Physique

Classe de 1 ère D

COLLECTION UREN J


1
CINÉMATIQUE

EXERCICES

Faire le point

- Donner deux unités de travail couramment employées.
- Donner l'unité de puissance dans le système international d'unités.
- Étudier les diverses propositions énoncées; sont-elles vraies ou fausses? Discuter et rectifier éventuellement :

a/ Le travail d'une force est toujours égal au produit de l'intensité de la force par la longueur du trajet parcouru par le point d'application.

b/ Le travail d'une force quelconque est égal au produit scalaire du vecteur force par le vecteur déplacement du point d'application de la force.

c/ Le travail d'une force constante en grandeur et direction est égal au produit scalaire du vecteur force par le vecteur déplacement du point d'application de la force.

d/ Le travail d'un ensemble de forces réparties de somme $\vec{F}$ agissant sur un solide en translation est égal au produit scalaire du vecteur somme $\vec{F}$ par le vecteur déplacement du solide.

e/ La puissance d'une force $\vec{F}$ n'est égale au produit scalaire du vecteur force par le vecteur vitesse du point d'application que si cette force $\vec{F}$ est constante en grandeur et direction.

f/ La puissance d'un ensemble de forces agissant sur un solide en translation est égale au produit scalaire du vecteur somme des forces par le vecteur vitesse du centre d'inertie du solide.

g/ Le travail est égal au produit de la puissance par la durée de l'action exercée par la force.

h/ La puissance moyenne est égale au quotient du travail effectué par la durée correspondante.

Applications directes du cours

3.1 A Un tracteur tire un wagon sur une distance de 300 m. La force constante exercée par le câble d'attelage est de 2000 N. La direction du câble fait constamment un angle de 18° par rapport à la direction du mouvement du wagon. Calculer le travail fourni par le tracteur.

3.2 AC Quel est le travail nécessaire pour mettre en position verticale un poteau homogène de 6 m de long et de masse 190 kg à partir d'une position initiale horizontale sur le sol? Le résultat est-il le même pour un poteau de même masse mais non homogène?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.3 A Un corps de masse 10 kg tombe en chute libre, sans vitesse initiale, d'une hauteur de 3 m. Quelle est la puissance du poids du corps aux instants suivants :

a/ en début de chute?
b/ en fin de chute?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.4 C Au cours d'une descente en parapente, un parachutiste de masse totale 80 kg effectue un vol plané d'un mouvement rectiligne uniforme, suivant une direction inclinée de 15° par rapport à la verticale. Ce vol dure 30 s et est effectué à la vitesse de $5\ \text{m.s}^{-1}$.

1/ Calculer le travail des forces réparties dues à l'air.

2/ Calculer la puissance de ces forces.

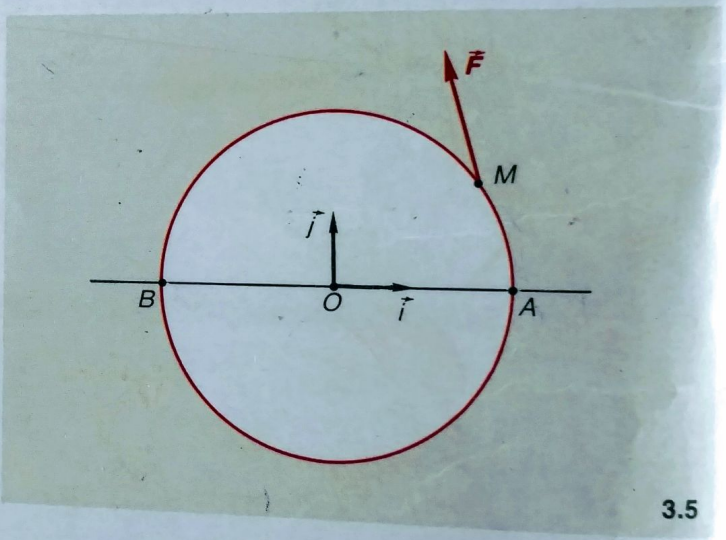
Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

Travail

3.5 B On considère un repère $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ et $\mathcal{C}$ un cercle de centre O et de rayon R (voir figure). On demande de calculer le travail d'une force $\vec{F}$ de norme constante, déplaçant son point d'application M suivant le cercle de A en B, dans les 3 cas suivants :

a/ $\vec{F} = \|\vec{F}\|.\vec{j}$;
b/ $\vec{F} = \|\vec{F}\|.\vec{i}$;
c/ $\vec{F}$ reste tangente au cercle (en M : $\vec{F} = \|\vec{F}\|.\vec{u}$, $\vec{u}$ étant le vecteur unitaire porté par la tangente et orienté dans le sens du mouvement).

Application numérique : $\|\vec{F}\| = 4$ N, $R = 0{,}2$ m.



3.5

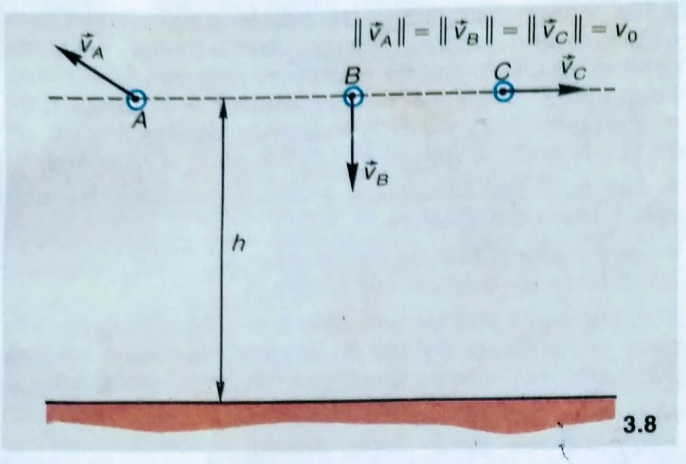
3.6 BC Une échelle de masse 15 kg et de longueur 4 m repose sur le sol. On la soulève pour l'appuyer contre un mur. Elle fait alors un angle de 30° avec le mur. Quel est le travail effectué par le poids de l'échelle au cours de l'opération?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.7 A Annuellement, au barrage de Roselend (Savoie), environ $3{,}3.10^8\ \text{m}^3$ d'eau passent de l'altitude 1557 m (altitude de la surface du lac) à l'altitude 350 m (altitude de l'usine hydroélectrique). Calculer le travail des forces de pesanteur fourni par l'eau chaque année.

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

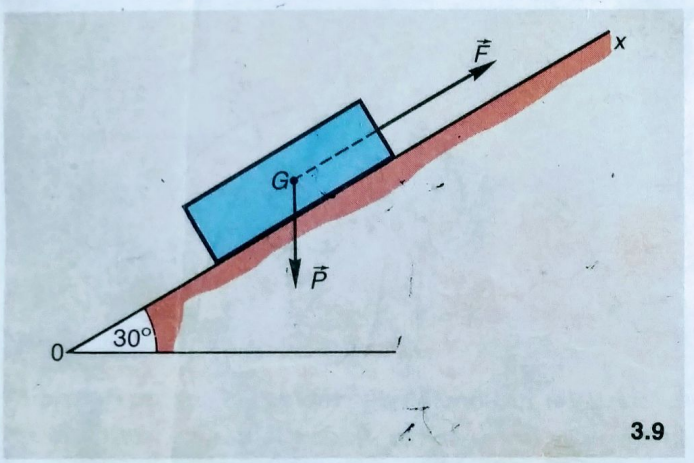
3.8 C Trois balles identiques, de masse m, sont lancées avec des vecteurs vitesse de même norme v_0, mais d'orientations différentes, à partir de trois points situés à la même altitude h.



3.8

Calculer le travail du poids pour les trois balles lorsqu'elles tombent sur le sol.

3.9 C Sur un plan incliné de 30° par rapport à l'horizontale, un bloc de pierre glisse sous l'action d'une force constante $\vec{F}$; cette force d'intensité 5 000 N est parallèle à la ligne de plus grande pente Ox. Le poids de ce bloc est de 4 000 N.



3.9

1/ Calculer le travail de la force $\vec{F}$ lorsque le bloc s'est déplacé de 3 m vers le haut le long du plan incliné.

2/ Calculer le travail du poids au cours du même déplacement.

3/ Si nous admettons que le bloc se déplace à vitesse constante, le Principe de l'inertie impose

$$\vec{F} + \vec{P} + \vec{R} = \vec{0},$$

$\vec{R}$ étant la résultante des actions réparties du sol sur le bloc. En déduire le travail de la résultante $\vec{R}$ au cours du déplacement défini précédemment.

3.10 BC Des briques cubiques toutes identiques, de côté $a = 20$ cm et de masse $m = 4$ kg, sont posées sur le sol. Pour former un pilier, on dispose 15 briques les unes sur les autres.

1/ Calculer le travail du poids de la $n^{\text{ième}}$ brique lorsqu'elle est portée du sol à sa place dans le pilier.

2/ Calculer le travail qu'il a fallu fournir pour construire le pilier.

3/ Une autre manière de procéder est d'assembler les briques au sol puis de relever le pilier entier. Calculer le travail du poids dans ce cas. Retrouve-t-on le même résultat?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.11 C On veut déplacer, à vitesse constante, un corps de masse 100 kg dans le champ de pesanteur terrestre ($g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$). Quel travail doit-on fournir pour :

a/ l'élever d'une hauteur de 10 m?

b/ le déplacer sur une route horizontale d'une même distance en admettant que les forces de frottement sont équivalentes à une force unique, constamment opposée à la vitesse du corps et d'intensité 300 N?

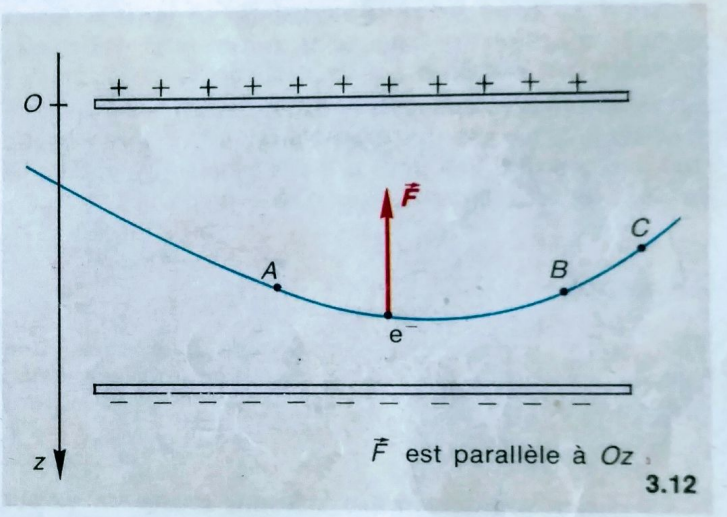
c/ le déplacer vers le haut sur un plan incliné (même force de frottement) sur une même distance (ce plan est tel que la masse s'est élevée de 6 m)?

3.12 B Entre deux plaques chargées, un électron est soumis à une force constante $\vec{F}$ (comme l'indique la figure) d'intensité $1{,}6.10^{-14}$ N.
Les cotes des points A, B et C sont les suivantes :

$$z_A = 3\ \text{cm}; \quad z_B = 3\ \text{cm}; \quad z_C = 2\ \text{cm}.$$

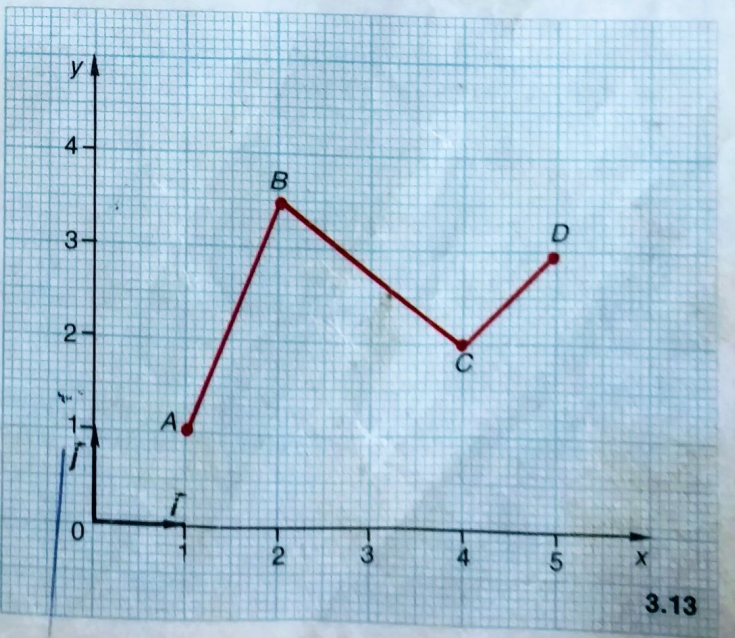
Calculer le travail de la force $\vec{F}$:

a/ pour le trajet AB;
b/ pour le trajet AC.



3.12

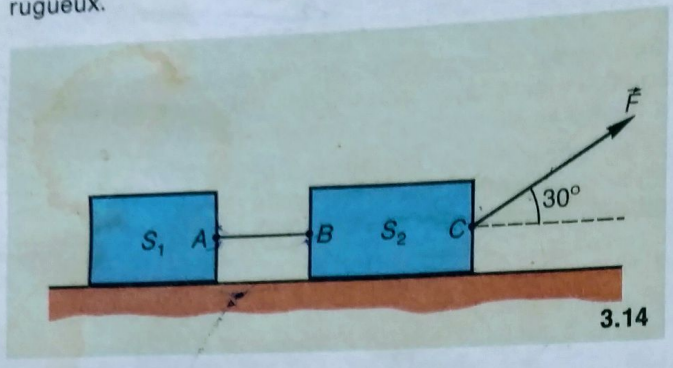
3.13 B Le point d'application d'une force $\vec{F}$ se déplace selon un trajet $ABCD$ repéré dans le plan à l'aide d'un repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$. L'unité de longueur est le mètre.
Cette force est constante; $\vec{F} = 200\vec{i} - 100\vec{j}$ (en N).
Calculer le travail de cette force entre les points A et D.



3.13

EXERCICES

3.14 C Un système constitué de deux blocs reliés par un fil AB de masse négligeable est tiré avec une force constante $\vec{F}$, d'intensité 300 N, sur un plan horizontal rugueux.



3.14

1/ Calculer le travail de la force $\vec{F}$ lorsque le système s'est déplacé de 20 m.

2/ La vitesse étant constante, la tension du fil horizontal AB qui relie les deux blocs est alors constante et égale à 120 N.
Calculer le travail au cours du trajet de la tension du fil appliqué au bloc S_2 et le travail de la tension du fil appliqué au bloc S_1. Calculer le travail total des forces de frottement exercées par le plan sur S_1 et S_2.

3/ On envisage maintenant le cas où la vitesse n'est plus constante; la tension du fil varie au cours du mouvement. Que peut-on dire des travaux de la tension $\vec{T}_B$ appliquée en B et de la tension $\vec{T}_A$ appliquée en A?

Puissance

3.15 A Un garçon de 45 kg grimpe à la corde une hauteur de 3 m en 5,7 s. Quelle puissance moyenne développe-t-il?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.16 A Une grue électrique lève une masse de 1 t sur une hauteur de 12 m en 1 min à vitesse constante.

1/ Quelle est la puissance mécanique développée par le moteur?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

2/ En fait, le rendement du moteur est de 85 %. Quelle puissance électrique lui fournit-on?

3.17 A Une pompe centrifugeuse transporte 150 l d'eau par minute à 140 m de dénivellation. Quelle est sa puissance?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.18 B Le TGV 001, rame expérimentale de la S. N. C. F., a atteint la vitesse de 318 km.h^{-1} avec une puissance de 3760 kW. On suppose que les seules forces de frottement se réduisent à la résistance de l'air, force parallèle aux rails.

