masse qui conduit directement à l'équation de continuité

### Information enrichissante

Le principe de Bernoulli décrit la relation entre la pression d'un fluide et sa vitesse d'écoulement. Il énonce que la pression d'un fluide diminue lorsque la vitesse augmente. L'aile d'un avion est conçue de manière à être courbée sur sa face supérieure et pratiquement droite sur sa face inférieure. Ainsi, l'air s'écoule plus rapidement au-dessus de l'aile qu'en dessous. Par conséquent, la pression de l'air au-dessus de l'aile ($P_1$) est inférieure à la pression de l'air en dessous ($P_2$).

La différence de pression engendre une force de portance dirigée vers le haut, ce qui permet à l'avion de s'élever

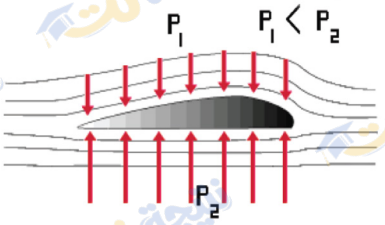


Figure (8)
La force résultante de la différence de pression propulse l'avion vers le haut

### Exemple 1

Un tuyau d'eau de diamètre 2 cm pénètre dans une maison avec une vitesse d'écoulement de 0,1 m/s, puis son diamètre devient 1cm . Calculez :

(a) La vitesse de l'eau dans la partie étroite.

(b) La quantité d'eau (son volume et sa masse) qui s'écoule chaque minute à travers n'importe quelle section de la conduite (en supposant que la masse volumique de l'eau =1000 $kg/m^3$).



nezakr.natega4dk.net

**Solution**

(a) On sait que : $A_1\ v_1 = A_2\ v_2$

$$\pi\ (0{,}01\ \text{m})^2\ (0{,}1\ \text{m/s}) = \pi\ (0{,}005\ \text{m})^2$$

$$v_2 = \frac{\pi \times 10^{-4} \times 0{,}1}{\pi \times 2{,}5 \times 10^{-5}} = 0{,}4\ \text{m/s}$$

(b) Le débit volumique est déterminé par la relation :

$$Q_v = A_1\ v_1\ \text{OR}\ \ A_2\ v_2$$

$$\pi \times 2{,}5 \times 10^{-5} \times 0{,}4\ \ \text{OR} = \pi \times 10^{-4} \times 0{,}1$$

$$= 3{,}14 \times 10^{-5}\ \text{m}^3/\text{s}$$

Le volume écoulé par minute est alors :

$$\acute{V}_{ol} = Q_v \times 60 = 3{,}14 \times 10^{-5} \times 60 = 188{,}4 \times 10^{-5}\ \text{m}^3$$

Le débit massique (densité de l'eau = 1000 kg/m³)

$$Q_m = \rho Q_v = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

$$= 3{,}14 \times 10^{-5} \times 10^3 = 3{,}14 \times 10^{-2}\ \text{kg/s}$$

La masse écoulée par minute

$$\acute{M} = 3{,}14 \times 10^{-2} \times 60 = 1{,}884\ \text{kg}$$

Exemple 2

La vitesse moyenne du sang circulant dans l'aorte (rayon = 0,7 cm) chez un adulte est de 0,33 m/s. À partir de l'aorte , le sang se distribue vers certain nombre d'artères principales (rayon de chacune est 0,35 cm). Si le nombre des artères principales est 30, calculez la vitesse du sang dans chacune d'elles.

**Solution**

* L'aire de la section de l'aorte est : $A_1 = \pi\ r_1^2 = \pi\ (0{,}007)^2\ \text{m}^2$

* L'aire de la section des trente artères principales est :

$$A_2 = \pi\ r_2^2 \times 30$$

$$= \pi\ (0{,}0035)^2 \times 30\ \text{m}^2$$

$$A_1\ v_1 = A_2\ v_2$$

$$\pi\ (0{,}007)^2\ (0{,}33) = \pi\ (0{,}0035)^2\ (30)\ v_2 \qquad v_2 = \frac{4 \times 0{,}33}{30} = 0{,}044\ \text{m/s}$$

C'est-à-dire que la vitesse du sang dans les artères principales est égale à 0,044 m/s. Par conséquent, la vitesse du sang dans les capillaires est lente, ce qui permet un meilleur échange d'oxygène et de dioxyde de carbone dans les tissus, en surplus de les approvisionner en nutriments .



nezakr.natega4dk.net

## Idées pour stimuler la créativité

En utilisant le réseau Internet, cherche une réponse aux questions suivantes :

- Comment l'étude de l'écoulement des fluides peut-elle être utilisée dans la conception des réseaux de conduite et des systèmes de distribution d'eau et d'irrigation goute à goute ?



## La viscosité

**On peut comprendre le sens de la viscosité à travers ce qui suit :**

(1) On prend deux entonnoirs identiques, chacun fixé à un support, avec en dessous un bécher vide. On verse dans l'un une quantité d'alcool et dans l'autre une quantité identique de glycérine et on observe la vitesse d'écoulement des deux liquides. On constate que la vitesse d'écoulement de l'alcool est plus grande que celle de la glycérine. En d'autres termes, La capacité d'écoulement de l'alcool est supérieure à celle de la glycérine

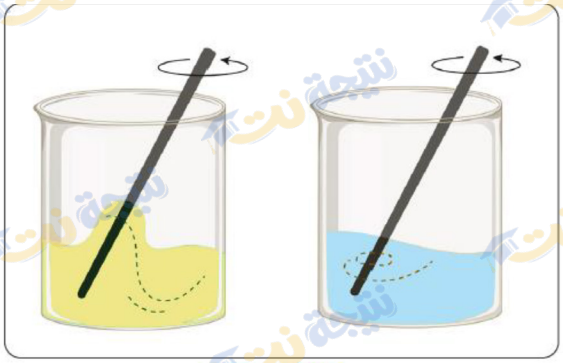


**Figure (9)**

La tige en verre se déplace plus facilement dans l'eau que dans le miel

(2) On prend deux béchers identiques : l'un contenant un certain volume d'eau, l'autre contenant un volume égal du miel. On agite le liquide dans chacun des deux béchers à l'aide d'une tige en verre et on observe dans lequel des deux liquides le mouvement de la tige est le plus facile , puis on retire les deux tiges tout en observant le mouvement de chacun des deux liquides. Après avoir retiré la tige, on constate que :

a) La tige se déplace plus facilement dans l'eau, ce qui indique que la résistance de l'eau au mouvement de la tige en verre est moins que celle du miel.

b) Le mouvement du miel s'arrête peu de temps après avoir retiré la tige, tandis que celui de l'eau continue pendant une période plus longue.

(3) On prend deux longues éprouvettes identiques. On remplit la première jusqu'au bord avec de l'eau. On remplit la seconde jusqu'au bord avec de la glycérine. Ensuite, on prend deux billes métalliques identiques (en acier, par exemple) et on laisse tomber doucement l'une dans l'eau en mesurant, à l'aide d'un



**Figure (10)**

**mouvement de la bille dans l'eau est plus rapide que son mouvement dans le glycérine**



nezakr.natega4dk.net

chronomètre, le temps nécessaire pour que la bille atteigne le fond de l'éprouvette. Puis on laisse tomber l'autre bille doucement dans la glycérine et on mesure le temps mis pour atteindre le fond de l'éprouvette.

On constate que le temps mis par la bille pour atteindre le fond de l'éprouvette dans l'eau est plus court que celui de la bille tombant dans la glycérine. Cela montre que la glycérine s'oppose davantage au mouvement de la bille que l'eau.

**De ce qui précède, on peut conclure que :**

(1) Certains liquides, comme l'eau et l'alcool ont une grande facilité d'écoulement et de mouvement, et leur résistance au mouvement des corps à travers eux est très faible. C.à.d. que leur viscosité est faible.

(2) D'autres liquides comme le miel et la glycérine ont une faible facilité d'écoulement et de mouvement et leur résistance au mouvement des corps à travers eux est très grande. C.à.d. que leur viscosité est grande

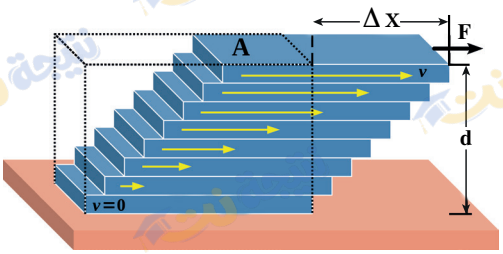


Figure (11)

Pour expliquer la propriété de viscosité, imaginons une certaine quantité de liquide confinée entre deux plaques planes : l'une est immobile et l'autre se déplace à une vitesse v. ( figure 11) . La couche de liquide en contact avec la plaque immobile reste au repos, tandis que la couche de liquide en contact avec la plaque mobile se déplace à sa même vitesse qui est v. Les couches de liquide intermédiaires se déplacent à des vitesses comprises entre 0 et v de sorte qu'elle augmente de la plaque fixe vers la plaque mobile. Chaque couche se déplace donc à une vitesse inférieure à celle de la couche immédiatement au-dessus d'elle.

**Cette différence relative de vitesse est due à ce qui suit :**

a) Il existe des forces de friction entre la surface plane de la plaque inférieure et la couche de liquide qui lui est adjacente. Ces forces sont dues à l'adhésion entre les molécules de la surface solide et celles du liquide en contact direct, ce qui les retient et freine leur écoulement : cette couche semble donc immobile. Pour la même raison, la couche supérieure du liquide se déplace à la même vitesse que la plaque mobile supérieure.

b) Des forces analogues aux forces de friction existent entre chaque couche de liquide et la couche qui la surplombe. Elles s'opposent au glissement des couches les unes sur les autres, engendrant ainsi une différence relative de vitesse entre elles.

La viscosité est donc la propriété qui engendre une résistance ou une friction entre les diverses couches du liquide, et qui s'oppose à leur glissement les unes sur les autres.



nezakr.natega4dk.net

## Le coefficient de viscosité

En se référant à la figure (11), on constate que, pour que la plaque mobile conserve une vitesse constante dans le liquide, il doit exister une force tangentielle (F) qui égalise les forces de viscosité.

Cette force est directement proportionnelle avec la vitesse (v) et la surface de la plaque mobile (A) et inversement proportionnelle avec la distance séparant les deux plaques (d).

$$F \propto \frac{Av}{d}$$

D'où la relation :

$$F = \eta_{vs} \frac{Av}{d} \qquad (5)$$

où $\eta_{vs}$ (êta) est la constante de proportionnalité, appelée coefficient de viscosité.

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av} = \frac{F}{Av/d} \qquad (6)$$

**Ainsi,on peut définir,à partir de cette relation,le coefficient de viscosité comme suit :**

le coefficient de viscosité d'un liquide : C'est la force tangentielle exercée sur une unité de surfaces, produisant une différence de vitesse égale à une unité de vitesse entre deux couches de liquide dont la distance perpendiculaire entre elles est l'unité de distance . Le coefficient de viscosité d'un liquide pur dépend de sa nature, sa température et son unité N.s/m² ou kg/(m.s).

## Applications sur la propriété de la viscosité :

**La viscosité possède de nombreuses applications, parmi lesquelles :**

### ① La lubrification et le graissage :

Il est nécessaire de lubrifier ou de graisser régulièrement les machines métalliques. En effet, la lubrification mène à :

(a) réduire la quantité de chaleur produite pendant le frottement.

(b) protéger les pièces de la machine contre érosion.

Le processus de lubrification est réalisé à l'aide des genres d'huiles qui se caractérisent par une viscosité élevée. En effet, si on utilisait de l'eau (qui est une substance de faible viscosité) dans le processus de lubrification, celle-ci s'écoulerait rapidement loin des pièces de la machine, car sa force d'adhésion est faible lors du mouvement. Ainsi, il est naturel d'utiliser des liquides capables d'adhérer aux pièces de la machine et de ne pas s'écouler rapidement malgré le mouvement continu de celles-ci.



nezakr.natega4dk.net

C'est pourquoi il est indispensable d'employer des fluides à viscosité élevée pour assurer une lubrification efficace.

### ② Les véhicules en mouvement :

Lorsque la voiture atteint sa vitesse maximale, le travail total fourni par le moteur — provenant du carburant consommé — fonctionne en grande partie contre la résistance de l'air du véhicule pendant son mouvement, ainsi qu'à surmonter la force de frottement entre les pneus et le sol.

Aux vitesses relativement faibles ou moyennes, la résistance de l'air aux corps en mouvement (due à la viscosité de l'air) est proportionnelle à la vitesse de ces corps. Mais lorsque la vitesse de la voiture dépasse une certaine limite, la résistance de l'air n'est pas seulement proportionnelle à sa vitesse mais elle devient proportionnelle au carré de la vitesse. Cela signifie que le taux de consommation de carburant augmente avec l'augmentation de la vitesse au-delà de cette limite mentionnée. C'est pourquoi un conducteur expérimenté a tendance à limiter la vitesse de son véhicule afin d'économiser le carburant.

