Mes années BAC

Les fiches Tle

Spécialité Physique

NOUVEAU BAC

- Tout le cours en 50 fiches
- Des exos résolus
- Des cartes mentales
- Des quiz corrigés

Pour réussir l'épreuve finale !

bordas



Et en + ton livre sur mobile

Mes années BAC

Les fiches

Tle

Spécialité Physique

David Dubus
Professeur de physique-chimie

Denis Regaud
Agrégé hors classe de physique-chimie

Sandrine Schreyeck
Agrégée de physique-chimie

bordas

Édition : Michel Zelvelder
Maquette : Josiane Sayaphoum
Mise en pages : APS-ie

© Bordas/SEJER, 2021 – ISBN 978-2-04-735904-4

SOMMAIRE

L'ÉPREUVE DU BAC

1 L'épreuve de spécialité physique-chimie 5

Mouvement et interactions

LA MÉCANIQUE DE NEWTON

2 Les vecteurs du mouvement 7
3 Mouvements rectilignes et circulaires 9
4 La deuxième loi de Newton 11
5 Exos résolus 13
6 Carte mentale • Pour réussir le jour J 15
Je me teste / Corrigés 17

MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

7 Champ de pesanteur 19
8 Champ électrique et aspects énergétiques 21
9 Exo résolu 23
10 Carte mentale • Pour réussir le jour J 25
Je me teste / Corrigés 27

MOUVEMENT DANS UN CHAMP DE GRAVITATION

11 Satellites et planètes 29
12 Lois de Kepler 31
13 Exo résolu 33
14 Exo résolu 35
15 Carte mentale • Pour réussir le jour J 37
Je me teste / Corrigés 39

MOUVEMENT D'UN FLUIDE

16 Écoulement d'un fluide 41
17 Fluide incompressible 43
18 Exos résolus 45
19 Carte mentale • Pour réussir le jour J 47
Je me teste / Corrigés 49

L'énergie : conversions et transferts

THERMODYNAMIQUE ET GAZ PARFAIT

20 Le modèle du gaz parfait 51
21 Énergie interne et transferts thermiques 53
22 Bilan thermique et loi de Newton 55
23 Exos résolus 57
24 Carte mentale • Pour réussir le jour J 59
Je me teste / Corrigés 61

Ondes et signaux

ONDES SONORES

25 Intensité et niveau sonores 63
26 Effet Doppler 65
27 Exos résolus 67
28 Carte mentale • Pour réussir le jour J 69
Je me teste / Corrigés 71

DIFFRACTION

29 Diffraction d'une onde 73
30 Angle de diffraction 75
31 Exos résolus 77
32 Carte mentale • Pour réussir le jour J 79
Je me teste / Corrigés 81

INTERFÉRENCES

33 Interférences de deux ondes 83
34 Ondes lumineuses monochromatiques 85
35 Exos résolus 87
36 Exo résolu 89
37 Carte mentale • Pour réussir le jour J 91
Je me teste / Corrigés 93

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

38 La lunette astronomique 95
39 Indications commerciales 97
40 Exo résolu 99
41 Exos résolus 101
42 Carte mentale • Pour réussir le jour J 103
Je me teste / Corrigés 105

ASPECT PARTICULAIRE DE LA LUMIÈRE

43 L'effet photoélectrique 107
44 Interaction photon-matière 109
45 Exos résolus 111
46 Carte mentale • Pour réussir le jour J 113
Je me teste / Corrigés 115

DYNAMIQUE D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE

47 Le condensateur 117
48 Le circuit RC série 119
49 Exos résolus 121
50 Carte mentale • Pour réussir le jour J 123
Je me teste / Corrigés 125

FORMULAIRE 127

L'épreuve de spécialité physique-chimie

1

L'épreuve de physique-chimie comporte deux parties :
– une épreuve écrite comptant pour 16 points sur 20 ;
– une épreuve pratique comptant pour 4 points sur 20.

1 L'ÉPREUVE ÉCRITE

Description de l'épreuve

- Durée : 3 heures 30, elle a lieu fin mars.
- L'épreuve est notée sur 20 points (et compte pour 80 % de la note globale).
- Elle comporte trois exercices indépendants et s'appuie de manière équilibrée sur différents thèmes des programmes*. Les sujets peuvent contenir des documents et inclure des questions relatives aux aspects expérimentaux de la discipline et aux capacités numériques identifiées dans les programmes*.
- Calculatrice : Le sujet précise si l'usage de la calculatrice est autorisé.

L'évaluation portant sur ces notions sera intégrée dans la note figurant sur les bulletins scolaires, prise en compte au baccalauréat. Il est aussi possible d'être interrogé sur ces notions lors du Grand oral ou lors de l'épreuve orale de contrôle (rattrapage).

* Les notions suivantes sont exclues de l'épreuve écrite :
Modéliser l'écoulement d'un fluide (fiches 16 et 17) ;
Décrire la lumière par un flux de photons (fiches 43 et 44).

2 L'ÉPREUVE PRATIQUE D'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES EXPÉRIMENTALES (ECE)

Description de l'épreuve

- Durée : 1 heure, elle a lieu lors du 2e trimestre.
- L'épreuve pratique, notée sur 20 points, compte pour 20 % de la note globale.

Cette évaluation a pour objectif d'évaluer la maîtrise de compétences expérimentales qui mobilisent des connaissances, des capacités expérimentales et des attitudes nécessaires à la fois à la compréhension, à

l'élaboration et à la mise en œuvre d'un protocole expérimental, dans les programmes de la spécialité physique-chimie de première et terminale*.

Chaque candidat tire au sort un sujet. Le sujet est soit à dominante physique, soit à dominante chimie.

On trouve dans l'énoncé : une description du contexte de l'expérimentation, le matériel mis à sa disposition (il est possible que tout ne soit pas utile), des documents de natures différentes et la présentation du travail à effectuer.

Afin que les gestes manipulatoires attendus puissent être observés par l'évaluateur, il est possible d'être amené(e) à devoir l'appeler au cours de l'épreuve. Cela est alors clairement signalé dans le sujet de l'épreuve.

Les compétences évaluées sont les compétences associées à la démarche expérimentale en sciences :

S'approprier

Rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée

Analyser/Raisonner

Choisir, concevoir ou justifier un protocole / dispositif expérimental

Réaliser

Utiliser le matériel (dont l'outil informatique) de manière adaptée
Suivre un protocole en respectant les règles de sécurité
Organiser son poste de travail
Effectuer des mesures avec précision
Effectuer un calcul simple

Valider

Exploiter et interpréter des observations, des mesures
Analyser des résultats de façon critique

Communiquer

Utiliser les notions et le vocabulaire scientifiques adaptés
Présenter, formuler une proposition, une argumentation, une synthèse, une conclusion de manière cohérente, complète et compréhensible

* Les notions suivantes sont exclues de l'épreuve pratique :
Utiliser un dispositif permettant d'étudier la poussée d'Archimède (fiches 16 et 17) ;
Mesurer une pression et une vitesse d'écoulement dans un gaz et dans un liquide (fiches 16 et 17) ;
Utiliser une cellule photovoltaïque (fiches 43 et 44).

Les vecteurs du mouvement

À revoir
OK

2

1 DÉFINITIONS

● Le mouvement d'un point est étudié par rapport à un solide de référence : le référentiel. Celui-ci est associé à un repère afin de définir les distances lors de l'étude. L'utilisation d'une horloge permet d'étudier l'évolution temporelle du mouvement.

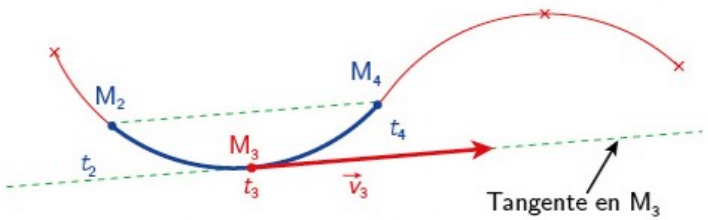
● Dans l'espace, à tout instant t, un point M est repéré par son vecteur position : $\overrightarrow{OM}(t)$.

L'ensemble des positions occupées successivement par le point M au cours du temps constitue la trajectoire de ce point.

● Le vecteur vitesse à l'instant t d'un point M est défini comme la dérivée du vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$ par rapport au temps :

$$\vec{v}(t) = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}(t)}{\mathrm{d}t}$$

Ce vecteur $\vec{v}(t)$ est porté par la tangente à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement. L'unité de sa norme est le mètre par seconde ($\mathrm{m \cdot s^{-1}}$).



Vecteur vitesse $\vec{v}_3$ à l'instant t_3

● Dans la plupart des mouvements, la vitesse varie au cours du temps en norme, en direction, en sens, ou en les trois à la fois. On caractérise cette variation par le vecteur accélération $\vec{a}(t)$. À un instant t, au point M, ce vecteur est égal à la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps :

$$\vec{a}(t) = \frac{\mathrm{d}\vec{v}(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\overrightarrow{OM}(t)}{\mathrm{d}t^2}$$

Remarque

Le vecteur vitesse étant la dérivée du vecteur position, le vecteur accélération est la dérivée seconde de celui-ci.

2 POSITION, VITESSE ET ACCÉLÉRATION

● Un repère cartésien est un repère fixe lié à une origine et disposant de vecteurs de base unitaires qui permettent de repérer un point vis-à-vis de l'origine.

● Dans le repère cartésien $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, les coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ sont :

$$\overrightarrow{OM(t)} \begin{cases} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{cases}$$

Les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}$ sont les dérivées par rapport au temps de celles du vecteur position $\overrightarrow{OM}$.

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = \dfrac{dx}{dt} \\ v_y(t) = \dfrac{dy}{dt} \\ v_z(t) = \dfrac{dz}{dt} \end{cases}$$

La valeur de la vitesse (norme du vecteur vitesse) se calcule ainsi :

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

● Les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ sont :

$$\vec{a}(t) \begin{cases} a_x(t) = \dfrac{dv_x}{dt} = \dfrac{d^2x}{dt^2} \\ a_y(t) = \dfrac{dv_y}{dt} = \dfrac{d^2y}{dt^2} \\ a_z(t) = \dfrac{dv_z}{dt} = \dfrac{d^2z}{dt^2} \end{cases}$$

À noter

Les normes des vecteurs vitesse et accélération sont positives ; en revanche, leurs coordonnées peuvent être négatives.

La valeur de l'accélération (norme du vecteur accélération) se calcule ainsi :

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Mouvements rectilignes et circulaires

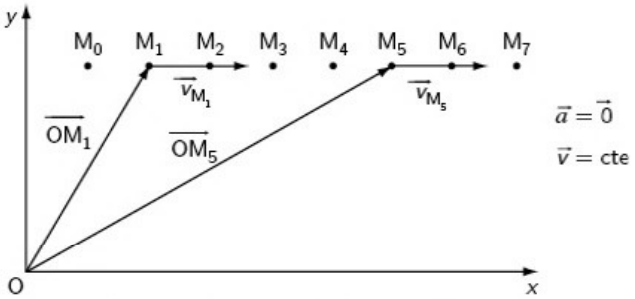
À revoir
OK

3

1 MOUVEMENTS RECTILIGNES

● Un système représenté par un point est en mouvement rectiligne si sa trajectoire est une droite.

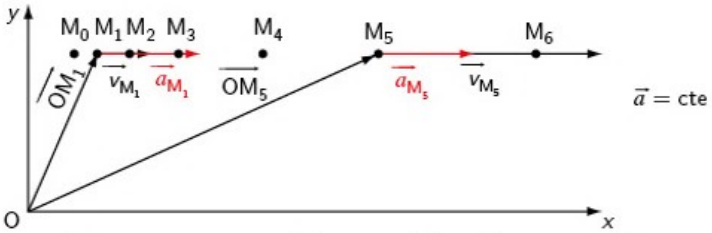
● Un mouvement est rectiligne uniforme si le vecteur vitesse est constant : $\vec{v}$ conserve la même direction, le même sens et la même norme. Le vecteur accélération du mobile est donc nul : $\vec{a}(t) = \vec{0}$.



Mouvement rectiligne uniforme

● Le vecteur accélération d'un point en mouvement rectiligne uniformément varié est constant : sa direction est celle de la trajectoire du point en mouvement ; sa norme et son sens sont constants.

Lorsque $\vec{a}(t)$ et $\vec{v}(t)$ sont de même sens, le mouvement du point est accéléré. S'ils sont de sens contraires, le mouvement est ralenti.



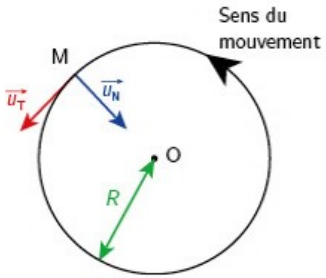
Mouvements rectilignes uniformément variés

2 MOUVEMENTS CIRCULAIRES

● L'étude des mouvements circulaires s'effectue dans le repère de Frenet $(M ; \vec{u}_N, \vec{u}_T)$. Celui-ci est constitué du point M où se trouve le mobile à l'instant t et de deux vecteurs orthonormés $\vec{u}_N$ et $\vec{u}_T$.

● Le vecteur unitaire $\vec{u}_T$ est tangent à la trajectoire au point M et est orienté dans le sens du mouvement.

● Le vecteur unitaire $\vec{u}_N$ est normal à la trajectoire et est orienté vers l'intérieur de la courbe. Dans la base de Frenet, les expressions des vecteurs vitesse et accélération sont :



Repère de Frenet

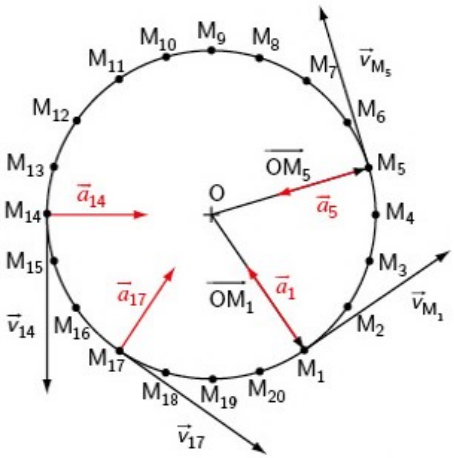
$$\vec{v}(t) = v(t)\vec{u}_T$$

$$\vec{a}(t) = a_N(t)\vec{u}_N + a_T(t)\vec{u}_T = \frac{v(t)^2}{R}\vec{u}_N + \frac{dv(t)}{dt}\vec{u}_T$$

a_N représente la composante normale et a_T la composante tangentielle du vecteur accélération.

● Un point M est en mouvement circulaire uniforme si la valeur v de la vitesse est constante et si la trajectoire est une portion de cercle de rayon R. Le vecteur accélération est alors centripète et ses coordonnées sont, dans la base de Frenet :

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_N = \dfrac{v^2}{R} \\ a_T = \dfrac{dv}{dt} = 0 \text{ puisque la vitesse est constante.} \end{cases}$$



Mouvement circulaire uniforme

$\vec{v}$ tangent au cercle
et v = cte

$\vec{a}$ dirigé vers le centre du cercle
et a = cte

La deuxième loi de Newton

À revoir
OK

4

1 LE CENTRE DE MASSE

- Le centre de masse d'un système, point auquel on associe toute la masse de celui-ci, est utilisé pour simplifier l'étude de son mouvement.
- Lorsque le système est un solide de masse volumique homogène, son centre de masse coïncide avec le centre géométrique.

2 RÉFÉRENTIEL GALILÉEN

- Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié. Le centre de masse d'un système isolé est donc soit au repos, soit en mouvement rectiligne uniforme.

Un référentiel en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un autre référentiel galiléen est un référentiel galiléen.

- À l'échelle des expériences humaines, le référentiel de Copernic est considéré comme la meilleure approximation du référentiel galiléen.

Il est formé du centre de masse G du système solaire, origine du repère associé à trois axes pointant vers des étoiles « fixes » (très éloignées du système solaire).

Remarque

La masse du système solaire étant presque concentrée dans le Soleil lui-même, G est quasiment confondu avec le centre de masse du Soleil. Ainsi, très souvent, on confond ce référentiel avec le référentiel héliocentrique.

- Le référentiel géocentrique est formé du centre de masse O de la Terre, origine du repère, et d'axes parallèles aux axes du référentiel de Copernic. Sur une année, il a un mouvement de translation elliptique par rapport au référentiel de Copernic : ce n'est donc pas un référentiel galiléen.

Cependant, pour quelques jours, le mouvement du référentiel géocentrique par rapport au référentiel de Copernic est pratiquement rectiligne uniforme. On pourra donc le considérer comme un référentiel galiléen.

- La grande majorité des expériences étudiées se font sur Terre. Le référentiel terrestre est lié au sol terrestre.

La Terre tournant autour de l'axe des pôles tout en ayant un mouvement de translation elliptique dans le référentiel de Copernic (révolution de la Terre autour du Soleil), le référentiel terrestre n'est pas galiléen. Cependant, pour des expériences d'une durée de quelques minutes ou proches de la Terre et effectuées sur de faibles distances, le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen.

À savoir

Le référentiel galiléen absolument parfait n'existe pas.

3 ÉNONCÉ DE LA DEUXIÈME LOI DE NEWTON

- Dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération $\vec{a}_G$ de son centre de masse G :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G(t)$$

- À l'aide de la 2e loi de Newton, ou principe fondamental de la dynamique, lorsque l'accélération du centre de masse est connue, on peut déduire la somme vectorielle des forces auxquelles est soumis le système.

- Ainsi, un système soumis à une résultante des forces non nulle voit la vitesse de son centre de masse varier :

$$\vec{a}_0(t) = \frac{\Sigma \vec{F}_{ext}}{m}$$

Lorsque la somme des forces appliquées au système est connue, la deuxième loi de Newton permet de déterminer son accélération.

- Pour un système immobile, $\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0}$, alors $\vec{a}_G(t) = \vec{0}$. Par conséquent, $\vec{v}$ est constant en direction, sens et norme. On retrouve le principe d'inertie.

Exos résolus

À revoir
OK

5

1 EXPLOITER LE REPÈRE DE FRENET

Savoir-faire

- Utiliser le repère de Frenet dans le cas d'un mobile ayant une trajectoire circulaire.
- Citer et exploiter les expressions des coordonnées du vecteur accélération dans le repère de Frenet.

Énoncé

Un mobile ponctuel M retenu par un fil de longueur 3,0 m et de masse négligeable tourne autour d'un axe vertical. Le mouvement s'effectue sans frottement à vitesse constante $v = 5{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ sur un plan horizontal.

Déterminer les coordonnées du vecteur accélération au point M.

Résolution

- Le mobile étudié a une trajectoire circulaire.

Dans le repère de Frenet $(\text{M} ; \vec{T}, \vec{N})$, le vecteur accélération s'écrit :

$$\vec{a} = \frac{\text{d}v}{\text{d}t}\vec{T} + \frac{v^2}{R}\vec{N}$$

- Les coordonnées du vecteur accélération du point M sont donc :

– sur $(\text{M}, \vec{N})$, $a_{\text{N}} = \dfrac{v^2}{R} = \dfrac{5{,}0^2}{3{,}0} = 8{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$;

– sur $(\text{M}, \vec{T})$, $a_{\text{T}} = \dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = 0$, car la vitesse est constante.

L'accélération $\vec{a}$ de M est donc radiale (dirigée selon le rayon de la trajectoire) : elle a pour direction la droite (OM), O étant le centre de la trajectoire.

Son sens est vers O, on dit que l'accélération est centripète.

Sa norme est $a = 8{,}3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Attention

On peut avoir une vitesse constante et une accélération.

Il ne faut pas confondre la vitesse v et le vecteur vitesse $\vec{v}$. Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, la vitesse est constante, mais le vecteur vitesse, lui, ne l'est pas. L'accélération n'est donc pas nulle.

2 DÉTERMINER L'ACCÉLÉRATION D'UN SYSTÈME

Savoir-faire

- Choisir un référentiel galiléen adapté.
- Exploiter la deuxième loi de Newton.

Énoncé

Une automobile de masse $m = 1\,600$ kg roule à vitesse constante en ligne droite sur une route horizontale. Le conducteur décide alors de freiner afin de l'arrêter. L'ensemble formé par les forces de frottement et la force de freinage est équivalent à une force $\vec{F}$ de valeur $F = 4{,}0 \times 10^3$ N.

Durant la phase de freinage, le vecteur accélération du centre de masse G est supposé constant. Quelles sont ses caractéristiques ?

Résolution

- Système étudié : la voiture réduite à son centre de masse G.
- Référentiel d'étude : référentiel terrestre supposé galiléen.
- Bilan des forces extérieures : poids $\vec{P}$, force de freinage et de frottement $\vec{F}$ parallèle au sol et orientée dans le sens opposé au mouvement et la réaction normale de la route $\vec{R}$.
- D'après la 2e loi de Newton, dans un référentiel galiléen, la résultante des forces extérieures appliquées à un système de masse constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre de masse :

$\Sigma\vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$, d'où $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\vec{a}_G$.

Le mouvement étant horizontal, le poids et la réaction de la route sur les pneus se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

D'où $\vec{F} = m\vec{a}_G$ et $\vec{a}_G = \dfrac{\vec{F}}{m}$.

Les caractéristiques du vecteur accélération sont :

$$\vec{a}_G \begin{cases} \text{direction : celle de } \vec{F} \\ \text{sens : celui de } \vec{F} \text{ (opposé au mouvement)} \\ \text{valeur : } a_G = \dfrac{F}{m} = \dfrac{4{,}0 \times 10^3 \text{ N}}{1\,600 \text{ kg}} = 2{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}. \end{cases}$$

6

Carte mentale

Référentiel

Terrestre
Géocentrique } Supposés galiléens
Héliocentrique

La mécanique de Newton

Système réduit à son centre de masse G

- Bilan des forces extérieures s'exerçant sur le système.
- Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$.

Accélération

Le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse : $\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{OM}(t)}{dt^2}$

Mouvement

- **Rectiligne**
  - Uniforme : vecteur vitesse constant.
  - Uniformément varié : vecteur accélération constant.
- **Circulaire : repère de Frenet**
  - Uniforme : la vitesse est constante, l'accélération est constante.

Vitesse

Le vecteur vitesse est la dérivée du vecteur position : $\vec{v}(t) = \frac{d\overrightarrow{OM}(t)}{dt}$

Position

- Dans un repère cartésien : $\overrightarrow{OM}\begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases}$

Pour réussir le jour J !

Problématiques ➡	Réflexes à avoir
Obtenir les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse d'un point mobile :	● dériver les coordonnées du vecteur position du système par rapport au temps.
Obtenir les coordonnées du vecteur accélération d'un point mobile :	● dériver les coordonnées du vecteur vitesse du système par rapport au temps. ● ou dériver deux fois les coordonnées du vecteur position par rapport au temps.
Connaître le type de mouvement d'un mobile :	● utiliser son vecteur accélération.
Étudier le mouvement d'un point ayant une trajectoire circulaire :	● se placer dans le repère de Frenet et utiliser, pour son accélération, la relation : $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{u}_N + \frac{dv}{dt}\vec{u}_T$ ● dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme : si le point tourne à vitesse constante, son accélération, pour autant, n'est pas nulle.
Donner les caractéristiques d'un vecteur vitesse ou accélération :	● se rappeler qu'un vecteur a pour caractéristiques : sa direction, son sens et sa norme. ● lorsqu'on écrit une égalité, il faut faire attention : un vecteur est égal à un vecteur, un scalaire à un scalaire.
Utiliser la deuxième loi de Newton :	● définir le système. ● effectuer un bilan rigoureux des forces extérieures qui s'appliquent au système. ● choisir le référentiel d'étude et justifier son caractère galiléen. ● énoncer la loi.

Je me teste sur...

LA MÉCANIQUE DE NEWTON

1 Si la vitesse $\vec{v}$ d'un objet ponctuel est constante, alors on peut affirmer que le vecteur accélération $\vec{a}$ est :

○ **a.** nul. ○ **b.** constant. ○ **c.** peut être nul.

2 Un système est animé d'une vitesse $\vec{v}$ dont la direction et le sens varient au cours du temps. Parmi les affirmations proposées, laquelle est vraie ?

○ **a.** L'accélération du système est égale à la variation du vecteur vitesse par unité de temps.

○ **b.** Si le système est animé d'un mouvement circulaire uniforme, alors son accélération est nulle.

○ **c.** Le vecteur vitesse est constant.

3 Un meuble de masse $m = 50$ kg est déplacé suivant une trajectoire rectiligne sur un axe horizontal. Il est alors soumis à une force $\vec{F}$ de valeur $F = 400\ t + 50$ N. Quelle est l'expression de la norme de $\vec{a}$ à un instant quelconque ?

○ **a.** $a = 400$. ○ **b.** $a = 8\ t$. ○ **c.** $a = 8\ t + 1$.

4 Un mouvement uniforme est celui d'un système :

○ **a.** ayant une vitesse constante.

○ **b.** allant en ligne droite. ○ **c.** décrivant un cercle.

5 Lorsqu'un système est en mouvement circulaire uniforme :

○ **a.** son vecteur accélération est constant.

○ **b.** son vecteur accélération est centripète.

○ **c.** son vecteur vitesse est constant.

6 Parmi les référentiels mentionnés ci-dessous, le(s)quel(s) est (sont) galiléen(s) ?

○ **a.** Le référentiel géocentrique pour une expérience durant plusieurs années.

○ **b.** Un train qui accélère.

○ **c.** Une voiture qui roule à vitesse constante en ligne droite.

7 Un solide S de masse $m = 10$ kg se déplace en ligne droite sous l'action d'une force constante d'intensité $F = 60$ N.

○ **a.** L'accélération moyenne du solide est de 0,17 $m \cdot s^{-2}$.

○ **b.** L'accélération moyenne du solide est de 6,0 $m \cdot s^{-2}$.

○ **c.** Sa vitesse est de 6,0 $m \cdot s^{-1}$.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** Il ne faut pas confondre $\vec{v}$ (le vecteur vitesse) et v (sa norme). Si le vecteur vitesse est constant, alors le vecteur accélération qui est sa dérivée par rapport au temps est nul. Le mouvement de l'objet ponctuel sera rectiligne et uniforme.

Voir **Fiche 2**

2 > **a.** L'accélération d'un système en mouvement circulaire uniforme n'est pas nulle mais constante en norme, radiale et dirigée vers le centre de la trajectoire. Le vecteur vitesse n'est pas constant puisqu'il change de direction.

Voir **Fiches 2 et 3**

3 > **c.** D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$ en projetant selon Ox :

$$a = \frac{F}{m} = 8t + 1$$

Voir **Fiche 4**

4 > **a.** Lorsque le mouvement d'un mobile s'effectue en ligne droite, on parle de mouvement rectiligne. Lorsque la trajectoire est un cercle, le mouvement est dit circulaire.

Voir **Fiche 3**

5 > **b.** Un système animé d'un mouvement circulaire uniforme a pour trajectoire une portion de cercle et une vitesse de norme v constante. Le vecteur accélération est alors centripète et a une valeur a constante.

Voir **Fiche 3**

6 > **c.** Le référentiel géocentrique est considéré comme galiléen pour quelques jours. Le repère de la voiture peut être considéré comme un référentiel galiléen puisqu'il est en translation rectiligne à vitesse constante par rapport au référentiel terrestre qui est considéré comme galiléen.

Voir **Fiche 4**

7 > **b.** La proposition **a.** est fausse, car $a = \frac{F}{M} = \frac{60}{10} = 6{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
La proposition **c.** est fausse, car on ne peut avoir accès à la valeur de la vitesse ici.