1/ Calculer cette force.

2/ La puissance nécessaire variant comme le cube de la vitesse, quelle serait la puissance nécessaire pour atteindre 500 km.h^{-1}?

Comparer l'accroissement relatif de puissance $\frac{\Delta \mathcal{P}}{\mathcal{P}}$ à l'accroissement relatif de vitesse $\frac{\Delta v}{v}$. Conclure.

3.19 C Une automobile de masse 1300 kg tire une caravane de masse 550 kg. Sur chaque véhicule l'ensemble des forces de résistance est équivalent à une force unique, parallèle au déplacement et s'opposant au mouvement. A 75 km.h^{-1}, l'intensité de ces forces est de 600 N pour la voiture et 1200 N pour la caravane.

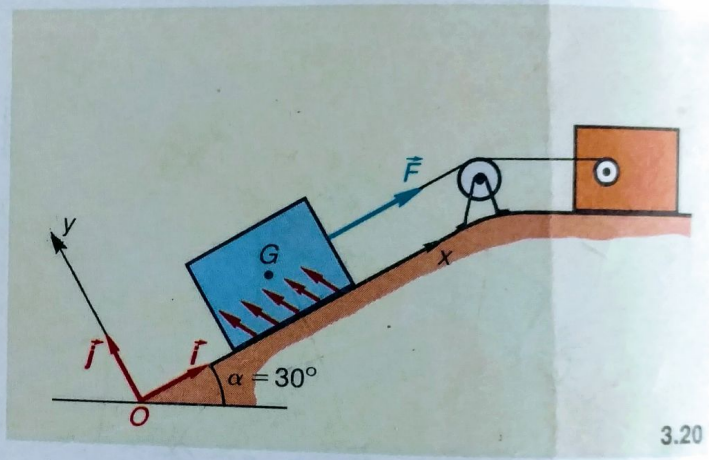
1/ Cet équipage se déplace à vitesse constante sur une voie horizontale. Calculer :

a/ la puissance fournie par le moteur;
b/ la force de traction sur l'attelage.

2/ L'ensemble aborde une côte à 4 % (élévation de 4 m pour un parcours de 100 m) et garde la même vitesse. Répondre aux mêmes questions que précédemment.

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.20 BC Un bloc de pierre de poids 3000 N est tiré par un câble suivant la plus grande pente d'un plan incliné rugueux, d'angle 30° par rapport à l'horizontale. Le câble exerce une force constante $\vec{F}$, d'intensité 4000 N et dont la droite d'action passe par G, centre d'inertie du bloc. La vitesse du bloc est constante, égale à 5 m.s^{-1}.



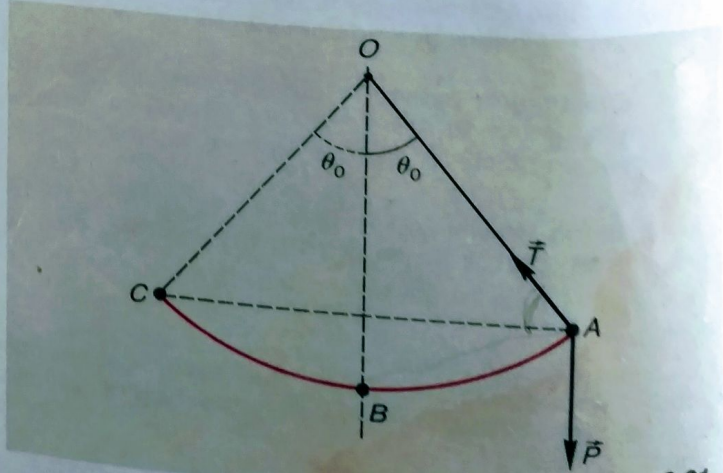
3.20

1/ Rappeler le Principe de l'inertie (classe de Seconde).

2/ Calculer la résultante $\vec{R}$ des forces qu'exerce le sol sur le bloc de pierre. On pourra soit déterminer $\vec{R}$ graphiquement, soit calculer les composantes R_x et R_y.

3/ Calculer la puissance de la force $\vec{F}$, celle du poids $\vec{P}$ puis celle de la réaction $\vec{R}$.

3.21 C Un pendule est constitué par une bille de très petite dimension, de masse $m = 100$ g, fixée à l'extrémité d'une ficelle de longueur $\ell = 1$ m. Le pendule oscille dans un plan vertical avec une amplitude maximale d'angle $\theta_0 = 40°$.



3.21

1/ Calculer le travail du poids lorsque le pendule passe de A en B, puis de B en C (voir figure ci-avant). Quel est le travail du poids au cours d'une oscillation complète?

2/ Peut-on écrire que le travail de la tension $\vec{T}$ du fil sur le trajet AB est égal à $W = \vec{T} . \overrightarrow{AB}$? Pourquoi?

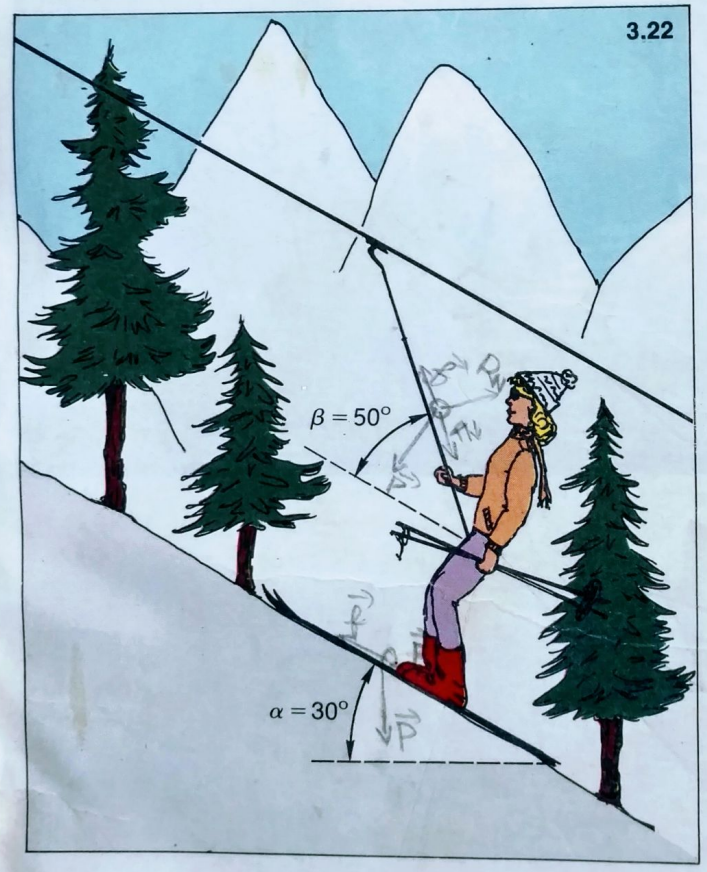
3/ En un point quelconque de la trajectoire de la bille, calculer la puissance de la tension $\vec{T}$. Que peut-on alors conclure sur le travail de la tension $\vec{T}$ entre A et B?

Donnée : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

3.22 C Un skieur de poids $P = 800$ N est tiré à la vitesse constante de 10 km.h^{-1} par un remonte-pente comme l'indique la figure. La perche fait un angle $\beta = 50°$ avec le sol, lui-même incliné d'un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale. Les forces de frottement, opposées au mouvement, ont une somme $\vec{f}$ d'intensité 50 N. Calculer :

a/ la force exercée par la perche sur le skieur (on utilisera le Principe de l'inertie);
b/ la puissance de cette force;
c/ le travail de cette force lorsque le skieur s'est élevé de 2 m.

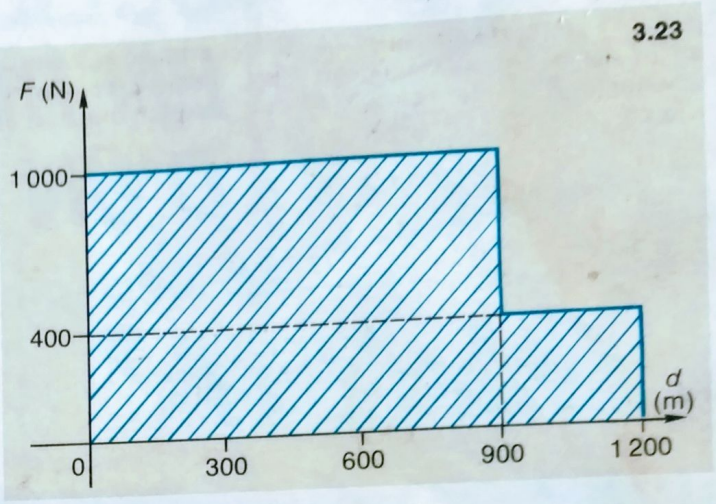
3.22



Études graphiques

3.23 B Un système quelconque exerce sur un équipage en translation rectiligne, parallèlement à la direction du déplacement, une force dont l'intensité en fonction de la distance parcourue est représentée sur la figure ci-après.

3.23

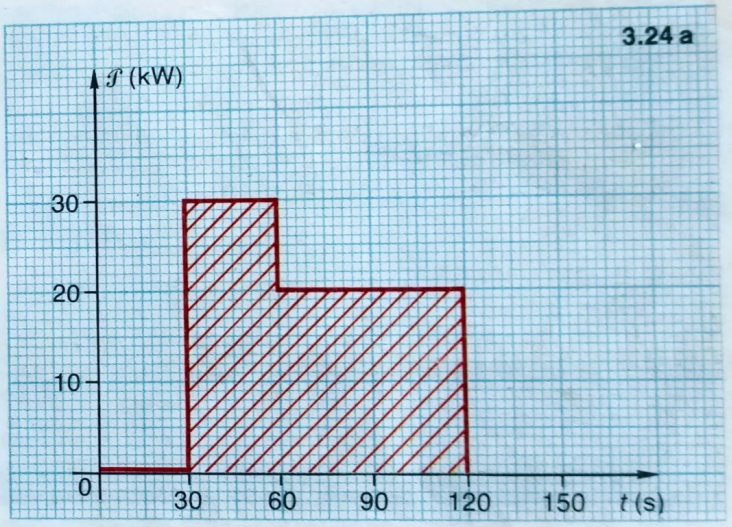


1/ Calculer le travail fourni.

2/ Comparer ce travail à l'aire hachurée. Justifier.

3.24 B La puissance d'une force exercée sur un solide varie au cours du temps selon le graphique de la figure ci-dessous.

3.24 a

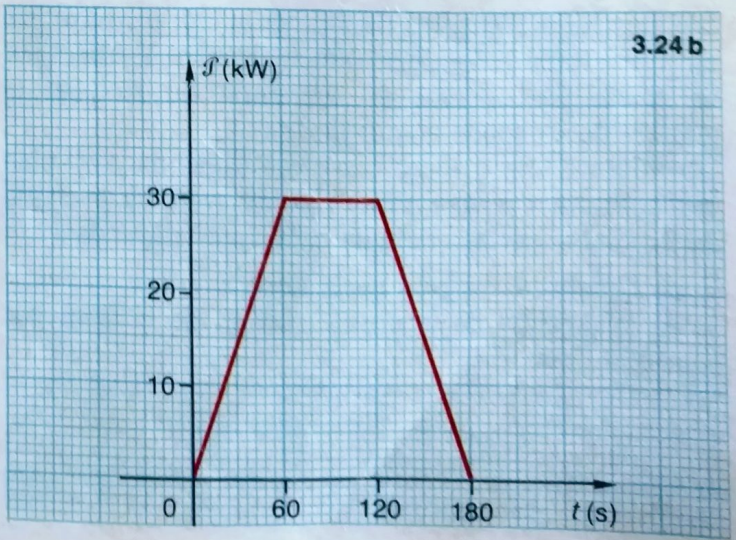


1/ Calculer le travail fourni par la force entre les instants 0 et 150 s.

2/ Comparez ce travail à l'aire hachurée.

3/ La puissance fournie par un moteur d'automobile en fonction du temps est représentée sur le graphique ci-dessous. Calculer le travail fourni par le moteur en se servant de la question 2.

3.24 b




2
SOLIDE
EN CHUTE LIBRE,
TRAVAIL DU POIDS

EXERCICES

Faire le point

Voici des affirmations :

a/ Le Principe de l'inertie est rigoureusement vérifié dans le référentiel terrestre.

b/ Le compteur de vitesse d'une automobile donne la vitesse instantanée.

c/ Le vecteur vitesse indique uniquement la direction du mouvement et la mesure de la vitesse.

d/ Au cours d'un mouvement circulaire uniforme, le vecteur vitesse est constant.

e/ Au cours d'un mouvement circulaire uniforme, on a la relation $\omega = \frac{v}{R}$.

f/ L'unité de fréquence est le hertz.

Cocher le numéro correspondant à la bonne proposition :

1 Toutes les affirmations sont fausses.
2 Sont vraies les affirmations *b*, *d*, *e*.
3 Sont vraies les affirmations *a*, *b*, *f*.
4 Sont vraies les affirmations *c*, *e*, *f*.
5 Sont vraies les affirmations *b*, *e*, *f*.

Applications directes du cours

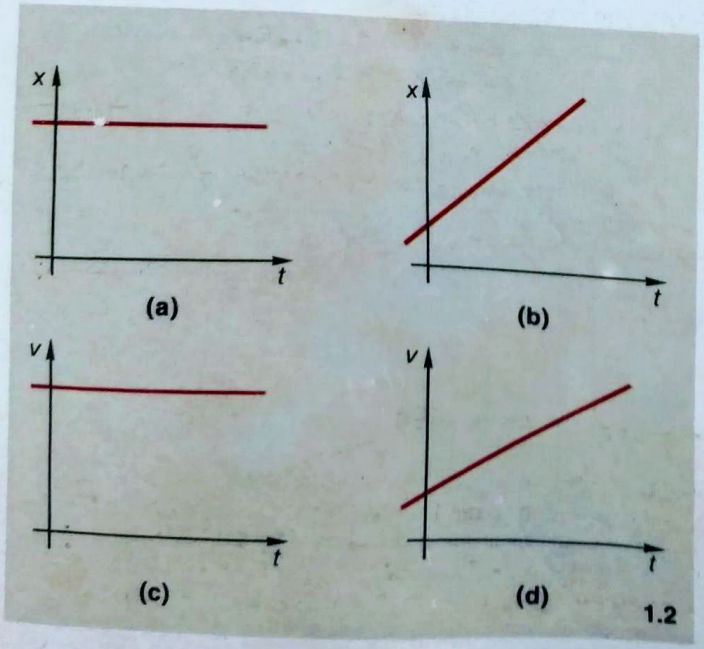
1.1A Une mouche se déplace le long d'une règle, d'un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse de 2 $cm.s^{-1}$.

1/ Sur une droite représentant sa trajectoire, indiquer sa position toutes les secondes.

2/ En indiquant le sens du mouvement, dessiner le vecteur vitesse (échelle : 1 cm pour 0,5 $cm.s^{-1}$).

3/ Donner l'équation horaire du mouvement. (On prendra comme trajectoire un axe (Ox) décrit dans le sens positif. On exprimera x en mètres, t en secondes, et on choisira $x = 0$ à $t = 0$.)

1.2C Indiquer les graphiques correspondant à un mouvement uniforme :



1.2

1.3A Indiquer, en hertz, la fréquence de rotation de la grande aiguille d'une montre.

1.4A Sur une piste circulaire de rayon 50 m, un cycliste est lancé à la vitesse de 51 $km.h^{-1}$. Indiquer la pulsation et la fréquence du mouvement.