### ③ En médecine :

**Pour mesurer la vitesse de précipitation du sang**

On sait que lorsqu'une balle tombe verticalement dans un liquide, elle est affectée par trois forces : son poids vers le bas, la poussée du liquide vers le haut, la force de friction entre la balle et le liquide vers le haut en résultat de la viscosité du liquide. En calculant la résultante des forces, on a trouvé que la balle se déplace avec une vitesse terminale qui augmente avec l'augmentation de son rayon.

Ce principe peut être appliqué en médecine en prenant un échantillon du sang pour déterminer sa vitesse de précipitation. Cela permet au médecin de savoir si la taille des globules rouges est normale ou non.

Par exemple :

En cas de fièvre rhumatismale, on observe une augmentation de la vitesse de précipitation du sang par rapport à la valeur normale, en raison de l'agrégation des globules rouges qui entraîne une augmentation de leur volume et de leur rayon, ce qui accroît leur vitesse de précipitation. En cas d'anémie, au contraire, la vitesse de précipitation diminue de la valeur normale car les globules rouges se brisent, leur taille et leur rayon se réduisent.

### Des idées pour stimuler l'innovation

Imaginez que vous êtes ingénieur dans l'industrie automobile.

- Quels sont les facteurs dont vous tenez compte pour déterminer le type d'huile
- adapté utilisé dans le moteur de la voiture ? Et que peut-il se passer si l'on n'utilise pas des huiles ayant une viscosité appropriée ?



nezakr.natega4dk.net

# Resumé

• **Premièrement : Les définitions et les concepts de bases**

**La masse volumique (ρ) :** C'est la masse de l'unité de volume d'une substance. Son unité est le kg/m3.

**•Le fluide :** Toute substance susceptible de s'écouler et ne possédant pas de forme propre.

**•L'écoulement laminaire dans les tubes nécessite que :**

(a) le fluide remplisse complètement le tube ;

(b) la quantité de fluide entrant dans la conduite à une extrémité soit égale à la quantité qui en sort à l'autre extrémité au cours du même intervalle de temps.

(c) la vitesse d'écoulement du fluide en tout point de la conduite ne varie pas avec le temps.

**•La viscosité :** C'est la propriété qui engendre une résistance ou une friction entre les diverses couches du liquide, et qui s'oppose à leur glissement les unes sur les autres.

**•Le coefficient de viscosité :** Il correspond à la force tangentielle exercée sur l'unité de surfaces, qui produit une différence de vitesse égale à l'unité entre deux couches de liquides dont la distance perpendiculaire entre elles est l'unité. L'unité du coefficient de viscosité est : $kg.m^{-1}.s^{-1}$

**Deuxièmement : Les lois et les relations importantes :**

• **La masse volumique (ρ):** $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$

• **Le volume de fluide qui s'écoule dans un tube cylindrique pendant un intervalle de temps (t) donné :** $V_{ol} = Q_v t = Avt = \pi r^2 vt$

• **La masse de fluide qui s'écoule dans un tube cylindrique pendant un intervalle de temps(t) donné :** $M = Q_m t = Q_v \rho t = Av\rho t = \pi r^2 v\rho t$

• **Équation de continuité :** $A_1 v_1 = A_2 v_2$

• **Coefficient de viscosité d'un fluide ($\eta_{VS}$) est déterminé à partir de la relation :**

$$\eta_{vs} = \frac{Fd}{Av}$$

où : (F) est la force tangentielle entre deux couches de fluide,(A) est la surface de la couche en mouvement, (v) est la vitesse de la couche mobile et (d) est la distance séparant les couches fixe et mobile.



nezakr.natega4dk.net

# Exercices

## Premièrement: Définissez ce qui suit :

1- La densité

2- Le fluide

3- La viscosité

4- Le coefficient de viscosité

## Deuxièmement: Questions à développement

1- Démontrez que la vitesse du fluide en un point d'une conduite est inversement proportionnelle à l'aire de la section transversale en ce point.

2- Expliquez le phénomène de viscosité.

3- Expliquez quelques applications de la propriété de viscosité.

## Troisièmement: Problèmes.

1) De l'eau s'écoule dans un tube horizontal avec un débit constant de 0,002 $m^3/s$. Calculez la vitesse de l'eau à travers le tube si l'aire de sa section est $1cm^2$ . (20 m/s)

2) De l'eau passe dans un tube en caoutchouc de diamètre 1,2 cm avec une vitesse de 3m/s. Calculez le diamètre de son orifice si la vitesse de sortie de l'eau est 27m/s. (0,4cm)

3- Une artère principale se ramifie en 80 capillaires, chacun de rayon 0,1mm. Si le rayon de l'artère est 0,035cm, et la vitesse du sang dans l'artère est 0,044, calculez la vitesse d'écoulement du sang dans chaque capillaire sanguin. (0,0067m/s)

4- L'aire d'une conduite d'eau au point A est $10cm^2$ et au point B est $2cm^2$. Si la vitesse de l'eau en A est 12m/s, calculez sa vitesse en B. (60 m/s)

5) L'aire d'une conduite d'eau entrant le rez-de-chaussée est $4 \times 10^{-4}$ $m^2$, et la vitesse de l'eau est 2m/s lorsque cette conduite se rétrécit de manière à ce que sa section transversale au niveau de l'étage supérieur devienne $4 \times 10^{-4}$ $m^2$ . Calculez la vitesse d'écoulement de l'eau à l'étage supérieur. (4m/s)



nezakr.natega4dk.net

Chapitre

5

# Propriétés des fluides au repos (Hydrostatique)




nezakr.natega4dk.net

**Résultats d'apprentissage attendus**

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

1. Mesurer la pression en un point à l'intérieur d'un liquide.
2. Déterminer la densité relative de l'huile par une méthode pratique.
3. Mesurer la pression atmosphérique par une méthode expérimentale.
4. Identifier les unités de mesure de la pression atmosphérique.
5. Comparer le baromètre simple et le manomètre.
6. Discuter certaines applications de la pression.
7. Résoudre quelques problèmes liés à la densité et à la pression.
8. Expliquer le principe de Pascal et l'appliquer au vérin hydraulique.

**Terminologie du chapitre**

Pression
Pression atmosphérique
Principe de Pascal

## Introduction

Après avoir étudié le mouvement des fluides et la nature de leur écoulement, il est maintenant temps d'étudier les fluides au repos, en se concentrant sur la notion de pression, et sur le fait qu'un liquide exerce une pression en chaque point de son intérieur, ainsi que sur certaines applications de ces concepts.

## Pression

La pression en un point est : la force moyenne exercée perpendiculairement sur l'unité de surface entourant ce point.

Ainsi, si une force (F) agit perpendiculairement sur une surface de (A), alors la pression (P) exercée sur cette surface est donnée par la relation :

$$P = \frac{F}{A} \qquad (1)$$

Puisque la force (F) est mesurée en newtons et la surface (A) en mètres carrés, l'unité de la pression est le newton par mètre carré ($N/m^2$).

### Information enrichissante

Pression du pied de l'éléphant ou du pied humain ?

Comme la pression est la force exercée sur une unité de surface, la pression due à un talon aigu peut être plus grande que celle exercée par le pied de l'éléphant sur le sol, car la surface du talon est extrêmement petite (figure 1).

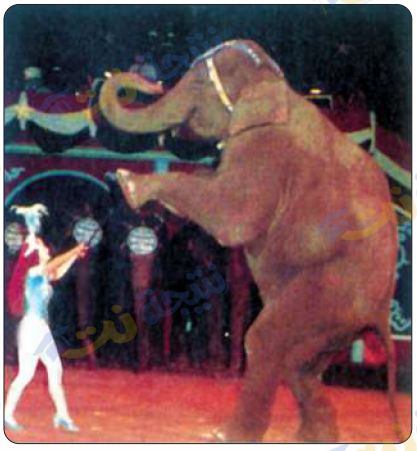


Figure (1)
Notion de pression



nezakr.natega4dk.net

## La pression en un point à l'intérieur d'un liquide et sa mesure

Si l'on pousse un morceau de liège sous la surface de l'eau, puis qu'on le relâche, on constate que ce morceau de liège remonte à nouveau vers la surface. Cela montre que l'eau exerce sur le morceau immergé une force dirigée vers le haut. Cette force résulte de la différence de pression de l'eau agissant sur ce morceau.




(A) (B)

Figure (2)

(a) La pression à l'intérieur d'un liquide

(b) La force résultant de la pression dans un liquide est perpendiculaire à toute surface.

À un point quelconque à l'intérieur d'un liquide, la pression peut s'exercer dans toutes les directions et la force résultante de la pression sur une surface donnée est toujours perpendiculaire à cette surface.

La pression exercée sur un corps est identique à celle qui existerait sur le volume du liquide si le corps n'était pas placé à cet endroit. Autrement dit, le liquide qui occupait la place du corps subit deux forces : son poids dirigé vers le bas et la force résultant de la pression du liquide environnant.

Plus la profondeur du liquide augmente, plus la pression augmente. Figure (3).

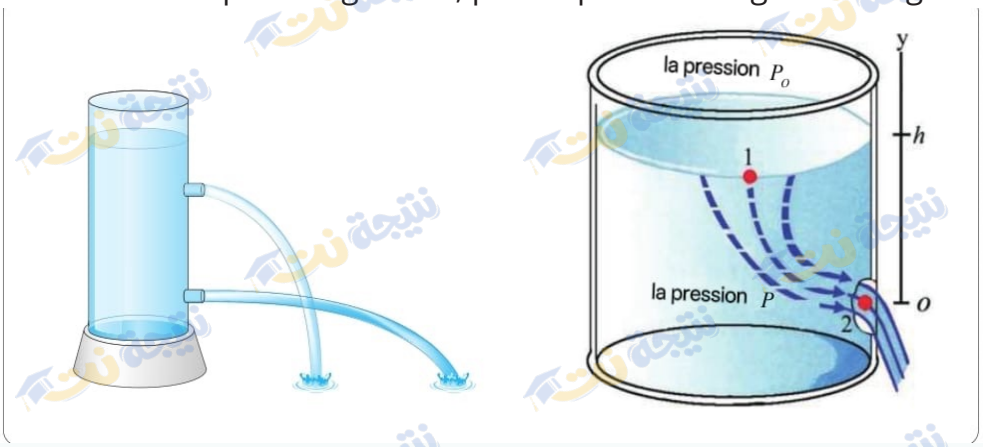



Figure (3) Plus la profondeur du liquide augmente, plus la pression augmente



nezakr.natega4dk.net

Pour calculer la pression (P), supposons l'existence d'une plaque horizontale (X) d' aire A (en $m^2$), placée à une profondeur h(en m) sous la surface d'un liquide de masse volumique ρ ($kg/m^3$), comme le montre la figure (4).

Cette plaque agit comme la base d'une colonne de liquide. La force exercée par la colonne de liquide sur la plaque est égale au poids de cette colonne dont la hauteur est h et l'aire de section est A.

Puisque le liquide est incompressible , la force résultant de la pression du liquide est égale au poids de la colonne de liquide. Et puisque le volume de la colonne est Ah et sa masse est Ahρ, son poids ($F_g$) en newtons est determiné par la relation :

$$F_g = Ah\rho g$$

Où l'accélération de la gravité est g ($m/s^2$) ,

La pression exercée par le liquide P sur la plaque (X) est donc :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\rho g}{A}$$

$$\therefore P = h\rho g \ (N/m^2) \qquad (2)$$

C'est la valeur de la pression exercée uniquement par le liquide en un point situé à l'intérieur à une profondeur h.

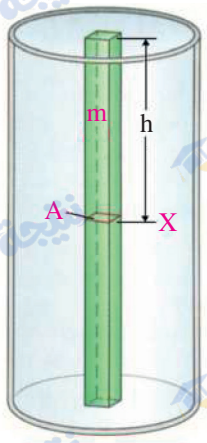



Figure (4)

calcul de la pression d'une colonne de liquide

Si l'on tient compte du fait que la surface libre du liquide est soumise à la pression atmosphérique , alors la pression totale en un point du liquide est :

$$P = P_a + h\rho g \qquad (3)$$

Les observations montrent que la pression P en un point du liquide augmente avec la profondeur h de ce point sous la surface du même liquide, et qu'elle augmente également avec la densité du liquide pour une même profondeur.

**De cette relation, on peut déduire ce qui suit :**

1. Tous les points situés sur un même plan horizontal à l'intérieur d'un liquide sont soumis à la même pression.

2. Dans un liquide contenu dans un récipient à branches communicantes (vases communicants), le liquide s'élève dans ces différentes parties au même niveau indépendamment de leur forme géométrique, à condition que la base du récipient soit horizontale.