Voir **Fiche 4**

Champ de pesanteur

☐ À revoir
☐ OK

7

● Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est le champ vectoriel créé par la Terre au voisinage de sa surface. Il est dirigé selon la verticale du lieu et orienté vers le bas.

● Dans un domaine limité de l'espace il peut être considéré comme uniforme : le vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ est constant.

1 APPLICATION DE LA 2E LOI DE NEWTON

● Soit un système soumis à son seul poids. D'après la deuxième loi de Newton, $m\vec{g} = m\vec{a}$ et $\vec{a} = \vec{g}$.

Les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ sont :

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = 0 \\ a_z(t) = -g \end{cases}$$

Remarque

La relation $\vec{a} = \vec{g}$ montre que g est homogène à une accélération et peut donc s'exprimer en $m \cdot s^{-2}$.

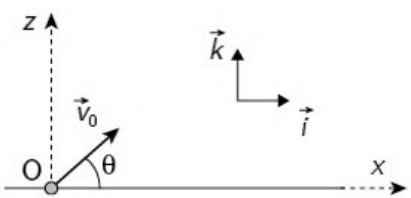
2 ÉQUATION HORAIRE DE LA VITESSE

● Dans le référentiel terrestre, on choisit le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ de telle sorte que le vecteur $\vec{v}_0$ soit dans le plan $(O ; \vec{i}, \vec{k})$. L'angle que fait ce vecteur avec l'horizontale est noté θ. Il a pour coordonnées :

$$\vec{v}_0\begin{cases} v_0 \cos\theta \\ 0 \\ v_0 \sin\theta \end{cases}$$

Les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ sont des primitives de celle du vecteur accélération. D'où, en tenant compte des conditions initiales :

$$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos\theta \\ v_y(t) = 0 \\ v_z(t) = -gt + v_0 \sin\theta \end{cases}$$



Vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ dans le plan $(O ; \vec{i}, \vec{k})$

3 ÉQUATION HORAIRE DE LA POSITION

Le vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$ est une primitive du vecteur vitesse. Le système étant en O à l'instant $t = 0$:

Le mouvement de M s'effectue dans le plan (xyz) contenant le vecteur vitesse $\vec{v}_0$ puisque $y(t) = 0$.

$$\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = v_0 \cos\theta \cdot t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = -\dfrac{1}{2} g t^2 + (v_0 \sin\theta) \cdot t \end{cases}$$

4 ÉQUATION DE LA TRAJECTOIRE

● L'équation de la trajectoire du point est de la forme $z = f(x)$. Pour l'obtenir, il faut éliminer la variable t.

De l'équation $x(t) = v_0 \cos\theta \cdot t$, on tire $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\theta}$.

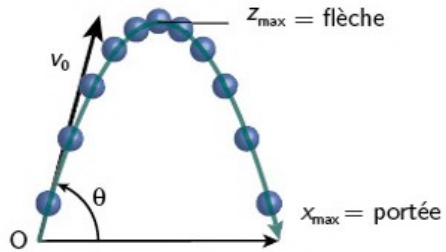
En remplaçant dans l'équation $z(t)$, on obtient :

$$z(x) = -\frac{1}{2} \cdot \frac{g \cdot x^2}{{v_0}^2 \cos^2\theta} + (\tan\theta) \cdot x$$

Cette trajectoire est une portion de parabole.

● La trajectoire est caractérisée par deux grandeurs : la flèche et la portée.

La portée correspond à la distance entre le point de lancement O et le point d'impact sur l'axe horizontal. En ce point : $z = 0$. Il faut résoudre l'équation du second degré $z(x) = 0$. La portée est maximale pour $\theta = 45°$.



Représentation de la portée et de la flèche d'une trajectoire

La flèche est la hauteur maximale atteinte par le projectile. En ce point, la vitesse ne possède qu'une composante horizontale. Elle est donc obtenue pour $v_z = 0$.

Champ électrique et aspects énergétiques

À revoir
OK

8

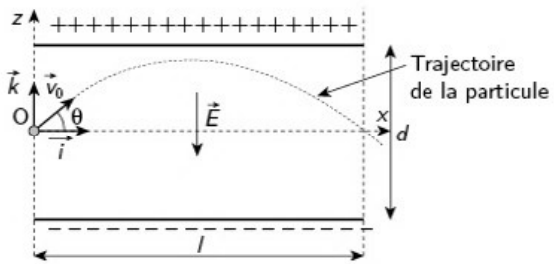
1 MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE

● Dans le schéma ci-dessous, on a représenté une particule positive de charge q et de masse m placée à l'intérieur d'un condensateur plan.

Dans celui-ci règne un champ électrique uniforme $\vec{E}$ égal à : $\vec{E} = \frac{-U}{d}\vec{k}$.

U est la tension entre les armatures (en V), d la distance entre les armatures et $\vec{E}$ le champ électrique de norme E (en $V \cdot m^{-1}$).

Le système n'est soumis qu'à la force électrique $\vec{F}_e$ car le poids de la particule est négligeable devant celle-ci.



Mouvement d'une particule positive dans un condensateur plan

D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{F}_e = m\vec{a}$, ainsi : $\vec{a} = \frac{\vec{F}_e}{m} = q\frac{\vec{E}}{m}$.

● Le vecteur accélération est constant, dirigé selon le vecteur champ électrique. On peut obtenir ses coordonnées, puis celles des vecteurs vitesse et position par intégration, comme dans la fiche 7, en remplaçant le vecteur $\vec{g}$ par $\frac{q\vec{E}}{m}$:

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = 0 \\ a_z(t) = -\dfrac{qE}{m} \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_0\cos\theta \\ v_y(t) = 0 \\ v_z(t) = -\dfrac{qE}{m}t + v_0\sin\theta \end{cases}$$

D'où les équations horaires des coordonnées du vecteur position :

$$\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\theta)\cdot t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = -\dfrac{qE}{2m}t^2 + (v_0 \sin\theta)\cdot t \end{cases}$$

- Le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique avec un vecteur vitesse initiale non nul $\vec{v}_0$ s'effectue dans un plan formé par les vecteurs $\vec{v}_0$ et $\vec{E}$.

Dans le plan (xOz), l'équation de la trajectoire est :

$$z(x) = -\frac{qE}{2m}\cdot\frac{x^2}{{v_0}^2\cos^2\theta} + (\tan\theta)\cdot x$$

La trajectoire du centre de masse d'une particule circulant dans un champ électrique avec un vecteur vitesse initiale non nul $\vec{v}_0$ est une portion de parabole dont la concavité dépend du signe de la charge de la particule.

Attention

La trajectoire d'une particule n'est pas toujours dans le sens du champ.

2 ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

- La variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B est égale à la somme des travaux des forces s'exerçant sur le système entre ces points :

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F})$$

- L'énergie mécanique d'un système en un point est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de ce système en ce point :

$$E_m = E_p + E_c$$

- La variation de l'énergie mécanique d'un système, en mouvement entre deux points A et B, est égale à la somme des travaux des forces non conservatives qu'il subit au cours du mouvement :

$$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{nc})$$

- Lorsqu'un système n'est soumis, au cours de son mouvement, qu'à des forces conservatives (comme le poids $\vec{P}$ ou la force électrique $\overrightarrow{Fe}$) et/ou des forces dont le travail est nul, son énergie mécanique reste constante. L'énergie cinétique se transforme alors en énergie potentielle et inversement au cours du mouvement.

Exo résolu

À revoir
OK

9

DÉTERMINER LA TRAJECTOIRE D'UNE PARTICULE

Savoir-faire

- Appliquer la 2e loi de Newton.
- Déterminer la primitive d'une fonction afin d'établir les équations horaires du mouvement.
- Établir l'équation de la trajectoire.

Énoncé

Un électron de masse m et de charge négative $-e$ pénètre en un point O entre les deux plaques d'un condensateur plan où règne un champ électrique uniforme $\vec{E} = E\vec{k}$. Son poids peut être négligé.

Sa vitesse initiale $\vec{v}_0$ s'écrit $\vec{v}_0 = v_0 \cos\theta \vec{i} + v_0 \sin\theta \vec{k}$, où $\vec{i}$ et $\vec{k}$ sont les vecteurs unitaires des axes Ox et Oz.

Déterminer les équations horaires et l'équation de la trajectoire du mouvement de l'électron. Montrer que ce mouvement est plan.

Résolution

- Le système étudié dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen est l'électron.

L'électron n'est soumis qu'à la force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}$, soit $\vec{F}_e = -e\vec{E}$.

D'après la 2e loi de Newton : $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$, d'où $\vec{F}_e = m\vec{a}$

Or $\vec{F}_e = -e\vec{E}$, donc $-e\vec{E} = m\vec{a}$ et $\vec{a} = \dfrac{-e\vec{E}}{m}$.

Dans $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ sont donc :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = \dfrac{-eE}{m} \end{cases}$$

$$\text{Or } \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ donc } \vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = C_1 \\ v_y(t) = C_2 \\ v_z(t) = -\dfrac{e}{m}t + C_3 \end{cases}$$

De plus $\overrightarrow{v_0}\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos\theta \\ v_{0y} = 0 \\ v_{0z} = v_0 \sin\theta \end{cases}$

Par identification $C_1 = v_0 \cos\theta$, $C_2 = 0$ et $C_3 = v_0 \sin\theta$.

D'où :

$$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos\theta \\ v_y(t) = 0 \\ v_z(t) = -\dfrac{eE}{m}t + v_0 \sin\theta \end{cases}$$

Or $\vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ donc $\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\theta)\cdot t + C_4 \\ y(t) = C_5 \\ z(t) = -\dfrac{eE}{2m}t^2 + (v_0 \sin\theta)\cdot t + C_6 \end{cases}$

Or, à $t = 0$, l'électron M est en O (0, 0, 0), donc $C_4 = 0$, $C_5 = 0$ et $C_6 = 0$.

D'où :

$$\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\theta)\cdot t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = -\dfrac{eE}{2m}t^2 + (v_0 \sin\theta)\cdot t \end{cases}$$

Ce mouvement est plan, car l'une des coordonnées (y) du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ ne dépend pas du temps.

- Pour obtenir l'équation de la trajectoire, il faut éliminer la variable t :

$$x = v_0 \cos\theta \cdot t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos\theta}$$

En remplaçant dans $z(t)$ et en simplifiant, on obtient :

$$z(x) = -\frac{eE}{2m} \cdot \frac{x^2}{{v_0}^2 \cos^2\theta} + (\tan\theta)\cdot x$$

10

Carte mentale

Système

2e loi de Newton

- Champ de pesanteur : $m\vec{g} = m\vec{a}$ et $\vec{a} = \vec{g}$
- Champ électrique : $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}_e}{m} = q\dfrac{\vec{E}}{m}$

Mouvement dans un champ uniforme

Équations horaires du mouvement

	Champ de pesanteur	Champ électrique
Accélération	$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_z(t) = -g \end{cases}$	$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_z(t) = -\dfrac{qE}{m} \end{cases}$
Vitesse	$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_0\cos\theta \\ v_z(t) = -gt + v_0\sin\theta \end{cases}$	$\vec{v}(t)\begin{cases} v_x(t) = v_0\cos\theta \\ v_z(t) = -\dfrac{qE}{m}t + v_0\sin\theta \end{cases}$
Position	$\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = v_0\cos\theta\cdot t \\ z(t) = -\dfrac{1}{2}gt^2 + (v_0\sin\theta)\cdot t \end{cases}$	$\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases} x(t) = v_0\cos\theta\cdot t \\ z(t) = -\dfrac{qE}{2m}t^2 + (v_0\sin\theta)\cdot t \end{cases}$

Équation de la trajectoire

- $z(x) = -\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{g\cdot x^2}{v_0^2\cos^2\theta} + (\tan\theta)\cdot x$
- $z(x) = -\dfrac{qE}{2m}\cdot\dfrac{x^2}{v_0^2\cos^2\theta} + (\tan\theta)\cdot x$

Aspects énergétiques

Théorème de l'énergie cinétique

- $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F})$

Variation de l'énergie mécanique

- $\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_{nc})$

Pour réussir le jour J !

Problématiques ➡	Réflexes à avoir
Établir les équations horaires du mouvement dans un champ de pesanteur uniforme :	• se rappeler qu'un solide en chute libre n'est soumis qu'à son poids. • utiliser la 2e loi de Newton afin d'obtenir les coordonnées de l'accélération du système. • intégrer ses coordonnées pour obtenir les coordonnées du vecteur vitesse, puis celles du vecteur position. • utiliser les conditions initiales pour obtenir les constantes d'intégration. • veiller à l'orientation de l'axe Oz au moment de donner l'expression de la coordonnée a_z.
Établir les équations horaires du mouvement dans un champ électrique uniforme :	• une particule dans un champ électrique n'est soumise qu'à la force électrique, son poids est négligeable. • utiliser la 2e loi de Newton afin d'obtenir les coordonnées de l'accélération du système. • intégrer ses coordonnées pour obtenir les coordonnées du vecteur vitesse, puis celles du vecteur position. • utiliser les conditions initiales pour obtenir les constantes d'intégration. • tenir compte du sens du champ et du signe de la particule lorsque l'on cherche le signe de la projection de l'accélération sur l'axe Oy.
Déterminer l'équation de la trajectoire :	• éliminer la variable t dans les équations horaires du mouvement.
Déterminer l'intensité d'une force, la vitesse d'un système ou l'altitude atteinte par celui-ci :	• utiliser la variation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique.

Je me teste sur...

MOUVEMENT DANS UN CHAMP UNIFORME

1 En un point proche de la Terre, le champ de pesanteur est :

○ **a.** le poids. ○ **b.** uniforme. ○ **c.** vertical.

2 La trajectoire plane d'un projectile lancé dans le repère (O ; *x*, *z*) est donnée par l'équation :

○ **a.** $z = f(x)$. ○ **b.** $z = f(t)$. ○ **c.** $x = f(t)$.

3 Un projectile est lancé dans un plan (xOz), avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ formant un angle θ par rapport à l'axe (Ox). À un instant t, la composante v_x de son vecteur vitesse est :

○ **a.** $-gt + v_0 \cos\theta$. ○ **b.** $-\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin\theta \cdot t$.

○ **c.** $v_0 \cos\theta$.

4 Dans un champ électrique, l'accélération $\vec{a}$ d'une particule :

○ **a.** ne dépend pas de ce champ.

○ **b.** est perpendiculaire à $\vec{E}$.

○ **c.** est colinéaire à $\vec{E}$.

5 Un champ électrostatique $\vec{E}$ est uniforme si :

○ **a.** l'intensité E reste constante dans tout l'espace.

○ **b.** la direction du vecteur $\vec{E}$ reste la même.

○ **c.** le vecteur $\vec{E}$ reste constant dans tout l'espace.

6 Un projectile est lancé avec le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ formant un angle θ avec l'horizontale. Il ira d'autant plus haut que :

○ **a.** l'angle que fait $\vec{v}_0$ avec la verticale est faible.

○ **b.** l'angle que fait $\vec{v}_0$ avec l'horizontale est faible.

○ **c.** l'angle que fait $\vec{v}_0$ avec l'horizontale se rapproche de 45°.

7 On applique une tension électrique U entre deux plaques parallèles. Il se crée un champ électrostatique $\vec{E}$ entre celles-ci :

○ **a.** orienté de la plaque négative vers la plaque positive.

○ **b.** orienté de la plaque positive vers la plaque négative.

○ **c.** uniforme entre les plaques.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **b.** et **c.** À proximité de la Terre, le champ de pesanteur et le poids d'un objet de masse m sont liés par $\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$.

Voir **Fiche 7**

2 > **a.** Les réponses **b.** et **c.** sont des équations horaires du mouvement.

Voir **Fiche 7**

3 > **c.** Les réponses **a.** et **b.** représentent les équations horaires du mouvement, pour respectivement x et z.

Voir **Fiche 7**

4 > **c.** D'après la deuxième loi de Newton, on a $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$.
$\vec{a}$ et $\vec{E}$ sont donc colinéaires.

Voir **Fiche 8**

5 > **c.** Un champ est uniforme dans une région de l'espace si ses caractéristiques sont les mêmes en tout point de cette région.

Voir **Fiche 8**

6 > **a.** L'équation de la composante verticale du mouvement est $z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\theta) \cdot t$.
z augmentera à mesure que θ se rapprochera de 90° et donc que l'angle que fait $\vec{v}_0$ avec la verticale diminuera.

Voir **Fiche 7**

7 > **b.** et **c.** Le champ électrostatique est toujours orienté de la plaque positive vers la plaque négative.

Voir **Fiche 8**

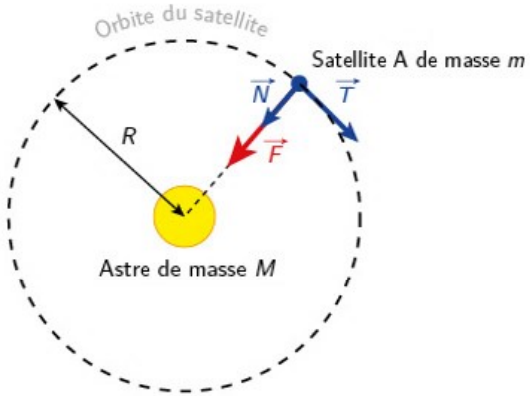
Satellites et planètes

À revoir
OK

11

1 SYSTÈME EN ORBITE CIRCULAIRE

● Pour étudier le mouvement d'un système autour d'un astre, dans un champ de gravitation newtonien (champ de forces régi par la loi d'attraction de Newton), on utilise un référentiel astrocentrique considéré comme galiléen durant l'étude.



Mouvement circulaire et repère de Frenet

● Dans le cadre de l'approximation des trajectoires circulaires, un satellite de centre de masse A et de masse m parcourt une orbite circulaire de rayon R autour d'un astre attracteur de masse M. L'étude s'effectue dans le référentiel astrocentrique supposé galiléen muni du repère de Frenet centré sur A.

Le satellite est soumis à la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par l'astre ayant pour expression dans le repère de Frenet :

$$\vec{F} = G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2} \vec{N}$$

D'après la deuxième loi de Newton, on a :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

avec $\vec{a}$ le vecteur accélération du satellite.

Dans le repère de Frenet (A, $\vec{N}$, $\vec{T}$), $\vec{a} = a_N\vec{N} + a_T\vec{T}$, d'où :

$$G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2} \vec{N} = m \cdot \left(a_N\vec{N} + a_T\vec{T}\right) \Leftrightarrow G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2} \vec{N} = ma_N\vec{N} + ma_T\vec{T}$$

Donc, par identification :

$$\begin{cases} ma_N = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{R^2} \\ ma_T = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a_N = G \cdot \dfrac{M}{R^2} \\ a_T = 0 \end{cases}$$

Comme le mouvement est circulaire, les coordonnées de l'accélération de A s'écrivent aussi :

$$a_T = \frac{dv}{dt} \text{ et } a_N = \frac{v^2}{R}$$

- **Nature du mouvement** : l'égalité des coordonnées de $\vec{a}$ sur $(A ; \vec{T})$ conduit à la relation $\dfrac{dv}{dt} = 0$ à chaque instant, alors : $v =$ constante.

Le mouvement est donc uniforme dans le référentiel astrocentrique.

- **Valeur de la vitesse** : l'égalité des coordonnées de $\vec{a}$ sur $(A ; \vec{N})$ conduit à la relation $\dfrac{v^2}{R} = G \cdot \dfrac{M}{R^2}$, soit :

$$v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{R}}$$

- **Période de révolution** : la période de révolution T d'un satellite est la durée nécessaire à celui-ci pour accomplir une révolution complète autour de l'astre attracteur.

La longueur L d'une orbite est égale à la circonférence du cercle, soit :

$$L = 2\pi R$$

D'où : $v = \dfrac{L}{T} = \dfrac{2\pi R}{T}$.

Soit : $v = \sqrt{G \cdot \dfrac{M}{R}} = \dfrac{2\pi R}{T} \Leftrightarrow T = 2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$.

2 CAS DES SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES

- Un satellite est géostationnaire s'il reste en permanence à la verticale d'un point de la surface terrestre.
- L'orbite d'un satellite géostationnaire est contenue dans le plan de l'équateur. Immobile dans un référentiel terrestre, il est en mouvement circulaire uniforme dans un référentiel géocentrique.
- La période de révolution d'un tel satellite est égale à la période de rotation de la Terre (environ 24 heures).

Lois de Kepler

À revoir
OK

12

Au début du XVIIe siècle, à l'aide des résultats des observations de Tycho Brahe, Kepler énonça trois lois relatives au mouvement des planètes autour du Soleil.

1 PREMIÈRE LOI : LOI DES ORBITES

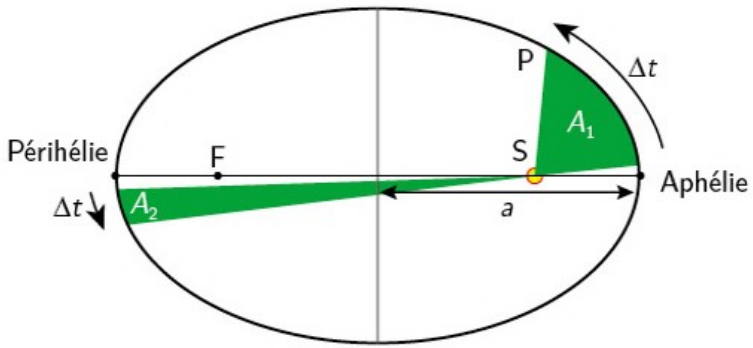
- Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de masse d'une planète est décrite par une ellipse dont l'un des foyers est le centre de masse du Soleil.
- Une ellipse est l'ensemble des points P dont la somme des distances à deux points fixes S et F, dits foyers, est constante : $PF + PS = 2a$ (voir le schéma).

Le demi-grand axe, de longueur a, correspond à la moitié du grand axe et joint le centre au bord de l'ellipse à travers l'un des foyers.

Le cercle est un cas particulier d'ellipse dont les foyers sont confondus en son centre.

2 DEUXIÈME LOI : LOI DES AIRES

- Le segment de droite reliant le centre du soleil S au centre de la planète P balaye des aires A_i égales pendant des durées Δt égales.



La loi des aires : $A_1 = A_2$

● La vitesse d'une planète P n'est pas constante le long de sa trajectoire elliptique autour du Soleil : elle augmente en s'approchant de celui-ci et diminue lorsqu'elle s'en éloigne.

La vitesse de P est donc maximale à la périhélie (point le plus éloigné de la trajectoire d'un objet en orbite autour du Soleil) et minimale à l'aphélie (point le moins éloigné de la trajectoire d'un objet en orbite autour du Soleil).

● Lorsque S et F, les deux foyers, sont confondus, l'ellipse devient un cercle de rayon $R = a$. Dans ce cas, pour des aires balayées égales, les distances parcourues sur l'orbite sont les mêmes : le mouvement circulaire d'un satellite est nécessairement uniforme

3 TROISIÈME LOI : LOI DES PÉRIODES

● Le rapport entre le carré de la période de révolution T (temps, en secondes, mis par une planète pour faire le tour de son orbite) d'une planète et le cube du demi-grand axe a (en mètres) de son orbite est une constante k (en $s^2 \cdot m^{-3}$) pour toutes les planètes du système solaire :

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

À savoir

La constante k ne dépend pas de la planète considérée. Elle ne dépend que de la masse m de l'astre autour duquel les corps sont en orbite.

● Si la trajectoire est circulaire, le demi-grand axe a est égal au rayon R de la trajectoire, donc : $\frac{T^2}{R^3} = k$ et $k = \frac{4\pi^2}{Gm}$.

● Les lois de Kepler, bien qu'écrites pour les planètes de notre système solaire, s'appliquent pour tout corps en orbite elliptique autour d'un astre attracteur et permettent d'en prévoir le mouvement.

Exo résolu

À revoir
OK

13

OBTENIR LA VITESSE D'UN SYSTÈME EN ORBITE CIRCULAIRE

Savoir-faire

- Appliquer la deuxième loi de Newton.
- Déterminer les caractéristiques du vecteur accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien.
- Utiliser le repère de Frenet pour montrer que le mouvement d'une planète est uniforme.
- Calculer la vitesse du centre de masse d'un système.

Énoncé

Dans le référentiel héliocentrique, la planète Mars M de masse m possède une orbite circulaire autour du Soleil S de masse M. Soit R la distance entre les centres de masse de la planète Mars et du Soleil.

Montrer que le mouvement du centre de masse de Mars est uniforme. Calculer sa vitesse.

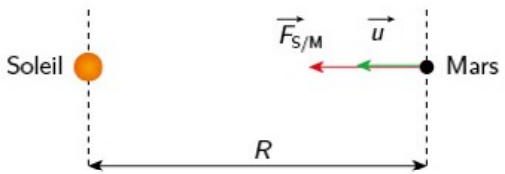
Données : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2} ; $R = 2{,}28 \times 10^{11}$ m ; $M = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg ; $m = 6{,}39 \times 10^{23}$ kg.

Résolution

- Système étudié : {Mars}.
- Référentiel d'étude : héliocentrique, supposé galiléen.
- Bilan des forces extérieures : force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par le Soleil sur Mars :

$$\vec{F}_{S/M} = G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2} \vec{u}$$

Un vecteur unitaire $\vec{u}$ est orienté de Mars vers le Soleil.



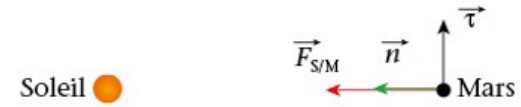
● D'après la deuxième loi de Newton, on a : $\sum \vec{F} = \vec{F}_{S/M} = m\vec{a}_M$.

D'où :

$$G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2}\vec{u} = m\vec{a}_M \Leftrightarrow \vec{a}_M = G \cdot \frac{M}{R^2}\vec{u}$$

Remarque

On peut qualifier la direction et le sens du vecteur accélération respectivement de radiale (qui est dirigé selon un rayon) et de centripète.



● Dans le repère de Frenet (M, $\vec{n}$, $\vec{\tau}$), le vecteur accélération s'écrit : $\vec{a}_M = \frac{v^2}{R}\vec{n} + \frac{dv}{dt}\vec{\tau}$. Avec $\vec{n} = \vec{u}$, on a : $\vec{a}_M = \frac{v^2}{R}\vec{u} + \frac{dv}{dt}\vec{\tau}$.

En égalant les deux expressions de l'accélération, il vient :

$$G \cdot \frac{M}{R^2}\vec{u} = \frac{v^2}{R}\vec{u} + \frac{dv}{dt}\vec{\tau}$$

Par identification, on obtient :

$$\begin{cases} \text{sur } (M,\vec{u}) : G \cdot \dfrac{M}{R^2} = \dfrac{v^2}{R} \\ \text{sur } (M,\vec{\tau}) : 0 = \dfrac{dv}{dt} \Rightarrow v = \text{constante} \end{cases}$$

La vitesse de la planète est constante, donc le mouvement est uniforme.