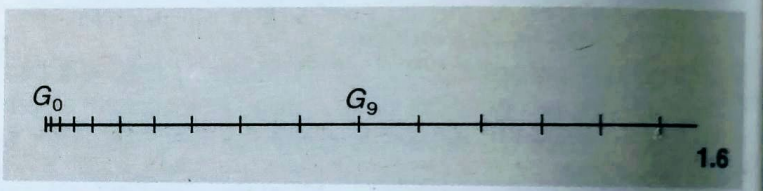
1.5C Placez votre cartable au milieu d'une pièce. Décrivez un cercle autour de ce dernier de deux manières différentes :

a/ en le regardant constamment;

b/ en regardant constamment le même mur de la pièce.

Dans quel cas effectuez-vous un mouvement de translation circulaire?

1.6C Sur une table à coussin d'air, on relève la trajectoire du centre d'inertie d'un palet. Les pointés se font à intervalles de temps réguliers. On obtient le tracé suivant :



1.6

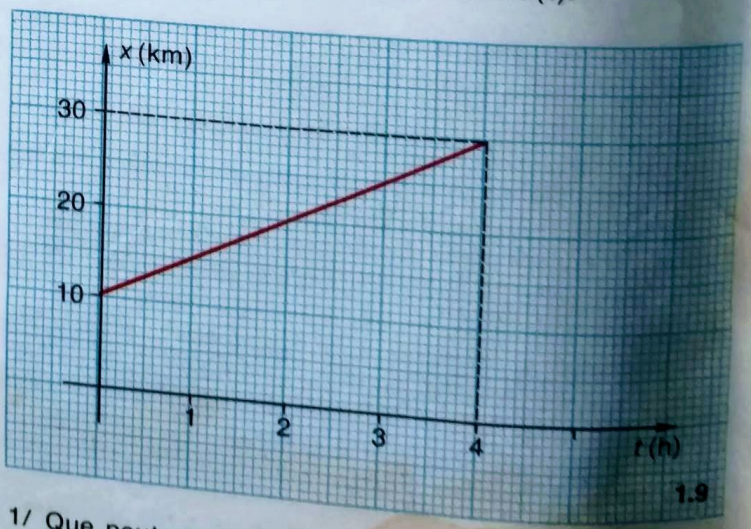
1/ Le solide est-il pseudo-isolé tout au long de sa trajectoire?

2/ Lorsqu'il est soumis à l'action d'une force, indiquer le sens et la direction de celle-ci.

1.7A Le pétrolier Esso-Parentis de 50 000 t peut filer à 17,1 nœuds. Sachant que le nœud correspond à une distance de un mille marin (1 852 m) parcourue en 1 h, calculer sa vitesse en $m.s^{-1}$ et en $km.h^{-1}$.

1.8A Le TGV, sur une portion de ligne droite entre Lyon et Paris, circule à la vitesse constante de 280 $km.h^{-1}$.
Quelle est la loi horaire du mouvement? La distance sera exprimée en mètres, le temps en secondes.

1.9C Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne; sa position est repérée sur un axe $(O, \vec{i})$ par son abscisse x. On a représenté la fonction $t \longmapsto x(t)$.

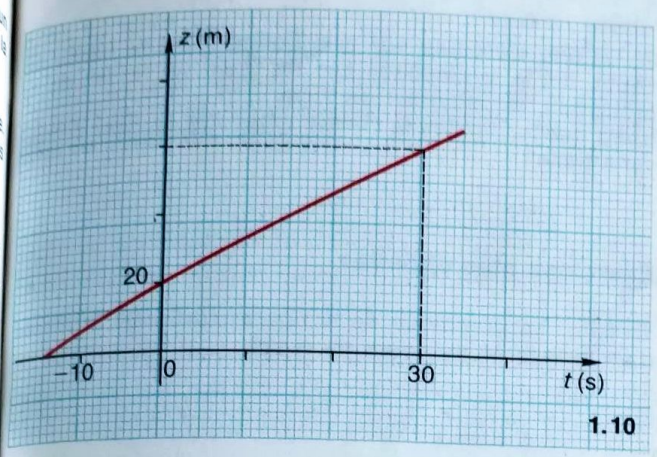


1.9

1/ Que peut-on dire du mouvement du mobile?
2/ Quelle est la loi horaire du mouvement? Calculer la vitesse du mobile en $m.s^{-1}$.

EXERCICES

1.10 BC Un mobile se déplace sur un axe $z'z$. On a représenté graphiquement la fonction $t \longmapsto z(t)$.



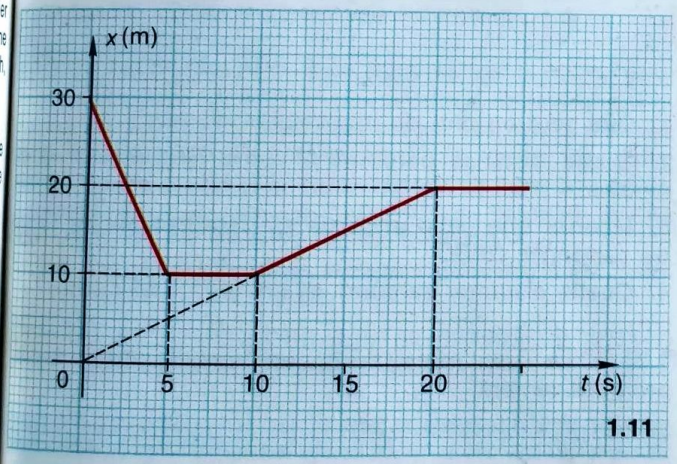
1.10

1/ Déterminer la position du mobile à l'origine des dates.

2/ A quelle date le mobile passe-t-il par la position origine $z = 0$?

3/ Déterminer l'équation horaire du mouvement. Quelle est la nature de ce mouvement? Déterminer la vitesse du mobile en chaque point de la trajectoire rectiligne.

1.11 BC Un mobile décrit un axe $x'x$. On a représenté graphiquement la fonction $t \longmapsto x(t)$ au cours des diverses phases du mouvement.



1.11

1/ Décrire le mouvement du mobile au cours des différentes phases.

2/ Calculer sa vitesse algébrique dans chaque phase.

3/ Un tel parcours vous semble-t-il possible à réaliser? Comment faudrait-il modifier la courbe pour rendre le mouvement plus réaliste?

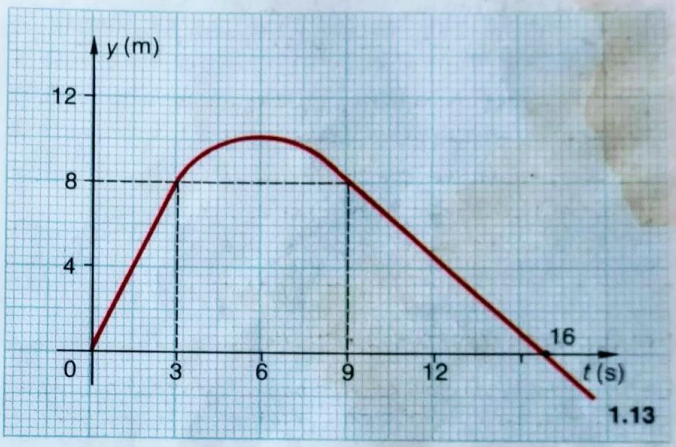
1.12 AB Au cours d'un essai, sur circuit, d'une automobile R21 Turbo, un chronométreur a relevé la vitesse en fonction du temps.

v (km.h^{-1})	40	50	60	70	80	90	100
t (en s)	2	2,6	3,6	4,4	5,4	6,5	8
v (km.h^{-1})	110	120	130	140		150	160
t (en s)	9,4	10,9	12,6	14,4		16,9	20
v (km.h^{-1})	170	180	190	200		210	220
t (en s)	23,3	27	30,8	35,9		44	54,5

1/ Tracer le graphique de la fonction $t \longmapsto v(t)$. Le mouvement est-il uniforme?

2/ Lorsque v est de la forme $v = a.t$, le mouvement est dit uniformément accéléré. Expliquer pourquoi. Quelle est la signification physique du facteur a, appelé accélération?

1.13 BC Le mouvement d'un mobile décrivant un axe $y'y$ est repéré par sa coordonnée $y(t)$. On a représenté graphiquement la fonction $t \longmapsto y(t)$.



1.13

1/ A quelle date le mobile change-t-il de sens de déplacement? Quelles sont alors sa position et sa vitesse?

2/ On peut distinguer trois phases au cours du mouvement. Caractériser le mouvement de ce mobile au cours de chacune de celles-ci (sens, vecteur vitesse ...).

1.14 A Une pierre est lancée verticalement vers le haut. Soit (Oz) un axe vertical orienté vers le haut. La position z de la pierre et sa vitesse v obéissent alors aux équations suivantes (les unités sont celles du système international) :

$$t \longmapsto v = -9{,}8.t + 29{,}4$$
$$t \longmapsto z = -4{,}9.t^2 + 29{,}4.t.$$

1/ Le mouvement de cette pierre est-il uniforme? varié? Que représente la quantité 29,4 m.s^{-1}?

2/ A quel instant t_1 la vitesse s'annule-t-elle? Que fait la pierre pour $t > t_1$?
Calculer l'altitude maximale atteinte.

3/ Avec quelle vitesse la pierre repasse-t-elle à l'altitude zéro?

Mouvement de rotation

1.15 A Un foret de 50 mm de diamètre tourne à la vitesse constante de 200 tr.min^{-1}. Quelle est sa vitesse angulaire en radians par seconde, sa fréquence N en hertz, sa période T en secondes? Quelle est sa vitesse circonférentielle, c'est-à-dire la vitesse d'un point de la périphérie?

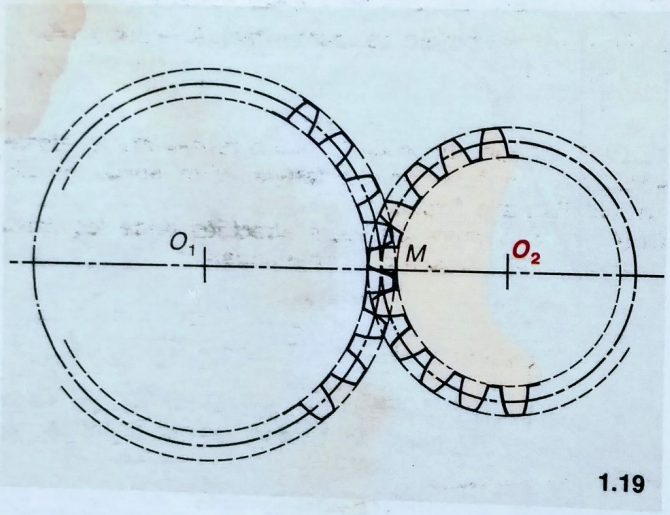
EXERCICES

1.16 A Une roue de locomotive de 2 m de diamètre tourne à pleine allure à 350 $tr.min^{-1}$.
Calculer la vitesse circonférentielle de la roue en $m.s^{-1}$.
Si on admet que la roue ne glisse pas sur le rail, cette vitesse est celle du train. La calculer en $km.h^{-1}$.

1.17 A Deux poulies sont solidaires du même arbre d'entraînement. Leurs diamètres respectifs sont d_1 et d_2.
Calculer le rapport de leurs vitesses circonférentielles.

1.18 A Deux poulies de diamètre d_1 et d_2 sont reliées par une courroie qui ne glisse pas. Quelle est le rapport de leur vitesse angulaire lorsque la vitesse linéaire de la courroie est v?

1.19 C Dans une transmission à engrenages, on distingue un pignon entraîneur (roue dentée d'axe O_1) et un pignon entraîné (roue dentée d'axe O_2). Le nombre de dents est n_1 pour O_1, n_2 pour O_2.



1.19

Quelle relation existe-t-il entre les vitesses angulaires des deux roues?

1.20 C Deux roues dentées, l'une de 52 dents et l'autre de 16 dents, sont reliées par une chaîne. La première tourne à la fréquence uniforme de 1 Hz. Quelle est la fréquence de rotation de la seconde?

1.21 A Une phrase musicale a une durée de 10 s. Elle est enregistrée sur un disque « 33 tours ». Le rayon moyen des sillons concernés est de 14 cm.
Quelle est la longueur, sur le disque, de la gravure de la phrase?

1.22 B Le mouvement des satellites peut être décrit dans un repère « géocentrique » dont le centre est le centre d'inertie de la Terre et dont les axes restent parallèles aux axes de l'un des repères du référentiel de Copernic. Dans un tel repère, la période est de 86 164 s (jour sidéral). Un satellite géostationnaire est un satellite tournant dans le plan équatorial avec la même vitesse angulaire que la Terre. Son altitude est de 36 000 km.

1/ Calculer sa vitesse angulaire.

2/ Calculer sa vitesse.

3/ Quel est le mouvement du satellite dans un repère du référentiel terrestre?

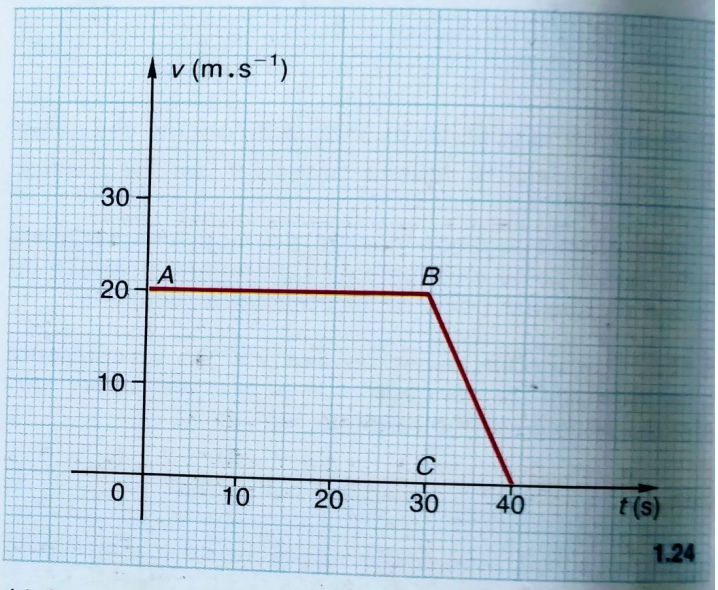
Donnée : rayon de la Terre : 6 400 km.

1.23 BC 1/ Sur un film 8 mm, la longueur de 26 image est de 10 cm. Sachant qu'à la projection le film se déroul à la vitesse de 24 images par seconde, quelle est s vitesse linéaire?

2/ Le film s'enroule sur une bobine dont le rayon, a début de la projection, est de 3 cm. A la fin de l projection, le rayon est de 7 cm.
Entre quelles limites la vitesse angulaire de cette bobin varie-t-elle?

Exercices plus difficiles

1.24 C Le graphique de la figure représente la vitesse d'un mobile M au cours du temps.



1.24

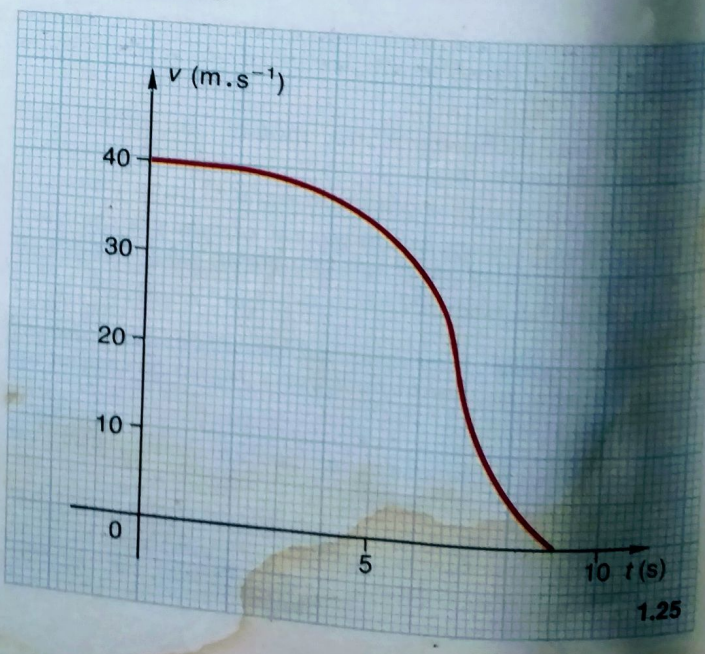
1/ Que peut-on dire du mouvement de M?