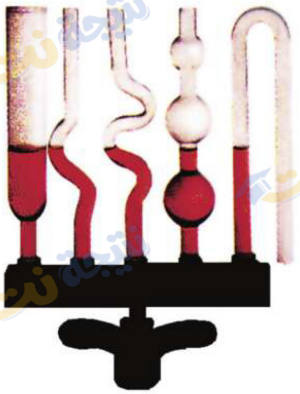


Figure (5)

le liquide atteint le même niveau dans les vases communicants



nezakr.natega4dk.net

3. Le barrage est conçu de manière à ce que son épaisseur augmente à la base afin de résister à la pression croissante avec la profondeur. Figure (6)

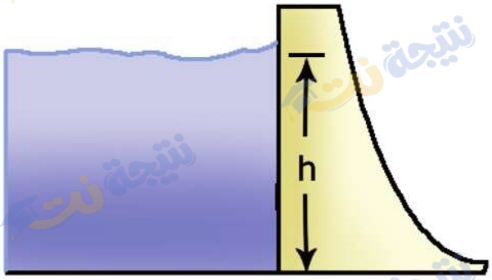



Figure (6)
La base des barrages est plus épaisse pour supporter la pression à grande profondeur.

4. Le plongeur porte un scaphandre et un casque qui le protègent de la pression en grande profondeur. En faible profondeur, il compense la pression extérieure en insufflant de l'air dans ses sinus Figure (7). En grande profondeur, le scaphandre est gonflée d'air et le casque protège la tête du plongeur contre la forte pression Figure (8).



Figure (7)
Plongée à faible profondeur (près de la surface).



Figure (8)
Plongée à grande profondeur (500 m).

## Équilibre des liquides dans un tube en U à deux branches

Considérons un tube en U contenant une quantité suffisante d'eau. On ajoute une certaine quantité d'huile dans la branche gauche jusqu'à ce que la surface de l'huile atteigne un niveau donné en C . On remarque que l'eau et l'huile ne se mélangent pas, et qu'il existe une surface de séparation entre les deux c'est AD .
Soit la hauteur de l'huile au-dessus du plan de séparation AD entre l'eau et l'huile c'est $\mathbf{h_o}$, et la hauteur de l'eau dans la branche droite au-dessus de ce même niveau AD est $\mathbf{h_w}$ Figure (9).

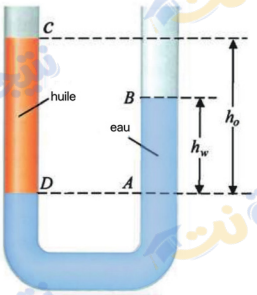



Figure (9)
Équilibre des liquides dans un tube en U à deux branches.

Puisque la pression au point A est égale à la pression au point D:

$$\therefore P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

où $\mathbf{P_a}$ est la pression atmosphérique, $\rho_o$ est la masse volumique de l'huile, $\rho_w$ est la masse volumique de l'eau. On en déduit : $h_o \rho_o = h_w \rho_w$



nezakr.natega4dk.net

La relation précédente peut se simplifier ainsi :

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} \qquad (4)$$

En mesurant $h_o$ , $h_w$, on peut déterminer la densité relative de l'huile expérimentalement.

En connaissant la densité de l'eau, on peut alors déduire la densité de l'huile.

## Pression atmosphérique

Pour mesurer la pression atmosphérique, Torricelli inventa le baromètre à mercure.
Il prit un tube de verre d'environ 1 mètre de long, le remplit complètement de mercure, puis le retourna dans une cuve à mercure.
Il observa alors que le niveau du mercure dans le tube s'abaissa jusqu'à une certaine hauteur verticale d'environ 0,76 m (760 mm).
Il est évident que l'espace situé au-dessus de la surface du mercure dans le tube est vide, à l'exception d'une petite quantité de vapeur de mercure dont on peut négliger la pression.
Cet espace est appelé vide de Torricelli.
La figure (10) montre que la hauteur verticale de la colonne de mercure au-dessus du niveau libre du mercure dans la cuve reste constante, que le tube soit en position verticale ou inclinée.

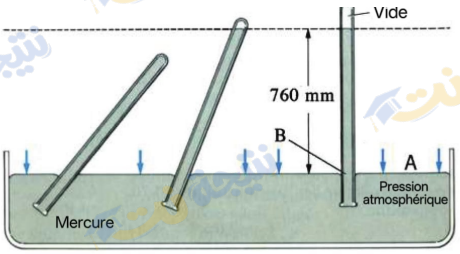



Figure (10)
La hauteur du mercure dans un baromètre n'est pas affectée par l'inclinaison du tube

Si l'on considère les deux points A et B situés sur un même plan horizontal (fig. 11), de sorte que le point A se trouve à l'extérieur du tube, à la surface du mercure dans la cuve, et que le point B se trouve à l'intérieur, alors :
la pression en B = la pression en A, ainsi:

$$P_a = \rho g h \qquad (5)$$

Cela signifie que la pression atmosphérique équivaut à la pression exercée par le poids d'une colonne de mercure de hauteur (environ) 0,76 m et d'aire de section égale à un mètre carré (à 0 °C).

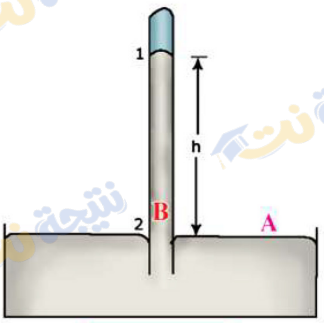



Figure (11)
Le baromètre simple

• La pression atmosphérique normale est la pression de l'air mesurée au niveau de la mer à 0 °C. Elle correspond à 0,76 m de Hg.

On définit les conditions normales de pression et de température (STP) comme étant une pression égale à 0,76 m de Hg à une température de 0 °C. Ce terme revient fréquemment lors de l'étude des lois des gaz.

Étant donné que la densité du mercure à 0 °C est de 13595 kg/m³ et que l'accélération de la pesanteur est de 9,8 m/s², la pression atmosphérique normale est $P_a = 1\text{atm} = 0.76 \times 13595 \times 9.8 = 1.013 \times 10^5\ \text{N/m}^2$



nezakr.natega4dk.net

## Information enrichissante

Que se passe-t-il dans l'oreille à une grande altitude?
La pression atmosphérique est le poids de la colonne d'air au-dessus de la surface de la Terre, agissant sur l'unité de surface. Ainsi, plus on s'élève au-dessus du niveau de la mer, plus la hauteur de cette colonne diminue, et donc plus la pression diminue.

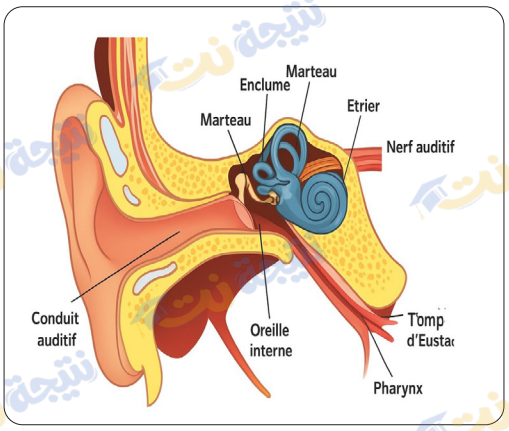


Figure (12) Schéma de l'oreille

De part et d'autre du tympan, la pression extérieure s'équilibre normalement avec la pression interne du corps.
Lorsque la pression extérieure diminue, on ressent une tension au niveau du tympan, car la pression interne le pousse légèrement vers l'extérieur.
Cet équilibre peut être rétabli en contrôlant la quantité d'air dans la trompe d'Eustache (Eustachian Tube), par exemple en déglutissant ou en mâchant un chewing-gum afin de réduire la pression exercée sur le tympan Figure (12).)

## Unités de mesure de la pression atmosphérique

D'après la relation précédente, on constate que les unités de mesure de la pression atmosphérique dans le Système international d'unités sont les mêmes que celles de la pression: ($N/m^2$).
l'unité Pascal a été défini comme équivalente à ($N/m^2$).

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$$

Par conséquent, la pression atmosphérique normale est : $P_a = 1.013 \times 10^5$ Pascal

On a également introduit une unité plus grande, le bar, telle que :

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pascal } (10^5 \text{ N/m}^2)$$

Par conséquent, la pression atmosphérique normale est : $P_a = 1.013$ Bar
La pression atmosphérique peut aussi être mesurée en millimètres de mercure, appelés également torr :

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg}$$

Donc, la pression atmosphérique normale est:

$$P_a \text{ (1atm)} = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg} = 0.76 \text{ m Hg} = 1.013 \text{ Bar}$$

### Développement de la pensée critique

La pression atmosphérique normale équivaut à environ : $1.013 \times 10^5$ N/m², c'est-à-dire plus de 10 tonnes par mètre carré.
Pourquoi ne ressentons-nous pas l'effet d'une telle pression énorme sur nos corps ?



nezakr.natega4dk.net

## Le manomètre

Le manomètre est constitué d'un tube à deux branches en forme de U, contenant une certaine quantité d'un liquide approprié de densité connue. L'une des branches est reliée au réservoir du gaz dont on veut mesurer la pression. En conséquence, le niveau du liquide dans l'une des branches du manomètre peut s'élever tandis qu'il s'abaisse dans l'autre.

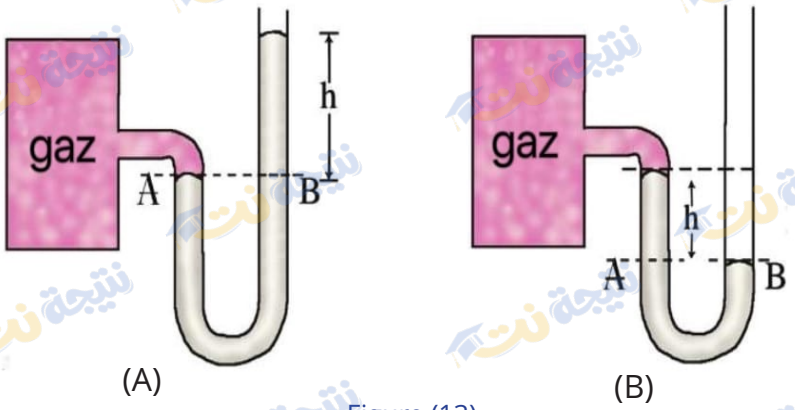



Figure (13)

Le manomètre

(a) Lorsque la pression du gaz est supérieure à la pression atmosphérique.

(b) Lorsque la pression du gaz est inférieure à la pression atmosphérique.

Si l'on considère les deux points A et B situés sur le même plan horizontal dans le liquide (figure 13a), on a :

La pression B =la pression A

$$P = P_a + \rho gh$$

où P est la pression du gaz emprisonné dans le réservoir, plus grande que la pression atmosphérique $P_a$ . Le terme ρgh représente la pression du liquide dans la branche libre du manomètre au-dessus du point B, c'est-à-dire la différence de pression entre P et $P_a$ . Dans le cas où la pression du gaz P est inférieure à la pression atmosphérique (figure 13b), on a :

$$P = P_a - \rho gh$$

Dans cette situation, le niveau du liquide dans la branche libre du manomètre est plus bas que celui de la branche reliée au réservoir.

dans de nombreuses applications scientifiques, il n'est pas toujours nécessaire de mesurer la pression absolue du gaz dans le réservoir. Il est souvent plus utile de mesurer seulement la différence de pression, soit :

$$\Delta P = P - P_a = \rho gh \quad (6)$$

À partir de cette relation, connaissant la densité du liquide dans le manomètre, la différence de hauteur entre les deux niveaux du liquide dans ses branches ainsi que l'accélération de la pesanteur , on peut calculer la différence de pression . On peut également déterminer la pression du gaz en connaissant la pression atmosphérique.



nezakr.natega4dk.net

## Applications de la pression

1 Le sang est un liquide visqueux, pompé à travers un système complexe d'artères et de veines sous l'action musculaire du cœur. L'écoulement du sang dans le corps est généralement laminaire. Cependant, si le débit sanguin devient turbulent, il est alors accompagné d'un bruit ; la personne est considérée comme malade. Ce bruit est facilement perceptible à l'aide d'un stéthoscope placé sur l'artère. Ceci se produit lors de la mesure de la pression artérielle, où l'on distingue habituellement deux valeurs de pression :

**La pression systolique** (Systolic Pressure) : il s'agit de la pression maximale du sang dans l'artère, qui se produit lorsque le muscle cardiaque se contracte et que le sang est éjecté du ventricule gauche (Left Ventricle) vers l'aorte (Aorta), puis distribué dans les artères.

**La pression diastolique** (Diastolic Pressure) : il s'agit de la pression minimale dans l'artère, qui se produit lors du relâchement du muscle cardiaque.

Chez un individu en bonne santé, la pression systolique est d'environ 120 Torr et la pression diastolique d'environ 80 Torr

2 Le pneu d'une voiture est gonflé avec de l'air sous haute pression, de telle sorte que la surface de contact avec la route soit minimale.

En revanche, si le pneu est gonflé sous basse pression, la surface de contact avec la route augmente, ce qui entraîne une augmentation du frottement et un échauffement du pneu. La pression de l'air dans le pneu peut être mesurée à l'aide d'un manomètre . Figure (14).