● Valeur de la vitesse

L'égalité des coordonnées de $\vec{a}$ sur $(M ; \vec{n})$ conduit à la relation :

$$\frac{v^2}{R} = G \cdot \frac{M}{R^2}, \text{ soit } v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{R}}$$

Application numérique :

$$v = \sqrt{6{,}67 \times 10^{-11}\,\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \times \frac{1{,}99 \times 10^{30}\ \text{kg}}{2{,}28 \times 10^{11}\ \text{m}}} = 2{,}41 \times 10^4\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Exo résolu

À revoir
OK

14

DÉTERMINER LA MASSE D'UN ASTRE ATTRACTEUR

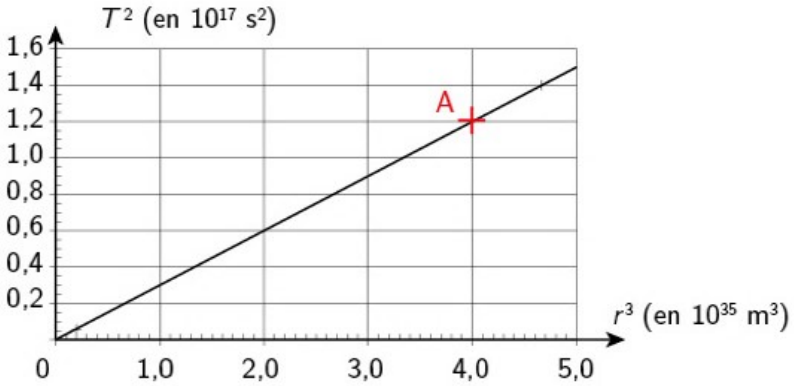
Savoir-faire

- Énoncer et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire.

Énoncé

On modélise les trajectoires des planètes du système solaire dans le référentiel héliocentrique par des cercles de rayon r dont le centre O est celui du Soleil de masse M.

Le graphe représente l'évolution du carré de la période de révolution des planètes Terre, Mars et Jupiter en fonction du cube du rayon de leur orbite.



1. L'orbite d'un astre de rayon r supposée circulaire est décrite à une vitesse $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$. Établir l'expression de sa période de révolution.
2. Que peut-on déduire du graphique proposé ? Justifier.
3. Montrer que le résultat de la question 1. est conforme au tracé du graphique proposé.
4. Comment nomme-t-on la loi mise en évidence ?

5. Quelle est la masse du Soleil ?

Données : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Résolution

1. La période de révolution T est la durée nécessaire à un objet pour faire un tour complet de son orbite. La longueur de celle-ci est égale au périmètre du cercle de rayon r, soit $2\pi r$, d'où $v = \dfrac{2\pi r}{T}$ et $T = \dfrac{2\pi r}{v}$.

En utilisant l'expression de v proposée, on obtient :

$$\sqrt{\frac{GM}{r}} = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{et} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

2. La courbe représentative de la fonction $T^2 = f(r^3)$ est une droite passant par l'origine. On en déduit que T^2 et r^3 sont proportionnels.

3. En élevant l'expression obtenue en **1.** au carré, on obtient :

$$T^2 = 4\pi\frac{r^3}{GM}, \text{ d'où } T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} \cdot r^3$$

$\dfrac{4\pi^2}{GM}$ est une constante, car G et M sont des constantes.

4. On a donc entre T^2 et r^3 une relation mathématique de forme : $T^2 = k \cdot r^3$. La période de révolution au carré est proportionnelle au cube du rayon de l'orbite : c'est la troisième loi de Kepler.

5. Soient les points A $(4{,}0 \times 10^{35},\ 1{,}2 \times 10^{17})$ et O $(0, 0)$ du graphique :

$$k = \frac{T_A^2 - T_O^2}{r_A^3 - r_O^3} = \frac{1{,}2 \times 10^{17}\ \text{s}^2 - 0\ \text{s}^2}{4{,}0 \times 10^{35}\ \text{m}^{-3} - 0\ \text{m}^{-3}} = 3{,}0 \times 10^{-19}\ \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}.$$

Or, $k = \dfrac{4\pi^2}{GM}$ et $M = \dfrac{4\pi^2}{G \cdot k}$

Application numérique :

$$M = \frac{4\pi^2}{6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \times 3{,}0 \times 10^{-19}\ \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}} = 2{,}0 \times 10^{30}\ \text{kg}.$$

15

Carte mentale

Mouvement dans un champ de gravitation

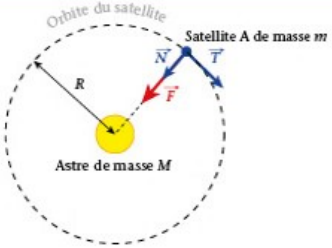
Mouvement circulaire des satellites et des planètes

Vitesse $v = \sqrt{G \cdot \frac{M}{R}}$

Période $T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

Accélération de A $\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{T} = \frac{v^2}{R}\vec{N}$

Force exercée par l'astre sur A $\vec{F} = G \cdot \frac{m \cdot M}{R^2}\vec{N}$



Satellite géostationnaire

- $T = 1$ jour ;
- fixe dans un référentiel terrestre ;
- en mouvement circulaire uniforme dans un référentiel géocentrique ;
- en orbite dans le plan de l'équateur ;
- à une altitude d'environ 36 000 km.

Orbite elliptique : lois de Kepler

Valables pour tout corps en orbite elliptique autour d'un astre.

1re loi : loi des orbites

Le centre d'une planète décrit une ellipse dont le centre du Soleil est l'un des foyers.

2e loi : loi des aires

$A_1 = A_2$ pendant des durées Δt égales. Voir schéma fiche 12.

3e loi : loi des périodes

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

avec a, demi-grand axe de l'ellipse, et T, temps mis par la planète pour faire le tour de son orbite.

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Obtenir l'expression du vecteur accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire :	• savoir énoncer la forme vectorielle de la loi de gravitation. • appliquer ensuite la deuxième loi de Newton dans le référentiel galiléen idoine.
Déterminer les caractéristiques de la vitesse du centre de masse d'un système en mouvement circulaire :	• exprimer les coordonnées du vecteur accélération dans le repère de Frenet et l'identifier à l'expression du vecteur accélération du centre de masse du système trouvée précédemment.
Obtenir la période de révolution du système :	• utiliser l'expression de la vitesse (ou sa valeur) trouvée précédemment, ainsi que le fait que, pendant une période, le système parcourt la distance $2\pi R$ (R rayon de l'orbite).
Établir la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire :	• la déduire de l'expression de la période de révolution en fonction du rayon de la trajectoire.
Reconnaître un satellite géostationnaire :	• la période de rotation du satellite doit être égale à un jour sidéral. • la vitesse de rotation de la Terre est uniforme : celle du satellite doit l'être aussi. • sa trajectoire est circulaire, centrée sur le centre de la Terre. • il doit tourner dans le même sens à une altitude d'environ 36 000 km. • le plan de l'orbite est confondu avec le plan équatorial.

Je me teste sur...

MOUVEMENT DANS UN CHAMP DE GRAVITATION

1 **Dans quel référentiel Saturne a-t-elle un mouvement circulaire ?**

○ a. Géocentrique. ○ b. Saturnocentrique. ○ c. Héliocentrique.

2 **Que peut-on dire de la vitesse de la Lune en orbite circulaire autour de la Terre ?**

○ a. Elle est nulle.
○ b. Elle augmente sur une partie de la trajectoire, puis diminue sur l'autre.
○ c. Elle est constante.

3 **Dans l'approximation des trajectoires circulaires, la période de révolution d'un satellite :**

○ a. dépend seulement de sa vitesse de révolution.
○ b. est proportionnelle au cube du rayon de son orbite.
○ c. varie en $\sqrt{r^3}$.

4 **Dans la troisième loi de Kepler, $\frac{T^2}{a^3} = k$:**

○ a. k est une constante universelle à l'image de G, la constante gravitationnelle.
○ b. k dépend de la masse de l'astre attracteur.
○ c. k dépend de la masse de l'objet en mouvement autour de l'astre.

5 **Un satellite en mouvement circulaire uniforme de rayon r autour d'un astre de masse M a une vitesse d'expression :**

○ a. $v = \frac{GM}{r^2}$. ○ b. $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$. ○ c. $v = \frac{r}{GM}$.

6 **Un satellite géostationnaire :**

○ a. a une période de révolution égale à celle de la Terre.
○ b. peut se trouver à la verticale de New York.
○ c. a une altitude précise.

7 **Que peut-on dire de l'accélération d'un satellite en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre ?**

○ a. Elle est nulle.
○ b. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse.
○ c. Elle double lorsque la vitesse double.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **c.** Le référentiel héliocentrique est utilisé pour étudier le mouvement des astres en orbite autour du Soleil.

Voir **Fiche 11**

2 > **c.** C'est sur une trajectoire elliptique que la vitesse varie.

Voir **Fiche 12**

3 > **a.** et **c.** La période de révolution d'un satellite dépend de sa vitesse, mais également du rayon de sa trajectoire. La troisième loi de Kepler a pour forme : $\frac{T^2}{r^3} = k$. Le carré de la période est donc proportionnel au cube du rayon de l'orbite.

Voir **Fiches 11 et 12**

4 > **b.** La constante k ne dépend pas de l'objet considéré. Elle ne dépend que de la masse de l'astre autour duquel les corps sont en orbite.

Voir **Fiche 12**

5 > **b.** En utilisant les coordonnées de l'accélération dans le repère de Frenet on aboutit à : $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$.

Voir **Fiche 11**

6 > **c.** L'orbite d'un satellite géostationnaire est située dans le plan de l'équateur. Il la parcourt à une altitude d'environ 36 000 km. Sa période de révolution est égale à la période de rotation propre de la Terre.

Voir **Fiche 11**

7 > **b.** Lorsqu'un satellite est en mouvement circulaire uniforme, son accélération a pour expression $a = \frac{v^2}{r}$. Il y a donc une relation de proportionnalité entre l'accélération et le carré de la vitesse.

Voir **Fiche 11**

Écoulement d'un fluide

À revoir
OK

16

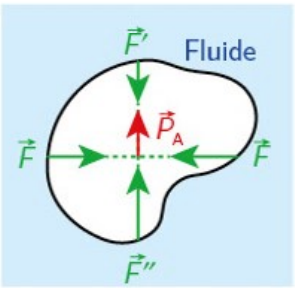
1 LA POUSSÉE D'ARCHIMÈDE

● Nous ressentons la poussée d'Archimède lors d'une baignade. Les sous-marins tirent parti de cette poussée pour plonger ou remonter à la surface de l'eau. Il en est de même des montgolfières, qui montent et descendent dans l'atmosphère.

Attention

Lors d'un bilan des forces appliquées à un système, il ne faut pas oublier la poussée d'Archimède.

● Lorsqu'un objet est placé dans un fluide, il subit une poussée $\vec{P}_A$ de bas en haut. La cause de cette poussée est la résultante des forces pressantes exercées sur cet objet, qui est d'autant plus importante que la surface sur laquelle s'exercent ces forces est grande.



Modélisation de la poussée d'Archimède

● Les deux points à la même profondeur subissent des forces pressantes qui se compensent. Ainsi, la résultante des forces latérales est nulle. En revanche, $F' < F''$, car la surface subissant $\overrightarrow{F''}$ est à une plus grande profondeur que celle subissant $\overrightarrow{F'}$.

● La poussée d'Archimède est égale et opposée au poids du fluide « déplacé » :

$$\vec{P}_A = -\vec{P}_{fluide} = -m_{fluide} \cdot \vec{g} = -\rho_{fluide} \cdot V_{fluide} \cdot \vec{g}$$

$$\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$$

$\vec{P}_A$ est la poussée d'Archimède (en N), ρ_{fluide} la masse volumique du fluide (en kg · m^{-3}), V le volume du fluide déplacé égal au volume occupé dans le fluide par l'objet (en m^3) et $\vec{g}$ représente le champ de gravitation : $g = 9{,}81$ N · kg^{-1}.

2 ÉCOULEMENT EN RÉGIME PERMANENT

● Afin de déterminer les lois utilisables concernant les mouvements des fluides, il est nécessaire de rechercher les grandeurs qui se conservent.

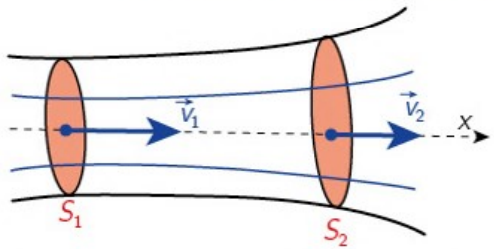
● On considère par exemple un fluide circulant dans un tube. Pour des durées identiques, le volume de liquide traversant la section S_1 (en m^2) est égal au volume traversant la section S_2.

Par conséquent, le **débit volumique**, défini par $D_v = \frac{dV}{dt}$ en $m^3 \cdot s^{-1}$, se conserve. On a $\frac{dV}{dt} = \text{constante}$.

En exprimant le volume sous la forme $V = S \cdot x$: $\frac{d(S \cdot x)}{dt} = S \cdot \frac{dx}{dt} = \text{constante}$, on obtient $S \cdot v = \text{constante}$, v étant la vitesse du fluide en $m \cdot s^{-1}$.

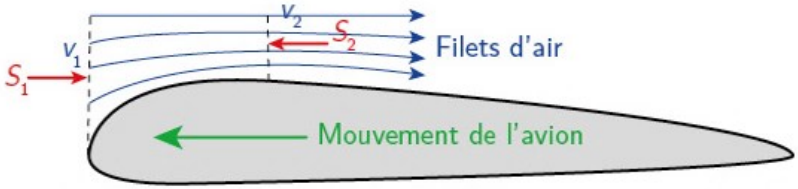
$$D_v = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Cette relation traduit la **conservation du débit volumique**.



Lignes de courant et vecteurs vitesse du fluide dans un tube de section variable

● La forme d'une aile d'avion a pour conséquence de rétrécir l'écart entre les lignes de courant correspondant aux filets d'air. La surface frontale S_1 étant plus grande que la surface de fuite S_2, la conservation du débit volumique impose à la vitesse de l'air v_2 d'être plus importante que v_1. Cette accélération, en accord avec la 2e loi de Newton, est à l'origine de la force de portance de l'avion.



Filets d'air au-dessus de l'aile d'un avion ou extrados

Fluide incompressible

À revoir
OK

17

1 RELATION DE BERNOULLI

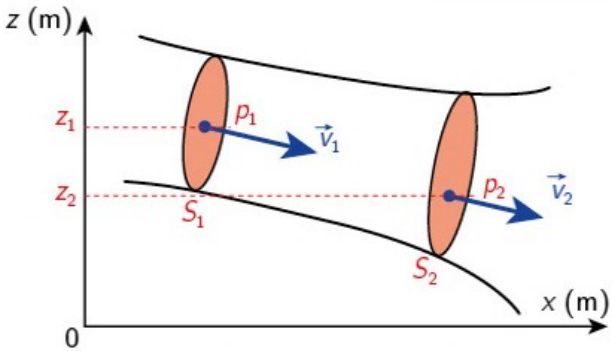
- Un fluide est dit **incompressible** si son volume ne varie pas sous l'effet d'une force pressante. Sa **masse volumique ρ** est alors **constante**.
- Le débit volumique d'un fluide incompressible se conserve.
- La relation de Bernoulli fait appel à la **conservation de l'énergie volumique** ou énergie par unité de volume de matière du fluide entre deux instants.
- Pour un fluide incompressible et isolé, l'énergie volumique du fluide se conserve entre les sections S_1 et S_2 :

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

p est la **pression en un point** (en Pa), z l'altitude (en m), g l'intensité de la pesanteur, ρ la masse volumique du fluide (en $kg \cdot m^{-3}$) et v la vitesse du fluide (en $m \cdot s^{-1}$).

Rappel

L'unité légale de pression est le pascal (Pa) avec : $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5$ Pa.



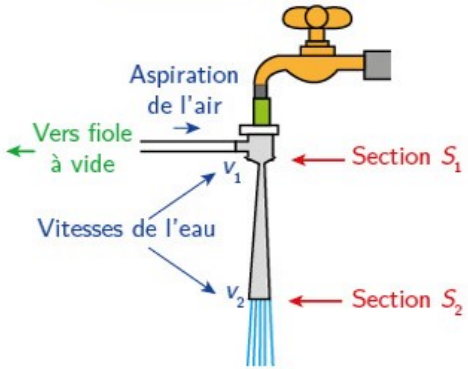
Conservation de l'énergie volumique du fluide

- Dans le cas d'un barrage hydroélectrique, les pressions p_1 à la surface de l'eau de la retenue et p_2 à la surface de l'eau au niveau de la turbine sont égales à celle de l'air ambiant.

La **différence d'altitude** entre z_1 et z_2 est responsable d'une augmentation de l'**énergie cinétique** de l'eau par application de la relation de Bernoulli. L'énergie cinétique ainsi créée est utilisée pour faire tourner des turbines et produire de l'**énergie électrique**.

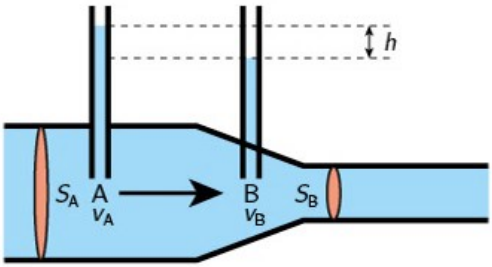
2 EFFET VENTURI

● En chimie, la filtration sur Büchner est accélérée grâce à la baisse de pression occasionnée par la circulation rapide de l'eau dans un tuyau de section variable. C'est l'effet Venturi.



Principe de l'aspiration de l'air sur Büchner

● L'effet Venturi apparaît lorsqu'une conduite de fluide présente un étranglement. La conduite passe d'une section S_A à une section S_B.



Modélisation de l'effet Venturi

● On applique alors la relation de Bernoulli pour deux points de même altitude z :

$$p_A + \frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 = p_B + \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2$$

On en déduit que :

si $v_B > v_A$, alors $p_B < p_A$

À noter

$\rho \cdot g \cdot z$ et $\frac{1}{2}\rho \cdot v_i^2$ sont de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique volumiques. Ce sont des grandeurs homogènes à des pressions.

● Le rétrécissement du tube se traduit ainsi par une augmentation de la vitesse du fluide et par une chute de la pression. Elle est mise en évidence par la hauteur d'eau h entre les deux « prises » A et B.

Exos résolus

À revoir
OK

18

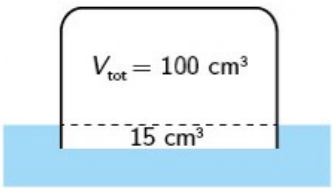
1 ÉVALUER LA POUSSÉE D'ARCHIMÈDE

Savoir-faire

- Analyser la situation en déterminant quel fluide est déplacé et de quel volume.
- Exprimer littéralement la poussée d'Archimède.
- Effectuer l'application numérique en faisant attention aux unités.

Énoncé

Un tube bouché de 100 cm^3 rempli d'air de masse volumique 1,3 $kg \cdot m^{-3}$ est retourné sur un récipient contenant de l'eau de masse volumique 1 000 $kg \cdot m^{-3}$. Il plonge partiellement en repoussant l'eau comme représenté ci-contre.



Quelle est la valeur de la poussée d'Archimède subie par le tube ?

Donnée : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

Résolution

- La poussée d'Archimède est égale et opposée au poids du fluide déplacé. Dans ce cas, le fluide est l'eau, qui se déplace d'un volume de 15 cm^3 comme représenté sur la figure.
- La poussée d'Archimède s'écrit : $\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$. Sa norme a pour expression $P_A = \rho_{fluide} \cdot V \cdot g$.

Application numérique :

$P_A = \rho_{fluide} \cdot V \cdot g = 1\,000 \times 15 \times 10^{-6} \times 9{,}81 = 0{,}15$ N.

Le tube subit une poussée d'Archimède de 0,15 N.

Rappel

La masse volumique en $kg \cdot m^{-3}$ a pour expression $\rho = \frac{m}{V}$.

N représente l'unité de force, le newton.

2 UTILISER LA RELATION DE BERNOULLI

Savoir-faire

- Faire correspondre chaque valeur de la relation de Bernoulli avec la situation donnée.
- Exprimer chacun des termes de l'équation de façon à faire apparaître les données.

Énoncé



Un tube de Pitot est un instrument qui permet de connaître la vitesse d'un avion en mesurant des pressions dans l'air. Le tube mesure dans un premier compartiment la pression totale p_t exercée par l'entrée d'air et dans un second la pression « statique » p_s provenant de prises d'air latérales. La pression statique p_s est la pression du fluide immobile, qui ne tient pas compte du mouvement de l'air à la vitesse v.

Quelle est la vitesse de l'avion dans l'air, soit la vitesse de l'air par rapport à l'avion, si on mesure un écart de pression $\Delta p = p_t - p_s = 30$ mbar ?

Donnée : masse volumique de l'air : 1,3 kg · m^{-3}.

Résolution

- Dans le cas général, la relation de Bernoulli est donnée par :

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

On fait correspondre cette relation avec la situation, en remarquant qu'il s'agit d'une relation entre des pressions. La pression statique p_S est représentée à droite et à gauche de l'équation par les termes de pression correspondant à de l'air fixe : $p_s = p + \rho \cdot g \cdot z$. La pression dynamique est donnée par $p_d = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2$. La somme de la pression statique et de la pression dynamique constitue la pression totale : $p_t = p_d + p_s$.

- On fait apparaître les données de l'énoncé :

$p_t = \frac{1}{2}\rho \cdot v^2 + p_s$ donne $v = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$, d'où $v = \sqrt{\frac{2 \times 30 \times 10^2}{1{,}3}}$ $= 68$ m · s^{-1}.

L'avion vole à 68 m · s^{-1}, c'est-à-dire à environ 245 km/h.

19

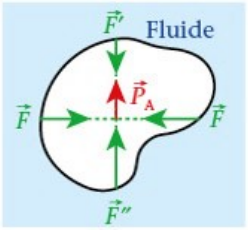
Carte mentale

La poussée d'Archimède

Observation

- Tout corps placé dans un fluide subit une poussée de bas en haut égale au poids du fluide déplacé :

$$\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$$



Cause

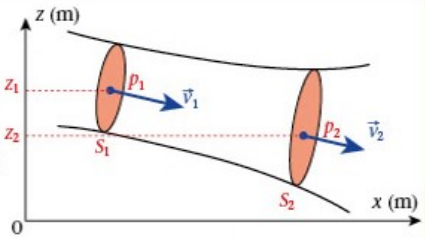
- La poussée d'Archimède est due à la variation de **pression** avec la profondeur ou l'altitude.

Mouvement d'un fluide

Écoulement d'un fluide en régime permanent et relation de Bernoulli

- Un fluide **incompressible** possède une masse volumique constante.
- En régime permanent, le **débit volumique** d'un fluide en mouvement se conserve :

$$D_V = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$



- Relation de **Bernoulli** (conservation de l'énergie) :

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

Application à l'effet Venturi

- Lors de la circulation d'un fluide dans une canalisation, une **diminution** de sa **section** s'accompagne :
  - d'une **augmentation** de la **vitesse du fluide** ;
  - d'une **diminution** de la **pression dans la canalisation**.

Pour réussir le jour J !

Problématiques ➡	Réflexes à avoir
Expliquer la poussée d'Archimède :	● connaître les caractéristiques de la **poussée d'Archimède** : – action de bas en haut subie par un objet placé dans un fluide. – due à la **variation de pression** exercée sur les surfaces de l'objet par le fluide avec la profondeur ou l'altitude. – le poids du fluide déplacé a pour expression vectorielle : $\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$
Exprimer l'écoulement d'un fluide en régime permanent :	● connaître l'expression du débit volumique : $D_V = \frac{dV}{dt} = S \cdot v$ ● utiliser la conservation du débit volumique entre deux instants en régime permanent : $D_V = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$
Exploiter la relation de Bernoulli :	● savoir qu'un fluide **incompressible** a une **masse volumique constante.** ● savoir que la relation de Bernoulli est une relation entre des pressions (en Pa). ● exprimer la relation de Bernoulli entre deux instants : $p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$ ▪ p est la pression au point considéré ; ▪ $\rho \cdot g \cdot z$ est l'énergie potentielle volumique du fluide ; ▪ $\frac{1}{2}\rho \cdot v^2$ est l'énergie cinétique volumique du fluide.
Utiliser l'effet Venturi :	● savoir que l'effet Venturi est une conséquence de la relation de Bernoulli. ● comprendre que lorsqu'une section de fluide en mouvement se rétrécit, la vitesse du fluide augmente et la pression diminue.

Je me teste sur...

MOUVEMENT D'UN FLUIDE

1 **Quelle est l'expression correcte de la poussée d'Archimède ?**

○ a. $\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$. ○ b. $\vec{P}_A = -V \cdot \vec{g}$.

○ c. $\vec{P}_A = \rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$.

2 **Dans l'eau, comment varie la pression avec la profondeur ?**

○ a. Elle diminue. ○ b. Elle augmente. ○ c. Elle ne varie pas.

3 **Quelle est la formule correcte du débit volumique ?**

○ a. $D_V = \frac{dt}{dV}$. ○ b. $D_V = \frac{d\rho}{dt}$. ○ c. $D_V = \frac{dV}{dt}$.

4 **Quelle est l'unité légale du débit volumique ?**

○ a. Le $L \cdot s^{-1}$. ○ b. Le $m^3 \cdot s$. ○ c. Le $m^3 \cdot s^{-1}$.

5 **En régime permanent, comment varie la vitesse d'un fluide dans une canalisation plus large en sortie qu'en entrée ?**

○ a. Elle augmente. ○ b. Elle diminue. ○ c. Elle ne varie pas.

6 **Quelle est la caractéristique d'un fluide incompressible ?**

○ a. V = constante. ○ b. v = constante. ○ c. ρ = constante.

7 **De quelle loi générale est tirée la relation de Bernoulli ?**

○ a. La conservation de la masse.
○ b. La conservation de l'énergie.
○ c. Le principe de l'inertie.

8 **Dans le cas d'une canalisation en pente ascendante, quelle grandeur physique faut-il modifier pour faire monter un liquide ?**

○ a. La pression. ○ b. La vitesse.
○ c. La masse volumique.

9 **Dans une canalisation se rétrécissant, comment varient la pression et la vitesse d'un fluide en circulation ?**

○ a. p augmente et v diminue.
○ b. p diminue et v diminue.
○ c. p diminue et v augmente.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** La poussée d'Archimède est opposée vectoriellement au poids du fluide déplacé, mais égale en valeur, d'où l'existence d'un signe « moins » dans l'expression vectorielle. Le volume de fluide étant difficile à estimer, il est plus commode de le remplacer par le volume de l'objet plongé dans le fluide.

Voir **Fiche 16**

2 > **b.** La pression augmente avec la profondeur, car le poids du fluide situé au-dessus de l'objet augmente avec la profondeur. Une différence de pressions existe alors entre le dessus et le dessous de l'objet.

Voir **Fiche 16**

3 > **c.** Le débit volumique est la variation du volume de fluide au cours du temps, ce qui se traduit par la relation $\frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t}$.

Voir **Fiche 16**

4 > **c.** Le $\mathrm{L} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ pourrait aussi convenir. Cette unité est d'ailleurs souvent utilisée dans la pratique, mais ce n'est pas l'unité légale.

Voir **Fiche 16**

5 > **b.** C'est une conséquence de la conservation du débit volumique $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$. Comme $S_2 > S_1$, $v_2 < v_1$.

Voir **Fiche 16**

6 > **c.** Un fluide incompressible est caractérisé par la constance de la masse volumique, car son volume ne change pas sous l'effet de forces pressantes.

Voir **Fiche 17**

7 > **b.** La relation de Bernoulli est une conséquence de la conservation de l'énergie et plus précisément de l'énergie volumique. On l'obtient en écrivant la conservation de l'énergie et en divisant par le volume du fluide. Elle relie ainsi des pressions entre elles.

Voir **Fiche 17**

8 > **a.** D'après la relation de Bernoulli, faire monter un liquide nécessite une augmentation de son énergie potentielle volumique. Il faut donc augmenter la pression, car les vitesses finale et initiale sont nulles.

Voir **Fiche 17**

9 > **c.** D'après l'effet Venturi, la pression diminue et la vitesse augmente dans un étranglement. C'est une conséquence de la relation de Bernoulli.