2/ Quelle distance parcourt M entre les dates $t=0$ et $t=30$ s?

3/ Montrer que cette distance est représentée par l'aire du rectangle $OABC$.

4/ Quelle distance parcourt M entre $t=0$ et $t=40$ s?

1.25 BC A une date $t=0$, un automobiliste freine progressivement.

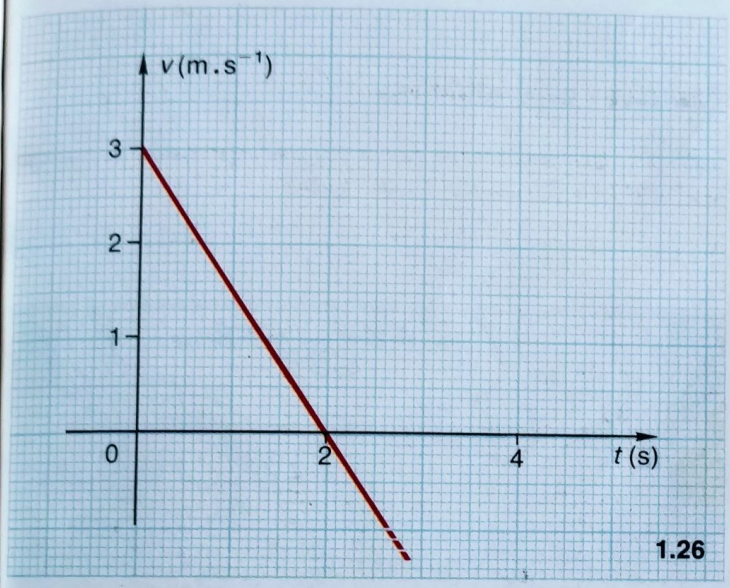


1.25

EXERCICES

Le graphique de la figure ci-avant représente la vitesse, au cours du temps, du véhicule en cours de freinage. Quelle est la distance parcourue depuis cette date jusqu'à l'arrêt du véhicule?

1.26 BC Le graphique de la figure représente la vitesse, au cours du temps, d'un mobile M animé d'un mouvement de translation rectiligne.



1.26

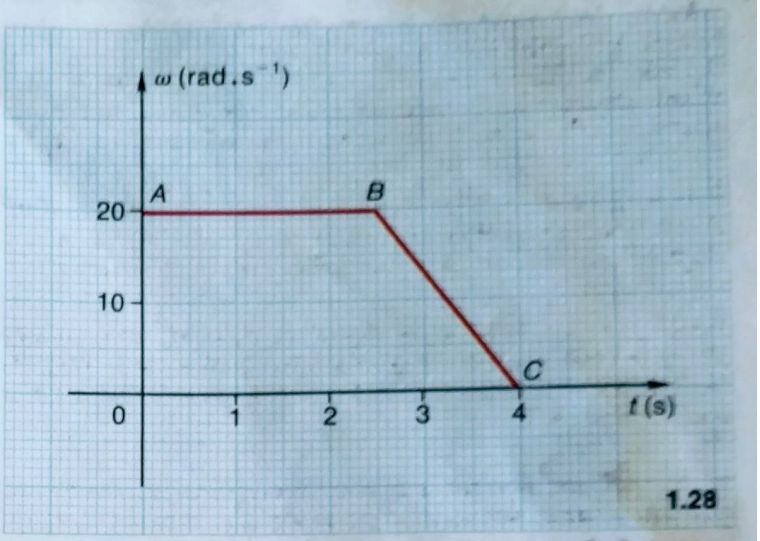
1/ Préciser la nature du mouvement de M.

2/ Quelle est la longueur du trajet effectué par M à la date $t = 4$ s? Où se trouve-t-il à cette date?

1.27 C Le mouvement d'un satellite de la Terre peut être étudié dans un repère géocentrique constitué par le centre de la Terre et trois axes respectivement parallèles à ceux d'un repère du référentiel de Copernic. Ce repère ne tourne pas, comme la Terre, autour de l'axe des pôles. Évoluant dans le plan équatorial, un satellite a une période T de 2 h dans le repère terrestre.
Quelle est sa période dans le repère géocentrique? Deux cas peuvent être envisagés.

Donnée : on prendra 24 h pour la période de rotation de la Terre (c'est, en fait, 23 h 56 min).

1.28 BC Le graphique de la figure représente la vitesse angulaire ω, en fonction du temps, d'un solide mobile autour d'un axe fixe.



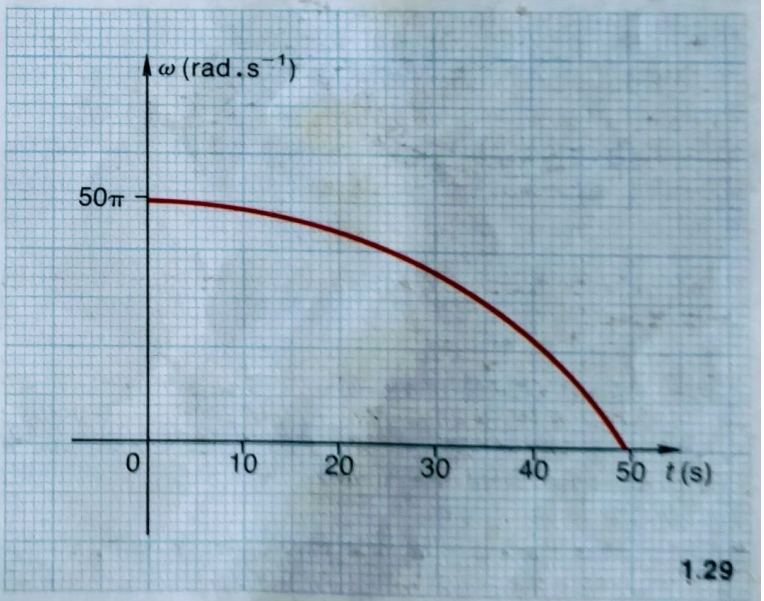
1.28

1/ Quelle est la nature du mouvement?

2/ Que représente l'aire du trapèze $OABC$?

3/ Quel est le nombre de tours effectués entre les dates $t = 0$ et $t = 4$ s?

1.29 BC Le graphique de la figure représente la vitesse angulaire, en fonction du temps, d'un solide mobile autour d'un axe fixe.
Quel est le nombre de tours effectués entre les dates $t = 0$ et $t = 50$ s (résolution graphique)?



1.29

4 SOLIDE EN ROTATION AUTOU D'UN AXE FIXE

APPLICATION 6

Dans une revue automobile, on lit : « Le moteur est un 1118 cm³ de 6 CV fiscaux... La puissance maximale est de 59 ch à 5600 tr.min⁻¹, le couple de 9,1 m.kg à 3000 tr.min⁻¹... ».

1/ Quel est le couple moteur à 5600 tr.min⁻¹?

2/ Quelle est la puissance du moteur à 3000 tr.min⁻¹?

Traduisons ce langage de journaliste! 1118 cm³ représentent le volume des cylindres; 6 CV fiscaux est une puissance dite fiscale, en rapport avec la cylindrée, mais qu'il ne faut pas confondre avec la puissance réelle du moteur. Cette puissance réelle dépend de la vitesse de rotation du moteur indiquée par le compte-tours; elle est exprimée en chevaux-vapeur (1 ch = 736 W). Le moment du couple moteur est donné à l'aide d'une ancienne unité, le m.kg, plus exactement le m.kgf (1 m.kgf = 9,81 N.m).

1/ Choisissons comme sens positif autour de l'axe le sens de rotation du moteur; ainsi, l'angle de rotation, la vitesse angulaire et le moment du couple moteur sont positifs.
Le moment du couple à 5600 tr.min⁻¹ est donné par :

$$\mathcal{P} = \mathcal{M}_\Delta . \omega .$$

Avec : $\mathcal{P} = 59 \times 736$ W, soit 43,4 kW

et : $\omega = 5600 \times \frac{2\pi}{60} = 586$ rad.s^{-1},

il vient : $\mathcal{M}_\Delta = \frac{\mathcal{P}}{\omega} = \frac{43{,}4.10^3}{586} = 74{,}1$ N.m,

soit 7,5 m.kgf environ.

2/ La puissance du moteur à 3000 tr.min⁻¹ est toujours donnée par $\mathcal{P} = \mathcal{M}_\Delta . \omega$, mais maintenant avec :

$$\mathcal{M}_\Delta = 9{,}1 \times 9{,}8 = 89{,}2 \text{ N.m}$$

et : $\omega = 3000 \times \frac{2\pi}{60} = 314$ rad.s^{-1};

d'où : $\mathcal{P} = 89{,}2 \times 314 = 28009$ W, soit 28 kW.

La puissance est d'environ 38 ch à 3000 tr.min⁻¹.

Remarquons qu'à la puissance maximale, le moment du couple moteur n'est pas maximal. Il est souhaitable, pour avoir de bonnes « reprises », que le couple maximal apparaisse à bas régime.

EXERCICES

Faire le point

Vrai ou faux?

- La valeur absolue du moment d'une force $\vec{F}$ localisée en un point A par rapport à un axe Δ est égale au produit de la mesure F de la force par la distance d de l'axe Δ au point A.
- Le moment d'une force par rapport à un axe est une grandeur vectorielle.
- La valeur absolue du moment d'un couple de forces $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ est égale au produit de l'intensité commune aux deux forces par la distance séparant leurs droites d'action.
- Le moment d'un couple de forces $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$ par rapport à un axe Δ perpendiculaire au plan défini par les deux forces dépend de la position de l'axe Δ.
- Le travail d'une force agissant sur un solide mobile autour d'un axe fixe est toujours égal au produit du moment de la force par l'angle de rotation.
- La puissance d'une force localisée agissant sur un solide mobile autour d'un axe n'est égale au produit du moment de la force par la vitesse angulaire que si le moment de cette force est constant.
- Le travail d'un couple agissant sur un solide mobile autour d'un axe est toujours égal au produit de la puissance du couple par la durée de l'action.

Applications directes du cours

4.1 A Calculer le moment par rapport à un axe Δ d'un couple de forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ situées dans un plan perpendiculaire à l'axe. L'intensité commune des deux forces est 100 N. La distance séparant leur droite d'action est 50 cm.

4.2 A Calculer le moment du couple de rappel exercé par un fil de torsion tordu d'un angle de 30°. La constante de torsion du fil est de 0,2 N.m.rad⁻¹.

4.3 A Le moment d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe Δ est 10 N.m. Calculer la puissance de cette force lorsque la vitesse angulaire de rotation du solide est 2000 tr.min⁻¹.

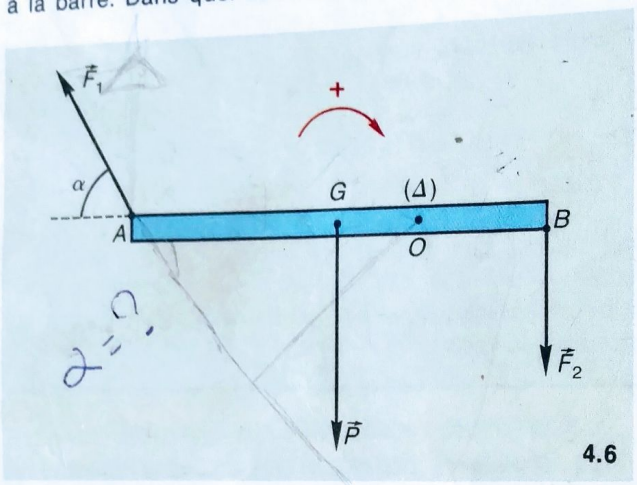
4.4 A Un couple de moment constant égal à 50 N.m s'exerce sur un solide animé d'un mouvement de rotation à vitesse angulaire constante de 10 tr.s⁻¹. Quel est le travail effectué par ce couple en cinq minutes?

4.5 A Un couple de freinage agissant sur l'arbre moteur d'une machine tournante effectue un travail résistant de valeur absolue 5000 J durant 20 s. Quelle est la valeur algébrique de la puissance moyenne du couple?

EXERCICES

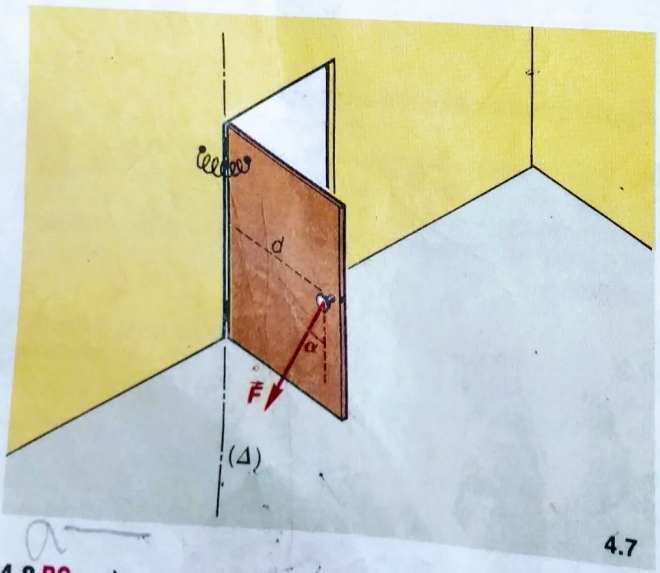
Moment d'une force ou d'un couple

4.6 A Une barre homogène AB de poids $P = 10$ N est mobile autour d'un axe horizontal Δ. Aux extrémités A et B de la barre sont appliquées les forces $\vec{F}_1$ ($F_1 = 2$ N) et $\vec{F}_2$ ($F_2 = 1{,}5$ N). Ces forces sont dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe Δ. On donne $AB = 1$ m et $OG = 20$ cm.
Calculer la somme des moments des forces appliquées à la barre. Dans quel sens tourne la barre?



4.6

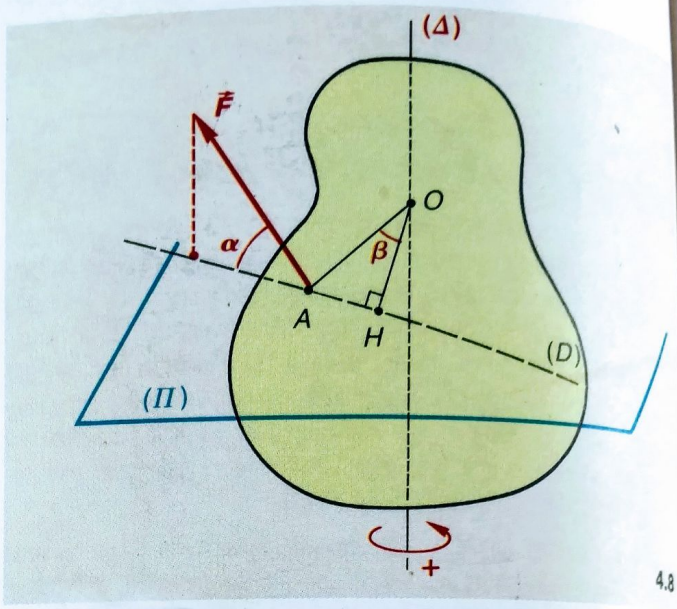
4.7 C Pour ouvrir une porte « rappelée » par un ressort, un enfant saisit la poignée et exerce une force $\vec{F}$ située dans un plan vertical perpendiculaire à la porte et faisant un angle $\alpha = 40°$ avec la verticale. Le moment par rapport à l'axe Δ de la force exercée par le ressort est égal à 10,3 N.m; la distance de la poignée à l'axe est 0,8 m.
Calculer l'intensité de la force $\vec{F}$ à la limite de l'équilibre de la porte.