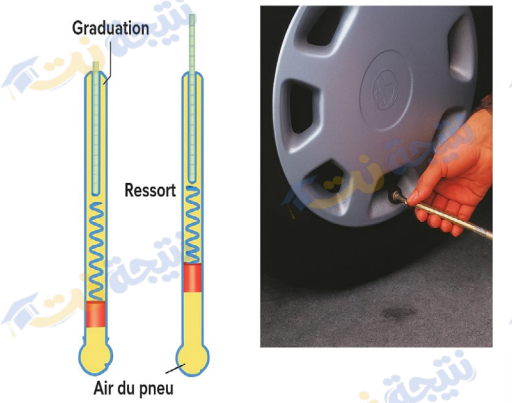



Figure (14)

Mesure de la pression de l'air dans un pneu de voiture

## Développement de la pensée critique

Pression des fluides et domaine de la médecine et de la santé publique :

1. Lors de la mesure de la pression artérielle, pourquoi place-t-on le brassard pneumatique de l'appareil autour du bras de manière confortable au niveau du cœur ?
2. Pourquoi le fait de rester assis pendant de longues périodes augmente-t-il le risque de formation de caillots sanguins dans la jambe ? Quelles recommandations donneriez-vous pour les prévenir ?





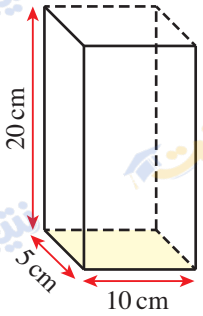
nezakr.natega4dk.net

## Exemple 1

Un parallélépipède rectangle solide de dimensions (5 cm × 10 cm × 20 cm) et de densité 5000 kg/m³ est placé sur une surface horizontale plane. Calculez la pression maximale et la pression minimale qu'il peut exercer. (On considère l'accélération de la gravité g = 10 m/s²).

**Solution**

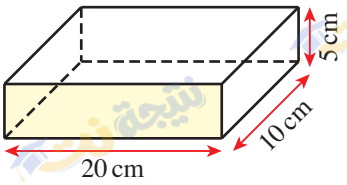
Pour calculer la pression maximale, on place le solide sur la face de plus petite aire (5 cm × 10 cm).




$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}}$$

$$= 10^4 \text{ N/m}^2$$

Pour calculer la pression minimale, on place le solide sur la face de plus grande aire (10 cm × 20 cm).




$$P = \frac{F}{A} = \frac{5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 5000 \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}}$$

$$= 2500 \text{ N/m}^2$$

## Exemple 2

Déterminez la pression totale ainsi que la force pressante totale exercée sur le fond d'un bassin contenant de l'eau salée de densité ρ = 1030 kg/m³, si la surface de base du bassin est de 1000 cm², la hauteur de l'eau est de 1 m, la surface de l'eau est exposée à l'air atmosphérique, l'accélération de la gravité est g = 10 m/s², et la pression atmosphérique est $P_a = 1{,}013 \times 10^5$ N/m².

**Solution**

Pression totale

$$P = P_a + \rho g h$$

$$= 1.013 \times 10^5 + 1030 \times 10 \times 1$$

$$= (1.013 + 0.103) \times 10^5 = 1.116 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Force pressante totale :

$$F = P \times A = 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4}$$

$$= 1.116 \times 10^4 \text{ N}$$



nezakr.natega4dk.net

## Exemple 3

On utilise un manomètre à mercure pour mesurer la pression d'un gaz contenu dans un réservoir. On constate que le niveau du mercure dans la branche libre est plus élevé que dans la branche reliée au réservoir de 36 cm.
Quelle est la valeur de la pression du gaz emprisonné en unités :

(A) cm Hg (B) atm (C) N/m²

Étant donné que :
La pression atmosphérique est 0,76 m Hg = $1{,}013 \times 10^5$ N/m².

**Solution**

(a) En unité cm Hg :

$$P = P_a + h = 76 + 36 = 112 \text{ cm Hg}$$

(b) En unité atm :

$$P = \frac{(P \text{ cm Hg})}{76} = \frac{112}{76} = 1.474 \text{ atm}$$

(c) En unité N/m²

$$P = 1.474 \times 1.013 \times 10^5 = 1.493 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

## Exemple 4

Un tube en forme de U, dont la section du bras étroit est de 1 cm² et celle du bras large est de 2 cm², est partiellement rempli d'eau (de densité 1000 kg/m³). On y verse ensuite une certaine quantité d'huile (de densité 800 kg/m³) dans le bras étroit jusqu'à ce que la hauteur de la colonne d'huile atteigne 5 cm.
Calculez la hauteur de la surface de l'eau au-dessus de l'interface séparant l'eau et l'huile.

**Solution**

$$\because P = \rho_o g h_o = \rho_w g h_w$$

$$\therefore \rho_o h_o = \rho_w h_w$$

$$h_w = \frac{\rho_o h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4 \text{ cm}$$



nezakr.natega4dk.net

## Principe de Pascal (Loi de Pascal)

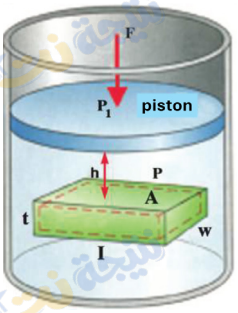



Figure (15)

L'augmentation du poids sur le piston augmente la pression dans le liquide.

Si l'on considère un liquide contenu dans un récipient en verre, comme indiqué dans la figure (15), muni d'un piston à sa partie supérieure, la pression en un point tel que A, situé à une profondeur h, est donnée par :

$P = P_1 + hpg$ , où $P_1$ est la pression exercée à la surface du liquide, juste sous le piston. Cette pression résulte de la pression atmosphérique et de la pression due au poids du piston ou de la force appliquée sur celui-ci.

Si l'on augmente la pression sur le piston d'une quantité ΔP en y plaçant une masse supplémentaire, on observe que le piston ne se déplace pas vers l'intérieur (en raison de l'incompressibilité du liquide), mais la pression à la surface du liquide juste sous le piston augmentera à son tour de ΔP et la pression au point A, situé à une profondeur h sous cette surface, augmentera à son tour de ΔP. Ainsi, la pression en ce point devient : $P= P_1 + hpg + \Delta P$.

Si la pression augmente au-delà d'une certaine limite , le récipient peut se briser .

Le savant français Blaise Pascal a formulé ce résultat de la manière suivante :

Lorsqu'une pression agit sur un liquide enfermé dans un récipient , elle se transmet intégralement à toutes les parties du liquide ainsi qu'aux parois du récipient qui le contient . Ce phénomène est connu sous le nom de principe de Pascal ( **ou loi de Pascal** )

### Application du principe de Pascal : la presse hydraulique ( Hydraulic press )

Il existe plusieurs applications basées sur le principe de Pascal , parmi lesquelles la presse hydraulique et les freins automobiles .

La presse hydraulique , représentée dans la figure (16) , est constituée d'un petit piston de section ( a ) et d'un grand piston de section( A ), l'espace compris entre les deux pistons étant rempli d'un liquide approprié.

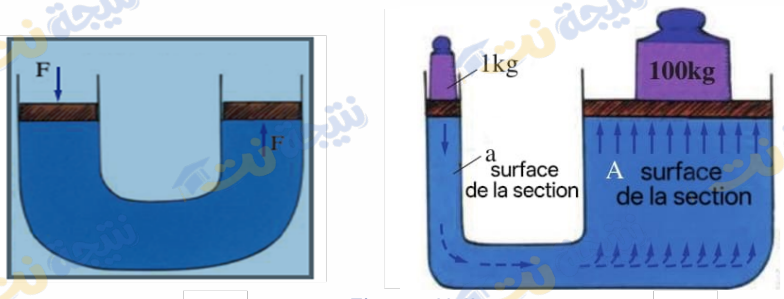



Figure (16)

La presse hydraulique

(a) Une force appliquée sur le côté gauche du liquide se transmet au côté droit.
(b) Un poids de 1 kg appliqué sur le côté gauche engendre une force qui s'équilibre avec 100 kg sur le côté droit, si le rapport des aires A:a est de 1 : 100.



nezakr.natega4dk.net

Ainsi, si le petit piston est soumis à une pression , le liquide est à son tour soumis à la même pression.
Cette pression p se transmet intégralement à travers le liquide jusqu'à la face inférieure du grand piston.
Si l'on suppose que la force agissant sur le petit piston est ( f ) et que la force agissant sur le grand piston est ( F ), et puisque la pression exercée sur les deux pistons a la même valeur lors de l'équilibre, dans un même niveau horizontal, on obtient :

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

$$F = \frac{A}{a} f \qquad (7)$$

D'après cette relation, il apparaît que lorsqu'une force (f) agit sur le petit piston, il se produit une force plus grande sur le grand piston qui est la force ( F ).
Le rendement mécanique (η) (Mechanical Advantage) de la presse hydraulique noté, est (η) :

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} \qquad (8)$$

Ainsi, le rendement mécanique de la presse hydraulique est déterminé par le rapport de la surface de la section du grand piston à celle du petit piston. En se référant à la figure (17), on constate que :
Si le petit piston est déplacé vers le bas d'une distance verticale $y_1$ sous l'action de la force , alors le grand piston se déplace vers le haut d'une distance verticale $y_2$ sous l'action de F .

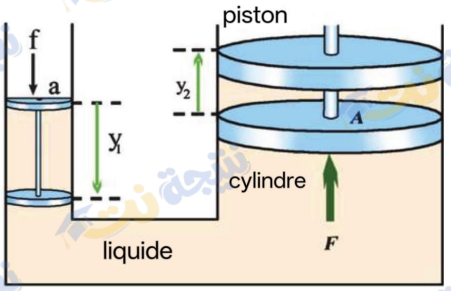


Figure (17)
le rendement mécanique

Où le travail fourni sur chacun des pistons est égal à la force appliquée multipliée par le déplacement correspondant.
D'après le principe de conservation de l'énergie, et en supposant que la presse est idéale (rendement = 100 %), le travail fourni est le même dans les deux cas :

$$f\, y_1 = F\, y_2$$

$$\frac{F}{f} = \frac{y_1}{y_2}$$

$$F = \frac{y_1}{y_2} f \qquad (9)$$

Cela montre que le rendement mécanique de la presse hydraulique peut également s'exprimer en fonction du rapport des déplacements $\frac{y_1}{y_2}$



nezakr.natega4dk.net

## Information enrichissante

**Applications du principe de Pascal :**

1. Le frein hydraulique (Hydraulic Brake) d'une voiture repose sur le principe de Pascal. Le système de freinage utilise un fluide intermédiaire (Brake Fluid). Lorsqu'on appuie sur la pédale de frein avec une force relativement faible et sur une distance relativement grande, une force importante est transmise au piston du cylindre de frein principal (Master Brake Cylinder).

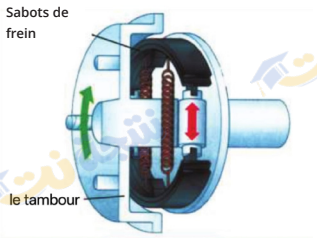



Figure (18)
Freins à tambour (arrière)

Cette pression est transmise au fluide, puis à tout le circuit de freinage, et ensuite aux pistons des cylindres de roue (Wheel Cylinders), qui se déplacent vers l'extérieur et agissent sur les sabots de frein (Brake Shoes), lesquelles appuient contre le tambour de frein (Brake Drum).

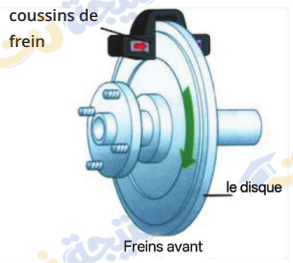



Figure (19)
Freins avant

Il en résulte une grande force de frottement qui arrête la roue et donc la voiture. Ce type de frein est appelé frein à tambour (Drum Brake), correspondant au frein arrière (Figure 18).

Dans le cas du frein avant, qui utilise un système à disque (Disk Brake, Figure19), les forces générées par le freinage pressent les coussins de frein (Brake Pads) contre le disque (Brake Disc), ce qui produit un frottement qui immobilise la roue. On remarque que le déplacement des mâchoires ou des plaquettes est faible, car la force exercée est très grande.

2. Dans une autre application du principe de Pascal, le levier hydraulique (Hydraulic Lift) utilise un liquide pour soulever la voiture dans les stations-service (Figure 20).