Voir **Fiche 17**

Le modèle du gaz parfait

À revoir
OK

20

Un gaz est dit parfait lorsque les entités le constituant sont considérées comme ponctuelles et sans interactions entre elles, ce qui est courant au vu de leurs dimensions, de l'ordre du nanomètre, et des distances qui les séparent, environ dix fois supérieures à ces dimensions.

1 MASSE VOLUMIQUE

● Un ballon de baudruche ou de football est un système fermé contenant un volume V d'entités constituant le gaz.

● La masse volumique ρ de ce système gazeux d'entités est le quotient en $kg \cdot m^{-3}$ de la masse des entités par le volume occupé par les entités :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M}{V}$$

À noter

La masse volumique de l'air tient compte du pourcentage des entités présentes et vaut approximativement $1{,}3\ g \cdot L^{-1}$.

2 TEMPÉRATURE THERMODYNAMIQUE

● Les thermomètres à liquide tirent parti de la dilatation des liquides avec la température. L'échelle centésimale des températures de Celsius utilise cette propriété en prenant l'eau comme référence. À l'échelle microscopique, plus un système a une température élevée et plus ses entités sont agitées. Cette température d'agitation est appelée la température thermodynamique (ou absolue). Elle s'annule lorsque cesse l'agitation des entités.

● La température en kelvins est liée à la température en degrés Celsius par la relation : $T\,(K) = \theta\,(°C) + 273{,}15$.

D'après cette définition, il existe un zéro absolu des températures pour lequel l'agitation est nulle. Cette température a pour valeur –273,15 °C.

3 PRESSION

● Les entités formant le gaz choquent fréquemment la paroi du ballon. Ces chocs exercent globalement une pression en liaison avec leur vitesse. La pression résultante s'appelle la pression cinétique p_c.

● Par ailleurs, certaines entités subissent des répulsions de natures différentes de la paroi du ballon. La résultante de cette pression, appelée pression moléculaire p_m, est négative. La pression totale, en pascals (Pa), exercée par le gaz, est la somme de ces deux termes :

$$p = p_c + p_m$$

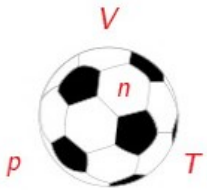
Rappel

On utilise également le bar, avec 1 bar = 1×10^5 Pa.

4 ÉQUATION D'ÉTAT DU GAZ PARFAIT

● Dans une cocotte-minute, la pression exercée par les molécules d'eau à l'état gazeux est proportionnelle à la température absolue. Un ballon gonflé à l'air chaud se dilate en raison de l'augmentation de la température de l'air : le volume du gaz est proportionnel à la température absolue. Un plongeur expulse de petites bulles de gaz dont le volume augmente en remontant à la surface : la pression d'un gaz et son volume sont inversement proportionnels.

● Un ballon de football gonflé contient n moles d'air. Il possède un volume V, une pression p et une température T.



Grandeurs caractéristiques d'un gaz parfait

Si on continue à lui injecter de l'air à volume et température constants, sa pression va augmenter proportionnellement à la quantité d'air injectée.

● L'ensemble de ces observations montre que les grandeurs de pression p, volume V, quantité de matière n et température T sont liées entre elles par une équation unique traduisant l'état du gaz :

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

avec p en Pa, V en m^3, n en mol et T en K. R est une constante de proportionnalité appelée constante des gaz parfaits : R = 8,314 USI.

● La loi du gaz parfait a pour limite des pressions élevées pour lesquelles les volumes des entités doivent être pris en compte et les pressions cinétiques et moléculaires corrigées en conséquence.

Énergie interne et transferts thermiques

À revoir
OK

21

1 ÉNERGIE INTERNE D'UN SYSTÈME

- Chaque entité du gaz possède une énergie cinétique microscopique $E_{c,mic}$ et une énergie potentielle microscopique $E_{p,mic}$.
- L'énergie interne U en joules (J) d'un système est la somme de toutes ces énergies microscopiques :

$$U = \sum_i E_{c,mic,i} + E_{p,mic,i}$$

U représente l'état énergétique du système.

2 PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE

- Un système isolé n'échange pas d'énergie avec l'extérieur. Par conservation de l'énergie, on peut écrire $\Delta U = 0$.
- En revanche, un système non isolé peut échanger de l'énergie avec l'extérieur sous forme de transfert thermique ou de chaleur Q et/ou du travail W, à condition que son énergie interne U varie. Cette loi de conservation de l'énergie constitue le premier principe de la thermodynamique :

$$\Delta U = Q + W$$

3 CAPACITÉ THERMIQUE ET ÉNERGIE INTERNE

Pour un système incompressible, c'est-à-dire de volume quasiment constant, $W = -p \cdot \Delta V = 0$. La variation d'énergie interne se traduit uniquement par un transfert thermique. U augmente si la température du système augmente et diminue si sa température diminue. On peut alors écrire :

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

c est la capacité thermique massique (en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) et représente la capacité d'un kilogramme de la substance considérée à stocker de l'énergie thermique.

Exemple : l'eau possède une capacité thermique massique de valeur élevée, de l'ordre de $4{,}18\ kJ \cdot kg^{-1}$. C'est la raison pour laquelle il faut du temps pour la chauffer.

4 LES TRANSFERTS THERMIQUES

● Une casserole d'eau chauffée subit différentes formes de transfert d'énergie thermique :

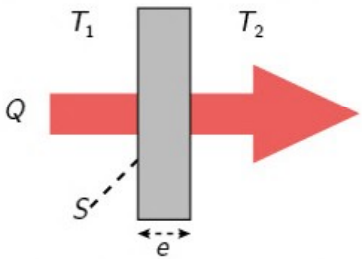
– la flamme fournit de l'énergie thermique par contact ou conduction ;

– les différences de température existant à l'intérieur du liquide entraînent une circulation du fluide ou convection ;

– comme tout corps chaud, l'ensemble dégage de l'énergie par rayonnement.

● Conduction, convection et rayonnement sont les trois modes de transfert d'énergie thermique.

● On considère une paroi de surface S et d'épaisseur e séparant deux milieux de température T_1 et T_2. Si $T_1 > T_2$, on constate qu'un transfert thermique Q a toujours lieu de la partie chaude vers la partie froide.



Transfert thermique Q

● Le flux thermique φ est la puissance thermique transférée en watts (W). C'est aussi de l'énergie thermique transférée par seconde :

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$$

avec Q en joules (J) et Δt en secondes (s).

● λ étant la conductivité thermique spécifique d'un matériau :

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot S}{e} \cdot (T_1 - T_2)$$

avec S en m^2, e en m, T en K et λ en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

● Le flux thermique est la conséquence d'une différence de température. On appelle résistance thermique R_{th} la grandeur en $K \cdot W^{-1}$ définie par :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

Bilan thermique et loi de Newton

À revoir
OK

22

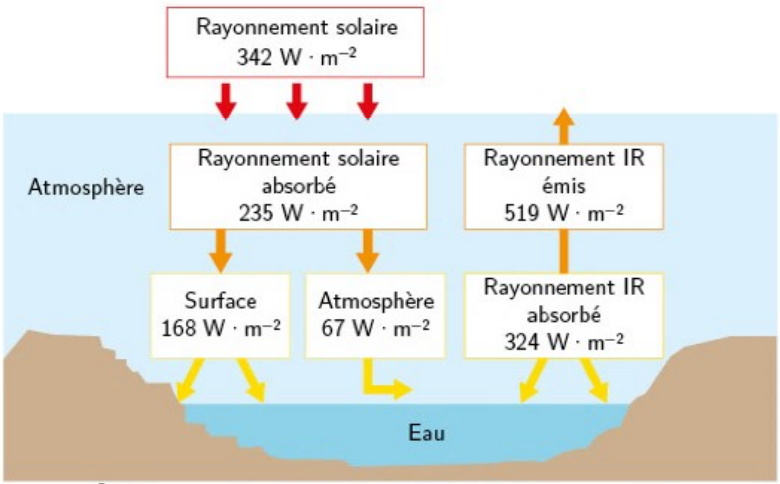
1 LE BILAN THERMIQUE DANS L'ATMOSPHÈRE

● La Terre reçoit de l'énergie du Soleil par rayonnement et perd de l'énergie par rayonnement infrarouge selon la loi de Stefan-Boltzmann :

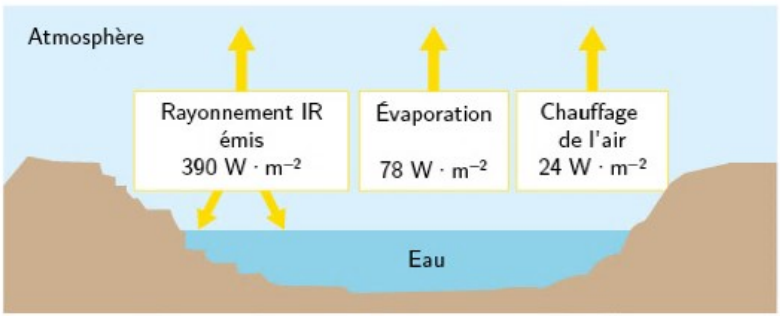
$$P = \sigma \cdot S \cdot T^4$$

avec P la puissance rayonnée (en W) par un corps porté à la température T (en K), S la surface (en m^2) et σ la constante de Stefan de valeur $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.

● Par ailleurs, des échanges existent entre l'atmosphère et l'espace, ainsi qu'entre l'atmosphère et le sol.



Échanges thermiques au sein de l'atmosphère



Pertes thermiques au niveau du sol

● On appelle albédo A le quotient de la puissance solaire diffusée et réfléchie par l'atmosphère par la puissance solaire reçue. C'est une valeur comprise entre 0 et 1. Un albédo important signifie qu'une plus grande puissance thermique est renvoyée.

L'albédo terrestre est en moyenne de 0,3.

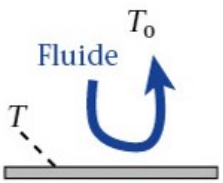
● La présence de gaz à effet de serre a pour effet de conserver l'énergie thermique dans l'atmosphère.

● Le bilan radiatif global, c'est-à-dire la somme des énergies thermiques reçues et émises, est équilibré. Une baisse de l'albédo et/ou une augmentation de la concentration en gaz à effet de serre entraîne une augmentation de cette température moyenne.

2 LOI DE NEWTON

● La loi de Newton sur les échanges thermiques modélise l'évolution de la température d'un système, souvent un solide, au contact d'un thermostat, c'est-à-dire d'un autre système, de température constante, souvent un fluide en circulation.

● On considère des échanges thermiques ayant lieu à la surface de contact entre un corps à la température $T(t)$ (T dépendant du temps) et un fluide constituant le thermostat à la température T_0, de l'air par exemple.



Échanges thermiques entre une surface et un fluide

● La loi de Newton indique que la variation de la température est proportionnelle à la différence de température entre le corps et le thermostat :

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = -k \cdot \left(T(t) - T_0\right)$$

avec k une constante de proportionnalité homogène à l'inverse d'un temps. On pose souvent : $k = \frac{1}{\tau}$, avec τ une constante de temps (en s).

● En faisant un bilan d'énergie pour un système incompressible, il est possible de modéliser l'expression de la température, cette dernière dépendant du temps (voir fiche 23).

Exos résolus

À revoir
OK

23

1 EFFECTUER UN BILAN D'ÉNERGIE

Savoir-faire

- Écrire le premier principe de la thermodynamique et l'appliquer au système étudié.
- Exprimer les échanges thermiques de chaque élément du système.
- Résoudre l'équation obtenue.

Énoncé

Une personne emporte 150 mL de café à 65 °C dans une bouteille thermos. Au moment de le servir, elle le refroidit en ajoutant 20 mL d'eau à une température de 10 °C.

Quelle sera la température $T_{éq}$ du mélange à l'équilibre ?

Donnée : $\rho_{eau} = \rho_{café} \approx 1{,}0\ g \cdot mL^{-1}$.

Résolution

- Le thermos limite les échanges thermiques avec l'extérieur. On considère donc le système formé par le café et l'eau ajoutée.
- On applique le premier principe de la thermodynamique au système :

$$\Delta U = Q + W$$

Le système est isolé, donc $\Delta U = 0 = Q_{café} + Q_{eau}$.

Or, $Q_{café} = U_{café} = m_{café} \cdot c \cdot (T_{éq} - T_{café})$ et $Q_{eau} = U_{eau} = m_{eau} \cdot c \cdot (T_{éq} - T_{eau})$

Ainsi : $0 = m_{café} \cdot c \cdot (T_{éq} - T_{café}) + m_{eau} \cdot c \cdot (T_{éq} - T_{eau})$

En simplifiant par c : $0 = m_{café} \cdot (T_{éq} - T_{café}) + m_{eau} \cdot (T_{éq} - T_{eau})$

On isole la température d'équilibre :

$$T_{éq} = \frac{m_{café} \cdot T_{café} + m_{eau} \cdot T_{eau}}{m_{café} + m_{eau}}$$

Application numérique :

$$T_{éq} = \frac{150 \times 338 + 20 \times 283}{150 + 20} = 332\ K = 59\ °C.$$

La température d'équilibre obtenue est de 59 °C.

2 APPLIQUER LA LOI DE NEWTON

Savoir-faire

- Comprendre que ce problème répond à la loi de Newton.
- Séparer les variables de l'équation différentielle et l'intégrer.
- Déterminer la constante d'intégration en utilisant la condition initiale.
- Donner l'expression de la température en fonction du temps.

Énoncé

Un corps à la température initiale T_1 est laissé à l'air libre. L'air est à la température fixe T_0 et constitue ainsi un thermostat. On suppose $T_1 > T_0$.

Quelle est la variation de la température de ce corps avec le temps ?

Résolution

- On utilise la loi de Newton :

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{\mathrm{d}t} = -K \cdot \left(T(t) - T_0\right)$$

- On sépare les variables de l'équation différentielle :

$$\frac{\mathrm{d}T(t)}{T(t) - T_0} = -K \cdot \mathrm{d}t$$

- On intègre cette équation en prenant une primitive de chaque côté de l'équation sans oublier la constante d'intégration A :

$$\ln\left|T(t) - T_0\right| = -K \cdot t + A$$

D'où : $\left|T(t) - T_0\right| = B \cdot \mathrm{e}^{-K \cdot t}$ avec $B = \mathrm{e}^{A}$.

On pose $C = B$ si $T(t) - T_0 > 0$, $C = -B$ sinon :

$$T(t) - T_0 = C \cdot \mathrm{e}^{-K \cdot t} = C \cdot \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

- La condition initiale indique que la température initiale vaut T_1. On remplace T par T_1 dans l'équation précédente :

$$T_1 - T_0 = C \cdot \mathrm{e}^{-\frac{0}{\tau}} = C$$

On obtient ainsi :

$$T(t) = T_0 + \left(T_1 - T_0\right) \cdot \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

- Cette expression est celle recherchée. Après un temps suffisamment long, l'exponentielle tend vers 0 et la température vers T_0.

24

Carte mentale

Le modèle du gaz parfait

- Un gaz est dit parfait lorsque les entités le constituant sont considérées comme ponctuelles et sans interactions entre elles.
- Masse volumique d'un volume V d'entités gazeuses : $\rho = \frac{m}{V}$.
- La température thermodynamique ou absolue est la température d'agitation des entités : $T\,(\text{K}) = \theta\,(^\circ\text{C}) + 273{,}15$.
- La pression d'un gaz est la somme de la pression cinétique et de la pression moléculaire : $p = p_c + p_m$.
- **L'état d'un gaz parfait** se traduit par une relation entre les différentes grandeurs physiques : $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Thermodynamique et gaz parfait

Énergie interne et premier principe

Énergie interne U : somme des énergies cinétiques et potentielles microscopiques.

Premier principe de la thermodynamique : $\Delta U = Q + W$.

Capacité thermique et énergie interne d'un système incompressible : $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Transferts thermiques

Les différents modes de transfert : **conduction, convection et rayonnement.**

Flux thermique en watts (W) : $\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\lambda \cdot S}{e} \cdot (T_1 - T_2)$.

Résistance thermique : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$

Loi de Newton : $\frac{dT(t)}{dt} = -K \cdot (T(t) - T_0)$ avec K constante de proportionnalité.

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Exploiter l'équation d'état du gaz parfait :	• connaître le modèle du gaz parfait : entités ponctuelles sans interactions entre elles. • savoir que la température thermodynamique ou absolue représente l'agitation des entités : T (K) = θ (°C) + 273,15. • savoir que la pression représente les chocs et les interactions entre les entités et la paroi du réservoir. • connaître l'équation d'état du gaz parfait : $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$.
Utiliser le premier principe de la thermodynamique :	• savoir que l'énergie interne U d'un système est la somme des énergies cinétiques et potentielles des entités. • connaître l'expression du premier principe : $\Delta U = Q + W$. • savoir que l'énergie interne est un terme d'état du système alors que Q et W sont des termes d'échanges d'énergie.
Utiliser les capacités thermiques :	• prévoir le sens d'un transfert thermique : du corps chaud vers le corps froid. • connaître la relation : $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.
Établir un bilan énergétique :	• identifier les échanges thermiques. • déterminer les énergies reçues et les énergies fournies.
Déterminer un flux thermique traversant un matériau :	• connaître le flux thermique : $\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\lambda \cdot S}{e} \cdot (T_1 - T_2)$
Modéliser l'évolution de la température d'un système :	• connaître la loi de Newton : $\frac{dT(t)}{dt} = -K \cdot (T(t) - T_0)$

Je me teste sur...

THERMODYNAMIQUE ET GAZ PARFAIT

1 **Quelles sont les particularités d'un gaz parfait ?**

- ☐ **a.** Les dimensions des entités sont négligées.
- ☐ **b.** Les interactions sont négligées.
- ☐ **c.** Les distances entre entités sont négligées.

2 **Que représente la température thermodynamique ?**

- ☐ **a.** Les chocs entre entités.
- ☐ **b.** Le volume des entités.
- ☐ **c.** L'agitation des entités.

3 **On compare la masse volumique d'un gaz et la masse volumique de ses entités.**

- ☐ **a.** C'est la même valeur.
- ☐ **b.** Elle est plus petite.
- ☐ **c.** Elle est plus grande.

4 **La pression cinétique est :**

- ☐ **a.** la résultante des interactions entre entités et paroi du réservoir.
- ☐ **b.** la résultante des chocs entre entités et paroi du réservoir.
- ☐ **c.** la résultante des interactions entre entités à l'état gazeux.

5 **Quelle est l'expression correcte de la loi du gaz parfait ?**

- ☐ **a.** $p \cdot T = n \cdot R \cdot V$
- ☐ **b.** $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$
- ☐ **c.** $V \cdot T = n \cdot R \cdot p$

6 **Citer les contributions à l'énergie interne d'un système.**

- ☐ **a.** L'énergie potentielle de pesanteur des entités.
- ☐ **b.** L'énergie cinétique des entités.
- ☐ **c.** Les différentes énergies potentielles des entités.

7 **Les systèmes 1 et 2 ont des énergies internes U_1 et U_2. Dans quel sens a lieu le transfert thermique si $U_1 > U_2$?**

- ☐ **a.** De 1 vers 2.
- ☐ **b.** Indifféremment.
- ☐ **c.** De 2 vers 1.

8 **Parmi ces propositions, quels sont les modes de transfert thermique ?**

- ☐ **a.** La convection.
- ☐ **b.** L'effet Joule.
- ☐ **c.** Le rayonnement.

9 **Comment varie le flux thermique ?**

- ☐ **a.** Il augmente avec l'épaisseur de matériau traversée.
- ☐ **b.** Il augmente avec l'aire du matériau traversé.
- ☐ **c.** Il augmente si l'écart de température est faible.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** et **b.** À échelle réelle, les molécules ont des dimensions de l'ordre du dixième de nanomètre, ce qui est très petit comparé aux distances entre elles, qui sont souvent plus de dix fois plus importantes. On peut donc négliger leurs tailles et les interactions entre elles.

Voir **Fiche 20**

2 > **c.** La température thermodynamique est caractéristique de l'agitation. C'est la température physique absolue. Les autres ne sont que des échelles de mesures relatives.

Voir **Fiche 20**

3 > **b.** La masse volumique d'une entité est le quotient de sa masse par son volume, alors que pour un gaz c'est la masse des entités divisée par le volume du gaz, et ce volume est plus important.

Voir **Fiche 20**

4 > **b.** La pression cinétique est la pression provoquée par les chocs des particules. Elle dépend de leurs vitesses, d'où le terme « cinétique ».

Voir **Fiche 20**

5 > **b.** La relation correcte correspond à une proportionnalité entre la pression et la température, une proportionnalité entre le volume et la température, et à l'inverse proportionnalité entre la pression et le volume.

Voir **Fiche 20**

6 > **b.** et **c.** L'énergie interne est l'énergie mécanique du système formé des entités à l'échelle microscopique.

Voir **Fiche 21**

7 > **a.** Au cours des échanges d'énergie, le système tend vers une situation d'équilibre, donc U_1 diminue et le système 1 cède de l'énergie au système 2. U_2 augmente par conséquent.

Voir **Fiche 21**

8 > **a.** et **c.** La convection, le rayonnement et la conduction sont les trois modes de transfert thermique. L'effet Joule peut être utilisé pour créer de l'énergie thermique par conversion d'énergie électrique.

Voir **Fiche 21**

9 > **b.** Si le matériau est plus épais, il permet moins le passage du flux thermique. Si l'écart de température est faible, le flux diminue aussi.

Voir **Fiche 21**

Intensité et niveau sonores

À revoir
OK

25

1 INTENSITÉ SONORE

● Les ondes sonores sont des ondes mécaniques. Elles transportent de l'énergie. C'est le transfert d'une partie de cette énergie au système auditif qui est responsable de l'audition du son.

● Certains sons captés par l'oreille sont perçus de manière désagréable, voire douloureuse, selon l'intensité sonore. L'intensité sonore I caractérise la puissance énergétique reçue par l'oreille. Elle correspond à l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface :

$$I = \frac{P}{S}$$

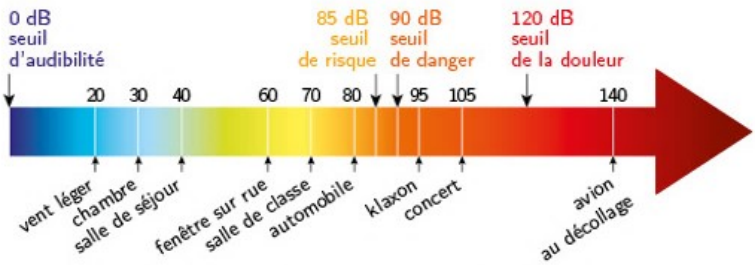
avec P en watts (W), I en W · m^{-2} et S en m^2.

● L'oreille humaine normale perçoit des sons d'intensité aussi faible que le seuil d'audibilité $I_0 = 10^{-12}$ W · m^{-2} et peut supporter des intensités jusqu'à environ 1 W · m^{-2} (seuil de douleur).

L'écart entre ces deux valeurs étant très grand, on utilise le niveau d'intensité sonore, noté L qui suit une échelle logarithmique.

2 NIVEAU D'INTENSITÉ SONORE

● La sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité sonore. En effet, lorsque l'on assiste à un concert, les intensités sonores de chaque instrument s'ajoutent, mais le son ne paraît pas proportionnellement plus fort.



Échelle de niveau sonore (en dB)

● Le niveau d'intensité sonore L exprime la sensation perçue par l'oreille. Il se mesure avec un sonomètre. Pour une intensité sonore I donnée, le niveau sonore L exprimé en décibels acoustiques (dB, sans dimension) est déterminé par :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

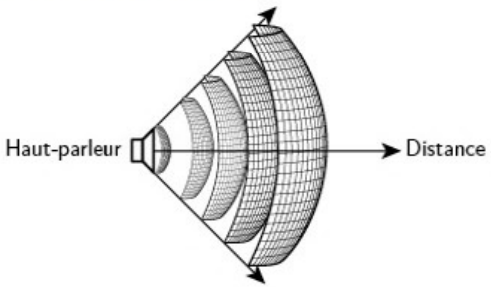
avec I en $W \cdot m^{-2}$ et I_0 l'intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$.

Remarque

La durée d'exposition joue un rôle sur les effets du bruit supporté : la douleur est ressentie au bout de 15 minutes près de travaux publics à 110 dB.

3 ATTÉNUATION

● Plus on s'éloigne d'une source sonore, plus l'intensité diminue, car l'énergie produite par la source se répartit sur une surface plus grande. On parle d'atténuation géométrique.



Dispersion de l'intensité sonore

● Lorsque le son traverse un milieu matériel, une partie de la puissance sonore est absorbée : l'intensité sonore diminue ; on parle d'atténuation par absorption.

● L'atténuation A d'un son dont le niveau passe de L à L' s'écrit : $A = L - L'$ avec A, L et L' en dB.

● Des nombreux milieux sont dissipatifs : la propagation des vibrations s'accompagne donc de dissipation d'énergie acoustique sous forme de chaleur, qui s'ajoute à l'atténuation géométrique. Cette atténuation par dissipation augmente avec la fréquence. Elle est due aux « chocs » inélastiques entre molécules.

À noter

De nombreuses applications d'appareils de diagnostic par échographie utilisent les propriétés de l'atténuation des fréquences.

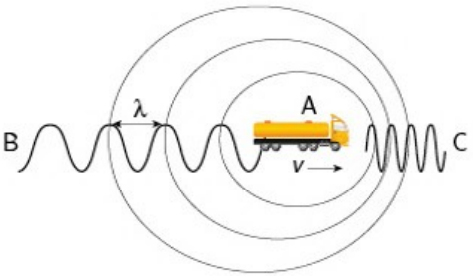
Effet Doppler

☐ À revoir
☐ OK

26

1 DESCRIPTION

● L'effet Doppler est illustré par la sirène d'un véhicule de secours. Celui-ci avance à vitesse constante *v*. L'observateur A est dans le véhicule. Les observateurs B et C sont immobiles à l'extérieur du véhicule. Les courbes représentent des zones identiquement perturbées (par exemple des zones de compression) : ce sont des fronts d'ondes. La distance qui les sépare est la longueur d'onde λ.



Effet Doppler

● B voit le véhicule s'éloigner. Les zones de compression s'éloignent les unes des autres (augmentation de la longueur d'onde λ). B reçoit chaque zone de compression moins fréquemment : il perçoit donc un son plus grave. Inversement, C perçoit un son plus aigu.

● L'effet Doppler se manifeste par un changement de fréquence de l'onde perçue par un observateur lors d'un déplacement relatif de ce dernier par rapport à l'émetteur : la fréquence augmente s'ils se rapprochent et diminue s'ils s'éloignent.

Pour déterminer la vitesse relative de l'émetteur par rapport à un récepteur, on déduit la vitesse de la source de la relation :

$$f_R = \frac{f_E \cdot v_{son}}{v_{son} \pm v}$$

● L'effet Doppler est d'autant plus marqué que la vitesse relative de l'émetteur par rapport au récepteur est élevée.

2 DÉCALAGE DOPPLER

● Le décalage Doppler correspond à la différence Δf entre la fréquence f_R perçue par l'observateur et la fréquence f_E émise par la source.

$\Delta f = f_R - f_E > 0$ si la source s'approche.

$\Delta f = f_R - f_E < 0$ si la source s'éloigne.

● Dans le cas où la vitesse de la source v est négligeable devant la célérité v_{onde} de l'onde, on peut écrire le décalage Doppler sous la forme suivante :

$$|\Delta f| = \frac{v}{v_{onde}} \cdot f_E$$

avec Δf et f_E en hertz, v et v_{onde} en m $\cdot$ s^{-1}.