4.7

4.8 BC Une force $\vec{F}$, d'intensité 10 N, localisée au point A agit sur un solide mobile autour d'un axe Δ comme l'indique la figure ci-après.
Soit (Π) le plan perpendiculaire à l'axe Δ contenant le point A et coupant l'axe au point O. La projection de la force $\vec{F}$ dans le plan (Π) est portée par la droite (D). La force $\vec{F}$ fait un angle $\alpha = 40°$ avec (D). Soit H la projection du point O sur (D).

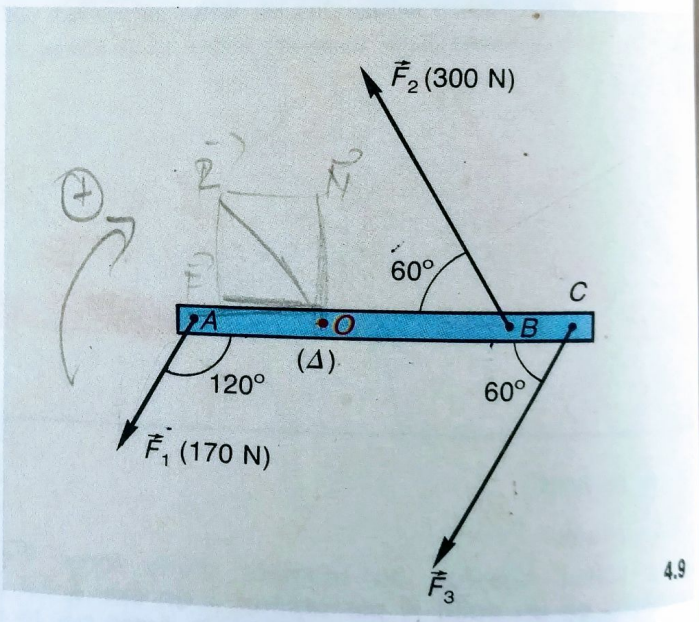
On donne $\beta = (\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OH}) = 30°$ et $OA = 10$ cm.
Calculer le moment de la force $\vec{F}$ par rapport à l'axe Δ.



4.8

4.9 BC Une règle de masse négligeable est mobile autour d'un axe Δ horizontal passant par O. Elle est maintenue en équilibre par trois forces situées dans un plan perpendiculaire à l'axe Δ. On donne :

$OA = 20$ cm; $OB = 30$ cm; $OC = 40$ cm.



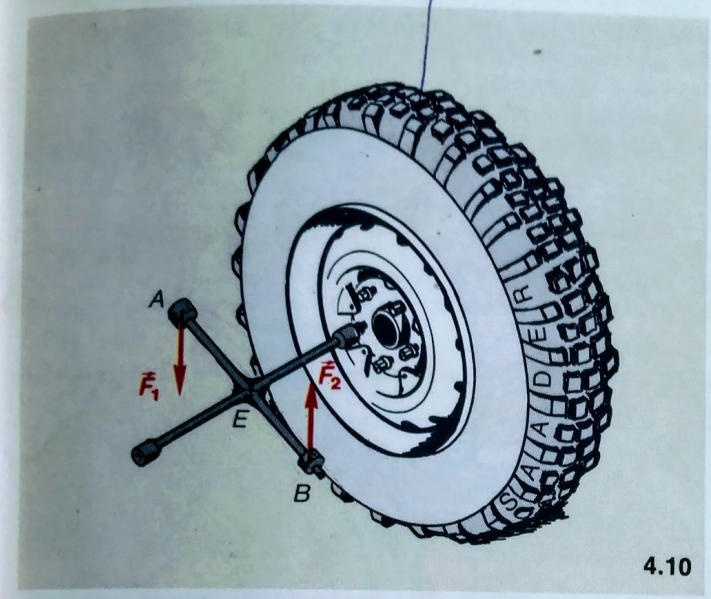
4.9

1/ Énoncer les conditions d'équilibre d'un solide mobile autour d'un axe (classe de Seconde).

2/ Calculer le moment de la force $\vec{F}_3$. En déduire la mesure de $\vec{F}_3$.

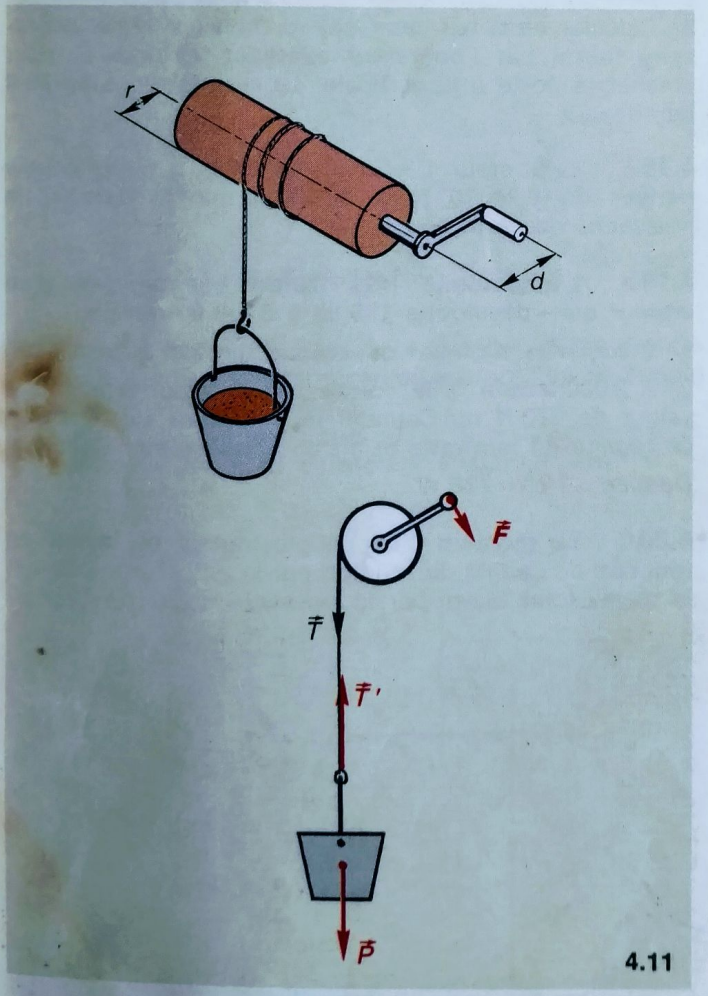
3/ Déterminer les caractéristiques de la réaction $\vec{R}$ de l'axe Δ sur la règle. On pourra calculer les projections de $\vec{R}$ sur deux axes convenablement choisis, puis en déduire la mesure $\|\vec{R}\|$ et l'angle $(\overrightarrow{OC}, \vec{R})$.

4.10 C Pour dévisser les boulons de blocage d'une roue d'automobile, on peut utiliser un croisillon (voir figure ci-après). Il est possible soit d'exercer un couple de forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ localisées en A et B, soit d'exercer avec les deux mains une force $\vec{F} = 2\vec{F}_1$ en A.
A la limite de l'équilibre, juste avant que le boulon soit débloqué, étudier l'équilibre du croisillon. En déduire, dans les deux cas, la force et le moment du couple qu'exerce le croisillon sur le boulon.
Quelle est la méthode qui vous paraît la plus appropriée? Pourquoi?



4.10

4.11 C Le but de l'exercice est de calculer la force $\vec{F}$ qu'il faut exercer sur une manivelle pour remonter à vitesse constante un seau de poids 200 N. Le poids de la corde et du crochet est négligeable devant les autres forces; il n'y a pas de frottement sur l'axe.



4.11

1/ Le système étudié est l'ensemble seau + crochet. Le système a un mouvement de translation rectiligne et uniforme. Quelle relation simple existe-t-il entre $\vec{P}$ et $\vec{T}$?

2/ En déduire la mesure T' de la tension $\vec{T}'$.

3/ Le système étudié est le treuil.

a/ Rappeler la condition de rotation uniforme (classe de Seconde).

b/ Faire un inventaire des forces qui s'exercent sur le treuil.

c/ Calculer la mesure F de la force $\vec{F}$ appliquée.

Données : $r = 10$ cm; $d = 50$ cm.

Couple de torsion

4.12 A Pour maintenir la torsion d'un fil d'acier rectiligne autour de son axe, un opérateur doit exercer un couple de moment $\mathcal{M}$ par rapport à l'axe du fil tordu. Le moment du couple est $\mathcal{M} = 5{,}2.10^{-3}$ N.m pour un angle de torsion $\alpha = 30°$.
Calculer la constante de torsion du fil.

4.13 B Afin d'étudier un fil de torsion, on a réalisé les mesures suivantes :

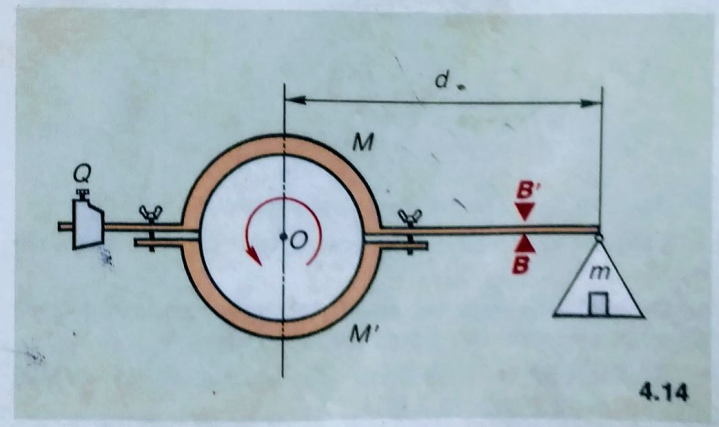
$\mathcal{M}_\Delta$ (N.m)	0,026	0,039	0,049	0,063	0,070	0,084
α (degrés)	15	22	28	36	40	48

$\mathcal{M}_\Delta$: moment des forces appliquées à une extrémité du fil par rapport à son axe Δ; α : angle de torsion du fil.

1/ Tracer $\mathcal{M}_\Delta = f(\alpha)$.

2/ Déterminer la constante de torsion C du fil (en N.m.rad^{-1}).

4.14 BC Pour mesurer le couple d'un moteur d'automobile, on peut utiliser le dispositif suivant, appelé frein de Prony. Le frein est constitué de deux mâchoires M et M' que l'on peut serrer sur une poulie, de centre O, solidaire de l'arbre du moteur. A la mâchoire M est fixée une tige rigide munie d'un plateau et d'un contrepoids Q, réglé de façon que le centre d'inertie de l'ensemble se trouve sur la verticale de P.
On met le moteur en marche dans le sens indiqué sur la figure.



4.14

1/ Par quelle butée, B ou B', le mouvement du système est limité? Pourquoi est-il entraîné?

2/ On serre les mâchoires jusqu'à ce que l'on atteigne une vitesse de rotation constante. Puis on place sur le plateau une masse m pour que la tige reste en équilibre

EXERCICES

entre les deux butées B et B' sans contact avec elles. Montrer que l'on peut alors mesurer le couple moteur exercé sur l'arbre. Exprimer le moment du couple moteur en fonction de m et d.

3/ *Application numérique :*

$d = 0{,}87$ m; $m = 12{,}4$ kg; $g = 9{,}81$ m.s^{-2};

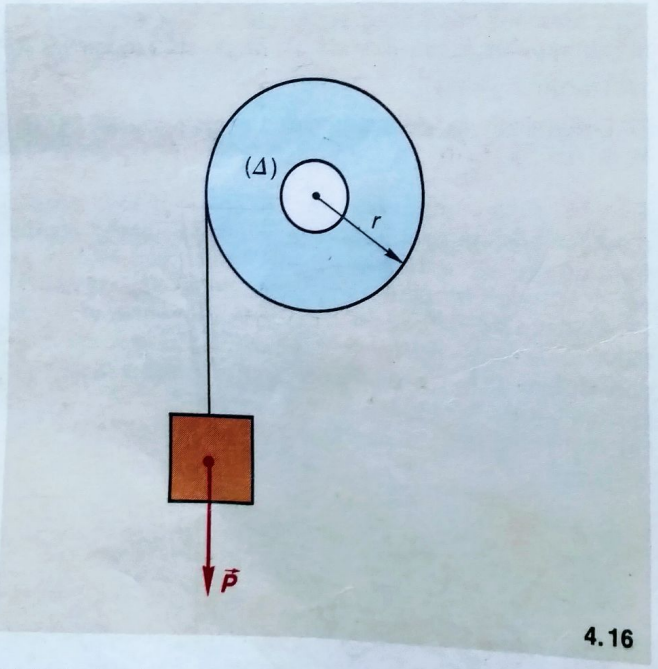
vitesse angulaire de rotation de l'arbre $= 4\,000$ tr.min^{-1}.

Calculer le moment du couple moteur et sa puissance.

Travail et puissance

4.15 A Aux extrémités d'une barre mobile autour d'un axe, on applique un couple de moment constant $\mathcal{M}_\Delta = 50$ N.m.
Calculer le travail produit par ce couple lorsque la barre a tourné de 75 tours. Quelle est la puissance moyenne fournie si la durée correspondante est 4 min?

4.16 A Un treuil est couplé à un arbre moteur qui exerce sur l'axe un couple de moment $\mathcal{M}_\Delta$.
Sur le tambour de rayon $r = 30$ cm s'enroule un câble qui soulève, à vitesse constante, une charge de poids 2 000 N.



4.16

1/ Calculer le moment du couple moteur.

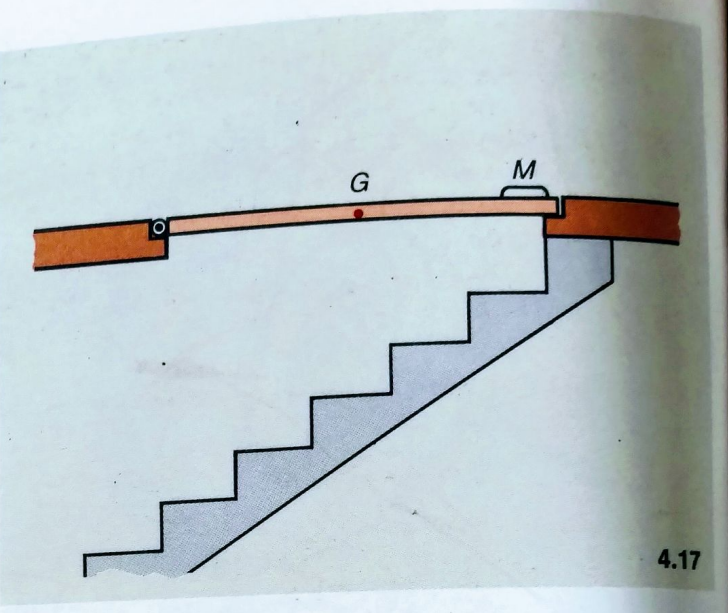
2/ Calculer le travail du couple moteur pour 25 tours du treuil.

3/ De quelle hauteur est élevée la charge pour 25 tours? Calculer le travail du poids de la charge.

4/ Quelle est la puissance du moteur si la vitesse angulaire du treuil de 1 tr.s^{-1}?