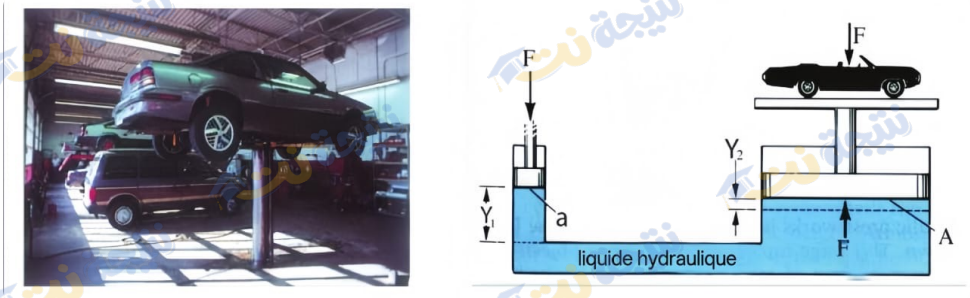



Figure (20)
Le levier hydraulique



nezakr.natega4dk.net

3. La foreuse hydraulique (chenille) repose sur le principe de Pascal (Figure: 21).



Figure (21) foreuse hydraulique

Exemple

Une presse hydraulique dont l'aire de section de son petit piston est de 10 cm² sur lequel agit une force de 100 N, et l'aire de section de son grand piston est de 800 cm².

Sachant que l'accélération de la gravité est 10 m/s², calculez :

(a) La masse maximale qui peut être soulevée par le grand piston.

(b) Le rendement mécanique de la presse (η ) .

(c) La distance parcourue par le petit piston pour que le grand piston s'élève de 1 cm.

**Solution**

La force agissant sur le grand piston:

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$

(a) Masse maximale pouvant être soulevée par le grand piston :

$$F = \frac{100}{10} \times 800 = 8 \times 10^3 \text{ N}$$

(b) Le rendement mécanique de la presse:

$$\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(C) Distance parcourue par le petit piston pour que le grand piston se déplace de 1 cm:

$$f.y_1 = F.y_2$$

$$y_1 = \frac{8000 \times 1}{100} = 80 \text{ cm}$$



nezakr.natega4dk.net

# Résumé

## Premièrement : Définitions et concepts fondamentaux

- Pression en un point (P) : force exercée perpendiculairement sur l'unité de surface entourant ce point. Son unité de mesure est le N/m².
- Tous les points situés dans un même plan horizontal à l'intérieur d'un fluide au repos sont soumis à la même pression.
- Pression atmosphérique normale : pression due au poids de la colonne d'air qui agit sur l'unité de surface en un point donné au niveau de la mer. Elle équivaut à la pression exercée par une colonne de mercure de hauteur d'environ 0,76 m et de section transversale égale à 1 m² à une température de 0 °C.
- Les unités de mesure utilisées sont : Pascal (N/m²), bar (Bar) ou torr (mm Hg).
- Manomètre : appareil utilisé pour mesurer la différence entre la pression d'un gaz confiné et la pression atmosphérique.
- Principe de Pascal : lorsqu'une pression agit sur un fluide confiné, celle-ci se transmet intégralement à toutes les parties du fluide ainsi qu'aux parois du récipient qui le contient.

## Deuxièmement : Lois et relations importantes

- Pression (P): $P = \frac{F}{A}$
- Pression en un point à l'intérieur d'un liquide de densité p , exposé à l'air, à une profondeur h par rapport à sa surface :

$$P = P_a + \rho g h$$

où $P_a$ est la pression atmosphérique, et l'accélération de la pesanteur est g.

Équilibre des liquides dans un tube en U: $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$

- Presse hydraulique : $\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$
- où f est la force appliquée sur le petit piston qui a une surface de sa section a, et F est la force exercée sur le grand piston qui a une surface de sa section A.
- Avantage mécanique de la presse hydraulique : $\eta = \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$
- Pour déterminer la distance parcourue par le grand piston ($y_2$)en fonction de la distance parcourue par le petit piston ($y_1$) :

$$y_2 = \frac{f\, y_1}{F}$$



nezakr.natega4dk.net

# Questions et exercices

## Premièrement : Choisissez la bonne réponse:

1. Le facteur qui n'influence pas la pression exercée au fond d'un récipient contenant un liquide est :
   a) la hauteur du liquide dans le récipient  b) la densité du liquide
   c) la surface de la base du récipient  d) la pression atmosphérique
2. Lequel des facteurs suivants n'affecte pas la hauteur de la colonne de mercure dans le baromètre ?
   a) la densité du mercure  b) la section transversale du tube
   c) la pression atmosphérique  d) la température du mercure
3. La pression de l'eau au fond du lac du Haut Barrage, qui agit sur le corps du barrage, dépend de :
   a) la surface du lac  b) la longueur du barrage
   c) la profondeur de l'eau  d) l'épaisseur du mur du barrage
4. Si le rapport entre les rayons des deux pistons cylindriques dans une presse hydraulique est $\frac{2}{9}$, alors le rapport entre les forces exercées sur les deux pistons est :
   (a) $\frac{2}{9}$  (b) $\frac{9}{2}$  (c) $\frac{81}{4}$  (d) $\frac{4}{81}$

## Deuxièmement : Définissez chacun de ce qui suit

1. La pression en un point  2. Principe de Pascal

## Troisièmement : Questions à développement

1. Démontrez que la pression p en un point situé à une profondeur h dans un liquide est donnée par la relation : $P = P_a + \rho gh$, où $P_a$ est la pression atmosphérique, ρ est la masse volumique du liquide et g est l'accélération de la pesanteur.
2. Décrivez le manomètre et expliquez son mode de fonctionnement pour mesurer la pression d'un gaz dans un réservoir.
3. Quels sont les facteurs qui déterminent le type de liquide utilisé dans le manomètre pour mesurer la différence entre la pression d'un gaz dans un réservoir et la pression atmosphérique ?



nezakr.natega4dk.net

4. Qu'entendez-vous par principe de Pascal ? Expliquez l'une de ses applications.

## Quatrièmement : problèmes

1. Si la pression exercée sur la base d'un récipient cylindrique rempli d'huile est de $1.5 \times 10^4$ N/m², calculez la force agissant sur la base du récipient si le diamètre est de 8m . ($7.54 \times 10^5$ N)

2, Pour un pneu de voiture, la différence de pression est $3.039 \times 10^5$ N/m². si la pression atmosphérique est $1.013 \times 10^5$ N/m², déterminez la pression requise à l'intérieur du pneu de la voiture en unités d'atm. (4 atm)

3. Un aquarium a une base de surface 1000 cm^2 et l'aquarium contient de l'eau d'un poids de 4000 N. Calculez la pression de l'eau au fond de l'aquarium. ($4 \times 10^4$ N/m²)

4.Dans une presse hydraulique, les diamètres des petits et grands pistons sont respectivement de 2 cm et 24 cm. Si une force de 2000 N est exercée sur le grand piston, calculez la force appliquée sur le petit piston ainsi que le rendement mécanique de la presse. (13.9 N, 144)

5. Si la pression atmosphérique à la surface de l'eau dans un lac est de 1 atm, quelle est la profondeur du lac si la pression à son fond est de 3 atm ?
(Sachant que : la densité = 1000 kg/m³ et l'accélération de la pesanteur = 9.8 m/s²). (20.673 m)

6. Un homme transporte un baromètre à mercure dont la lecture est de 76 cm Hg au rez-de-chaussée d'un immeuble et de 74,15 cm Hg à l'étage supérieur. Si la hauteur de l'immeuble est de 200 m, calculez la masse volumique moyenne de l'air entre ces deux étages, sachant que la masse volumique du mercure est 13600 kg/m³ et que l'accélération de la pesanteur est 9.8 m/s². (1.258 kg/m³)

7. Un manomètre contenant du mercure est relié à un réservoir renfermant un gaz confiné. Si le niveau du mercure dans la branche libre est plus élevé que celui dans la branche reliée au réservoir de 25 cm, calculez la différence de pression ainsi que la pression absolue de l'air confiné exprimées en unité de N/m2 .
( Sachant que : la pression atmosphérique vaut $1.013 \times 10^5$ N/m² l'accélération de la pesanteur est 9.8 m/s² et la masse volumique du mercure est 13600 kg/m³)
($0.3332 \times 10^5$ N/m², $1.3462 \times 10^5$ N/m²)



nezakr.natega4dk.net

Unité

4

# La chaleur

chapitre 6: Les lois des gaz



chapitre

6

# Les lois des gaz




nezakr.nateg4ou.com

## Résultats d'apprentissage attendus

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

1- Identifier et expliquer le mouvement brownien.

2- Expliquer la relation entre le volume d'un gaz et sa pression à température constante (loi de Boyle).

3- Montrer l'effet de la chaleur sur le volume d'un gaz à pression constante.

4- Démontrer la relation entre le volume d'un gaz et sa température à pression constante (loi de Charles).

5- Décrire l'effet de la chaleur sur la pression d'un gaz à volume constant.

6- Démontrer la relation entre la pression d'un gaz et sa température à volume constant (loi de pression).

7- Déduire le zéro kelvin à partir de la loi de Charles.

8-Déduire le zéro absolu à partir de l'expérience de Joule.

9- Déduire la loi générale des gaz et résoudre des problèmes.

### Terminologie du chapitre :

- Mouvement brownien
- Loi de Boyle
- Loi de Charles
- Loi de Gay-Lussac
- Zéro absolu
- Loi générale des gaz

## Introduction

Les particules de toute matière sont en mouvement constant, et le type de mouvement varie selon l'état physique de la matière, comme illustré dans la figure (1).

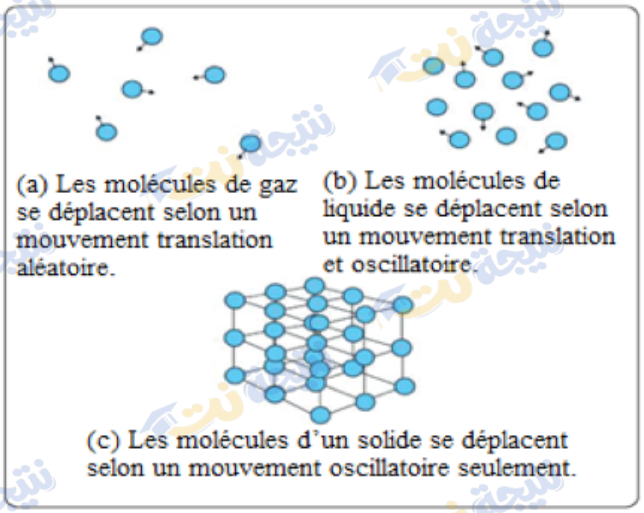



Figure (1)
Les molécules dans les trois états de la matière

## Le mouvement brownien

On peut percevoir que les molécules d'un gaz sont en mouvement aléatoire continu en étudiant le mouvement brownien comme suit:

Si on examine la fumée dégagée d'une bougie à l'aide d'un microscope, on constate que les particules de carbone qui composent la fumée se déplacent ici et là de manière aléatoire. Ce mouvement des particules de carbone est connu sous le nom de mouvement brownien.

C'est le botaniste écossais Brown qui, en 1827, a découvert que les grains de pollen en suspension dans l'eau sont toujours en mouvement aléatoire.

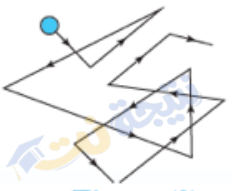


Figure (2)
**Le mouvement brownien**



nezakr.natega4dk.net

## Interprétation du mouvement brownien

Les molécules de l'air (ou de tout autre gaz) se déplacent à des différentes vitesses et dans toutes les directions de manière aléatoire. Au cours de leur mouvement, elles entrent en collision les unes avec les autres, ainsi qu'avec les particules de carbone composant la fumée. Lorsque le nombre de collisions avec l'un des côtés des particules de carbone à un moment donné est supérieur au nombre de collisions avec le côté opposé, les particules de carbone se déplacent dans une direction donnée sur une courte distance. La raison de cela est que les particules de gaz, contrairement aux solides, sont libres de se déplacer et entrent constamment en collision, changeant de direction de manière aléatoire sous l'effet de la chaleur (figure 2).

**On peut en déduire ce qui suit :**

les molécules de gaz sont en mouvement aléatoire constant et, pendant leur mouvement, elles entrent en collision les unes avec les autres ainsi qu'avec les parois du récipient qui les contient..

**Il est possible de constater l'existence d'espaces séparateurs entre les molécules du gaz, appelés espaces intermoléculaires, comme suit:**

Si on prend une éprouvette remplie de gaz ammoniac ($NH_3$) et on la renverse au-dessus d'une autre éprouvette remplie de gaz chlorure d'hydrogène (HCl) figure (3), on observe la formation d'un nuage blanc de chlorure d'ammonium ($NH_4Cl$) qui se développe et se propage jusqu'à remplir tout l'espace des deux éprouvettes.