Il peut également s'exprimer en fonction de la longueur d'onde :

$$|\Delta\lambda| = \frac{v}{v_{onde}} \cdot \lambda_E$$

avec $\Delta\lambda$ et λ_E en m, v et v_{onde} en m $\cdot$ s^{-1}.

3 APPLICATIONS

● L'effet Doppler s'applique dans tous les milieux, aussi bien aux ondes mécaniques qu'aux ondes électromagnétiques. Il permet de mesurer la vitesse relative d'un émetteur par rapport à un récepteur.

● Les utilisations par l'Homme sont multiples :

– en sécurité routière, mesure de la vitesse des véhicules par les radars routiers (cinémomètres) au moyen d'ondes électromagnétiques ;

– en imagerie médicale, détermination de la vitesse d'écoulement sanguin à l'aide d'ondes ultrasonores ;

– en météorologie, le radar Doppler permet d'analyser la vitesse et le mouvement des perturbations ;

– en astronomie, le décalage des raies d'absorption (dues aux éléments chimiques) permet de calculer la vitesse d'une source lumineuse par rapport à la Terre. Le décalage spectral sera observé soit vers le rouge (*redshift*), soit vers le bleu (*blueshift*), selon que la source s'éloigne ou se rapproche.

Exos résolus

À revoir
OK

27

1 DÉTERMINER L'INTENSITÉ ET LE NIVEAU D'INTENSITÉ SONORES

Savoir-faire

- Calculer l'intensité sonore à partir du niveau d'intensité sonore.
- Utiliser la fonction logarithme et sa réciproque.

Énoncé

On considère trois instruments qui émettent, chacun, une note de niveau d'intensité sonore $L = 60$ dB.

Quel sera le niveau d'intensité sonore si les trois instruments jouent ensemble ?

Donnée : Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}.

Résolution

- Il faut commencer par calculer l'intensité sonore d'un seul instrument :

$$L = 10\log\frac{I}{I_0}, \text{ soit } \frac{L}{10} = \log\frac{I}{I_0}, \text{ d'où } \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$

Ainsi, pour chaque instrument, on a : $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

Application numérique :

$I = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} $\times\ 10^{\frac{60}{10}} = 1{,}0 \times 10^{-6}$ W · m^{-2}.

- Si trois instruments jouent ensemble, l'intensité sonore sera trois fois plus forte. $I' = 3{,}0 \times 10^{-6}$ W · m^{-2}.

On calcule le nouveau niveau d'intensité sonore L' :

$$L' = 10\log\frac{I'}{I_0}$$

Application numérique :

$$L' = 10\log\frac{3{,}0\times10^{-6}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}}{1{,}0\times10^{-12}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}} = 10\log 3{,}0\times10^{6}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2} = 65\ \text{dB}.$$

Le niveau d'intensité sonore émis par les trois instruments est de 65 dB.

2 EXPLOITER L'EFFET DOPPLER

Savoir-faire

- Interpréter les observations correspondant à l'effet Doppler.
- Établir l'expression du décalage Doppler.

Énoncé

La sirène d'une ambulance E de fréquence 400 Hz se rapproche d'une personne immobile R sur la chaussée. Celle-ci perçoit une fréquence de 415 Hz pour le son de la sirène.

Quelle est la vitesse de l'ambulance ?

Donnée : Vitesse du son : $v_{son} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Résolution

- À l'instant $t = 0$, E et R sont séparés par la distance d. E émet alors une onde. À l'instant t_1, elle est reçue par R : $t_1 = \dfrac{d}{v_{son}}$. Le son émis par la sirène a une période T_E.

À l'instant $t = T_E$, l'ambulance a parcouru une distance d_E la rapprochant du piéton : $d_E = v \cdot T_E$.

La distance entre E et R est maintenant de $d' = d - d_E = d - v \cdot T_E$.

La sirène émet alors une nouvelle onde. Celle-ci est reçue par le piéton à l'instant t_2 : $t_2 = T_E + \dfrac{d - v \cdot T_E}{v_{son}}$.

La durée séparant deux signaux consécutifs captés par le récepteur représente T_R, la période de l'onde reçue par le piéton est :

$$T_R = t_2 - t_1 = T_E + \frac{d - v \cdot T_E}{v_{son}} - \frac{d}{v_{son}} = T_E - \frac{v \cdot T_E}{v_{son}}$$

- La vitesse de l'ambulance a donc pour expression :

$$v = v_{son} \cdot \frac{T_E - T_R}{T_E} = v_{son} \cdot \frac{f_R - f_E}{f_R}$$

Application numérique :

$$v = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{415 \text{ Hz} - 400 \text{ Hz}}{415 \text{ Hz}} = 12{,}3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

L'ambulance se déplace à une vitesse de 12,3 m · s^{-1}, soit 44,2 km · h^{-1}.

Carte mentale

28

Intensité et niveau d'intensité sonores

- **Intensité sonore I** : énergie transportée par l'onde sonore par unité de temps et de surface (en $W \cdot m^{-2}$).
- **Niveau d'intensité sonore L** : exprime la sensation perçue par l'oreille humaine (en dB), de 0 dB (seuil d'audibilité) à 120 dB (seuil de douleur).
- **Atténuation géométrique par absorption** : $A = L - L'$, avec L niveau initial, L' niveau final.

I

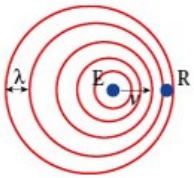
$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ $\qquad$ $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$

L

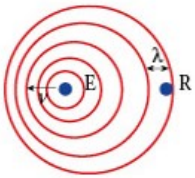
Ondes sonores

Effet Doppler

- S'applique à toutes les ondes et dans tous les milieux.
- **Décalage Doppler** : $\Delta f = f_R - f_E$



$F_R > F_E \quad \Delta f > 0 \quad \lambda_R < \lambda_E$



$F_R < F_E \quad \Delta f < 0 \quad \lambda_E < \lambda_R$

- L'émetteur se rapproche du récepteur
- L'émetteur s'éloigne du récepteur
- Si l'émetteur et le récepteur sont au repos, il n'y a pas d'effet Doppler.

Applications

- Radar (cinémomètre) avec ondes électromagnétiques.
- Imagerie médicale : échographie avec ondes ultrasonores.
- Astronomie, météorologie, etc.

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Déterminer une intensité sonore ou un niveau d'intensité sonore :	• exploiter la relation entre le niveau d'intensité sonore L et l'intensité sonore I : $$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$ • isoler la grandeur cherchée et effectuer le calcul nécessaire.
Déterminer la vitesse d'un objet par rapport à un observateur en exploitant l'effet Doppler :	• déterminer si l'émetteur (E) et le récepteur (R) s'approchent ou s'éloignent. • connaître la relation $\Delta f = f_R - f_E$ et l'appliquer à la situation : – s'ils se rapprochent $\Delta f > 0$ et $f_R > f_E$. La fréquence augmente : le son devient plus aigu et un spectre tendra vers de plus courtes longueurs d'onde ; – s'ils s'éloignent : $\Delta f < 0$ et $f_R < f_E$. La fréquence diminue : le son devient plus grave et les longueurs d'onde seront décalées vers de plus grandes valeurs. • établir et/ou exploiter l'expression du décalage Doppler • vérifier que plus la vitesse est importante, plus le décalage est marqué.

Je me teste sur...

ONDES SONORES

1 **L'effet Doppler s'applique :**
- ○ **a.** à toutes les ondes.
- ○ **b.** seulement aux ondes électromagnétiques.
- ○ **c.** seulement aux ondes mécaniques.

2 **On considère une source et un récepteur d'ondes. L'effet Doppler est présent si :**
- ○ **a.** ces éléments sont fixes.
- ○ **b.** la source est en mouvement et le récepteur fixe.
- ○ **c.** le récepteur est en mouvement et la source fixe.

3 **Une source d'ondes se rapproche d'un récepteur fixe. On note f_E la fréquence de l'onde émise et f_R la fréquence de l'onde reçue :**

○ **a.** $f_R < f_E$. ○ **b.** $f_R = f_E$. ○ **c.** $f_R > f_E$.

4 **Le niveau d'intensité sonore L et l'intensité sonore I :**
- ○ **a.** augmentent proportionnellement l'un avec l'autre.
- ○ **b.** augmentent de façon non proportionnelle l'un avec l'autre.
- ○ **c.** sont indépendants l'un de l'autre.

5 **Une ambulance s'arrête devant un piéton, allume sa sirène, puis s'éloigne. Le son perçu par le piéton :**
- ○ **a.** est le même que lorsque l'ambulance était à l'arrêt.
- ○ **b.** paraît plus grave. ○ **c.** paraît plus aigu.

6 **Quand une étoile s'éloigne de la Terre, les raies de son spectre d'absorption :**
- ○ **a.** restent identiques.
- ○ **b.** se décalent vers le rouge.
- ○ **c.** se décalent vers le bleu.

7 **Un sonomètre permet de :**
- ○ **a.** visualiser un son.
- ○ **b.** mesurer un niveau d'intensité sonore en décibels.
- ○ **c.** mesurer l'intensité sonore en watts par mètre carré.

8 **Le symbole de l'unité d'intensité sonore est le :**
- ○ **a.** W.
- ○ **b.** $W \cdot m^2$.
- ○ **c.** $W \cdot m^{-2}$.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** L'effet Doppler s'applique à tous les types d'ondes.

Voir **Fiche 26**

2 > **b.** et **c.** L'effet Doppler se manifeste lorsque la source et le récepteur sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre.

Voir **Fiche 26**

3 > **c.** L'onde reçue par le récepteur a une fréquence plus grande que l'onde émise.

Voir **Fiche 26**

4 > **b.** Leurs valeurs sont liées par une relation logarithmique, qui n'est pas une relation de proportionnalité.

Voir **Fiche 25**

5 > **b.** Lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur, le son perçu par ce dernier est plus grave.

Voir **Fiche 26**

6 > **b.** Les étoiles qui s'éloignent voient leur spectre d'absorption décalé vers le rouge. Pour des objets astronomiques qui se rapprochent, comme la galaxie d'Andromède, on observe un décalage vers le bleu.

Voir **Fiche 26**

7 > **b.** Un sonomètre permet de mesurer le niveau d'intensité sonore.

Voir **Fiche 25**

8 > **c.** L'intensité sonore se mesure en watts par mètre carré ($W \cdot m^{-2}$). Elle correspond au rapport d'une puissance sur une surface.

Voir **Fiche 25**

Diffraction d'une onde

☐ À revoir
☐ OK

29

1 DÉFINITIONS

● La diffraction (comme les interférences) est un phénomène caractéristique des ondes, qu'elles soient électromagnétiques ou mécaniques. Elle se manifeste par un étalement des directions de propagation de l'onde quand celle-ci rencontre une ouverture. L'onde diffractée présente alors des maxima et des minima d'amplitudes.

● Si le milieu de propagation est le même de part et d'autre de l'ouverture, l'onde conserve la même célérité. Elle subit un changement de direction, mais pas de fréquence et donc pas de longueur d'onde.

2 CONDITIONS D'OBSERVATION

● L'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport entre la dimension de la longueur d'onde λ et celle de l'ouverture a.

● Ce phénomène est davantage marqué, pour toutes les ondes, lorsque la dimension de l'ouverture est du même ordre de grandeur ou inférieure à celle de la longueur d'onde.

Remarque

Une onde qui rencontre une ouverture sera toujours diffractée. Ce qui peut arriver, en revanche, est que cette diffraction ne donne rien de spectaculaire ou de facilement détectable.



Franchissement par une onde d'une ouverture large

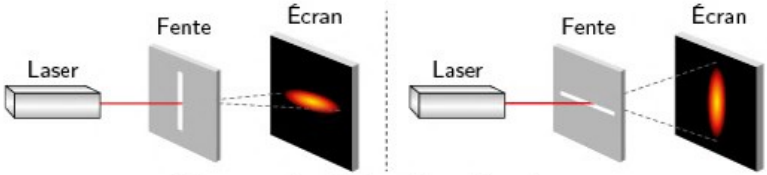


Franchissement d'une ouverture de petite dimension

● Dans le cas des ondes lumineuses, le phénomène de diffraction demeure, même pour des ouvertures cent fois plus grandes que la longueur d'onde.

3 CAS D'UNE LUMIÈRE MONOCHROMATIQUE

● Lorsque l'on éclaire une fente avec un faisceau lumineux monochromatique, on observe un étalement de celui-ci dans une direction normale à la fente.



Figures de diffraction d'un laser

● La propagation rectiligne de la lumière n'est alors plus respectée pour un grand nombre de rayons émergeant de la fente.

● La lumière diffractée a les mêmes caractéristiques que la lumière émise par le laser, hormis la forme du faisceau. Le faisceau lumineux est formé de rayons parallèles avant la fente ; il est divergent après la fente.

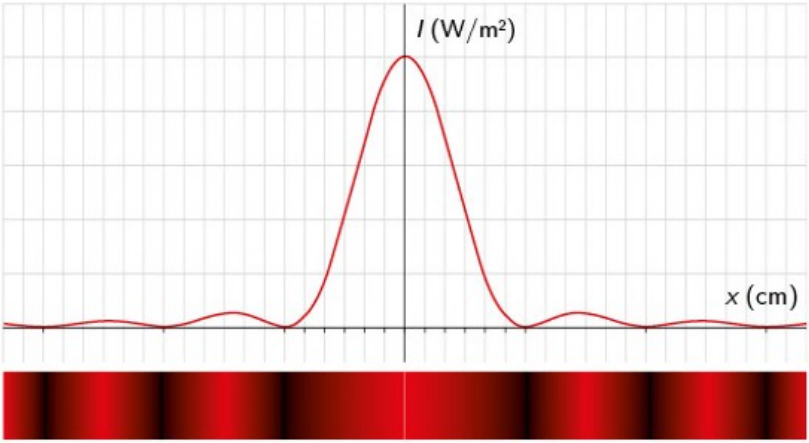


Figure de diffraction et intensité lumineuse

● Les taches observées sur l'écran sont de tailles identiques, sauf la tache centrale qui est deux fois plus large que les autres. Celle-ci concentre presque la totalité de l'intensité lumineuse *I*.

Remarque

Dans le cas de la lumière blanche, chaque radiation ayant un angle caractéristique de diffraction θ différent, on observe un phénomène d'irisation.

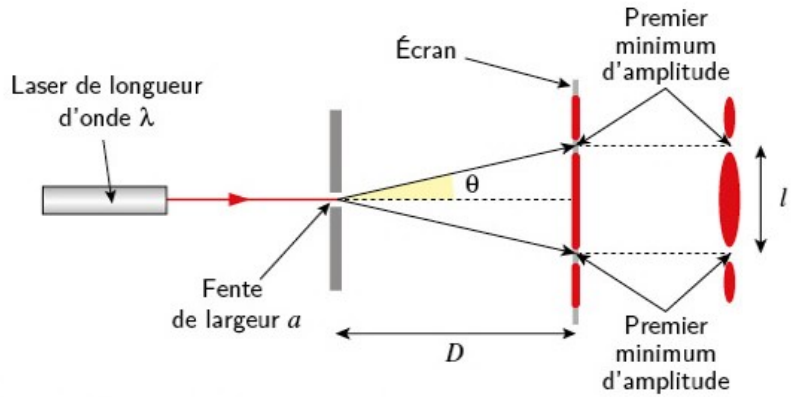
Angle de diffraction

À revoir
OK

30

1 DÉFINITION

● L'angle caractéristique de diffraction θ permet de mesurer l'importance du phénomène de diffraction. Sur la figure de diffraction d'ondes lumineuses monochromatiques créées par une fente, on observe une tache centrale très brillante limitée par des extinctions (absence de lumière) et des taches secondaires moins lumineuses. On définit l'angle caractéristique de diffraction comme l'angle entre la direction rectiligne de propagation de l'onde en l'absence de diffraction et la direction définie par le premier minimum d'amplitude.



Diffraction d'une onde lumineuse monochromatique

● L'angle de diffraction θ augmente lorsque la dimension de l'ouverture a diminue ou que la longueur d'onde λ de l'onde progressive sinusoïdale augmente.

● Il représente la moitié de l'angle sous lequel on voit la tache centrale de diffraction depuis la fente. Il a pour expression : $\theta = \frac{\lambda}{a}$, avec a et λ en mètres et θ en radians.

● Pour un angle de diffraction θ suffisamment petit (inférieur à 15° ou 0,1 rad), on peut utiliser l'approximation des petits angles afin d'écrire une relation entre la largeur de la tache centrale (l) et la distance D entre la fente et l'écran :

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{l}{2D}$$

Mesurer l permet ainsi d'accéder à la valeur de la longueur d'onde :

$$\lambda = a\theta = \frac{al}{2D}$$

2 CONSÉQUENCES CONCRÈTES

- Le phénomène de diffraction étudié dès la fin du XVII^{e} siècle intervient dans de nombreux domaines.
- En astronomie, par exemple, la diffraction limite le pouvoir de résolution des instruments optiques.
- Du fait de l'étalement des directions de propagation d'une onde diffractée, une personne à l'extérieur d'une pièce pourra entendre une conversation se déroulant à l'intérieur de la pièce et ce, même si elle ne se trouve pas dans l'encadrement de la porte.
- La diffraction des rayons X permet l'étude de la structure de la matière.

Exos résolus

À revoir
OK

31

1 CALCULER LA LARGEUR D'UNE FENTE DE DIFFRACTION

Savoir-faire

- Schématiser une expérience mettant en évidence la diffraction.
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la largeur de l'ouverture.

Énoncé

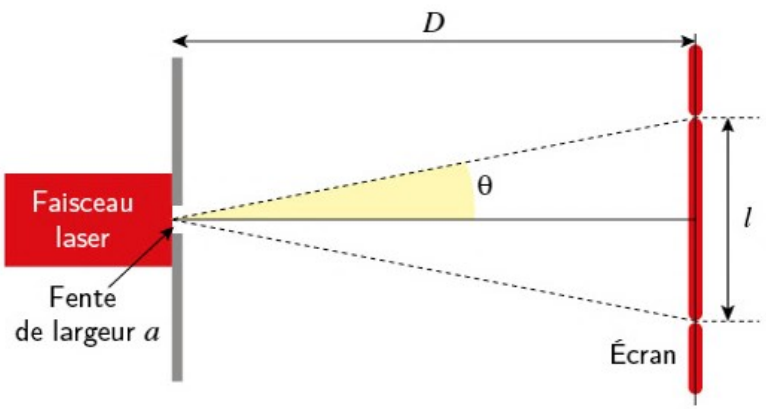
Un laser rouge de longueur d'onde $\lambda = 635$ nm éclaire une fente et permet d'observer sur un écran placé à la distance $D = 2{,}50$ m de l'ouverture une figure de diffraction ayant une tache centrale de largeur $l = 5{,}3$ cm.

L'angle de diffraction θ est assez petit pour que l'on considère que $\tan\theta = \theta$.

1. **Schématiser le dispositif expérimental.**
2. **Quelle est la largeur de la fente éclairée par le laser ?**

Résolution

1. Réalisation du schéma (vu de dessus) :



2. Relation exprimant l'angle de caractéristique de diffraction : $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Par trigonométrie, $\tan\theta = \frac{l}{2D}$. Avec l'approximation sur les petits angles, $\theta = \frac{l}{2D}$. On obtient ainsi : $\frac{\lambda}{a} = \frac{l}{2D}$ et $a = \frac{2D \cdot \lambda}{l}$.

Application numérique :

$$a = \frac{2 \times 2{,}50 \times 635 \times 10^{-9}}{5{,}3 \times 10^{-2}} = 6{,}0 \times 10^{-5} \text{ m}.$$

2 COMPRENDRE UNE SITUATION CONCRÈTE GRÂCE À LA DIFFRACTION

Énoncé

Les ondes sonores audibles ont des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz.

Expliquer pourquoi le son se propage facilement d'une pièce à une autre et pourquoi il est si difficile au quotidien de se protéger du bruit.

Donnée : Célérité du son dans l'air : 340 m · s^{-1}.

Résolution

- On utilise la relation : $\lambda = \frac{v}{f}$ pour calculer la longueur des ondes sonores audibles.

Pour $f = 20$ Hz :

$$\lambda = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{20 \text{ Hz}} = 17 \text{ m}$$

Pour $f = 20$ kHz :

$$\lambda = \frac{340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2{,}0 \times 10^{4} \text{ Hz}} = 1{,}7 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Les ondes sonores audibles ont une longueur d'onde λ comprise entre 17 mm et 17 m.

- Or, les ouvertures dans la vie quotidienne, comme les portes par exemple, ont des dimensions du même ordre de grandeur (comprises entre ces deux valeurs), il y a donc constamment diffraction du son.

C'est pour cette raison qu'il est difficile de se protéger du bruit.

Carte mentale

32

Définition

- Toutes les ondes peuvent être diffractées.
- On observe un étalement des directions de propagation de l'onde quand celle-ci rencontre une ouverture.
- Le phénomène est davantage marqué lorsque la dimension de l'ouverture est du même ordre de grandeur ou inférieure à celui de la longueur d'onde.

Caractéristiques

- Angle caractéristique de diffraction : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ avec λ la longueur d'onde et a l'ouverture.
- Si le milieu de propagation est le même de part et d'autre de l'ouverture, l'onde conserve la même célérité. Elle subit un changement de direction, mais pas de fréquence et donc pas de longueur d'onde.

Diffraction

Onde mécanique

- Si une onde mécanique plane et rectiligne rencontre une ouverture de petite dimension, l'onde n'est plus rectiligne.
- Si l'ouverture est très petite, l'onde devient circulaire, l'ouverture joue le rôle d'une source ponctuelle.

Onde lumineuse

- Le phénomène de diffraction demeure, même pour des ouvertures cent fois plus grandes que la longueur d'onde.
- Étalement du faisceau lumineux dans une direction normale à celle de la fente.
- Pour un angle de diffraction faible :

$$\lambda = \frac{l \cdot a}{2D}$$

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Prévoir si le phénomène de diffraction doit être pris en compte :	• comparer la dimension de l'objet diffractant et la longueur d'onde.
Déterminer la longueur d'onde :	• utiliser la relation liant la vitesse, la fréquence et la longueur d'onde : $\lambda = \frac{v}{f}$
Déterminer la dimension de l'objet diffractant :	• exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture : $\theta = \frac{\lambda}{a}$ sous la forme $a = \frac{\lambda}{\theta}$. • ne pas oublier que θ est en radians et que la largeur de la fente et la longueur d'onde sont en mètres.
Retrouver l'expression de la largeur l de la tache centrale à partir de θ l'angle caractéristique de diffraction :	• par trigonométrie : $\tan\theta = \frac{L}{2D}$ • utiliser pour les petits angles : $\theta \approx \tan\theta$. On obtient ainsi : $\theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$ et les expressions : $l = 2D \cdot \theta$ et $l = \frac{2D \cdot \lambda}{a}$. a étant la largeur de la fente et D la distance entre la fente et l'écran.

Je me teste sur...

DIFFRACTION

1 On peut observer le phénomène de diffraction avec :
- ☐ **a.** des ondes sonores.
- ☐ **b.** des ondes à la surface de l'eau.
- ☐ **c.** des ondes lumineuses.

2 Le phénomène de diffraction dépend de :
- ☐ **a.** la célérité de l'onde.
- ☐ **b.** la longueur d'onde λ de l'onde incidente.
- ☐ **c.** la largeur a de la fente.

3 Un faisceau laser éclaire une fente horizontale. La figure de diffraction sera :
☐ **a.** horizontale. ☐ **b.** verticale. ☐ **c.** oblique.

4 Après le passage d'une fente, l'onde diffractée possède :
- ☐ **a.** une fréquence différente de l'onde incidente.
- ☐ **b.** une longueur d'onde semblable à celle de l'onde incidente.
- ☐ **c.** une célérité différente de celle de l'onde incidente.

5 Dans le cas de la diffraction d'une lumière laser, de longueur d'onde λ, par une fente de largeur a, l'angle de diffraction θ a pour expression :
☐ **a.** $\theta = \frac{\lambda}{a}$. ☐ **b.** $\theta = \frac{a}{\lambda}$. ☐ **c.** $\theta = \lambda \times a$.

6 L'angle de diffraction θ est plus grand pour une onde de longueur d'onde de :
☐ **a.** 460 nm. ☐ **b.** 590 nm. ☐ **c.** 630 nm.

7 L'angle de diffraction θ peut s'exprimer par la relation (D étant la distance entre la fente et l'écran et L la largeur de la tache centrale) :
☐ **a.** $\theta = \frac{L}{2D}$. ☐ **b.** $\theta = \frac{L}{D}$. ☐ **c.** $\theta = L \cdot D$.

8 La tache centrale obtenue sur l'écran :
- ☐ **a.** est plus grande si l'écran est éloigné de la fente.
- ☐ **b.** ne dépend pas de la distance de l'écran par rapport à la fente.
- ☐ **c.** est plus grande si l'écran est proche de la fente.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.**, **b.** et **c.** Ce phénomène est caractéristique de toutes les ondes.

Voir **Fiche 29**

2 > **b.** et **c.** Le phénomène est d'autant plus marqué que la taille de l'ouverture est du même ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde de l'onde incidente.

Voir **Fiche 29**

3 > **b.** La direction de la figure de diffraction est perpendiculaire à celle de la fente.

Voir **Fiche 29**

4 > **b.** Une onde diffractée subit un changement de direction de propagation, mais pas de célérité, ni de fréquence et donc de longueur d'onde.

Voir **Fiche 29**

5 > **a.** Formule à savoir, mais que l'on peut retrouver. En effet, en TP, on voit que plus la fente est petite, plus la tache centrale est grande, et que l'angle de diffraction θ et a sont inversement proportionnels.

Voir **Fiche 30**

6 > **c.** L'angle de diffraction est proportionnel à la longueur d'onde.

Voir **Fiche 30**

7 > **a.** À l'aide des relations trigonométriques, on obtient $\tan\theta = \frac{L}{2D}$. L'angle θ étant petit, on peut faire l'approximation que $\tan\theta = \theta$ et donc que $\theta = \frac{L}{2D}$.

Voir **Fiche 30**

8 > **a.** L'égalité $L = \frac{2D \cdot \lambda}{a}$ montre que la largeur L de la tache centrale est proportionnelle à la distance D entre la fente et l'écran.

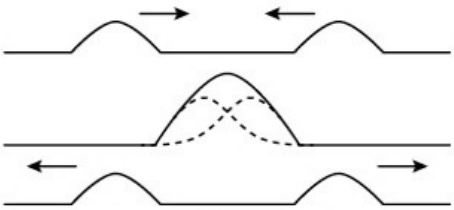
Voir **Fiche 30**

Interférences de deux ondes

À revoir
OK

33

Lorsque deux ondes se croisent, leurs amplitudes s'additionnent algébriquement. Après s'être croisées, les deux perturbations continuent sur leur lancée sans être modifiées.