4.17 C La trappe horizontale d'une cave est mobile autour d'un axe Δ horizontal (figure ci-après). Pour ouvrir cette porte de poids $P = 400$ N et l'amener à la verticale, on exerce une force $\vec{F}$ sur la poignée M.

Données : $OM = 1{,}20$ m; $OG = 0{,}6$ m.



4.17

1/ La force $\vec{F}$ est constamment verticale. Calculer l'intensité minimale de la force qu'il faut exercer au cours de l'opération.

2/ La force $\vec{F}$ reste perpendiculaire au plan de la porte. Calculer son intensité lorsque la porte fait un angle α avec le plan horizontal. Cette méthode est-elle plus efficace?

3/ Calculer dans les deux cas le travail minimal nécessaire fourni par l'opérateur exerçant la force $\vec{F}$ pour amener la porte à la verticale. Le résultat vous paraît-il paradoxal?

4.18 A Le moteur Diesel (4 RND 68 M) a un couple moteur de $2{,}24.10^6$ N.m à 150 tr.min^{-1}. Calculer la puissance de ce moteur.

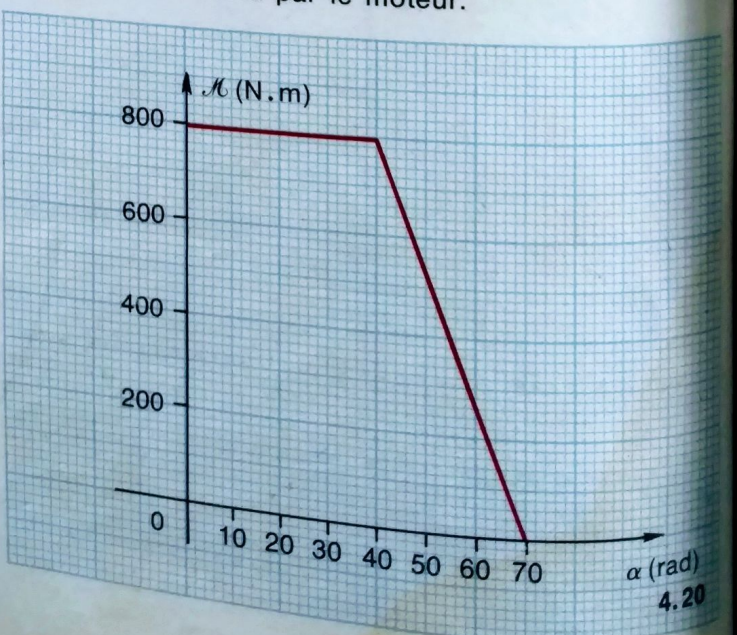
4.19 A L'automobile R21 Turbo est équipée d'un moteur qui « développe 175 ch à 5 200 tr.min^{-1} ».

1/ Calculer le moment du couple moteur à ce régime.

2/ A 3 000 tr.min^{-1}, le couple est maximal et atteint la valeur de 270 N.m. Calculer la puissance du moteur à ce régime en kilowatts et en chevaux-vapeur. Conclure.

Donnée : 1 ch = 736 W.

4.20 C Le moment d'un couple moteur est donné en fonction de l'angle de rotation par le graphique. Calculer le travail total fourni par le moteur.



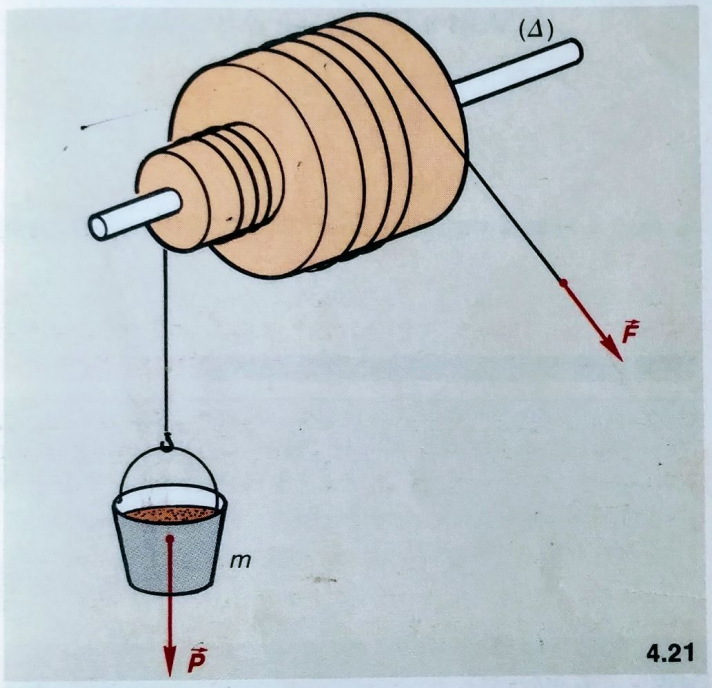
4.20

4.21 C Un treuil est constitué de deux cylindres solidaires de rayons $R_1 = 10$ cm et $R_2 = 20$ cm sur lesquels sont enroulées des cordes. Ce treuil permet de soulever une charge de masse $m = 40$ kg. On suppose que la charge est soulevée à une vitesse constante de 10 rad.s^{-1}.

1/ Calculer l'intensité F de la force $\vec{F}$ qu'il faut exercer pour soulever la charge.

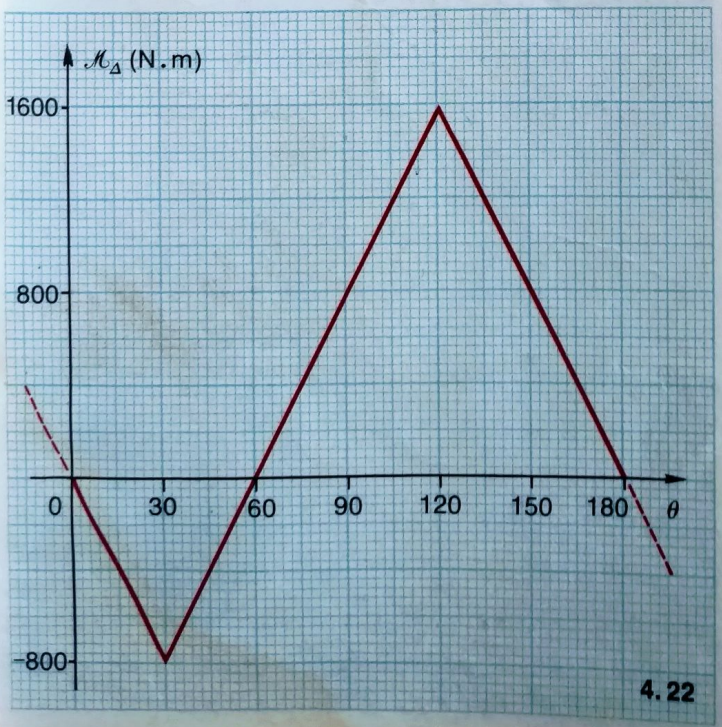
2/ Déterminer l'angle dont a tourné le treuil lorsque la charge est soulevée de 10 m et calculer le travail de la force $\vec{F}$.

3/ Calculer la puissance de la force $\vec{F}$ et celle du poids.



4.21

4.22 C Un moteur exerce un couple sur l'arbre dont la valeur du moment est représentée en fonction de l'angle de rotation par le graphique.
Calculer le travail au cours d'un tour. Quelle est la puissance moyenne de ce moteur à 3000 tr.min^{-1}?



4.22

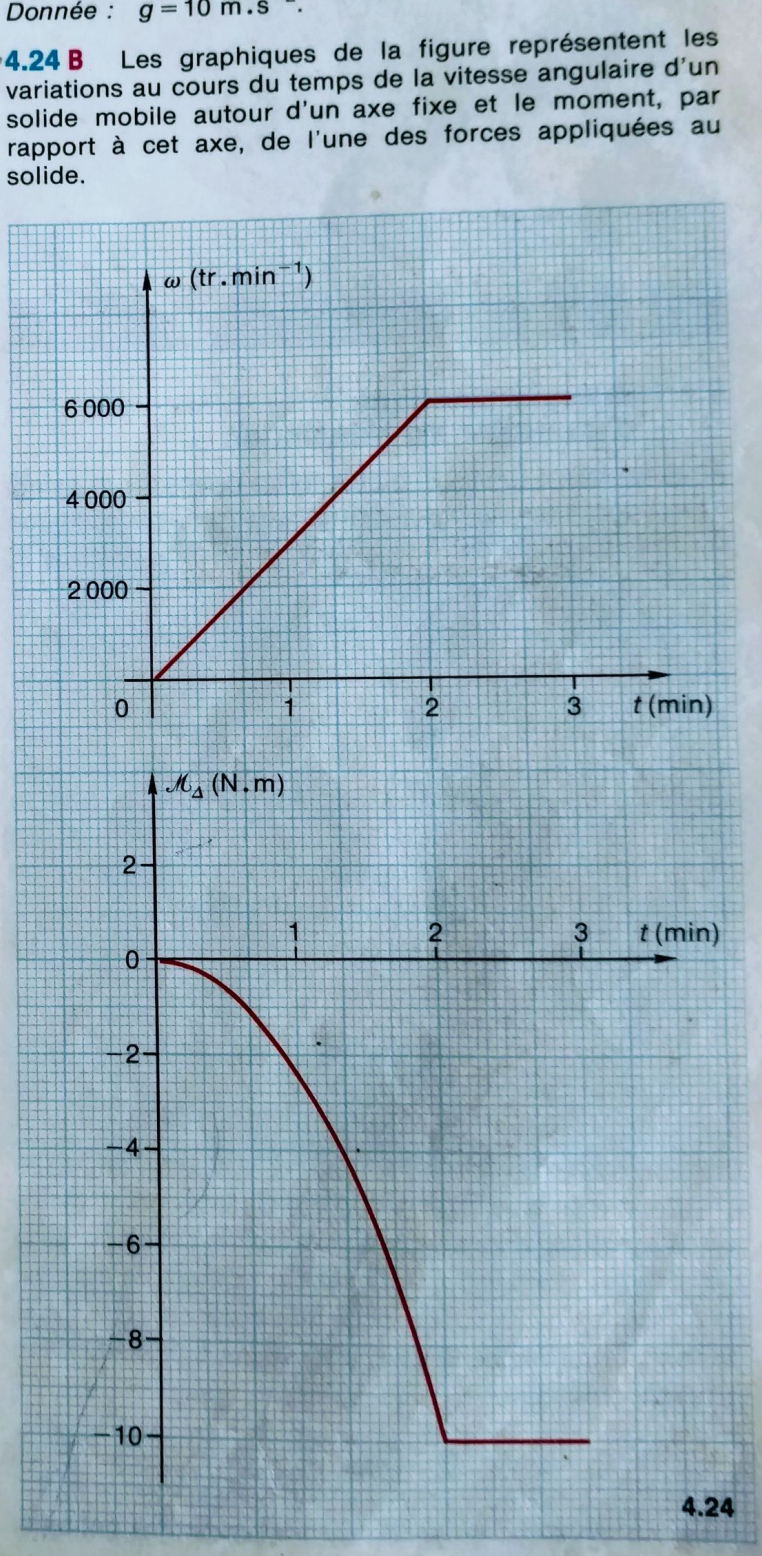
4.23 A Une automobile de 1500 kg (passagers compris) monte une côte de 6 % à une vitesse de 40 km.h^{-1}. Les forces de frottement sont équivalentes à une force de 1200 N, parallèle et de sens opposé au déplacement.

1/ Déterminer la puissance nécessaire développée par le moteur de l'automobile.

2/ Calculer le moment du couple-moteur sachant que le régime du moteur est de 4000 tr.min^{-1}.

Donnée : $g = 10$ m.s^{-2}.

4.24 B Les graphiques de la figure représentent les variations au cours du temps de la vitesse angulaire d'un solide mobile autour d'un axe fixe et le moment, par rapport à cet axe, de l'une des forces appliquées au solide.



4.24

1/ Quel est le nombre de tours effectués à la date $t_1 = 3$ min?

2/ Représenter graphiquement les variations au cours du temps de la puissance de cette force.

3/ Déterminer graphiquement le travail effectué par cette force à la date $t_1 = 3$ min.

5 ÉNERGIE CINÉTIQUE

EXERCICES

Faire le point

Voici des affirmations :

a/ Le moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe Δ est la somme des moments d'inertie de chaque point constituant le solide.

b/ Le moment d'inertie d'un solide est le même par rapport à deux axes parallèles.

c/ L'énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation du solide et à sa masse.

d/ Pour une durée donnée, l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation autour d'un axe augmente si, pour cette durée, la somme des travaux des forces appliquées est positive.

e/ Soit r la distance à un axe Δ du centre d'inertie d'un solide de masse m, en rotation autour de Δ à la vitesse angulaire ω. L'énergie cinétique du solide est égale à $m.r^2.\omega^2$.

Cocher le numéro correspondant à la bonne réponse :

1 Sont fausses les affirmations *b*, *c*, *e*.

2 Sont vraies les affirmations *a*, *c*, *d*.

3 Sont fausses les afirmations *a*, *b*, *c*.

Applications directes du cours

5.1 A Au service, Yvan Lendl communique à une balle de masse 55 g une vitesse de 120 km.h^{-1}.
Calculer l'énergie cinétique de translation de cette balle.

5.2 A Calculer l'énergie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe à la vitesse de 2400 tr.min^{-1}. Le moment d'inertie du solide vaut 5 kg.m^2.

5.3 A Deux masses ponctuelles égales à $m = 100$ g sont fixées aux extrémités d'une barre de masse négligeable, de longueur $\ell = 50$ cm. L'ensemble est mobile autour d'un axe perpendiculaire à la barre et passant par son milieu.

Calculer le moment d'inertie de l'ensemble :

a/ par rapport à un axe passant par le milieu de la barre;
b/ par rapport à un axe situé à 10 cm de l'une des extrémités et entre les deux masses.

5.4 A Une force $\vec{F}$ constante d'intensité 500 N entraîne un wagonnet sur une voie horizontale, sur une distance $\ell = 100$ m. Cette force est contenue dans un plan vertical parallèle aux rails et fait un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale.

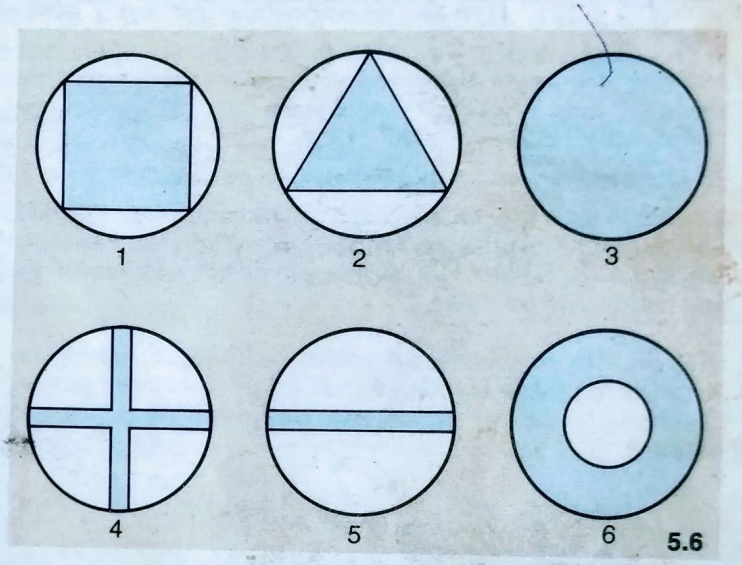
Calculer la variation d'énergie cinétique du wagonnet sur la distance parcourue.

5.5 A Les tambours d'un frein exercent un couple de freinage sur une machine tournante. La vitesse angulaire de rotation, initialement de 3000 tr.min^{-1}, s'annule quand la machine a effectué 1000 tours.