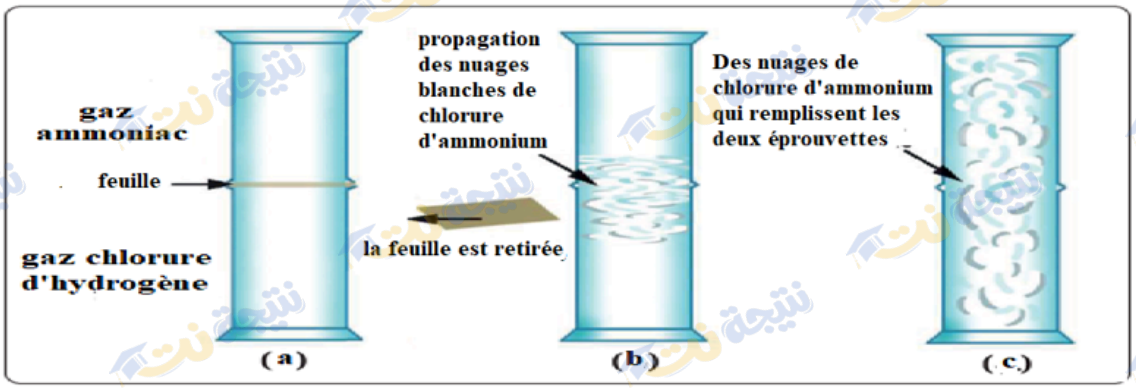



**Figure (3)**

**Illustration des espaces intermoléculaires entre les molécules des gaz**

On explique ce qui s'est passé par le fait que les molécules de gaz chlorure d'hydrogène, bien qu'il soit plus dense, se propagent vers le haut en traversant les espaces qui séparent entre les molécules de gaz d'ammoniac, où elles se combinent avec ses molécules pour former du chlorure d'ammonium dont les particules se propagent pour remplir la partie supérieure du récipient, de même les molécules d'ammoniac, bien qu'il soit moins dense, se propagent vers le bas à travers les espaces entre les molécules de chlorure d'hydrogène, où elles se combinent avec ses molécules pour former du chlorure d'ammonium dont les molécules se propagent pour remplir l'éprouvette inférieure.

De ce qui précède on déduit que les molécules de gaz sont séparées par des distances relativement grandes, connues par les espaces intermoléculaires, cela explique la compressibilité des gaz, car ces espaces intermoléculaires relativement grands permettent aux particules de gaz de se rapprocher lorsqu'elles sont soumises à une pression, réduisant ainsi le volume occupé par le gaz.



nezakr.natega4dk.net

## Les lois des gaz

Il est désormais certain que les expériences visant à mesurer la dilatation thermique d'un gaz sont complexes, car le volume du gaz peut varier en fonction de la pression, de la température ou des deux. Une telle difficulté n'apparaît pas dans le cas des solides ou des liquides, car leur compressibilité est très faible et peut être négligée.

Pour mener une étude complète sur le comportement d'un gaz, il faut tenir compte de trois variables : le volume, la pression et la température. Il existe donc trois expériences distinctes, chacune servant à étudier la relation entre deux variables seulement en maintenant la troisième constante.

Ces expériences sont :

• La relation entre le volume d'un gaz et sa pression à température constante (loi de Boyle).

• La relation entre le volume d'un gaz et sa température à pression constante (loi de Charles).

• La relation entre la pression d'un gaz et sa température à volume constant (loi de la pression ou loi de Gay-Lussac).

**Nous allons maintenant étudier chacune de ces trois relations.**

### Premièrement La relation entre le volume d'un gaz et sa pression à température constante (loi de Boyle).

Pour étudier la relation entre le volume d'une quantité donnée de gaz et sa pression à température constante, on utilise l'appareil illustré dans la figure (4), composé d'un tube en verre (A) semblable à une burette inversée dont la graduation commence en haut relier à un autre tube en verre (B) à l'intermédiaire d'un tuyau en caoutchouc et les deux tubes contiennent une quantité appropriée de mercure.

Les deux tubes sont maintenus par un support vertical fixé sur une base horizontale reposant sur trois vis à tête réglables qui permettent de rendre le support parfaitement vertical, et le tube (B) est mobile le long de ce support vertical vers le haut ou vers le bas et peut être fixé dans n'importe quelle position.

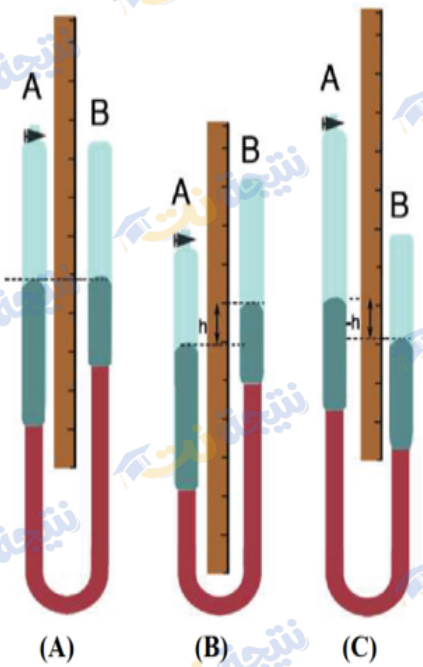



Figure (4)
Appareil Boyle

### Étapes à suivre:

1. On ouvre le robinet du tube (A) tout en déplaçant le tube (B) vers le haut ou vers le bas, jusqu'à ce que la surface du mercure dans le tube (A) atteigne son milieu (voir figure 4-a).

Étant donné que les deux tubes sont ouverts, les surfaces du mercure dans les deux tubes se trouvent au même niveau horizontal.



nezakr.natega4dk.net

② On ferme le robinet du tube (A) et on mesure le volume de l'air emprisonné qu'il soit $V_1$ sa pression $P_1$ équivalent à la pression atmosphérique $P_a$ en cm Hg déterminée par le baromètre.

③ On déplace le tube (B) vers le haut à une distance appropriée (quelques centimètres), puis on mesure le volume d'air emprisonné soit $V_2$ ensuite on mesure la différence de hauteur entre les deux surfaces de mercure dans les deux tubes, qu'elle soit h, ainsi la pression de l'air emprisonnée sera $P_2 = P_a + h$. (voir figure 4-b).

④ On répéte l'étape précédente au moins une autre fois en déplaçant le tube (B) vers le haut une autre distance appropriée et déterminez $P_3$ , $V_3$ de la même manière.

⑤ On abaisse le tube (B) vers le bas, jusqu'à ce que la surface du mercure dans le tube (B) soit inférieure à celle du mercure dans le tube (A) de quelques centimètres, alors on mesure le volume de l'air emprisonné $V_4$ et sa pression $P_4$ est $P_4 = P_a - h$ de sorte que h est la différence de hauteur entre les surfaces de mercure dans les deux tubes (voir figure 4-c).

⑥ On répéte l'étape précédente au moins une autre fois en déplaçant le tube (B) vers le bas une autre distance et déterminez $P_5$ , $V_5$ de la même manière.

⑦ On trace une relation graphique entre le volume du gaz V représenté sur l'axe d'ordonnée et l'inverse de la pression ($\frac{1}{P}$) représenté sur l'axe d'abscisse, on obtient une ligne droite, comme dans la figure (5), et de cette relation graphique on déduit que :

$$V_{ol} \propto \frac{1}{P}$$

Et de cette relation graphique on conclut que :

le volume d'un gaz est inversement proportionnel à sa pression à température constante, c'est l'énoncé de la loi de Boyle.

On peut donc formuler la loi de Boyle ainsi ,de sorte que:

$$V_{ol} = \frac{const}{P}$$

On peut exprimer la loi de Boyle comme suit :

$$PV_{ol} = const \qquad (1)$$

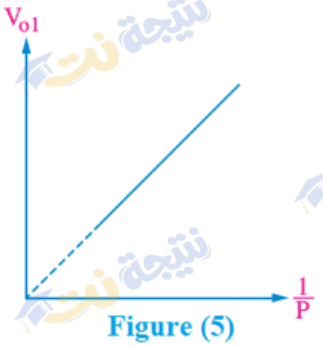



**Figure (5)**
**La relation entre le volume du gaz et l'inverse de la pression à température fixe**

À température constante, le produit de P Vol d'une quantité donnée de gaz est une valeur constante.



nezakr.natega4dk.net

## Deuxièmement : Effet de la chaleur sur le volume d'un gaz à pression constante

On sait que les gaz se dilatent par la chaleur et se contractent par le froid.

Mais est-ce que les volumes égaux de différents gaz, soumis à une pression constante, se dilatent-ils de valeur différente ou identique ?




**Figure (6)**
Effet de la chaleur sur le volume de gaz à pression constante

**Pour le découvrir, on réalise l'expérience suivante :**

(1) On prend deux flacons de même volume, l'ouverture de chacun est fermée par un bouchon traversé par un tube en verre coudé à angle droit, contenant un index de mercure d'environ 2 ou 3 cm de longueur. L'un est rempli d'oxygène et l'autre d'air ou de dioxyde de carbone puis on les plonge dans un bassin rempli d'eau (voir figure 6).

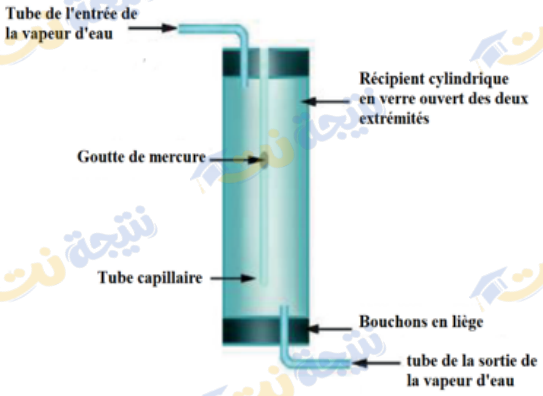
(2) On ajoute une petite quantité d'eau chaude dans le bassin et on observe la distance déplacée par l'index de mercure dans chaque tube. On constate que les deux index se déplacent des distances égales, ce qui indique que les volumes égaux de gaz différents se dilatent par des valeurs égales lorsque leur température s'élève de la même valeur, à pression constante ainsi on déduit que le coefficient de dilatation volumique est le même.

### Le coefficient de dilatation thermique d'un gaz à pression constante :

C'est la quantité d'augmentation de l'unité de volume d'un gaz à 0°C lorsque sa température s'élève de 1°C, tout en maintenant la pression constante. Ce coefficient est noté ($\alpha_V$).

### La relation entre le volume d'un gaz et sa température à pression constante (Loi de Charles)

Pour étudier la relation entre le volume du gaz et sa température à pression constante on utilise l'appareil de Charles illustré dans la figure (7) qui se compose d'un tube en verre de 30 cm de longueur et d'environ 1 mm de diamètre, fermé à l'une de ses extrémités contenant une goutte de mercure et emprisonnant une quantité d'air à l'intérieur du tube. Le tube est fixé avec un thermomètre sur une règle graduée à l'intérieur d'un récipient cylindrique en verre. Poursuivez les étapes suivantes :




(1) On place l'appareil précédent à l'intérieur d'une enveloppe en verre remplit avec de la glace pilée en fusion et on la laisse pour une durée appropriée jusqu'à ce que l'air à l'intérieur du tube se refroidit à 0°C.

(2) On mesure la longueur de la colonne d'air emprisonnée dont la mesure de son volume est ($V_{o}$)0°C car la section du tube est uniforme.



nezakr.natega4dk.net

3 On vide l'enveloppe de la glace et de l'eau puis on y fait passer de la vapeur d'eau de haut en bas en attendant une durée appropriée jusqu'à ce que la température de l'air emprisonné atteint 100°C, on mesure la longueur de la colonne d'air emprisonné , on prend une mesure de son volume qu'il soit noté (Vol)100°C

4 On trace une courbe représentant la relation entre le volume Vol et la température (voir figure 8).

On trouve que cette relation prend la forme d'une ligne droite si l'on prolonge cette droite, elle coupe l'axe horizontal à la valeur –273 °C.

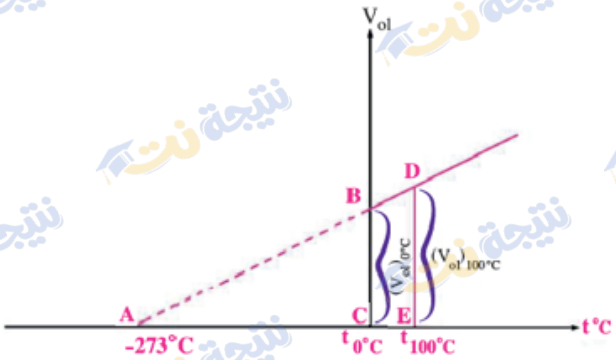



Figure (8)

Loi de Charles

Relation entre le volume et la température à pression constante

5 On détermine le coefficient de dilatation volumique de l'air à pression constante par la relation :

$$\alpha_V = \frac{(V_{o1})_{100°C} - (V_{o1})_{0°C}}{(V_{o1})_{0°C} \times 100°C} \qquad (2)$$

- Il a été trouvé expérimentalement que le coefficient de la dilatation volumique de l'air $\alpha_V$ à pression constante est égal à $\frac{1}{273}$ pour chaque degré.