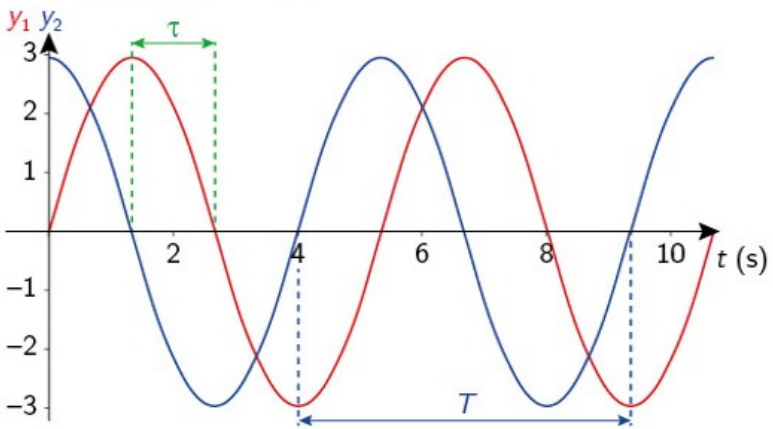
Deux ondes se croisent

1 CONDITIONS D'INTERFÉRENCES

● Des interférences peuvent être observées en un point où se superposent deux (ou plusieurs) ondes cohérentes. Ces ondes sont de même fréquence et le retard τ de l'une par rapport à l'autre ne doit pas varier au cours du temps. Elles gardent alors un déphasage constant.

À noter

Pour être cohérentes, les ondes doivent être obtenues à partir d'une source unique.

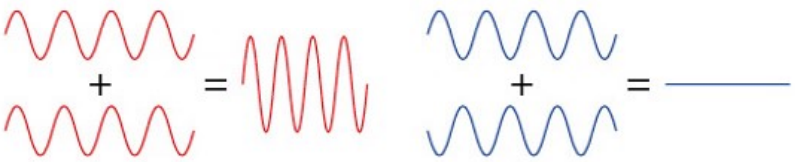


Deux courbes de même fréquence avec un déphasage constant

- Si le décalage τ est nul ou multiple de la période T de l'onde, les courbes sont superposées : elles sont en phase.
- Si le maximum de l'une coïncide avec le minimum de l'autre, les deux ondes sont en opposition de phase.

2 INTERFÉRENCES DESTRUCTIVES ET CONSTRUCTIVES

- Les ondes issues de deux sources cohérentes se superposent en un point M.
- Lorsque les deux ondes arrivent en phase au point M, les interférences sont constructives. L'amplitude de l'onde résultante est maximale en ce point.
- Lorsque les deux ondes arrivent en opposition de phase au point M, les interférences sont destructives. L'amplitude de l'onde résultante en ce point est minimale voire nulle.



Interférences constructives (à gauche) et destructrices (à droite)

- Lorsque les ondes sont lumineuses, on obtient une alternance de zones brillantes et de zones sombres. Historiquement, ce phénomène fut appelé le paradoxe des interférences : lumière + lumière = obscurité.

3 APPLICATIONS COURANTES

Les mesures interférométriques permettent d'accéder à de faibles grandeurs avec une bonne précision sans perturber le système mesuré. Elles sont utilisées dans de nombreux domaines comme la médecine et l'astronomie entre autres. Les casque à réduction de bruit permettent, à l'aide des interférences destructrices, d'atténuer les sons extérieurs.

Ondes lumineuses monochromatiques

À revoir
OK

34

- Pour obtenir expérimentalement une figure d'interférence stable et observable, une solution consiste à créer deux sources à partir d'une unique source primaire. On parle alors de sources secondaires. C'est ce qui se passe dans le dispositif des trous de Young.
- Une source de lumière monochromatique éclaire deux trous très petits et très proches. Ces trous diffractent la lumière et se comportent comme deux sources cohérentes.

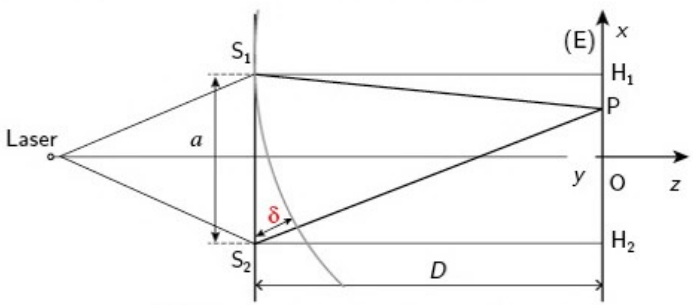
1 DIFFÉRENCE DE CHEMIN OPTIQUE

- La différence de chemin optique entre deux rayons lumineux, ou différence de marche, permet d'évaluer le retard ou le déphasage (en cas d'onde monochromatique) de l'un des rayons par rapport à l'autre. La différence de chemin optique est une distance qui a pour symbole δ.
- Lorsqu'un faisceau laser éclaire deux fentes voisines S_1 et S_2, celles-ci diffractent la lumière et se comportent comme deux sources divergentes cohérentes. Pour chaque point P de l'écran, la différence de chemin optique des deux ondes incidentes s'écrit :

$$\delta = PS_2 - PS_1$$

où PS_1 et PS_2 correspondent aux distances parcourues par les rayons issus des sources S_1 et S_2 jusqu'au point P.

δ peut prendre des valeurs positives ou négatives.

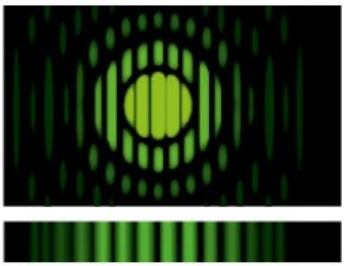


Différence de chemin optique

- En utilisant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1PH_1 et S_2PH_2, on obtient pour un point P d'abscisse x la différence de chemin optique $\delta = \frac{x \cdot a}{D}$.

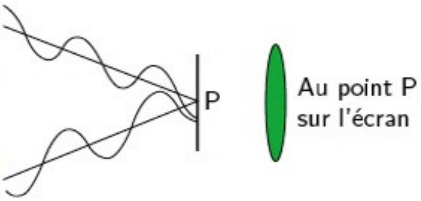
2 FRANGES D'INTERFÉRENCE

● On observe sur l'écran une succession de franges équidistantes, alternativement sombres et brillantes.

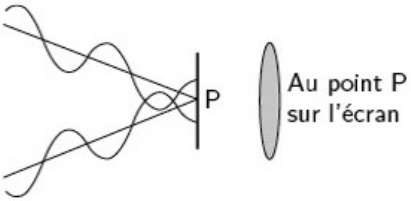


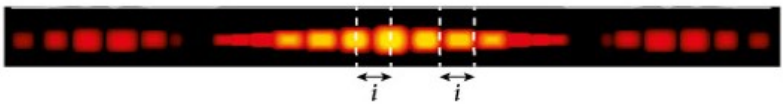
Comparaison des écrans observés à l'aide des trous de Young (en haut) et des fentes de Young (en bas)

● Si $\delta = k\lambda$, avec k un entier relatif, alors les interférences sont constructives au point P, car les deux ondes arrivent en phase. Le point P se trouve dans une frange lumineuse ; k, l'ordre d'interférence, est alors un entier.



● Si $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$, alors les interférences sont destructives au point P, car les deux ondes arrivent en opposition de phase. Le point P se trouve dans une frange sombre ; l'ordre d'interférence $k + \frac{1}{2}$ est alors un demi-entier.





Interfranges

● La distance séparant les centres de deux franges brillantes (ou sombres) consécutives est l'interfrange i. Sa valeur (en m) est donnée par la relation :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{S_1S_2}$$

avec λ la longueur d'onde dans le milieu (en m), D la distance (en m) entre les fentes et l'écran, S_1S_2 la distance (en m) entre les fentes.

Exos résolus

À revoir
OK

35

1 DÉTERMINER LES POSITIONS DES FRANGES

Savoir-faire

Exploiter l'expression de la différence de chemin optique afin de déterminer l'abscisse d'un point d'une frange et la longueur d'onde d'une source lumineuse.

Énoncé

Une expérience d'interférences a été réalisée à l'aide d'un écran percé de deux trous S_1 et S_2 de dimension négligeable, séparés par une distance $a = 1{,}0$ mm et éclairés par une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 589$ nm. La figure d'interférences est observée sur un écran situé à une distance $D = 1{,}20$ m de l'écran portant les deux trous.

1. Quelle est l'abscisse d'un point P situé au centre de la frange brillante d'ordre d'interférence $k = 4$?

2. Quelle serait la longueur d'onde de l'onde lumineuse monochromatique éclairant les deux trous si le point P se retrouvait au centre d'une frange sombre d'ordre d'interférence $k = \frac{7}{2}$?

Résolution

1. Pour déterminer l'abscisse, on utilise la relation :

$$\delta = \frac{a \cdot x}{D}$$

Au point P situé au centre de la frange brillante d'ordre d'interférence $k = 4$, on a $\delta = 4 \times \lambda$. On obtient ainsi : $\frac{a \cdot x}{D} = 4 \times \lambda$, soit $x = \frac{4 \times \lambda \cdot D}{a}$.

Application numérique :

$$x = \frac{4 \times 589 \times 10^{-9} \times 1{,}20}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}8 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

Le point P est situé à $2{,}8 \times 10^{-3}$ m du centre de la figure d'interférence.

2. Pour déterminer la longueur d'onde, on utilise de nouveau la relation :

$$\delta = \frac{a \cdot x}{D}$$

Au point P situé au centre de la frange sombre d'ordre d'interférence $k = \frac{7}{2}$, on a $\delta = \frac{7}{2} \times \lambda$. On obtient ainsi : $\frac{a \cdot x}{D} = \frac{7}{2} \times \lambda$, soit $\lambda = \frac{2 \times x \cdot a}{7 \times D}$.

Application numérique :

$$\lambda = \frac{2 \times 2{,}8 \times 10^{-3} \times 1{,}0 \times 10^{-3}}{7 \times 1{,}20} = 6{,}7 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

La longueur d'onde du laser est de $6{,}7 \times 10^{-7}$ m.

2 PRÉVOIR L'AMPLITUDE D'UN SON

Savoir-faire

Déterminer si les interférences en un point sont constructives ou destructives.

Énoncé

Deux haut-parleurs A et B, placés face à face, à une distance $d = 100$ cm l'un de l'autre, émettent une onde sonore de même fréquence ($f = 2\,000$ Hz) et de même amplitude. Ils vibrent en phase.

1. **Quelle est la longueur d'onde du son émis ?**

2. **Un microphone est placé en un point M du segment [AB], à la distance x de A. Donner l'expression de la différence de marche $\delta = BM - AM$ en fonction de x et de d.**

3. **Pour $x = 24{,}5$ cm, comment peut-on qualifier l'amplitude du son reçu par le micro ?**

Donnée : dans l'air, la célérité des ondes sonores est $v = 340$ m/s.

Résolution

1. Longueur d'onde λ du son émis :

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{2000} = 0{,}170 \text{ m}.$$

2. Différence de marche : $\delta = BM - AM = d - x - x = d - 2x$.

3. Valeur de k :

$$k = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{100 - 2 \times 24{,}5}{17{,}0} = 3.$$

k étant un entier, les interférences sont constructives et le son a une amplitude maximale.

Exo résolu

À revoir
OK

36

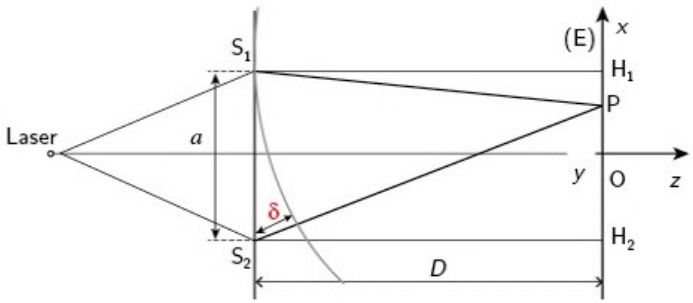
DÉTERMINER LE TYPE DE FRANGE ET L'INTERFRANGE

Savoir-faire

- Utiliser l'expression de la différence de chemin optique pour savoir si un point appartient à une frange claire ou sombre.
- Établir et exploiter l'expression de l'interfrange.

Énoncé

On considère deux sources S_1 et S_2 cohérentes distantes de $a = 5{,}0$ mm. Elles émettent des radiations de longueur d'onde égale à 0,6 mm. L'écran sur lequel on observe la figure d'interférence est placé à une distance $D = 1{,}35$ cm du plan de ces deux sources.



1. Sachant qu'un point P de l'écran se trouve à 1,56 cm de S_1 et à 1,38 cm de S_2, appartient-il à une frange d'amplitude maximale ou minimale ?

2. Calculer l'interfrange observée sur l'écran après avoir établi son expression en supposant $D >> a$ et $D >> x$.

Résolution

1. Il y a interférence constructive si $\delta = PS_2 - PS_1 = k \cdot \lambda$, avec k entier.

$k = \dfrac{\delta}{\lambda} = \dfrac{15{,}6 - 13{,}8}{0{,}60} = 3$. Le point P se trouve donc au centre d'une frange d'amplitude maximale.

2. En utilisant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1H_1P et S_2H_2P, on obtient :

$$S_1P^2 = D^2 + \left(\frac{a}{2} - x\right)^2 \text{ et } S_2P^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$$

$$S_2P^2 - S_1P^2 = \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2} - x\right)^2$$

$$S_2P^2 - S_1P^2 = \left(x + \frac{a}{2} - \frac{a}{2} + x\right) \cdot \left(x + \frac{a}{2} + \frac{a}{2} - x\right) = 2x \cdot a$$

- Or, $S_2P^2 - S_1P^2 = (S_2P - S_1P) \times (S_2P + S_1P) = \delta \times 2D$, car $2D \approx S_2P + S_1P$.

On obtient donc l'expression suivante :

$$\delta \times 2D = 2x \cdot a \text{ et } \delta = \frac{x \cdot a}{D}$$

- Le point P est au centre d'une frange d'amplitude maximale si la différence de chemin optique est un multiple entier de la longueur d'onde, soit $\delta = k \cdot \lambda$.

Donc, $\frac{x \cdot a}{D} = k \cdot \lambda$ et $x = \frac{k \cdot \lambda \cdot D}{a}$.

- Le point au centre de la frange d'amplitude maximale suivante aura pour abscisse x' telle que :

$$x' = \frac{(k+1) \cdot \lambda \cdot D}{a}$$

- L'interfrange correspond à la distance entre deux franges d'amplitudes maximales consécutives, il y a donc :

$$i = x' - x = \frac{(k+1) \cdot \lambda \cdot D}{a} - \frac{k \cdot \lambda \cdot D}{a} = \frac{\lambda \cdot D}{a}$$

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a} = \frac{0{,}60 \times 10^{-3} \times 1{,}35 \times 10^{-2}}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 1{,}6 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

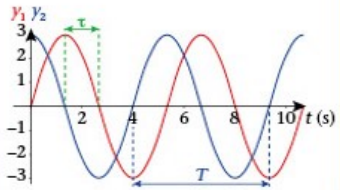
L'interfrange est de $1{,}6 \times 10^{-3}$ m.

37 Carte mentale

Conditions d'interférence

Deux ondes sont **cohérentes si** :

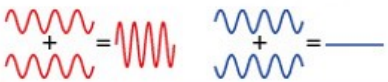
- fréquence identique ;
- déphasage τ constant.



Type d'interférence

Constructive : en un point, les deux ondes arrivent en **phase**.

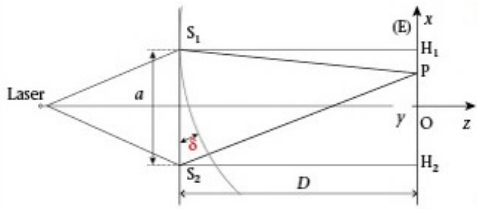
Destructive : en un point, les deux ondes arrivent en opposition de **phase**.



Interférences

Interférences des ondes lumineuses

Différence de chemin optique : $\delta = S_2P - S_1P = \dfrac{a \cdot x}{D}$



Interfranges : $i = \dfrac{\lambda \cdot D}{S_1S_2}$

Distance séparant les milieux de deux franges brillantes (ou sombres) consécutives.

- Si $\delta = k\,\lambda$, les interférences sont **constructives**, car les deux ondes arrivent en phase. La frange est **lumineuse**.
- Si $\delta = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) \cdot \lambda$, les interférences sont **destructives**, car les deux ondes arrivent en opposition de phase. La frange est **sombre**.

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Connaître les conditions d'obtention des interférences :	• les sources créant les ondes doivent être cohérentes. • pour les interférences lumineuses, on utilise un dispositif de division du front d'onde.
Déterminer si les interférences sont constructives ou destructives :	• vérifier si les ondes arrivent en phase (interférence constructive) ou en opposition de phase (interférence destructive).
Déterminer si une frange est sombre ou brillante :	• pour des ondes lumineuses, calculer la différence de chemin optique δ au point M en exploitant l'expression : $\delta = MS_2 - MS_1$ • calculer l'ordre d'interférence : – s'il est un multiple entier de la longueur d'onde, alors $\delta = k \cdot \lambda$ et la frange est lumineuse ; – s'il est un demi-entier, alors $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$ et la frange est sombre.
Établir et exploiter l'expression de l'interfrange *i* :	• utiliser le théorème de Pythagore afin d'établir l'expression de l'interfrange : $i = \frac{\lambda \cdot D}{S_1S_2}$ • isoler la grandeur cherchée et effectuer le calcul nécessaire.

Je me teste sur...

INTERFÉRENCES

1 **On obtient des interférences stables lorsque deux ondes :**
- ☐ **a.** se superposent.
- ☐ **b.** de même longueur d'onde se superposent.
- ☐ **c.** cohérentes se superposent.

2 **Le phénomène d'interférences s'observe :**
- ☐ **a.** avec deux ondes de longueurs d'onde quelconques.
- ☐ **b.** avec deux sources vibrant avec une fréquence différente.
- ☐ **c.** avec deux ondes de longueurs d'onde identiques.

3 **Des interférences destructives s'observent où deux ondes cohérentes :**
- ☐ **a.** se superposent.
- ☐ **b.** sont en phase.
- ☐ **c.** sont en opposition de phase.

4 **Des interférences constructives s'observent lorsque les ondes cohérentes qui interfèrent sont :**
- ☐ **a.** décalées d'un nombre entier de longueurs d'onde.
- ☐ **b.** décalées d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde.
- ☐ **c.** en opposition de phase.

5 **Pour observer une figure d'interférence avec des fentes de Young, l'écran doit être placé :**
- ☐ **a.** à une distance précise qui dépend de la longueur d'onde de la source.
- ☐ **b.** à n'importe quelle distance.
- ☐ **c.** à une distance qui dépend de la distance entre les fentes.

6 **Deux ondes donnent des interférences destructives lorsque leur différence de parcours vaut :**
- ☐ **a.** 3λ.
- ☐ **b.** λ.
- ☐ **c.** $\frac{\lambda}{2}$.

7 **On observe des franges brillantes sur un écran placé à la distance D de deux fentes séparées par une distance a et éclairées par un faisceau laser.**
- ☐ **a.** Si on double a, l'interfrange i est multipliée par deux.
- ☐ **b.** Si on double D, l'interfrange i est divisée par deux.
- ☐ **c.** Si on double a, l'interfrange i est divisée par deux.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **c.** En pratique, pour observer des interférences stables, les deux ondes qui se superposent doivent être cohérentes.

Voir **Fiche 33**

2 > **c.** Pour observer ce phénomène, les ondes doivent avoir des longueurs d'onde identiques et être émises par des sources vibrant à la même fréquence.

Voir **Fiche 33**

3 > **c.** Lorsque deux ondes cohérentes sont en phase en un point, on observe des interférences constructives et non destructives.

Voir **Fiche 33**

4 > **a.** Lorsque les ondes cohérentes qui interfèrent ont un décalage d'un nombre impair de demi-longueur d'onde, les interférences observées sont destructives et non constructives.

Voir **Fiche 33**

5 > **b.** Pour un écran orthogonal à l'axe de symétrie, la figure d'interférence est visible quelle que soit la distance séparant l'écran des sources.

Voir **Fiche 34**

6 > **c.** Il y a interférence destructive en tout point où λ est un multiple demi-entier de la longueur d'onde.

Voir **Fiche 34**

7 > **c.** $i = \dfrac{\lambda \cdot D}{a}$, i est inversement proportionnelle à a et proportionnelle à D.

Voir **Fiche 34**

La lunette astronomique

☐ À revoir
☐ OK

38

1 PRÉSENTATION

Rappel

La **distance focale** notée f' est la distance comptée positivement entre une lentille O et son foyer image F'.

Une lunette astronomique est un instrument utilisé pour observer les astres ou les objets éloignés. Elle comporte deux systèmes optiques :

– un objectif de distance focale $f_1' = O_1F_1'$ de l'ordre du mètre ;

– un oculaire de courte distance focale.

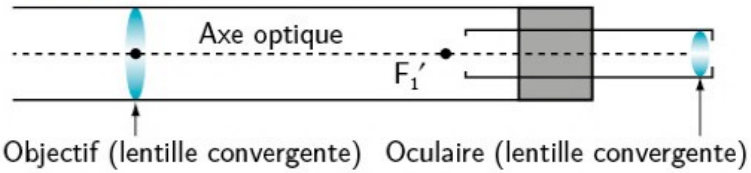
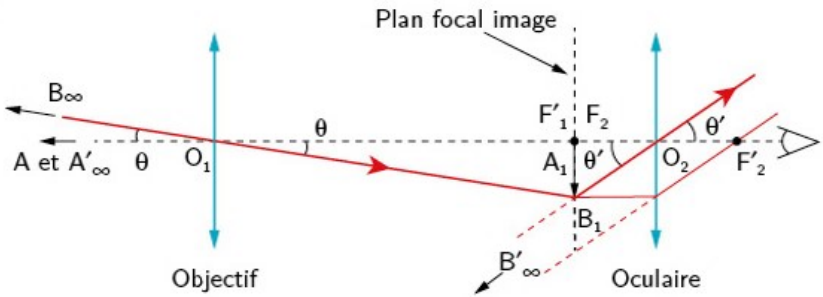


Schéma d'une lunette astronomique

2 MODÉLISATION

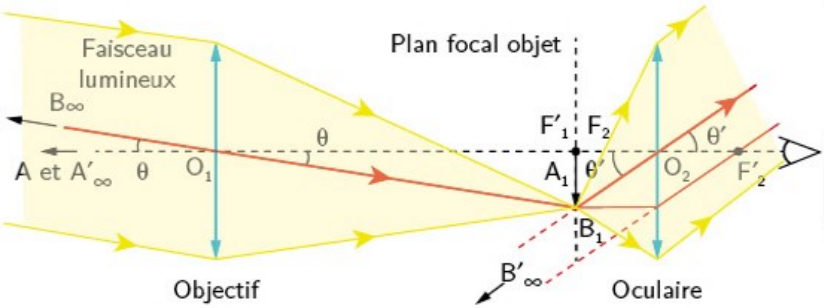
● L'objet AB est à grande distance de la lunette. Il peut être considéré comme étant à l'infini. L'objectif donne de l'objet AB une image intermédiaire A_1B_1 dans son plan focal image.



Tracé des rayons caractéristiques

● Le réglage de l'oculaire permet de faire la mise au point sur l'image. Pour cela, on fait coïncider les foyers F'_1 et F_2. L'oculaire joue le rôle d'une loupe et, comme cette dernière, fabrique une image virtuelle, c'est-à-dire ne pouvant être observée sur un écran.

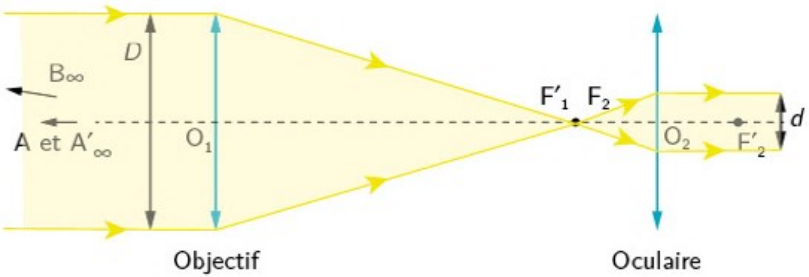
● L'image intermédiaire sert d'objet pour l'oculaire. Cette image est située dans le plan focal objet, plan contenant le foyer objet de l'oculaire. L'image définitive est rejetée à l'infini et apparaît renversée.



Faisceau lumineux provenant de la direction de B

● D'un objet à l'infini, la lunette forme une image à l'infini. La lunette astronomique est dite afocale, car le système ne possède pas de foyer.

● Les faisceaux lumineux envoyés par l'objet à l'infini sont collectés par la monture de l'objectif de diamètre *D*. On appelle cercle oculaire l'image de cette monture à travers la lunette astronomique. C'est ce cercle de diamètre *d* qui est vu lorsque l'on place son œil sur l'oculaire.



Faisceau lumineux provenant d'un objet à l'infini

● Le flux lumineux reçu par l'objectif est proportionnel à la surface réceptrice. Le quotient du flux reçu par l'objectif par le flux reçu par l'oculaire est donc dans le rapport des surfaces :

$$\frac{S_{\text{objectif}}}{S_{\text{oculaire}}} = \frac{\pi \cdot R^2}{\pi \cdot r^2} = \frac{\pi \cdot \dfrac{D^2}{4}}{\pi \cdot \dfrac{d^2}{4}} = \frac{D^2}{d^2} = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

Ce quotient a une grande valeur, ce qui signifie que le flux lumineux à travers l'oculaire est supérieur au flux lumineux à travers l'objectif. Une lunette astronomique est donc un amplificateur de lumière.

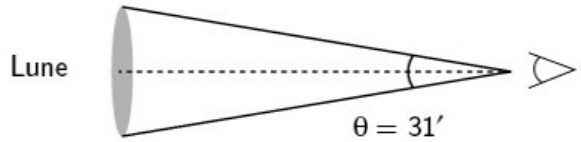
Indications commerciales

À revoir
OK

39

1 GROSSISSEMENT

● Un objet vu à grande distance est observé sous l'angle θ appelé aussi diamètre apparent. Par exemple, la Lune a un diamètre apparent de 31′ ($1° = 60'$).



Représentation du diamètre apparent

● En regardant à travers la lunette astronomique, l'image est vue sous un angle θ′. Le grossissement G (sans unité) est le quotient de ces deux angles :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

● En exprimant les angles précédents et en utilisant pour de petits angles l'approximation $\theta(\text{rad}) \approx \tan\theta$, ce grossissement peut aussi être écrit en fonction des distances focales de l'instrument :

$$\theta \approx \tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1A_1} = \frac{A_1B_1}{f_1'}$$

$$\theta' \approx \tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{f_2'}$$

● En effectuant le quotient de ces deux valeurs, on obtient :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \cdot \frac{f_1'}{A_1B_1}, \text{ donc } G = \frac{f_1'}{f_2'}$$

● Afin d'observer des objets lointains, il est nécessaire d'avoir le plus fort grossissement possible. Il faut donc que f_2' soit la plus petite possible et que f_1' soit la plus grande possible. Or il est difficile de diminuer la distance focale de l'oculaire sans diminuer la quantité de lumière parvenant à l'œil. La solution est donc d'augmenter la distance focale de l'objectif. La limite devient alors la taille de cette lentille qui peut se déformer sous l'effet de son poids.

2 GRANDEURS COMMERCIALES

● Les lunettes astronomiques du commerce affichent des indications suivantes :
– Grossissements : 32 ; 51 ; 107 ; 64 ; 102 ; 214.
– Objectif : achromatique, de diamètre 80 mm, de focale 640 mm.
– Oculaires : trois oculaires interchangeables de focale 20 mm ; 12,5 mm ; 6 mm.
– Lentille de Barlow (elle double le grossissement de la lunette pour chaque oculaire).