Calculer le moment du couple de freinage, supposé constant, sachant que le moment d'inertie de la machine par rapport à l'axe de rotation est 10^2 kg.m^2.

Moment d'inertie et énergie cinétique de rotation

5.6 A Dans une tôle homogène d'épaisseur constante, on découpe des plaques ayant les formes ci-après. Ces figures sont inscriptibles dans des cercles de même rayon.
On demande de classer par ordre croissant les moments d'inertie de ces corps par rapport à un axe qui leur est orthogonal et qui passe par leur centre d'inertie.



5.6

5.7 A Un plateau d'électrophone tourne à vitesse constante. La fréquence de rotation est $N = \frac{100}{3}$ tr.min^{-1}.

1/ Calculer la distance d, à l'axe du plateau, d'un point dont la vitesse est $v = 0{,}503$ m.s^{-1}.

2/ Le moment d'inertie par rapport à l'axe du plateau est $J_\Delta = 9{,}2.10^{-3}$ kg.m^2. Calculer son énergie cinétique.

5.8 C Des mesures ont montré que l'énergie de rotation autour d'un axe passant par le centre d'inertie et perpendiculaire au segment qui joint les atomes de la molécule de HCl est de $8{,}4.10^{-22}$ J. La distance moyenne entre les atomes est de 0,127 5 nm.

1/ Calculer le moment d'inertie de la molécule par rapport à l'axe de rotation.

2/ Calculer la vitesse angulaire de rotation.

Données :
masse d'un atome d'hydrogène : $1{,}66.10^{-27}$ kg;
masse d'un atome de chlore : $35 \times 1{,}66.10^{-27}$ kg.

5.9 C On considère une couronne cylindrique homogène de rayon intérieur $R_1 = 10$ cm, de rayon extérieur $R_2 = 20$ cm et de hauteur $h = 5$ cm. Elle est mise en rotation autour de son axe Δ à la vitesse de 6000 tr.min^{-1}.

1/ Calculer le moment d'inertie J_Δ de la couronne. (On montrera que J_Δ peut se mettre sous la forme :

$$J_\Delta = a(R_2^4 - R_1^4),$$

la constante a dépendant de la masse volumique μ de la couronne et de h.)

2/ Calculer l'énergie cinétique de rotation.

Données : moment d'inertie d'un cylindre homogène par rapport à son axe : $J_\Delta = \frac{1}{2} M.R^2$;

masse volumique de la couronne : $\mu = 7800$ kg.m^{-3}.

5.10 C Soit un cerceau homogène assimilable à une circonférence pesante de rayon $R = 0{,}4$ m et de masse $M = 300$ g.

1/ Calculer l'énergie cinétique de ce cerceau lorsqu'il est en translation rectiligne, à la vitesse de 2 m.s^{-1}.

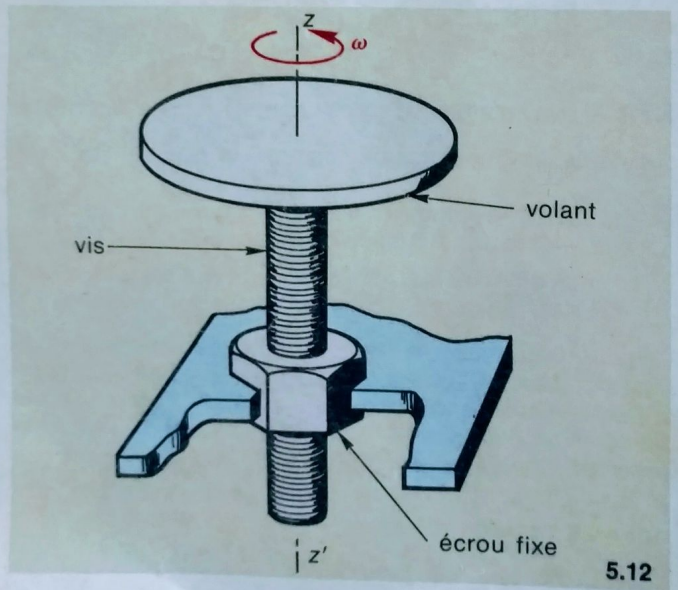
2/ Le cerceau est en rotation uniforme autour de son axe qui est fixe et effectue N tr.s^{-1}. Exprimer son énergie cinétique en fonction de N. Pour quelle valeur de N a-t-on la même énergie cinétique qu'en 1/? Quelle est alors la vitesse d'un point de la circonférence du cerceau?

5.11 C Le volant du moteur d'un cyclomoteur est assimilé à un cylindre homogène de masse 2 kg et de rayon 10 cm. Il tourne à la vitesse de 5000 tours par minute autour de son axe.

1/ Quelle énergie cinétique possède ce volant?

2/ Quelle doit être la vitesse du cyclomotoriste afin que son énergie cinétique de translation soit égale à l'énergie cinétique du volant? La masse du cyclomotoriste et de son engin est de 90 kg.

5.12 BC On considère un volant cylindrique homogène et sa vis. La pièce formant écrou est prise comme repère. Soient p le pas de la vis et ω la vitesse angulaire du volant.



5.12

1/ Donner la relation entre la vitesse v de translation du volant suivant $z'z$ et sa vitesse angulaire ω.

2/ Soit R le rayon du volant. En négligeant la masse de la vis devant celle du volant, donner l'expression du rapport des énergies cinétiques de rotation et de translation du volant en fonction de R et p.

Application numérique : $R = 40$ cm; $p = 18$ mm par tour.

Données : moment d'inertie d'un cylindre par rapport à son axe Δ : $J_\Delta = \frac{1}{2} M.R^2$.

5.13 A Un volant en fonte est constitué par un cylindre de diamètre 50 cm et de hauteur $h = 1$ m. La masse volumique de la fonte est de 7600 kg.m^{-3}.

1/ Calculer le moment d'inertie du cylindre par rapport à son axe.

2/ Calculer son énergie cinétique lorsqu'il tourne à une vitesse de 1400 tr.min^{-1}.

3/ Sa vitesse diminue à 1300 tr.min^{-1} en 4 s. Calculer la puissance moyenne restituée par la diminution de l'énergie cinétique du volant.

5.14 C Une boule homogène sphérique roule sans glisser sur un plan horizontal. La vitesse de son centre d'inertie G est constante, de norme 3 m.s^{-1}; sa masse volumique est $\mu = 7800$ kg.m^{-3} et son rayon mesure $R = 6$ cm.

1/ Calculer l'énergie cinétique de translation de la boule, définie par $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m.v_G^2$.

2/ Dans le repère en translation rectiligne uniforme, de centre G, la boule a un mouvement de rotation autour de l'axe passant par G, tel que : $v_G = R.\omega$.
Calculer l'énergie cinétique de rotation de la boule dans ce repère $\left(J_{\Delta_G} = \frac{2}{5} m.R^2\right)$, puis la comparer à l'énergie cinétique de translation.

3/ Reprendre les mêmes questions avec une boule creuse homogène, de rayon extérieur $R_1 = 6$ cm et de rayon intérieur $R_2 = 4$ cm.

Théorème de l'énergie cinétique
Solide en translation

5.15 A Un objet de masse $m = 1{,}5$ kg tombe du 8^e étage d'un immeuble, soit d'une hauteur de 24 m. Quelles sont, en arrivant sur le sol, son énergie cinétique et sa vitesse v? On néglige les frottements dus à l'air.

Donnée : $g = 10$ m.s^{-2}.

5.16 A Un corps est lâché sans vitesse initiale le long d'un plan, incliné d'un angle α par rapport au plan horizontal. On néglige toute force de frottement. Après un parcours de 10 m, sa vitesse a pour norme :

$v = 9$ m.s^{-1}.

Déterminer α.

5.17 A Un véhicule de masse $m = 1200$ kg est en translation rectiligne. Les forces auxquelles il est soumis sont équivalentes à une force d'intensité 800 N, parallèle et de même sens que le mouvement.

1/ Sachant que ce mobile part du repos, calculer sa vitesse après un parcours de 200 m.

2/ Calculer alors la puissance de cette force.

5.18 C Un bateau à voile de 500 kg est soumis à l'action du vent et de l'eau. Sa trajectoire est rectiligne. Les forces réparties qu'exercent l'eau et le vent sont équivalentes à une force supposée constante dont la direction fait un angle de 30° avec la direction du mouvement.

1/ Sachant que sa vitesse passe de 4 à 10 nœuds sur une distance de 1 km, calculer l'intensité de cette force.

2/ Quelle est sa puissance au début et à la fin du parcours?

Donnée : 1 nœud = 1852 m.h^{-1}.

5.19 C Une automobile de masse 1 t descend, sans vitesse initiale et moteur débrayé, une côte de 4 %. Après avoir parcouru 100 m, sa vitesse est de 20 km.h^{-1}. Calculer le travail des forces de frottement au cours de ce mouvement.

5.20 C Une automobile de masse 800 kg est subitement soumise, à cause du vent, à une force $\vec{F}$ constante, d'intensité 200 N, faisant un angle de 130° avec la direction et le sens du mouvement.
Sachant que l'automobile effectue un mouvement rectiligne et que sa vitesse passe alors de 90 à 70 km.h^{-1}, calculer sur quelle distance d agit $\vec{F}$.

5.21 A Un mobile de masse $m = 1\,500$ kg est en translation rectiligne uniforme à la vitesse de 30 km.h^{-1}. Dans la direction et le sens du mouvement, on lui applique une force de puissance constante et égale à 66 kW.

1/ Calculer la vitesse du mobile après 10 s d'application de cette force.

2/ Calculer l'intensité de cette force à cet instant.

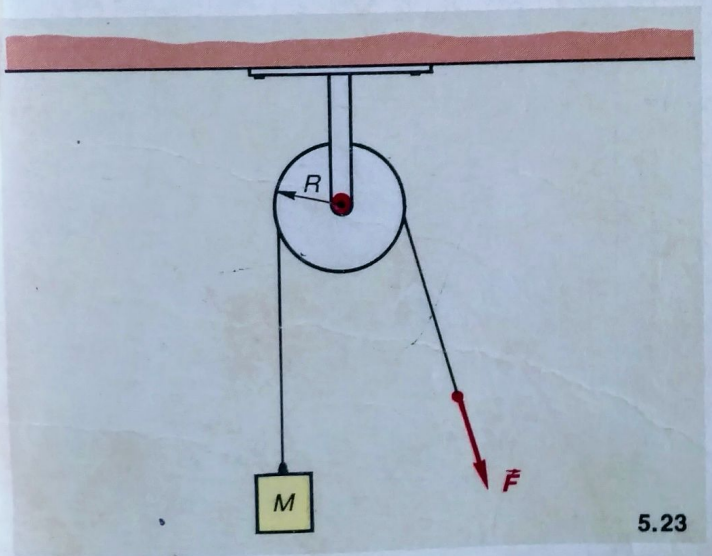
5.22 C Une automobile de masse $M = 1\,600$ kg est telle que sa résistance à l'avancement est équivalente à une force constante de 0,5 N.kg^{-1}, dirigée en sens contraire du mouvement.

1/ Le démarreur est en panne. La voiture est abandonnée, sans vitesse initiale, au sommet d'une côte. La route est rectiligne, inclinée d'un angle α sur l'horizontale. Au bout de quelle distance ℓ la vitesse atteinte est-elle de 22 km.h^{-1}? On néglige l'énergie cinétique des pièces en rotation dans l'automobile.

Données : $\sin \alpha = 0{,}1$; $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

2/ L'automobile aborde alors une voie horizontale. Le chauffeur embraye rapidement. Sa vitesse tombe à 10,8 km.h^{-1} sur une distance de 8 m. Évaluer le travail résistant nécessaire à la mise en marche du moteur.

5.23 BC Un ouvrier soulève une charge de 50 kg à l'aide d'une poulie de rayon R et de masse négligeable. La charge est initialement immobile sur le sol.



5.23

1/ Dans un premier temps, l'ouvrier exerce une force d'intensité constante 510 N, et la charge s'élève de 2 m. Calculer le travail effectué par l'ouvrier et la vitesse acquise par la charge.

2/ L'ouvrier soulève ensuite la charge à vitesse constante, 10 s durant. Quel travail effectue-t-il?

3/ Enfin, l'ouvrier réduit l'intensité de la force qu'il exerce et adopte une valeur supposée constante telle que la charge s'arrête sur un parcours de 0,5 m; il maintient alors la charge immobile. Déterminer l'intensité des forces exercées. Quel est le travail effectué par l'ouvrier?

4/ A quelle hauteur l'ouvrier a-t-il soulevé la charge? Comparer le travail effectué par le poids de la charge au travail effectué par l'ouvrier. Conclure.

Donnée : $g = 10$ m.s^{-2}.

5.24 C Pour construire des bâtiments, on enfonce des pieux à l'aide de « sonnettes ». Une sonnette comprend une masse d'acier, ou mouton, mobile le long d'une glissière verticale. On la soulève à l'aide d'un câble pour la laisser tomber sur la tête du pieu d'une hauteur $h = 3$ m. Sa masse est de 800 kg.

1/ Calculer l'énergie cinétique de la « sonnette » à l'instant où elle prend contact avec le pieu.

2/ Le sol offre une résistance $\vec{F}$ supposée constante à l'enfoncement du pieu. Déterminer $\|\vec{F}\|$ sachant que le pieu s'est enfoncé de 16 cm en un seul coup.

3/ Quelle masse minimale aurait-il fallu poser (sans vitesse initiale) sur le pieu pour en provoquer l'enfoncement?

Donnée : $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

Théorème de l'énergie cinétique
Solide en rotation

5.25 A Un volant ayant la forme d'un cylindre homogène de rayon $R = 0{,}50$ m, de masse 200 kg est mis en rotation autour de son axe par un moteur qui fournit une puissance constante $\mathcal{P} = 2$ kW. Quelle durée minimale faut-il pour que le volant, partant du repos, tourne à 2 000 tr.min^{-1}?

Donnée : $J_\Delta = \frac{1}{2} M.R^2$.

5.26 A Un volant de moment d'inertie J_Δ est lancé à une vitesse de 1 200 tours par minute. On applique un couple de freinage de moment constant 20 N.m par rapport à l'axe. Il s'arrête complètement après 20 tours. Calculer J_Δ.

5.27 C Un pendule est constitué par une tige de masse négligeable de longueur $\ell = 0{,}5$ m, à l'extrémité de laquelle est fixée une sphère quasi ponctuelle de masse $m = 1$ kg. L'ensemble est mobile autour d'un axe horizontal Δ passant par l'autre extrémité.
Le pendule est écarté de sa position d'équilibre d'un angle α_0 et abandonné sans vitesse initiale. Les frottements sont négligés.

1/ Quelle est la vitesse angulaire du pendule lorsqu'il passe par sa position d'équilibre? Quelle est la vitesse de la sphère?

Application numérique : $\alpha_0 = 60°$.

2/ Exprimer la vitesse de la sphère en fonction de l'angle α, lors du mouvement.

Donnée : $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

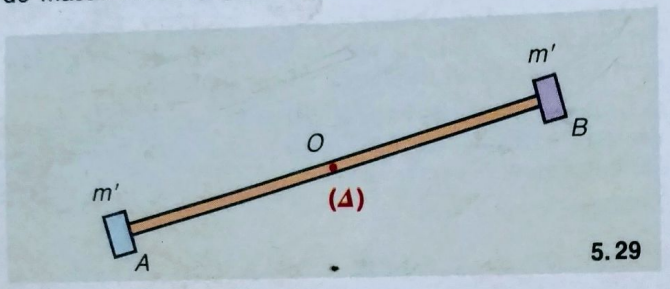
5.28 C Une platine de tourne-disque, de moment d'inertie $J = 3.10^{-2}$ kg.m^2, est entraînée à la vitesse de 33,3 tr.min^{-1}.