Étant donné que des volumes égaux de gaz différents se dilatent de manière égale à pression constante, le coefficient de dilatation volumique des différents gaz est de même valeur. Ce résultat a été formulé par Charles comme suit :

## La loi de Charles:

À pression constante, le volume d'une quantité de gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de son volume initial à 0°C pour chaque élévation de température de 1 °C, et cette valeur ne varie pas d'un gaz à l'autre.



nezakr.natega4dk.net

## Troisièmement : L'effet de la chaleur sur la pression du gaz à volume constant

(1) Pour étudier l'effet de la chaleur sur la pression d'un gaz à volume constant, on utilise un flacon en verre fermé par un bouchon traversé par un tube à deux branches (A) et (B) comme illustré dans la figure (9)

On observe que le tube contient une quantité appropriée de mercure, et que les surfaces du mercure dans les deux branches (A) et (B) sont au même niveau horizontal, aux points (x) et (y) ainsi la pression de l'air emprisonné dans le flacon est égale à la pression atmosphérique.On mesure ensuite la température de l'air, noté $t_1$ °C, figure (9-a).

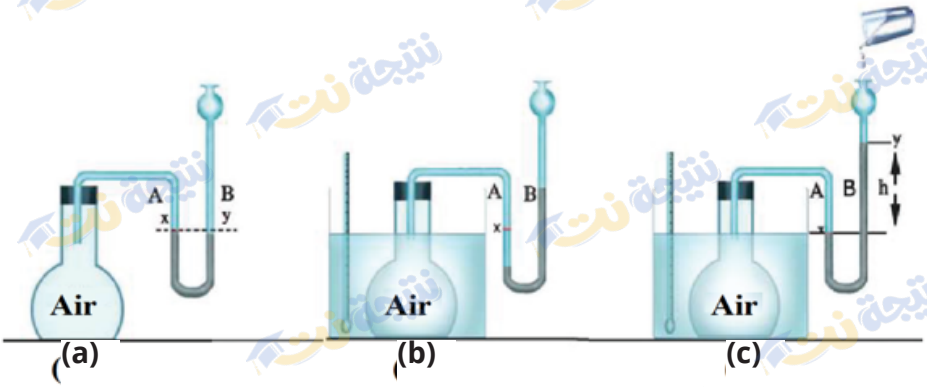



**Figure (9)**

**L'effet de la chaleur sur la pression à volume constant**

(2) On plonge le flacon dans un bassin contenant de l'eau tiède de température $t_2$°C et on remarque que le niveau de mercure commence à s'abaisser dans la branche (A), tandis qu'il s'élève dans la branche (B), figure (9-b)

(3) On verse du mercure dans l'entonnoir jusqu'à ce que le niveau du mercure dans la branche (A) retourne au point (x) pour que le volume de l'air emprisonné dans le flacon à la température ($t_1$ °C) soit égal à son volume à la température ($t_2$ °C)

(4) On observe que la surface du mercure dans la branche (B) dépasse celle de la branche (A) d'une hauteur h (cm), ce qui indique que la pression de l'air emprisonné a augmenté par suite de l'élévation de température de $t_1$ °C à $t_2$ °C d'une valeur égale à h (cm Hg) figure (9-c)

(5) Si on répète l'expérience précédente plusieurs fois, en remplissant le flacon avec un gaz différent à chaque fois, et en mesurant l'augmentation de la pression du gaz à volume constant pour une même élévation de température, on constate les points suivants :

(a) À volume constant, la pression d'un gaz augmente avec l'élévation de la température.

(b) À volume constant, les pressions égales de gaz différents augmentent d'une même valeur si leur température augmente de la même manière.

**Le coefficient d'augmentation de pression :** C'est la quantité d'augmentation de l'unité de pression mesurée à 0°C lorsque la température du gaz augmente de 1°C, à volume constant.



nezakr.natega4dk.net

## La relation entre la pression d'un gaz et la température à volume constant (Loi de la pression)

On a constaté expérimentalement que l'augmentation de la pression d'une quantité de gaz, lorsque son volume reste constant, est directement proportionnelle à sa pression initiale, $P_{0°C}$ mesurée à la température 0°C ainsi qu'à l'élévation de sa température (Δt °C), cette relation est exprimée comme suit ;

$\beta_P$ . est une valeur constante et le coefficient d'augmentation de la pression du gaz en fonction de sa température à volume constant

$$\Delta P \propto P_{0°C}\, \Delta t$$

$$\Delta P = \beta_P\, P_{0°C}\, \Delta t$$

$$\beta_P = \frac{\Delta P}{P_{0°C}\, \Delta t} \qquad (3)$$

Pour déterminer le coefficient d'augmentation de la pression d'un gaz à volume constant, on utilise l'appareil de Jolly, illustré dans la figure (10). Il se compose de :
Un ballon (A) en verre à parois fines, relié à un tube capillaire (B) long et coudé à deux angles droits. Il est fixé sur une plaque verticale, elle-même repose sur une base horizontale reposant sur trois vis de réglage. L'extrémité du tube capillaire (B) est reliée par un tube en caoutchouc à un tube plus large (C), qui est mobile verticalement vers le haut et vers le bas tout le long de la plaque et une règle graduée est fixée sur cette plaque..

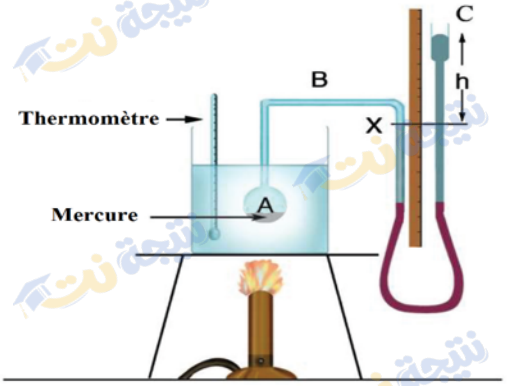



Figure 10
Appareil de Jolly

### On suit les étapes expérimentales suivantes:

(1) On détermine la pression atmosphérique au moment de l'expérience à l'aide d'un baromètre.

(2) On introduit dans le ballon (A) $\frac{1}{7}$ de son volume de mercure pour que le volume du gaz restant soit constant à toutes les températures.

(Remarque : le coefficient de dilatation volumique du mercure est sept fois plus grand à celui du verre).



nezakr.natega4dk.net

3 On immerge le ballon dans un récipient contenant de l'eau, puis on verse du mercure dans la branche libre (C) pour élever son niveau dans l'autre branche à un point déterminé (x).

4 On chauffe l'eau dans le récipient jusqu'à bouillir et on attend une durée appropriée que la température soit fixe et que la surface du mercure cesse de s'abaisser dans la branche reliée au ballon.

5 On déplace la branche libre (C) vers le haut jusqu'à ce que le niveau du mercure dans l'autre branche atteigne le point (x). Puis on mesure la différence de hauteur h (cm)entre les deux niveaux de mercure dans les deux branches, ce qui permet de déterminer la pression de l'air emprisonné (P). Cette pression est égale à la pression atmosphérique (P) en plus la différence de hauteur h (cm Hg).

6 On déplace la branche (C) vers le bas, on arrête le chauffage, et on laisse le ballon refroidir jusqu'à ce que la température s'abaisse à 90 °C. On déplace à nouveau la branche (C) vers le haut jusqu'à ce que le niveau du mercure dans la branche reliée au ballon atteigne à nouveau le point (x). On mesure la nouvelle température et la différence de hauteur entre les deux niveaux de mercure, ce qui permet de calculer la pression de l'air emprisonné dans cette nouvelle situation.

7 On répète cette procédure plusieurs fois à différentes températures, et à chaque fois on calcule la pression de l'air emprisonné selon la même méthode..

8 On trace le graphique représentant les températures sur l'axe horizontal et la pression sur l'axe vertical.

On constate que la relation est une ligne droite, ce qui permet de calculer le coefficient d'augmentation de la pression du gaz à volume constant à partir de la relation suivante :

$$\beta_P = \frac{P_{100°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times 100} \qquad (4)$$

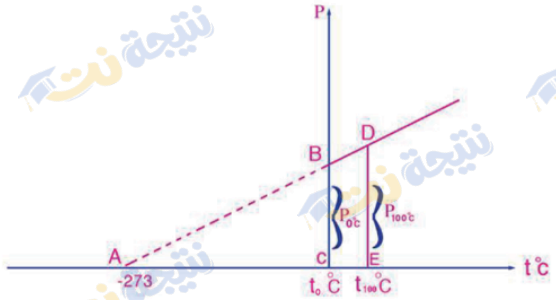



**Figure -(11)**
**La loi de pression**
**La realtion entre la pression et la température à volume constant**

Expérimentalement, il a été trouvé que le coefficient d'augmentation de la pression de l'air à volume constant est égal à $\frac{1}{273}$ pour chaque degré d'élévation de température de 1 °C et il a été trouvé que le coefficient d'augmentation de pression de différents gaz à volumes constants est de même valeur.



nezakr.natega4dk.net

À partir des résultats de l'expérience précédente, on peut conclure ce qui suit :
À volume constant, la pression d'une certaine quantité de gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de sa pression à 0 °C pour chaque élévation de température de 1 °C. C'est **la loi de la pression**.

## Le zéro absolu. (zéro Kelvin)

De la relation graphique dans la figure (12) entre le volume sur l'axe vertical et la température mesuré à l'échelle de degré Celsius sur l'axe horizontal, on obtient une ligne droite. Si on prolonge cette ligne droite on trouve qu'elle coupe l'axe des températures à (-273 °C).

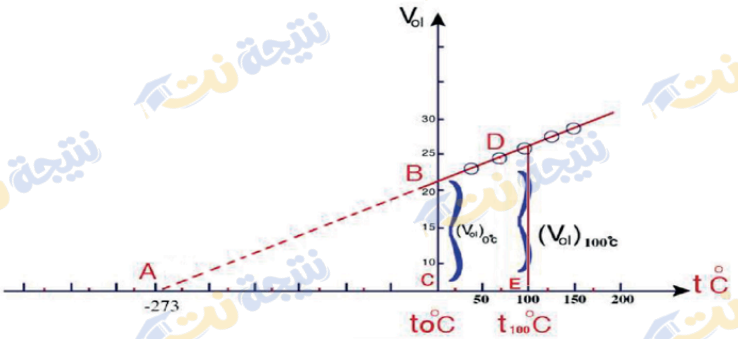



Figure (12)
Déduction du zéro Kelvin par la loi de Charles

On peut aussi utiliser les résultats obtenus de l'expérience avec l'appareil de Jolly et les représenter graphiquement, où la pression est sur l'axe vertical et les températures mesurée à l'échelle de degré Celsius sur l'axe horizontal, on obtient une ligne droite. Si on prolonge cette droite, on trouve qu'elle coupe l'axe des températures aussi à (-273 °C).

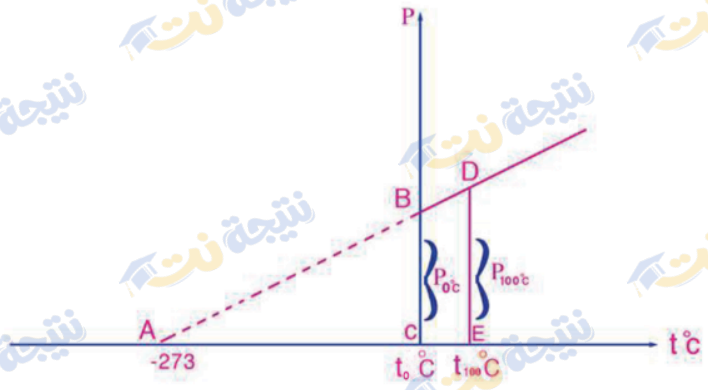



Figure (13)
Déduction du zéro absolu par l'expérience de Jolly



nezakr.natega4dk.net

D'après les figures (12) et (13), la température la plus basse qu'on peut l'atteindre théoriquement est –273 °C, ce qui correspond à ce qu'on appelle le zéro absolu ou zéro Kelvin. C'est la température à laquelle le volume d'un gaz parfait devient nul à pression constante ou la pression devient nulle à volume constant. Sur l'échelle Kelvin, les températures sont toujours positives, tandis que sur l'échelle Celsius (°C), elles peuvent être positives ou négatives.

## La variation du volume et de la pression d'un gaz en fonction de sa température absolue.

Les figures (12) et (13) peuvent être retracées à nouveau en plaçant la température absolue sur l'axe horizontal, ce qui donne les figures (14) et (15), où on observe qu'à 0 K, le volume (Vol = 0) et la pression (P = 0).

Cependant, en réalité, lorsqu'on refroidit fortement une substance, elle ne reste pas à l'état gazeux mais elle se transforme en liquide, et parfois en solide, et ne suit plus les lois des gaz. C'est pourquoi on définit le gaz parfait comme un gaz dont le volume devient nul à pression constante, ou la pression devient nulle à volume constant, à la température du zéro absolu..