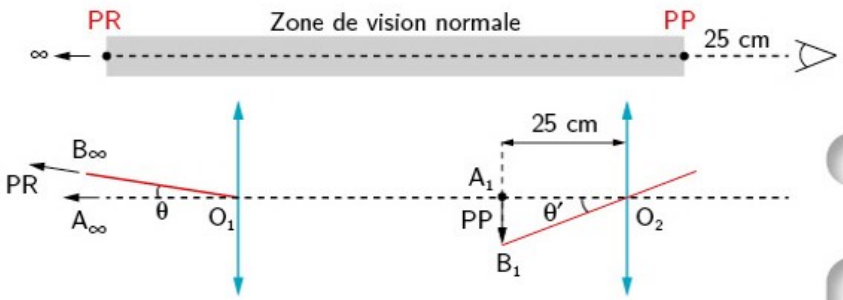
● Le grossissement d'une lunette astronomique afocale ne peut prendre que certaines valeurs particulières. Différents oculaires peuvent être adaptés sur la lunette afin de modifier les grossissements.

● L'objectif est achromatique lorsqu'il corrige les effets de dispersion de la lumière. Sur l'étiquette figure aussi son diamètre et sa distance focale f_1'.

● L'œil humain possède une vision normale entre le *punctum remotum* (PR) et le *punctum proximum* (PP) de distance minimale $d_m = 25$ cm.

Remarque

Une vision normale correspond à une vue théorique sans défaut. Les défauts les plus courants de la vue sont par exemple la myopie, l'hypermétropie ou la presbytie.



Positions des *punctum remotum* (PR) et *punctum proximum* (PP)

● Le grossissement commercial $G_C = \dfrac{\theta'}{\theta}$ est défini pour une image située au PR à travers l'instrument et pour un objet vu au PP pour l'œil normal.

● Le grossissement commercial compare un objet placé à 25 cm de l'œil, vu en direct, sans instrument, et son image à travers l'appareil. Il a alors sa valeur la plus importante possible.

Remarque

Lors d'une observation, l'œil de l'observateur est quasiment collé à l'oculaire. La distance d_m est donc pratiquement égale à la distance A_1O_2.

Exo résolu

À revoir
OK

40

REPRÉSENTER UN FAISCEAU

Savoir-faire

- Représenter l'image de l'objet à l'infini à travers l'objectif.
- Représenter l'image de l'image intermédiaire devenue objet à travers l'oculaire.
- En déduire la représentation du faisceau émergent.

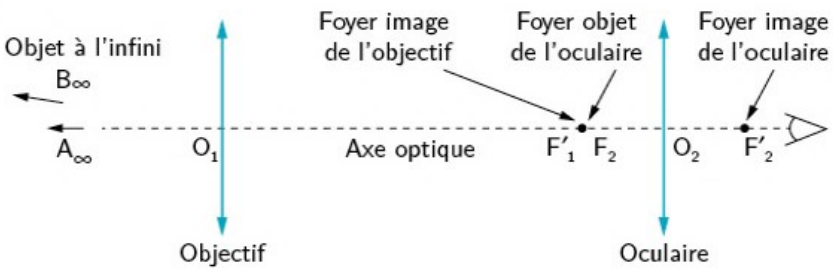
Énoncé

La planète Mars est observée par un astronome amateur à travers une lunette astronomique.

Représenter la situation modélisée ainsi que le faisceau émergent parvenant à l'œil de l'observateur.

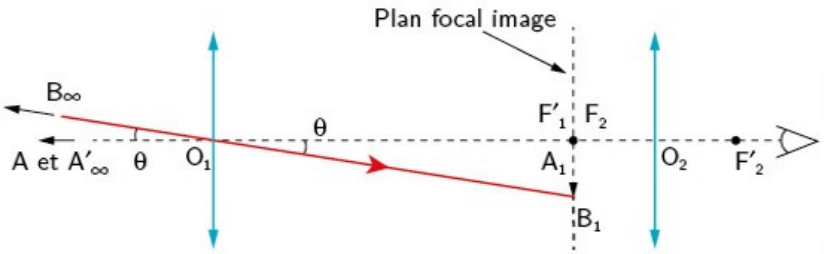
Résolution

- Pour représenter le faisceau lumineux, il faut tracer tout d'abord le ou les rayons caractéristiques afin de déterminer la position de l'image définitive. Modélisons la lunette astronomique avec ses éléments caractéristiques :



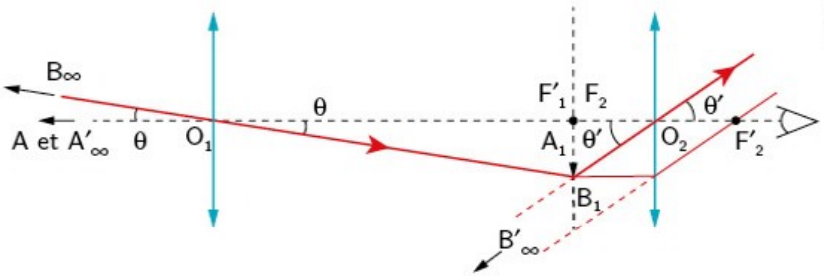
Dans le cas d'une lunette afocale, le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

- Tout rayon passant par le centre n'est pas dévié. Tout point situé à l'infini a pour image un point situé dans le plan focal de l'objectif. En combinant ces deux propriétés, A a pour image F_1' et B_1 image de B est obtenu en traçant la direction provenant de B et passant par le centre de l'objectif.



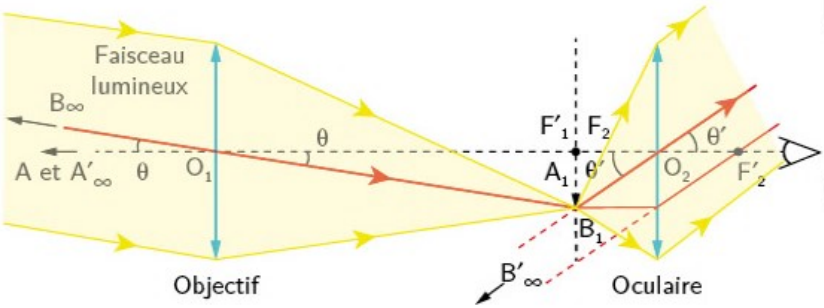
L'objet AB placé à l'infini forme ainsi une image intermédiaire A_1B_1.

Le rayon issu de B_1 et passant par O_2 n'est pas dévié. Le rayon parallèle à l'axe passe par F'_2 après avoir traversé l'oculaire.



L'observateur regardant dans l'oculaire voit les rayons se croiser à l'infini de la même façon qu'un observateur observant des rails les voit se croiser au loin, à l'endroit où la résolution de l'œil ne permet plus de les distinguer. B′ est l'image de B_1.

● Représentons le faisceau lumineux provenant de B. Comme tous les rayons provenant de B parviennent en B_1, le faisceau converge en B_1. Le faisceau issu de B_1 traverse l'oculaire. Comme B_1 est dans le plan focal de l'oculaire, il est constitué de rayons parallèles à la direction B_1O_2. Ce faisceau parvient enfin à l'œil de l'observateur.



Exos résolus

À revoir
OK

41

1 UTILISER LA RELATION DE CONJUGAISON

Savoir-faire

- Écrire la relation de conjugaison appliquée à la lentille.
- Écrire le théorème de Thalès correspondant au grandissement de la lentille convergente.
- Effectuer l'application numérique en tenant compte des signes, des chiffres significatifs et des unités.

Énoncé

Une lentille convergente de centre O a pour distance focale 10,0 cm.

Quelles sont la position et la taille de l'image A′B′ correspondant à un objet AB de 20,0 cm placé à 50,0 cm à gauche de la lentille ?

Résolution

Rappel

La relation de conjugaison relie la position de l'image OA′ à celle de l'objet OA.

- La relation de conjugaison appliquée à la lentille convergente est :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

- On isole l'expression permettant d'obtenir $\overline{OA'}$:

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}}$$

- On remplace par les valeurs. Les éléments à gauche de la lentille ont des mesures négatives et réciproquement :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{10,0} + \frac{1}{-50,0} = 0,0800\ \delta,\ \overline{OA'} = 0,125\ \text{m} = 12,5\ \text{cm}.$$

L'unité de l'inverse d'une distance est la dioptrie (δ).

L'image est à 12,5 cm à droite du point O.

Rappel

Le grandissement est le quotient de la taille de l'image par la taille de l'objet.

- On écrit la définition du grandissement et on applique le théorème de Thalès :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

D'où :

$$\overline{A'B'} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \cdot \overline{AB}$$

Application numérique :

$$\overline{A'B'} = \frac{12,5}{-50,0} \times 20,0 = -5,00 \text{ cm.}$$

L'image fait 5,00 cm. Le signe moins indique qu'elle est renversée.

2 CALCULER UN GROSSISSEMENT COMMERCIAL

Savoir-faire

- Exprimer et déterminer le diamètre apparent direct θ.
- Exprimer et déterminer le diamètre apparent θ′ à travers l'appareil.
- Effectuer l'application numérique.

Énoncé

La Lune, de diamètre apparent 31′ (sachant que 1° = 60′), forme une image de 2,0 cm à travers l'objectif d'une lunette astronomique de distance focale égale à 1,00 m. L'observateur voit une image nette de 10,0 cm en faisant une « mise au point », c'est-à-dire en réglant la distance oculaire-image à 25,0 cm.

Remarque

On considère que la distance de l'œil à l'objet est quasiment la même que celle de l'oculaire à l'objet.

Quel est le grossissement commercial de cette lunette astronomique ?

Résolution

- Calcul du diamètre apparent direct θ :

$\tan\theta = \frac{A_1B_1}{f_1'} = \frac{2,0 \times 10^{-2}}{1,00}$, d'où $\theta = 2,0 \times 10^{-2}$ rad.

- Calcul du diamètre apparent θ′ à travers l'appareil :

$\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A'} = \frac{25,0 \times 10^{-2}}{10,0 \times 10^{-2}}$, d'où $\theta = 1,19$ rad.

Application numérique :

Le grossissement commercial $G_C = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{1,19}{2,0 \times 10^{-2}} = 60.$

42

Carte mentale

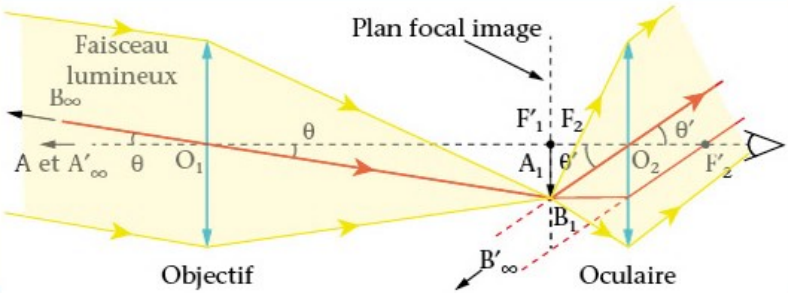
Définitions

La lunette astronomique :

- s'utilise pour observer des objets éloignés ;
- est constituée de deux systèmes optiques :
  - un objectif de **distance focale** de l'ordre du mètre;
  - un oculaire de courte distance focale, utilisé comme loupe.

La lunette astronomique

Modélisation



Grossissement

- Calcul : $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f_1'}{f_2'}$
- Grossissement « commercial » :

l'objet virtuel est supposé à 25 cm de l'œil.

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Représenter le modèle d'une lunette astronomique :	• dessiner les éléments caractéristiques d'une lunette : axe optique, lentilles, foyers et le plan focal de l'objectif. • dessiner le rayon provenant de l'infini et passant par le centre de l'objectif. • dessiner l'image virtuelle intermédiaire A_1B_1. • dessiner l'image de A_1B_1 à travers l'oculaire. • représenter les diamètres apparents θ et θ'.
Déterminer le grossissement d'une lunette astronomique :	• utiliser la relation de conjugaison d'une lentille convergente : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ • appliquer la formule du grossissement en utilisant les angles ou les distances focales : $G = \frac{\theta'}{\theta}$ (G est sans unité) ou $G = \frac{f_1'}{f_2'}$
Déterminer un grossissement commercial :	• savoir que le grossissement commercial a la même définition que le grossissement pour une image intermédiaire A_1B_1 située à 25 cm de l'œil. • savoir que dans le cas d'une lunette astronomique la position de l'œil coïncide pratiquement avec la position de l'oculaire.
Écrire la relation de conjugaison :	• être vigilant aux mesures algébriques : – exprimer les distances dans la même unité ; – signer les distances négativement si l'origine de la mesure est à droite du point mesuré, positivement sinon.

Je me teste sur...

LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

1 **Dans le cas d'une lunette astronomique, le faisceau lumineux traverse :**

- ○ **a.** l'objectif puis l'oculaire.
- ○ **b.** l'objectif puis l'axe optique.
- ○ **c.** l'axe optique puis l'oculaire.

2 **Quel(s) rôle(s) joue l'oculaire d'une lunette astronomique ?**

- ○ **a.** Il joue le rôle d'une loupe.
- ○ **b.** Il sert à faire la mise au point sur l'objet.
- ○ **c.** Il diminue l'image intermédiaire.

3 **Le diamètre apparent de l'image intermédiaire A_1B_1 vue depuis l'objectif d'une lunette astronomique est :**

○ **a.** égal à θ. ○ **b.** supérieur à θ. ○ **c.** inférieur à θ.

4 **L'image observée à travers l'oculaire d'une lunette astronomique est une image :**

○ **a.** réelle. ○ **b.** virtuelle. ○ **c.** intermédiaire.

5 **Le grossissement d'une lunette astronomique est :**

- ○ **a.** le quotient des tailles des objets et des images.
- ○ **b.** le quotient du diamètre apparent de l'objet par celui de l'objet.
- ○ **c.** le quotient du diamètre apparent de l'image par celui de l'objet.

6 **L'angle sous lequel est vu un objet à l'œil nu s'appelle :**

- ○ **a.** le diamètre apparent.
- ○ **b.** l'angle de visée.
- ○ **c.** l'angle de vue.

7 **La lunette astronomique est dite afocale car :**

- ○ **a.** elle ne comporte pas de foyer.
- ○ **b.** l'objet est à l'infini.
- ○ **c.** l'objet et l'image sont à l'infini.

8 **Quelle(s) relation(s) peu(ven)t être utilisée(s) pour calculer le grossissement ?**

○ **a.** $G = \frac{\theta'}{\theta}$. ○ **b.** $G = \frac{f_1'}{f_2'}$. ○ **c.** $G = \frac{f_2}{f_1}$.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** L'axe optique est l'axe de révolution de l'appareil. C'est aussi la direction principale de propagation de la lumière. Par conséquent, cet axe n'est jamais traversé.

Voir **Fiche 38**

2 > **a.** L'oculaire fonctionne sur le même principe qu'une loupe. Il permet de grossir l'image intermédiaire. Le réglage de l'oculaire permet de faire la mise au point sur cette image en faisant coïncider pour un œil normal les foyers F'_1 et F_2.

Voir **Fiche 38**

3 > **a.** Vu depuis l'objectif, l'angle θ est le même à gauche de la lentille et à droite.

Voir **Fiche 38**

4 > **b.** L'oculaire joue le rôle d'une loupe et, comme cette dernière, fabrique une image virtuelle, c'est-à-dire ne pouvant être observée sur un écran.

Voir **Fiche 38**

5 > **c.** L'image est dite grossie, car objet comme image sont à l'infini et l'image apparaît plus grosse que l'objet.

Voir **Fiche 39**

6 > **a.** Le terme « diamètre apparent » est un faux ami. Il désigne pourtant un angle. Par exemple, la Lune est vue sous un diamètre apparent de 31′, soit environ un demi-degré.

Voir **Fiche 39**

7 > **a.** et **c.** Le système dans son ensemble ne possède pas de foyer, alors que chaque lentille en possède. Le faisceau lumineux entrant est formé de rayons parallèles comme le faisceau de lumière émergent.

Voir **Fiche 38**

8 > **a.** et **b.** La relation **a.** est la définition de base. La relation **b.** en est l'interprétation géométrique en fonction des grandeurs caractéristiques des lentilles.

Voir **Fiche 39**

L'effet photoélectrique

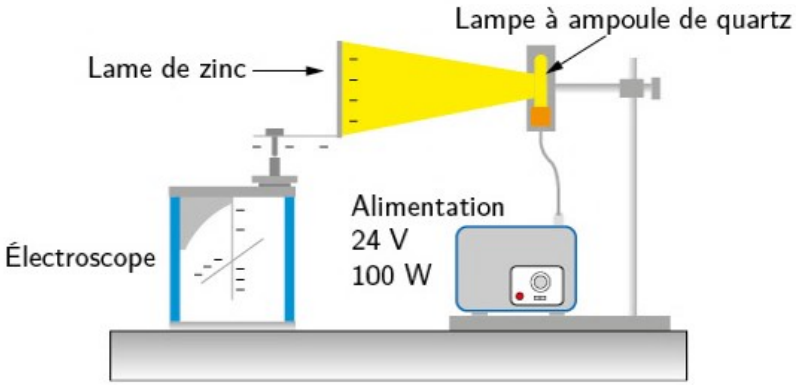
À revoir
OK

43

Certains dispositifs, lorsqu'ils sont éclairés par une onde électromagnétique, et sous certaines conditions, produisent du courant électrique. Cet effet est appelé l'effet photoélectrique.

1 EXPÉRIENCE DE HEINRICH HERTZ (1887)

● Un électroscope est un appareil possédant deux tiges métalliques : une tige fixe et verticale, et une tige mobile autour d'un point d'attache central. Par contact avec un objet possédant des charges électriques, l'électroscope se charge et la tige mobile tourne alors par répulsion. Un électroscope est chargé négativement. Lorsque cet électroscope est relié à une lame de zinc éclairée par une lampe, les lames se déchargent et se rapprochent.



L'expérience de Hertz avec un électroscope

● En interposant une lame de verre, matériau absorbant le rayonnement UV, entre la lampe et la lame de zinc, la décharge ne se produit pas. Le fait que des électrons soient arrachés au métal sous l'effet de la lumière constitue l'effet photoélectrique.

● Avant l'interprétation de cette expérience, seuls étaient connus les comportements ondulatoires de la lumière comme la dispersion, la réfraction, la diffraction ou encore les interférences. Mais aucun de ces phénomènes ne pouvait expliquer le fait que de la lumière pouvait extraire des électrons de la matière.

2 INTERPRÉTATION

- L'interprétation de cette expérience a été fournie en 1905 par Albert Einstein, qui a obtenu pour cela le prix Nobel de physique en 1921.

- La lumière est constituée de particules appelées **photons**, de masse **nulle** et de célérité $c \approx 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Chaque photon transporte une quantité élémentaire d'énergie appelée **quantum**, dont la valeur est donnée par la **relation de Planck** :

$$E = h \cdot \nu$$

avec E l'énergie en joules (J), ν la fréquence de l'onde en hertz (Hz) et h une constante de proportionnalité appelée constante de Planck qui a pour valeur $h = 6{,}625 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$.

Remarque

Cette relation ne dépend que de la fréquence et ne dépend pas de l'intensité lumineuse. En effet, éclairer plus intensément ne permet pas de produire l'effet photoélectrique.

- Pour arracher un électron au métal, l'énergie du photon doit être supérieure à une énergie minimale W_0 appelée **travail d'extraction** d'un électron du métal. Cela se traduit par $h \cdot \nu > W_0$.

- Ce travail d'extraction s'explique par les **structures électroniques**. Dans le cas d'un atome, les **couches** et **sous-couches** sont peuplées d'électrons ne pouvant occuper que certains niveaux particuliers. Dans le cas d'une structure cristalline, les électrons occupent des **bandes**. Celles-ci se recouvrent dans le cas des **métaux**, mais sont disjointes dans le cas des **semi-conducteurs**.

- Le travail d'extraction est l'énergie nécessaire pour amener un électron d'une couche ou d'une bande externe au niveau d'énergie pour lequel il peut être libéré, pouvant ainsi participer à la conduction électrique.

- En raisonnant sur un bilan d'énergie, on en déduit une **relation** entre la **fréquence de la lumière** reçue et l'**énergie cinétique de l'électron** émis $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$:

$$E_{\text{photon}} = E_{\text{électron}}$$

$$h \cdot \nu = W_0 + \frac{1}{2} m \cdot v_e^2$$

- Une **cellule photoélectrique** utilise l'effet photoélectrique. C'est un dispositif qui, lorsqu'il est éclairé, produit de l'énergie électrique, donc du courant électrique.

Interaction photon-matière

À revoir
OK

44

L'interaction photon-matière fonctionne dans les deux sens. Certains dispositifs produisent de l'énergie électrique lorsqu'ils sont éclairés par une onde électromagnétique, d'autres produisent de l'énergie lumineuse à partir d'énergie électrique.

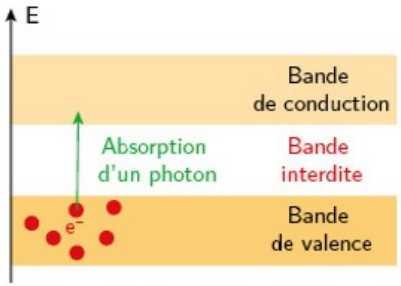
1 DISPOSITIFS PHOTOÉLECTRIQUES

● Les photodiodes reçoivent de l'énergie lumineuse qu'elles convertissent en énergie électrique. Elles sont utilisées dans les capteurs CCD (ou *Charge Coupled Device* pour « dispositif à transfert de charges ») des appareils photographiques ou des caméras numériques. Les CCD en constituent le capteur de lumière.

Les photodiodes y sont rangées en matrices. Chaque photodiode, quand elle reçoit de la lumière, libère une charge électrique captée par un dispositif repérant alors sa position. L'information est transmise à un circuit électronique spécialisé reproduisant sur un écran l'information reçue. Une image est ainsi créée point par point, soit pixel par pixel.

● Les panneaux solaires sont formés de cellules photovoltaïques qui convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique. L'inconvénient de ces cellules est leur rendement de conversion qui atteint aujourd'hui péniblement une vingtaine de pourcents.

Une cellule photovoltaïque exploite les propriétés des semi-conducteurs. Les niveaux d'énergie de ces matériaux sont constitués de bandes.



Bandes d'énergie dans les semi-conducteurs des cellules photovoltaïques

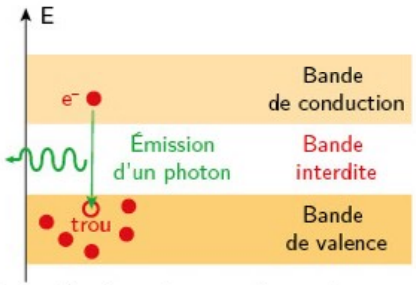
En recevant de l'énergie lumineuse, les électrons de la dernière bande occupée ou bande de valence passent dans la bande de conduction et participent à la conduction du matériau. Du courant électrique est ainsi généré.

2 AUTRES DISPOSITIFS ÉMETTANT DE LA LUMIÈRE

D'autres dispositifs émettent des photons à partir d'énergie électrique.

- Les diodes électroluminescentes (DEL, ou LED en anglais) convertissent l'énergie électrique en énergie lumineuse. Elles sont utilisées dans un très grand nombre d'appareils, car elles dépensent peu d'énergie électrique. Les DEL produisent par elles-mêmes peu d'énergie lumineuse, mais la luminosité globale peut devenir intense en regroupant un grand nombre de ces diodes.

- Dans un souci de développement durable, de plus en plus de dispositifs utilisent des DEL : voyants, feux de voiture, feux de signalisation, lampes... Les diodes électroluminescentes sont constituées de semi-conducteurs. Leur principe de fonctionnement est l'inverse de celles des cellules photovoltaïques. La bande de valence possède des trous, soit des zones dans lesquelles manquent des électrons. Les électrons présents dans la bande de conduction se recombinent avec ces trous en émettant un photon lumineux, soit de la lumière à notre échelle.



Bandes d'énergie dans les semi-conducteurs des DEL

L'écart en énergie de la bande interdite impose la longueur d'onde de la lumière émise par la DEL donc sa couleur.

Exemple : les détecteurs de présence reçoivent la lumière infrarouge émise par un intrus, due à sa température. En vertu de la loi de Wien, ils traduisent cette information en courant électrique et déclenchent le système d'alarme.

Les spectrophotomètres utilisés dans le cadre de la loi de Beer-Lambert possèdent une cellule photoélectrique mesurant l'intensité de la lumière reçue. Ils convertissent cette intensité lumineuse en intensité du courant électrique. Cette intensité est transmise à un système électronique chargé d'afficher le résultat sur un écran d'ordinateur.

Exos résolus

À revoir
OK

45

1 EXPLOITER L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

Savoir-faire

- Savoir écrire la conservation de l'énergie.
- Savoir exprimer chaque forme d'énergie et leur relation.

Énoncé

Une onde lumineuse possédant une longueur d'onde λ éclaire un matériau. Le travail d'extraction d'un électron de ce matériau a pour valeur W_0.

Exprimer littéralement l'énergie cinétique de l'électron émis.

Rappel

La conservation de l'énergie impose à l'énergie d'un système d'être constante au cours des différentes conversions qu'elle subit.

Résolution

La conservation de l'énergie indique que l'énergie lumineuse est entièrement convertie en énergie mécanique de l'électron si le matériau ne dissipe pas une partie de cette énergie :

$$E_{photon} = E_{électron} \Rightarrow h \cdot \nu = W_0 + E_c$$

On en déduit l'énergie cinétique de l'électron :

$$E_c = h \cdot \nu - W_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda} - W_0.$$

2 PASSER D'UNE ÉNERGIE À LA LONGUEUR D'ONDE

Savoir-faire

Savoir simplifier une expression littérale en une autre expression, plus courante.

Énoncé

Un photon a une énergie E exprimée en eV.

Quelle est la relation entre cette énergie et la longueur d'onde de l'onde associée ?

Données : constante de Planck : $h = 6{,}625 \times 10^{-34}$ J · s ;
célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}.

Résolution

- Relation de Planck : $E = h \cdot \nu$.
- Rappel : une onde lumineuse est une onde périodique progressive. Sa longueur d'onde et sa période sont liées par la relation : $\lambda = c \cdot T$. La fréquence étant l'inverse de la période, on a : $T = \dfrac{1}{\nu}$. On obtient donc $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$ ou, en exprimant la fréquence, $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$.
- On remplace l'expression de la fréquence dans la relation de Planck :

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

- L'énergie obtenue est en joules. On la convertit en électrons-volts en divisant par la valeur $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$:

$$E\ (\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$$

En exprimant la longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{e \cdot E\ (\text{eV})}$$

La longueur d'onde obtenue est exprimée en mètres. Or les valeurs des longueurs d'onde dans les domaines des ultraviolets ou du visible sont couramment des nanomètres (nm). La longueur d'onde peut donc s'exprimer en nanomètres en divisant par 1×10^{-9} :

$$\lambda\ (\text{nm}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot E\ (\text{eV}) \times 1 \times 10^{-9}}$$

Application numérique :

$$\lambda\ (\text{nm}) = \frac{6{,}625 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}6 \times 10^{-19} \cdot E\ (\text{eV}) \times 1 \times 10^{-9}} = \frac{1{,}24 \times 10^{3}}{E\ (\text{eV})}.$$

Cette dernière expression relie numériquement la longueur d'onde de l'onde associée et l'énergie du photon. Elle est très pratique et peut être retenue pour être employée telle quelle.

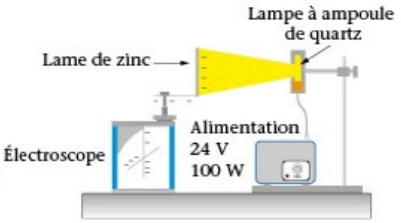
46

Carte mentale

L'expérience de Hertz (1887) : l'effet photoélectrique

Observations

- Les lames métalliques chargées négativement d'un électroscope se déchargent sous l'effet de la lumière.
- Quand on interpose une lame de verre absorbant les rayons UV, la décharge ne se produit pas.