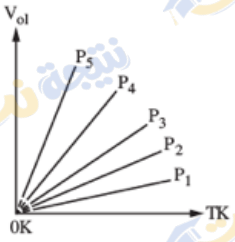



Figure (14)
La relation entre le volume et la température absolue à volume constant

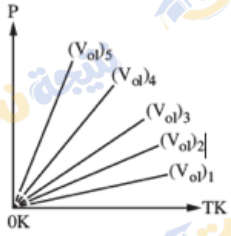



Figure (15)
La relation entre la pression et la température absolue à volume constant

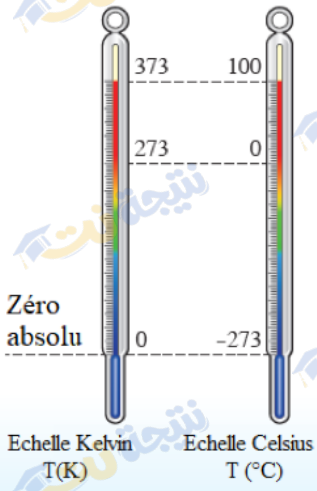
Pour trouver la relation entre l'échelle Celsius et l'échelle Kelvin, on prend en considération les éléments suivants :

0 K correspond à –273 °C

273 K correspond à 0 °C

373 K correspond à 100 °CK

Alors, $T(K) = 273 + t\ (°C)$ **(5)**






nezakr.natega4dk.net

## Autres formes des lois de Charles et de la pression

(1) À l'aide de la figure (8) on peut obtenir une autre formule de la loi de Charles, en exploitant la similarité des triangles ADE et ABC, où:

$$BC = (V_{0l})_1$$

$$DE = (V_{0l})_2$$

$$AC = T_1$$

$$AE = T_2$$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (6)$$

C'est-à-dire que : $\frac{V_{ol}}{T} = \text{const}$

$$V_{ol} \propto T$$

Ainsi, à pression constante, le volume d'une certaine quantité de gaz est directement proportionnel à sa température sur l'échelle Kelvin. Il s'agit d'une autre formule de la loi de Charles.

(2) À l'aide de la figure (11) et en utilisant la même méthode de similarité des triangles, on peut obtenir la relation suivante:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (7)$$

C'est-à-dire que : $\frac{P}{T} = \text{const.}$

$$P \propto T$$

Ainsi, à pression constante, la pression d'une certaine quantité de gaz est directement proportionnelle à sa température sur l'échelle Kelvin. Il s'agit d'une autre formule de la loi de pression.

## La loi générale des gaz

Comme mentionné précédemment, le comportement d'un gaz peut être décrit à l'aide de trois variables : le volume, la pression et la température.

La relation qui lie ces trois variables constitue ce qu'on appelle la loi générale des gaz.

On peut déduire cette loi pour une quantité donnée de gaz comme suit :

De la loi de Boyle : $V_{01} \propto \frac{1}{P}$ À température constante

De la loi de Charles : $V_{01} \propto T$ À volume constant

Donc : $V_{01} \propto \frac{T}{P}$



nezakr.natega4dk.net

D'où $V_{ol} = \text{const} \times \frac{T}{P}$

$\therefore \quad \frac{PV_{ol}}{T} = \text{const}$

Pour comparer ces variables pour une quantité donnée de gaz :

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} \qquad (8)$$

## Informations enrichissantes

De manière générale, la loi générale des gaz parfaits:

$$PV_{ol} = nRT \qquad (9)$$

où :

(n) est le nombre de moles de gaz, (P) est la pression du gaz, ($V_{ol}$) est le volume de la quantité de gaz, (T) est la température du gaz à l'échelle Kelvin et (R) est la constante universelle des gaz, égale à 8,31 J/mol.K

**Le mole :** Est une quantité de la matière dont la masse en grammes est égale à sa masse moléculaire.

**Par exemple :** La masse du mole de dioxygène ($O_2$) est 32 g, de diazote ($N_2$) est 28 g, et de dioxyde de carbone ($CO_2$) est 44 g.

## Développement de la pensée critique

Un ballon rempli de gaz hélium s'élève dans le ciel lorsqu'il est libéré.
Que se passe-t-il pour le volume du ballon à mesure qu'il monte dans le ciel ?
Et quelle est votre interprétation à la lumière de votre étude du comportement des gaz ?



## Exemple 1

Si le volume d'un gaz à 0°C est 450 cm3 , calculez son volume à 91 °C en supposant que sa pression reste constante.

**Solution**

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{450}{(V_{ol})_2} = \frac{273}{273 + 91}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{450 \times 364}{273} = 600 \text{ cm}^3$$



nezakr.natega4dk.net

## Exemple 2

On a chauffé 0,5 litre d'hydrogène de 10 °C à 293 °C, Quel sera son volume en supposant que sa pression reste constante ?

**Solution**

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{500}{(V_{ol})_2} = \frac{273 + 10}{273 + 293}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{500 \times 566}{283} = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ litre}$$

## Exemple 3

Si la pression d'un gaz à 26° C est 59,8 cm de mercure, calculez sa pression à 130 °C sachant que son volume reste constant.

**Solution**

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = \frac{59.8 \times 403}{299} = 80.6 \text{ cm Hg}$$

## Exemple 4

Une quantité de gaz occupe un volume de 380 $cm^3$ à 27 °C et sous pression 60 cm Hg. Calculez son volume à T.P.N.

**Solution**

(T.P.N) signifie que la quantité de gaz est sous une pression de 76 cm Hg et à une température de 0°C ou 273 °K.

$$\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \times 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = \frac{60 \times 380 \times 273}{76 \times 300} = 273 \text{ cm}^3$$



nezakr.natega4dk.net

## Exemple 5

Une quantité de gaz azote occupe un volume de15 litres sous une pression de 12 cm Hg et une quantité de gaz oxygène occupe un volume de 10 litres sous une pression de 50 cm Hg. Les 2 gaz ont été placé dans un récipient fermé de 5 litres de capacité. Si la température des 2 gaz reste constante pendant le mélange, calculez la pression de ce mélange.

### Solution

Chacun des 2 gaz dans le mélange occupe, la capacité du récipient, 5 L. Pour trouver la pression de l'azote dans le mélange, on applique la formule :

$$PV_{ol} = P_1 (V_{ol})_1$$

$$\therefore 12 \times 15 = P_1 \times 5$$

$$P_1 = 36 \text{ cm Hg}$$

Pour trouver la pression de l'oxygène :

$$PV_{ol} = P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_2 = \frac{10 \times 50}{5} = 100 \text{ cm Hg}$$

Et puisque la pression de mélange de 2 gaz est égale à la somme de leur pression partielle, la pression du mélange est alors:

$$P = P_1 + P_2 = 36 + 100 = 136 \text{ cm Hg}$$



nezakr.natega4dk.net

# Résumé

## Premièrement : Définitions et concepts de base:

- Les molécules de gaz sont en mouvement aléatoire et constant, se heurtant les unes aux autres ainsi qu'aux parois du récipient qui les contient.
- Il existe des espaces entre les molécules de gaz, appelés espaces intermoléculaires.
- Loi de Boyle : À température constante, le volume d'une certaine quantité de gaz est inversement proportionnel à sa pression..
- Loi de Charles : À pression constante, le volume d'une certaine quantité de gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de son volume initial à 0 °C pour chaque augmentation de température de 1°C.

Autrement dit, le volume d'une quantité fixe de gaz est directement proportionnel à la température absolue à pression constante.

- Loi de la pression (loi de Gay-Lussac) : À volume constant, la pression d'une certaine quantité de gaz augmente de $\frac{1}{273}$ de sa pression initiale à 0 °C pour chaque augmentation de température 1°C.

Autrement dit, la pression d'une quantité fixe de gaz est directement proportionnelle à la température absolue à volume constant.

- Le coefficient d'augmentation de la pression avec la température à volume constant = au coefficient d'augmentation du volume avec la température à pression constante = $\frac{1}{273}$ par Kelvin. Ce coefficient est constant pour tous les gaz.
- La température absolue (sur l'échelle Kelvin) est égale à la température en Celsius plus.

## Deuxièmement : Lois et relations importantes

Si Vol est le volume d'une quantité de gaz, P sa pression et T sa température sur l'échelle de Kelvin, Donc :

- Loi de Boyle : $(PV_{ol} = \text{const.})$ À température constante .
- Loi de Charles : $(\frac{V_{ol}}{T} = \text{const.})$ À pression constante .
- Loi de la pression (loi de Gay-Lussac) : $(\frac{P}{T} = \text{const.})$ À volume constant .
- Loi générale des gaz parfaits : $\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$
- Coefficient d'augmentation du volume avec la température (à pression constante) :

$$\alpha_v = \frac{V_{t°C} - V_{0°C}}{V_{0°C} \times \Delta t°C} = \frac{1}{273} K^{-1}$$

- Coefficient d'augmentation de la pression avec la température (à volume constant) :

$$\beta_P = \frac{P_{t°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times \Delta t°C} = \frac{1}{273} K^{-1}$$



nezakr.natega4dk.net

# Exercices

## Premièrement : Complétez

Choisissez l'expression qui complète correctement chaque phrase

(a) augmente légèrement. (b) diminue légèrement.

(c) reste constant. (d) se double.

(e) diminue de moitié.

1. Si la pression d'une certaine quantité de gaz se double alors que la température reste constante, le volume .....

2. Si la pression du gaz est constante et que sa température en Kelvin est réduite de moitié, alors son volume .....

## Deuxièmement : Choisissez la bonne réponse

1. Voici quelques affirmations notées par un élève à propos de ce qui se passe lorsque la température d'un pneu rempli d'air augmente :

(I) Augmentation de la pression de l'air dans le pneu

(II) Augmentation du volume de l'air dans le pneu

(III) Diminution de la surface de contact de la roue avec la route

Quelles affirmations sont conformes à ce que tu as étudié ?

a) Les affirmations I et II sont justes b) Toutes les affirmations sont justes

c) Les affirmations I et III sont justes d) Seule l'affirmation III est juste

2. La température du corps humain sur l'échelle Kelvin est approximativement :

a) 310 K b) 37 K c) 373 K d) 100 K

3. Le volume d'une quantité déterminée de gaz est :

a) inversement proportionnel à sa température à pression constante

b) inversement proportionnel à sa pression à température constante

c) directement proportionnel à sa pression à température constante

d) directement proportionnel à sa température lorsque la pression varie

4. La pression d'une quantité de gaz chauffée à volume constant double si la température atteint environ :

a) 20 °C b) 80 °C c) 293 °C d) 410 °C



nezakr.natega4dk.net

5- Si une certaine quantité de gaz est comprimée lentement jusqu'à atteindre la moitié de son volume initial à température constante, alors ...

a) la masse du gaz va doubler
b) la densité du gaz diminue de moitié
c) la pression du gaz sera réduite de moitié
d) la pression du gaz va doubler

## Troisièmement : Questions à développement:

1. Comment démontrer par une expérience que le coefficient de dilatation volumique est le même pour tous les gaz à pression constante ?
2. Décrivez une méthode pour déterminer le coefficient de pression d'un gaz à volume constant et montrez qu'il est constant pour tous les gaz.
3. Comment vérifier expérimentalement la loi de Boyle ?
4. Comment montrer par une expérience que la pression d'une quantité de gaz augmente avec la température à volume constant ?
5. Comment déterminer le zéro Kelvin ?
6. Expliquez la signification du zéro Kelvin et la relation entre la température sur l'échelle Kelvin et celle sur l'échelle Celsius.
7. Déduisez la loi générale des gaz.

## Quatrièmement : Problèmes:

1. Un litre de gaz à 10 °C est chauffé à pression constante. Trouvez son volume à 293 °C. (2 Litres)
2. Un récipient fermé contenant de l'air à 0 °C et une pression de 91 cm Hg est refroidi à –91°C. sa pression est devenue 40 cm Hg. Quelle est la pression de l'air à 0°C? (60 cm Hg)
3. Une quantité d'oxygène occupe un volume de 760 $cm^3$ sous une pression de 84 cm Hg et à 91 °C. Quel sera son volume aux conditions normales (T.P.N: 0 °C, 76 cm Hg) ? (630 $cm^3$)
4. Une fiole contenant de l'air est chauffée de 15 °C à 87 °C. Quelle est la proportion du volume d'air expulsé par rapport au volume initial ? (25 %)
5. Un pneu contient de l'air à une pression de 1,5 atm un jour où la température est de (-3 °C). Calculez la pression lorsque la température atteindra 51 °C, en supposant que le volume reste constant ? (1,8 atm)
6. Une bulle d'air de volume 28 $cm^3$ se trouve à une profondeur de 10,13 m sous l'eau douce. Calculez son volume lorsqu'elle atteint la surface, en supposant que la température de l'eau est de 7 °C au fond et de 27 °C à la surface, que la pression atmosphérique est de $1,013 \times 10^5$ $N/m^2$, que la densité de l'eau est de 1000 $kg/m^3$, et que l'accélération gravitationnelle est de $10m/s^{-2}$. (60 $cm^3$)



nezakr.natega4dk.net