L'interprétation d'Einstein (1905) : l'interaction photon-matière

- La lumière est composée de particules appelées **photons.**
- La lumière arrache des électrons au métal.

⇒ Un électron est extrait si l'énergie lumineuse du photon est supérieure à une valeur seuil W_0 : le **travail d'extraction**.

⇒ Relation entre la fréquence de la lumière et l'énergie de l'électron :

$$E_{\text{photon}} = E_{\text{électron}}$$

$$h \cdot \nu = W_0 + \frac{1}{2} m \cdot v_e^2$$

Aspect particulaire de la lumière

Applications : interaction lumière-matière

- **Conversion énergie lumineuse => énergie électrique**
  - Photodiodes
  - Panneaux solaires avec cellules photovoltaïques
- **Conversion énergie électrique => énergie lumineuse**
  - Diodes électroluminescentes (DEL)

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Décrire le photon :	• connaître les caractéristiques du photon : – énergie de l'onde lumineuse associée : $E = h \cdot \nu$; – célérité dans le vide : $c \approx 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; – masse nulle.
Comprendre l'effet photoélectrique :	• interaction entre la lumière et la matière : de l'énergie lumineuse est convertie en énergie électrique ; • de l'énergie électrique est produite seulement si $f > f_{seuil}$ ou si $\lambda < \lambda_{seuil}$.
Comprendre le travail d'extraction :	• le travail d'extraction W_0 est l'énergie nécessaire pour que l'énergie lumineuse soit convertie en énergie de l'électron ; • il s'obtient par conservation de l'énergie lors de la conversion : $h \cdot \nu = W_0 + \frac{1}{2} m \cdot v^2$
Comprendre l'absorption et l'émission de photons :	• savoir que la matière absorbe ou émet du rayonnement par conversion d'énergie lumineuse en électrique et réciproquement.
Comprendre les enjeux énergétiques :	• savoir que les dispositifs utilisant l'effet photoélectrique ou la conversion inverse consomment peu d'énergie : photodiodes, cellules photovoltaïques, DEL… • leur rendement énergétique est faible.

Je me teste sur...

ASPECT PARTICULAIRE DE LA LUMIÈRE

1 Dans l'expérience de Hertz, une fois la lampe allumée :
- ☐ **a.** des électrons sont libérés.
- ☐ **b.** des électrons sont envoyés sur la lame de zinc.
- ☐ **c.** des électrons sont apportés aux lames par le générateur.

2 En intercalant une plaque de verre entre la lampe et la lame de zinc dans l'expérience de Hertz :
- ☐ **a.** il ne se passe rien.
- ☐ **b.** des charges négatives sont créées sur les lames.
- ☐ **c.** des électrons sont libérés.

3 Que représente l'effet photoélectrique ?
- ☐ **a.** Une conversion d'énergie électrique en énergie lumineuse.
- ☐ **b.** Un transfert de charges électriques.
- ☐ **c.** Le fait que des électrons soient arrachés au métal par des photons.

4 W_0 représente :
- ☐ **a.** le travail d'extraction des électrons.
- ☐ **b.** l'énergie du photon incident.
- ☐ **c.** l'énergie minimum nécessaire pour libérer un électron.

5 Quelle expression représente l'énergie du photon ?

☐ **a.** W_0. ☐ **b.** $h \cdot \nu$. ☐ **c.** $\frac{1}{2}mv^2$.

6 En utilisant la conservation de l'énergie, quelle est la relation entre l'énergie du photon et celle de l'électron ?

☐ **a.** $W_0 + \frac{1}{2}mv_e^2 = h \cdot \nu$. ☐ **b.** $h \cdot \nu = W_0 - \frac{1}{2}mv_e^2$.

☐ **c.** $\frac{1}{2}mv_e^2 = W_0 + h \cdot \nu$.

7 Quel(s) dispositif(s) utilise(nt) l'effet photoélectrique ?
- ☐ **a.** Les DEL.
- ☐ **b.** Les photodiodes.
- ☐ **c.** Les cellules photovoltaïques.

8 Quel est l'ordre de grandeur du rendement d'une cellule photovoltaïque ?

☐ **a.** 40 %. ☐ **b.** 60 %. ☐ **c.** 20 %.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **a.** La particularité de l'expérience de Hertz est de faire interagir de la lumière, considérée alors comme une onde, avec l'électron. La lumière se comporte comme une particule « choquant » l'électron de la même façon qu'une boule de billard en choque une autre.

Voir **Fiche 43**

2 > **a.** En intercalant une plaque de verre, les rayons UV sont arrêtés. L'énergie reçue par la plaque de zinc n'est plus suffisante pour libérer des électrons. Il ne se passe donc rien.

Voir **Fiche 43**

3 > **c.** L'effet photoélectrique est une conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique. Les électrons sont arrachés au métal par les photons.

Voir **Fiche 43**

4 > **a.** et **c.** Le travail d'extraction et l'énergie minimum nécessaire pour libérer un électron représentent la même chose.

Voir **Fiche 43**

5 > **b.** La grandeur caractéristique de l'énergie d'un photon est sa fréquence, comme indiqué dans la relation de Planck.

Voir **Fiche 43**

6 > **a.** Pour faire un bilan d'énergie et utiliser la conservation de l'énergie, il faut considérer que l'énergie du photon incident est transmise intégralement à l'électron et réciproquement.

Voir **Fiche 43**

7 > **b.** et **c.** L'effet photoélectrique permet de caractériser la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique et non le contraire.

Voir **Fiche 44**

8 > **c.** Les cellules photovoltaïques ont malheureusement un faible rendement.

Voir **Fiche 44**

Le condensateur

À revoir
OK

47

1 INTENSITÉ D'UN COURANT ÉLECTRIQUE

● Considérons un conducteur cylindrique dans lequel se déplacent des charges électriques q à la vitesse moyenne v. Chaque seconde, la section S est traversée par des charges électriques et le volume du cylindre voit sa charge globale changer.

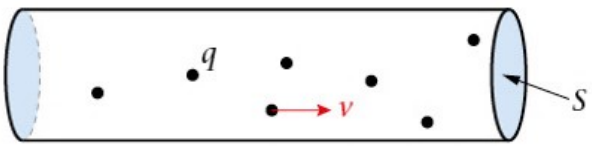


Schéma d'un conducteur électrique

● On appelle intensité du courant électrique la variation de la charge électrique au cours du temps. Comme il s'agit d'une variation instantanée, l'intensité i s'exprime comme la dérivée de cette charge au cours du temps :

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

avec i en ampères (A), q en coulombs (C) et t en secondes (s).

2 COMPORTEMENT CAPACITIF

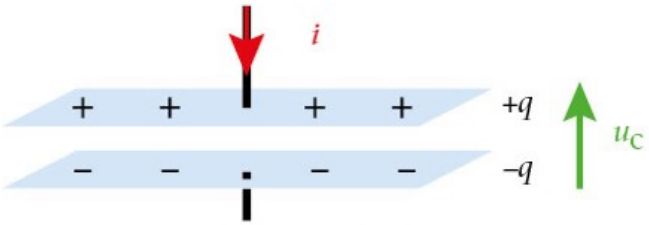
● Le comportement capacitif intervient chaque fois que des charges électriques de charges opposées s'accumulent sur des surfaces en regard.

Exemple : lors d'un orage, des charges négatives s'accumulent à la base du ou des nuage(s), alors que des charges positives s'accumulent dans le sol en regard des charges négatives. Des décharges électriques peuvent alors se produire entre le nuage et le sol. Il s'agit de la foudre. Elle est constituée d'éclair et de tonnerre. Il arrive aussi que la décharge se produise entre la base du nuage et son sommet, l'éclair zébrant le ciel quelquefois sans bruit notable.

● En biologie, le comportement capacitif permet de comprendre le fonctionnement de systèmes complexes comme le cœur.

3 LE MODÈLE DU CONDENSATEUR

● Le condensateur modélisé est constitué de deux plaques métalliques en regard l'une de l'autre. Chaque plaque se charge en fonction de l'intensité du courant électrique $i = \dfrac{dq}{dt}$ reçu par la plaque positive :



Condensateur modélisé

● Il apparaît alors une tension u_C aux bornes du condensateur. La charge électrique est proportionnelle à cette tension :

$$q = C \cdot u_C$$

C est la capacité du condensateur ; son unité est le farad de symbole F.

● Les capacités des condensateurs du commerce sont de l'ordre du microfarad ($1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}$ F) ou du nanofarad ($1\ nF = 1 \times 10^{-9}$ F).

● La capacité d'un condensateur est proportionnelle à la surface des plaques et inversement proportionnelle à l'épaisseur entre ces plaques. Ces caractéristiques sont utilisées dans différents dispositifs de commande, ainsi que dans des capteurs de déplacement, ou de position :

– un potentiomètre permettant de régler la fréquence d'un poste de radio est constitué d'un condensateur dont les plaques se faisant face sont des demi-disques. En faisant tourner le bouton du potentiomètre, ces faces voient leurs surfaces en regard changer de valeur, changeant ainsi la valeur de la capacité ;

– un microphone capacitif contient un condensateur. Lorsqu'un son pénètre, une armature du condensateur se déplace en modifiant l'épaisseur entre les plaques, donc la valeur de la capacité.

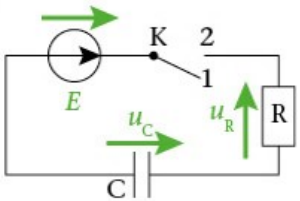
Le circuit RC série

À revoir
OK

48

1 CHARGE D'UN CONDENSATEUR

● Considérons le circuit série ci-après pour lequel le condensateur n'est pas chargé à l'état initial. En position 1, l'interrupteur K est ouvert et u_C comme u_R sont nulles. Si l'on bascule l'interrupteur K en position 2, un courant électrique peut circuler à travers la résistance R en chargeant le condensateur C.



Circuit de charge d'un condensateur C

● Appliquons la loi des mailles à ce circuit :

$E - u_R - u_C = 0$, d'où $E = u_R + u_C$

En faisant intervenir i et q : $E = R \cdot i + \dfrac{q}{C}$

Comme $i = \dfrac{dq}{dt}$, on obtient : $R \cdot \dfrac{dq}{dt} + \dfrac{q}{C} = E$

D'où : $\dfrac{dq}{dt} + \dfrac{q}{R \cdot C} = \dfrac{E}{R}$

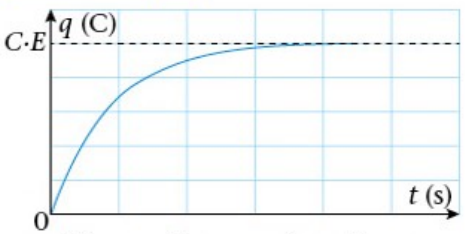
Rappel

La loi des mailles indique qu'en parcourant une boucle de circuit la somme des tensions appliquées est nulle. E est la force électromotrice d'un générateur idéal de tension.

● Cette équation est une équation différentielle du premier ordre avec second membre constant. Elle a pour solution :

$$q = C \cdot E\left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$$

avec pour temps caractéristique : $\tau = R \cdot C$.

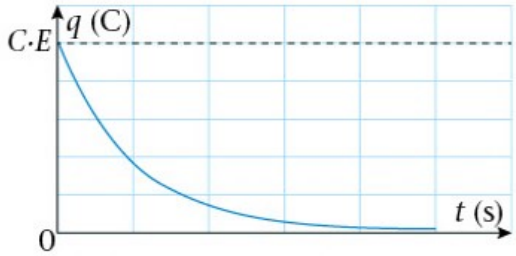


Charge d'un condensateur

2 DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR

● Le condensateur est chargé à l'instant $t = 0$, avec pour charge initiale $q(0) = C \cdot E$. La loi des mailles a la même expression que lors de la charge, car il s'agit du même circuit. Seules changent, dans la résolution de l'équation différentielle, les conditions initiales. On obtient :

$$q = C \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

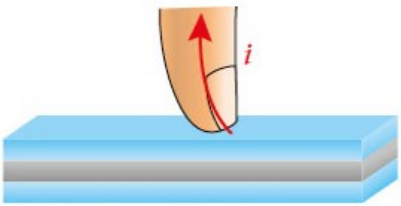


Décharge d'un condensateur

● La charge comme la décharge d'un condensateur constituent des régimes transitoires. Une fois le régime transitoire terminé, le régime devient stationnaire, indépendant du temps.

3 CAPTEURS CAPACITIFS

De nombreux appareils comme les écrans tactiles des téléphones, des tablettes et certains modèles de microphones utilisent des capteurs capacitifs.



Fonctionnement d'un capteur capacitif

Exemple : un écran tactile est constitué d'un grand nombre de condensateurs, tous chargés à la même tension. Lorsqu'un doigt entre en contact avec un point de l'écran, une partie de la charge électrique du condensateur touché est évacuée dans le corps humain sous la forme d'un micro-courant électrique. Les coordonnées de ce point, dont la capacité change, sont traitées par un circuit programmé.

Exos résolus

À revoir
OK

49

1 RÉSOUDRE L'ÉQUATION DE CHARGE

Savoir-faire

- Rechercher la solution générale en annulant le second membre.
- Rechercher la solution particulière, c'est-à-dire une fonction constante.
- Déterminer la solution particulière soit une fonction constante.
- Rechercher enfin la constante en utilisant les conditions initiales.

Énoncé

Lors de la charge d'un condensateur, on aboutit à l'équation différentielle $\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{E}{R}$ dans laquelle q est une fonction de t.

Que vaut $q(t)$?

Résolution

- La solution est de la forme : $q(t) = q_G(t) + q_P(t)$.
- La solution générale répond à l'équation :

$$\frac{dq_G}{dt} + \frac{q_G}{\tau} = 0$$

Vérifions que $q_G(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$ est solution de cette équation :

$$\frac{dq_G}{dt} = -\frac{A}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

En remplaçant $-\frac{A}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{A}{\tau} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = 0$, on obtient bien 0, donc la fonction $q_G(t)$ ci-avant convient.

- Pour la solution particulière, par annulation de la dérivée :

$$q_P = \frac{E \cdot \tau}{R} = \frac{E \cdot R \cdot C}{R} = C \cdot E$$

- La solution totale est :

$$q(t) = C \cdot E + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

● Détermination de A par les conditions initiales. À $t = 0$, $q(0) = 0$, car le condensateur est déchargé.

On obtient : $0 = C \cdot E + A \cdot e^{-\frac{0}{\tau}} = A + C \cdot E$, donc $A = -C \cdot E$.

En remplaçant la valeur de A dans la solution totale :

$$q(t) = C \cdot E + A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Après factorisation :

$$q(t) = C \cdot E\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

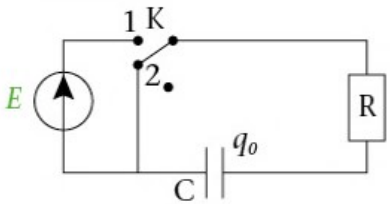
2 FLÉCHER UN CIRCUIT DE DÉCHARGE

Savoir-faire

- Flécher le courant électrique.
- Flécher les tensions en sens inverse des intensités.

Énoncé

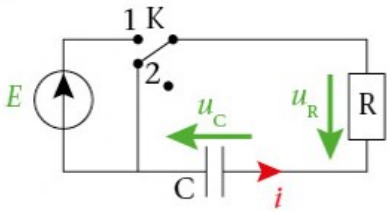
Flécher le circuit de décharge d'un condensateur initialement chargé avec la charge q_0 positive ci-dessous.



Résolution

● Le courant électrique circule de la plaque positive de charge q_0 vers la plaque négative.

● La tension aux bornes des dipôles récepteurs doit être fléchée en sens inverse du courant :

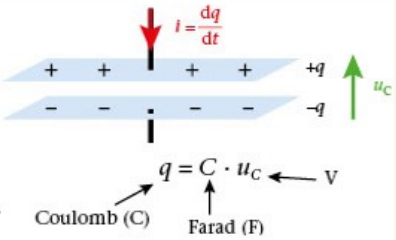


50

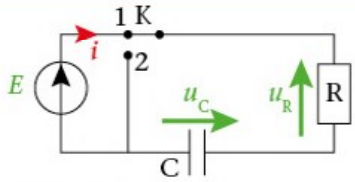
Carte mentale

Le modèle du condensateur

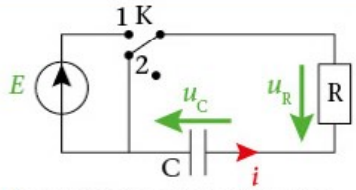
- Un **condensateur** modélisé est formé par deux plaques chargées séparées par un isolant.
- Les plaques ont les charges opposées $+q$ et $-q$.
- La charge de la plaque positive est proportionnelle à la tension à ses bornes.
- C : **capacité** du condensateur.



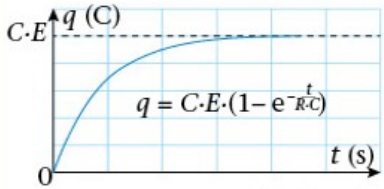
Charge et décharge d'un condensateur

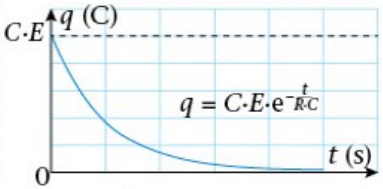


- Loi suivie lors de la charge



- Loi suivie lors de la décharge





- $\tau = R \cdot C$ est la constante de temps

Dynamique d'un système électrique

Applications : les capteurs capacitifs

- **Ils utilisent la variation de la capacité d'un condensateur.**
  - Écrans tactiles des téléphones, des tablettes et des ordinateurs
  - Microphones

Pour réussir le jour J !

Problématiques	Réflexes à avoir
Décrire l'intensité du courant électrique en régime variable :	• savoir qu'une intensité électrique est un débit de charges électriques : $$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$
Discerner une situation de type capacitif :	• savoir qu'elle correspond à la mise en regard de charges électriques de signes opposés.
Comprendre le modèle du condensateur :	• savoir que pour un condensateur : $$q = C \cdot u_C$$ • savoir que le coefficient de proportionnalité C s'appelle la capacité et que son unité est le farad de symbole F. • connaître des ordres de grandeurs usuels de capacités.
Exploiter la charge et la décharge d'un condensateur soumis à une tension idéale :	• établir l'équation différentielle en utilisant la loi des mailles. • résoudre l'équation différentielle en utilisant les conditions initiales. • connaître la constante de temps du circuit : $$\tau = R \cdot C$$ • ne rechercher la ou les constantes qu'une fois la solution générale déterminée.
Utiliser les capteurs capacitifs :	• savoir qu'ils fonctionnent sur le principe de modification de la capacité d'un dispositif capacitif.

Je me teste sur...

DYNAMIQUE D'UN SYSTÈME ÉLECTRIQUE

1 Quelle est l'expression correcte de i dans le cas d'une plaque chargée positivement ?

○ **a.** $i = -\dfrac{dq}{dt}$. ○ **b.** $i = \dfrac{dq}{dt}$. ○ **c.** $i = C \cdot u_C$.

2 Quelle est l'expression correcte de i dans le cas d'une plaque chargée négativement ?

○ **a.** $i = -\dfrac{dq}{dt}$. ○ **b.** $i = \dfrac{dq}{dt}$. ○ **c.** $i = C \cdot u_C$.

3 Quelles sont les représentations correctes des flèches dans le cas d'un condensateur ?

○ **a.** i vers la plaque + et u_C en sens inverse.
○ **b.** i vers la plaque – et u_C en sens inverse.
○ **c.** i vers la plaque + et u_C dans le même sens.

4 Quelle est l'unité de capacité d'un condensateur ?

○ **a.** Le coulomb. ○ **b.** Le farad. ○ **c.** Le volt.

5 Quelle est la loi suivie lors de la charge d'un condensateur ?

○ **a.** $q = C \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$. ○ **b.** $q = C \cdot E\left(e^{-\frac{t}{R \cdot C}} - 1\right)$.

○ **c.** $q = C \cdot E\left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$.

6 Le régime de la charge d'un condensateur est dit :

○ **a.** transitoire. ○ **b.** permanent. ○ **c.** temporaire.

7 Quelle est la loi suivie lors de la décharge d'un condensateur ?

○ **a.** $q = C \cdot E\left(e^{-\frac{t}{R \cdot C}} - 1\right)$. ○ **b.** $q = C \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$.

○ **c.** $q = C \cdot E\left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right)$.

8 Quelle expression représente le temps caractéristique τ de charge ou de décharge d'un condensateur ?

○ **a.** $\dfrac{R}{C}$. ○ **b.** $R \cdot C$. ○ **c.** $\dfrac{C}{R}$.

Corrigés au verso

Corrigés

1 > **b.** L'intensité du courant électrique représente la variation de la charge + de la plaque du même signe du condensateur.

Voir **Fiche 47**

2 > **a.** L'intensité du courant électrique représente l'opposée de la variation de la charge – de la plaque négative du condensateur par contraposée de la question **1**.

Voir **Fiche 47**

3 > **a.** Un condensateur est un dipôle récepteur. Il reçoit du courant par sa borne +, soit celle reliée au + du générateur, alors que sa tension est fléchée en sens inverse.

Voir **Fiche 47**

4 > **b.** L'unité légale est le farad. C'est une unité correspondant à de grandes valeurs. Les capacités usuelles sont de l'ordre du µF ou du nF.

Voir **Fiche 47**

5 > **c.** C'est la seule expression qui tend vers $C \cdot E$ lorsque le temps tend vers l'infini. $C \cdot E$ est la valeur correspondant au régime permanent.

Voir **Fiche 48**

6 > **a.** Un condensateur se comporte comme une boîte contenant des charges électriques. Le régime transitoire est un régime de charge temporaire du condensateur. Ce phénomène permet d'utiliser un temps de charge, par exemple lors d'une temporisation.

Voir **Fiche 48**

7 > **b.** C'est la seule expression qui tend vers 0 lorsque le temps tend vers l'infini. Il est naturel que la charge s'annule après une durée suffisamment longue lors d'une décharge.

Voir **Fiche 48**

8 > **b.** Le temps caractéristique est indicateur de la durée de charge et il permet de comparer les montages entre eux. On considère arbitrairement qu'un condensateur est chargé au bout de 5 τ.

Voir **Fiche 48**

FORMULAIRE

MOUVEMENT ET INTERACTIONS

Deuxième loi de Newton

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$$

$\vec{a}_G$: accélération du centre de masse (en m·s^2)
$\vec{F}_{ext}$: force extérieure au système (en N)
m : masse du système (en kg)

Troisième loi de Kepler

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

a : demi-grand axe de l'ellipse de révolution d'un astre ou d'un satellite (en m)
T : période de révolution d'un astre ou d'un satellite (en s)

Poussée d'Archimède

$$\vec{P}_A = -\rho_{fluide} \cdot V \cdot \vec{g}$$

ρ_{fluide} : masse volumique (en kg·m^{-3})
V : volume du fluide déplacé (en m^3)
g : intensité de la pesanteur (en N·kg^{-1})
$\vec{P}_A$: poussée d'Archimède (en N)

Relation de Bernoulli

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

p : pression (en Pa)
ρ : masse volumique du fluide (en kg·m^{-3})
g : intensité de la pesanteur (en N·kg^{-1})
z : altitude (en m)

L'ÉNERGIE : CONVERSION ET TRANSFERTS

Équation d'état du gaz parfait

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p : pression (en Pa)
V : volume du gaz (en m^3)
n : quantité de matière (en mol)
R : constante des gaz parfaits (en Pa·m^3·mol^{-1}·K^{-1})
T : température (en K)

Premier principe de la thermodynamique

$$\Delta U = Q + W$$

Q : transfert d'énergie thermique (en J)
W : transfert de travail (en J)
ΔU : variation d'énergie interne (en J)

Flux thermique

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\lambda \cdot S}{e} \cdot (T_1 - T_2)$$

Q : transfert d'énergie thermique (en J)
Δt : durée (en s)
l : conductivité thermique spécifique d'un matériau (en W·m^{-1}·K^{-1})
S : aire (en m^2)
e : épaisseur (en m)
T : température (en K)
φ : flux thermique (en W)

Loi de Newton

$$\frac{dT(t)}{dt} = -K \cdot (T(t) - T_0)$$

T : température (en K)
dt : durée (en s)
K : constante de proportionnalité (en s^{-1})

Niveau d'intensité sonore

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I : intensité sonore (en W · m^{-2})
I_0 : intensité sonore de référence, égale à $1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}
L : niveau d'intensité sonore (en dB)

Diffraction par une fente rectangulaire

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

λ : longueur d'onde (en m)
a : taille de l'ouverture rectangulaire (en m)
θ : angle caractéristique de diffraction (en rad)

Interférences constructives (a), destructives (b)

(a) $\delta = k \cdot \lambda$ (b) $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$

λ : longueur d'onde (en m)
δ : différence de chemin optique (en m)

Grossissement

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

θ : angle (en ° ou en rad)
G : grossissement (sans unité)

Décalage Doppler pour un émetteur se rapprochant (a), s'éloignant (b)

(a) $v_E = v \cdot \frac{f_A - f_E}{f_A}$ (b) $v_E = v \cdot \frac{f_E - f_A}{f_A}$

f_E : fréquence de l'émetteur (en Hz)
f_A : fréquence reçue en A (en Hz)
v : célérité de l'onde (en m·s^{-1})
v_E : vitesse de l'émetteur (en m·s^{-1})

Relation de Planck

$$E = h \cdot \nu$$

h : constante de Planck (en J·s^{-1})
ν : fréquence (en Hz)
E : énergie (en J)

Intensité électrique en régime variable

$$i = \frac{dq}{dt}$$

i : intensité (en A)
dq : variation de la charge électrique (en C)
dt : durée (en s)

Charge d'un condensateur

$$q = C \cdot u_C$$

q : charge électrique (en C)
C : capacité (en F)
u_C : tension aux bornes du condensateur (en V)

N° projet : 10267895
Dépôt légal : janvier 2021
Imprimé en France
par Clerc en décembre 2020

FSC www.fsc.org
MIXTE
Papier issu de sources responsables
FSC® C022030

Bordas est un éditeur qui s'engage pour la préservation de l'environnement et utilise du papier issu de forêts gérées de manière responsable et d'autres sources contrôlées.

Mes années BAC

Les fiches Tle

Spécialité

Physique

50 fiches détachables pour réviser efficacement et réussir l'épreuve

- L'essentiel du cours pour revoir tout le programme
- Des cartes mentales pour mémoriser facilement
- Des exos résolus pour acquérir les bonnes méthodes
- Des quiz pour tester rapidement ses connaissances
- Un formulaire complet

+ Ton livre sur mobile pour réviser où tu veux, quand tu veux

En complément, pour t'entraîner toute l'année

Dans la collection *Mes années BAC*

Fiches

Philosophie ● Tle
Philosophie ● Tle Techno
Histoire-Géo ● Tle
Enseignement scientifique ● Tle
Enseignements communs ● Tle
Spécialité Chimie ● Tle
Spécialité SVT ● Tle

Cours & Exercices



Philosophie ● Tle
Spécialité Maths ● Tle
Spécialité Physique-Chimie ● Tle

Les tout-en-un

Enseignements communs + spécialités



Physique-Chimie/ SVT ● Tle
Physique-Chimie/ Maths ● Tle
Sciences Humaines/ Maths ● Tle

ISBN 978-2-04-735904-4

9 782047 359044

6,30 € PRIX FRANCE

bordas
www.editions-bordas.fr
IMPRIMÉ EN FRANCE
FSC DES FORÊTS POUR TOUS POUR TOUJOURS
Couverture : Cécile Gallou