1/ La platine ne supportant pas de disque, on coupe l'alimentation du moteur. Elle effectue 15 tours avant de s'immobiliser.
Calculer le moment, supposé constant, des forces de frottement.

2/ On pose un disque sur la platine et on répète l'opération. L'ensemble s'immobilise après 18,5 tours. Quel est le moment d'inertie J' du disque? On admettra que le moment des forces de frottement n'a pas changé.

5.29 C Une barre AB, de masse $m = 200$ g, de longueur $2\ell = 50$ cm, est mobile autour d'un axe Δ horizontal passant par son centre d'inertie en O. Son moment d'inertie par rapport à Δ est donné par la relation $J = \frac{1}{3}.m.\ell^2$.

La barre est munie de deux surcharges quasi ponctuelles, de masse $m' = 150$ g, fixées en A et en B.



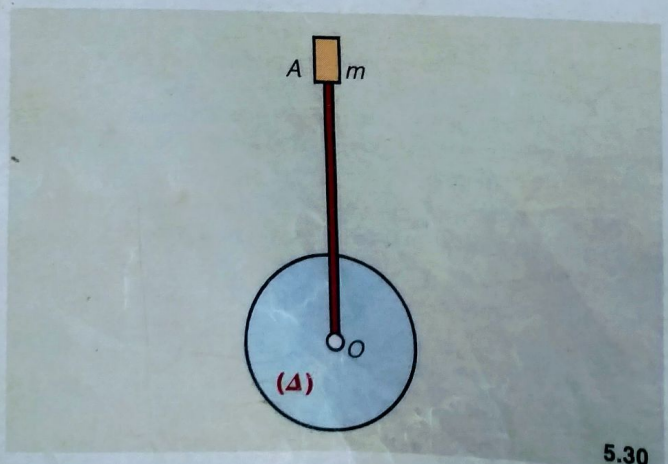
5.29

1/ L'ensemble est lancé à une vitesse angulaire de rotation de 100 tr.min^{-1}. Quelle est alors son énergie cinétique?

2/ Des forces de frottement ralentissent le système, qui s'arrête en 10 min. Quelle est la puissance moyenne des forces de frottement?

3/ La barre s'immobilise après avoir effectué 500 tours. Quel est le moment, supposé constant, des forces de frottement?

5.30 C Le dispositif de la figure ci-dessous est constitué d'un cylindre homogène de masse $M = 50$ kg, de rayon $R = 20$ cm, mobile autour d'un axe Δ horizontal. Une tige OA de masse négligeable, de longueur $\ell = 60$ cm, est solidaire du cylindre. A l'extrémité de la tige est fixée une charge de masse $m = 5$ kg.
La tige étant verticale, au-dessus de l'axe Δ, l'ensemble est abandonné sans vitesse initiale.



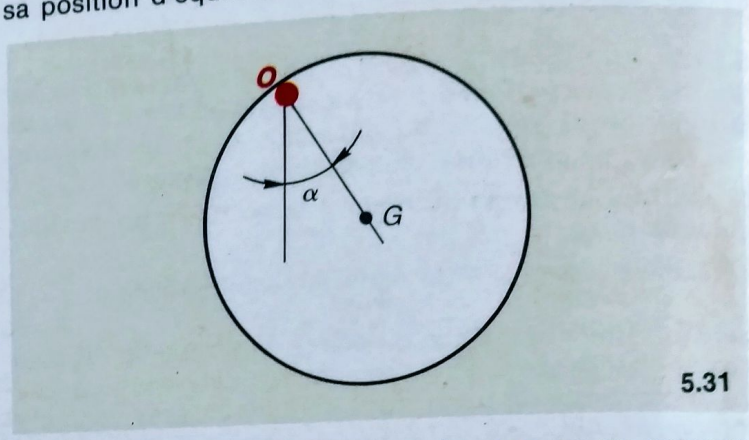
5.30

1/ En négligeant les frottements, calculer la vitesse maximale acquise par la charge.

2/ En fait, la vitesse maximale de la charge est 3 m.s^{-1}. Calculer le travail des forces de frottement. En supposant le moment de ces forces constant, en calculer la valeur.

Donnée : $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

5.31 C Un cerceau de masse $m = 200$ g et de rayon $R = 1$ m peut osciller verticalement autour d'un axe perpendiculaire à son plan et passant par un point O de sa circonférence (voir figure). Le moment d'inertie par rapport à l'axe est $J_\Delta = 2m.R^2$. On écarte le cerceau de sa position d'équilibre d'un angle $\alpha = 30°$.



5.31

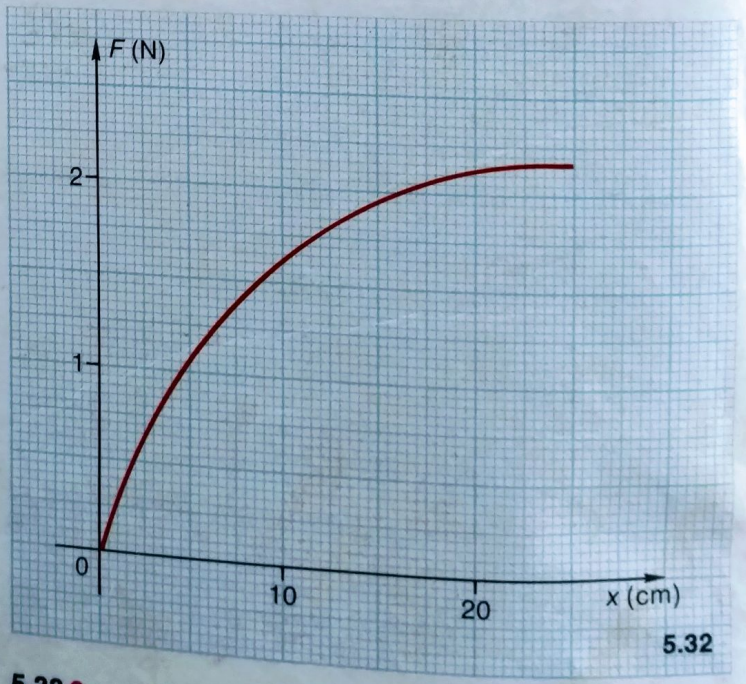
1/ Calculer la vitesse angulaire du cerceau au passage par la position d'équilibre lorsqu'on le lâche dans cette position.

2/ On veut faire effectuer au moins un tour au cerceau. Quelle doit être la vitesse angulaire minimale à lui communiquer lorsque OG fait un angle α avec la verticale?

Donnée : $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

Études graphiques

5.32 C Sur un mobile autoporteur de masse 1,2 kg, initialement au repos sur un plan horizontal, on exerce une force horizontale dont l'intensité est donnée en fonction du déplacement x du mobile par le graphique ci-dessous. Évaluer la vitesse du mobile quand $x = 20$ cm.



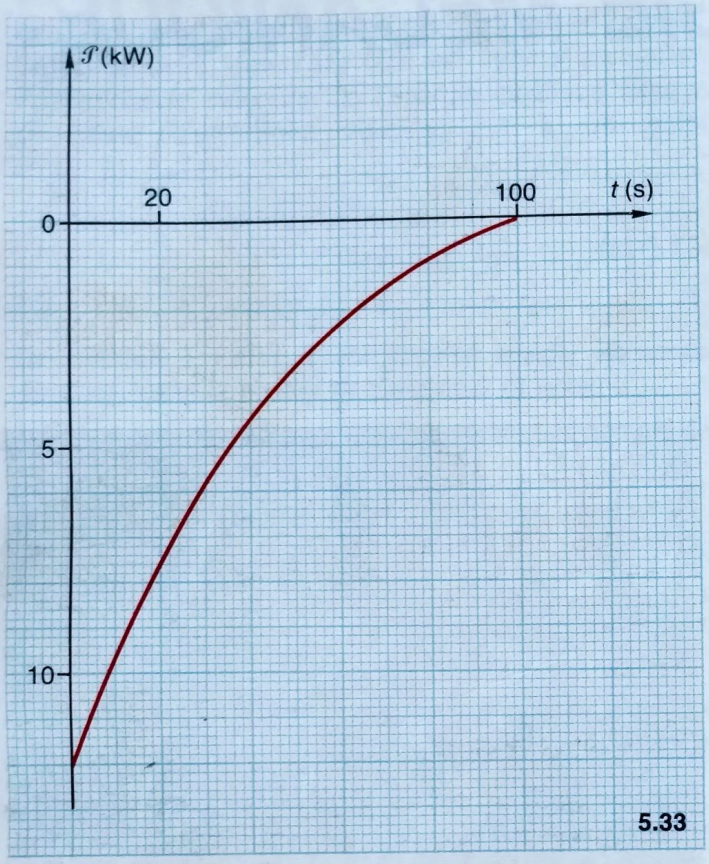
5.32

5.33 C Une automobile de masse $m = 1{,}3$ t est animée sur une route horizontale d'une vitesse $v = 90$ km.h^{-1}. A la date $t = 0$, le moteur est débrayé, et le véhicule ralentit sous l'effet des seules forces de frottement dont la puissance est donnée en fonction du temps sur le graphique ci-après.

1/ Évaluer l'énergie cinétique de l'automobile à la date

$t = 20$ s. Quelle est alors sa vitesse? On néglige l'énergie cinétique de tous les systèmes en rotation.

2/ Évaluer la variation de vitesse du véhicule entre les dates $t = 20$ s et $t = 60$ s.



5.33

Chocs

5.34 C Un solide S_1 de masse $m_1 = 100$ g, initialement au repos, peut coulisser sans frottement sur un banc à coussin d'air horizontal. Un autre solide S_2 de masse $m_2 = 200$ g est projeté sur le banc à la vitesse :

$$v_2 = 0{,}2 \text{ m.s}^{-1}.$$

1/ Le choc est élastique, c'est-à-dire sans perte d'énergie cinétique.

a/ Énoncer les deux lois de conservation.
b/ Déterminer les vecteurs vitesse des deux solides après le choc.

2/ Le choc est mou : les deux solides restent solidaires après le choc.

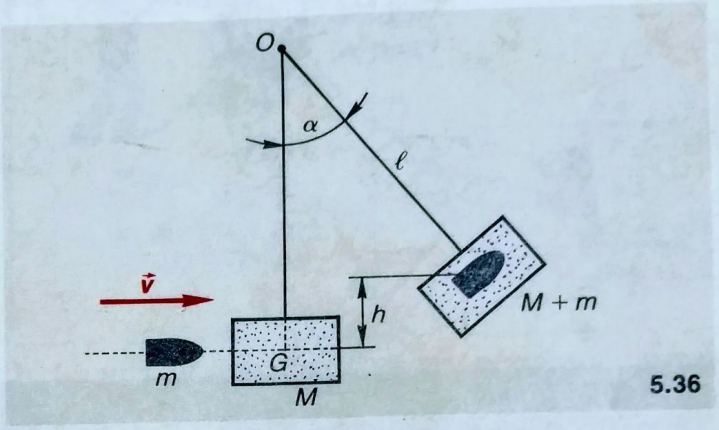
a/ Énoncer la loi de conservation.
b/ Calculer le vecteur vitesse de l'ensemble des deux solides après le choc.
c/ Calculer l'énergie cinétique de l'ensemble après le choc et la comparer à la somme des énergies cinétiques des deux solides avant le choc.

5.35 C Reprendre les données de l'exercice précédent. Le solide S_1 n'est plus au repos mais va à la rencontre du solide S_2 avec une vitesse de 0,1 m.s^{-1}.
Répondre à la même série de questions.

5.36 C *Pendule balistique* (voir figure). Un projectile de masse m et de vitesse $\vec{v}$ vient frapper un récipient plein de sable de masse M suspendu en O par un fil rigide de masse négligeable ($OG = \ell$). La balle s'incruste dans le sable : le choc est parfaitement mou.

1/ Exprimer la vitesse v' (valeur algébrique) de l'ensemble après le choc.

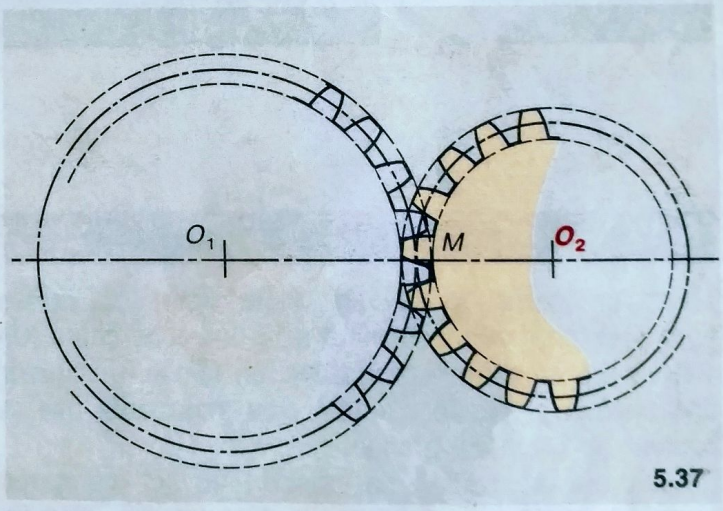
2/ Exprimer son énergie cinétique. A quelle hauteur h cet ensemble va-t-il s'élever? Préciser l'angle α correspondant. (La mesure de l'angle α permet de calculer la vitesse v.)



5.36

Exercices de recherche et d'analyse

5.37 C Soit un système d'engrenages constitué par deux disques de rayons R_1 et R_2. Ceux-ci sont soumis respectivement à des couples de moments C_1 et C_2 et tournent à des vitesses angulaires constantes ω_1 et ω_2.
Comparer ω_1 et ω_2, C_1 et C_2.
Comparer les puissances des couples C_1 et C_2.
Qu'appelle-t-on « rapport d'engrenage »? En utilisant les résultats précédents, expliquer la fonction du « levier de vitesses » des véhicules automobiles.



5.37

5.38 C Analyser du point de vue du théorème de l'énergie cinétique le fonctionnement d'une bicyclette sur sol horizontal. Analyser le rôle du « changement de vitesse ».

5.39 B Rechercher des exemples pratiques dans lesquels de l'énergie cinétique de translation est transformée en énergie cinétique de rotation ou réciproquement.

5.40 C Sur un plateau tournant autour d'un axe fixe, on pose un palet. Ce dernier reste en équilibre par rapport au plateau. On constate que la vitesse angulaire du plateau diminue.
Analyser la situation expérimentale décrite et l'expliquer. Pourrait-on observer une augmentation de la vitesse angulaire de rotation du plateau?

6 ÉNERGIE POTENTIELLE DE PESANTEUR - ÉNERGIE MÉCANIQUE

EXERCICES

Faire le point

Vrai ou faux?

- Dans un champ de pesanteur uniforme de vecteur $\vec{g}$, l'énergie potentielle de pesanteur ne dépend que de l'altitude z et de la norme $\|\vec{g}\|$.
- La variation d'énergie cinétique d'un corps est toujours égale à l'opposé de la variation d'énergie potentielle de pesanteur.
- L'énergie mécanique d'un corps qui n'est soumis qu'à des forces conservatives est constante.
- L'énergie cinétique d'un corps ne varie que si son énergie potentielle varie.
- Le poids d'un corps est une force conservative.
- Les forces de frottement sont des forces dont le travail ne dépend pas du chemin suivi pour aller de A en B.

Dans tous les exercices suivants, on prendra $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$, *sauf indication contraire.*

Applications directes du cours

6.1 A Quelle est l'énergie potentielle de pesanteur d'un marteau-pilon de forge de masse 400 kg et pouvant tomber d'une hauteur de 0,6 m?

6.2 A En montant sur une échelle, une personne de 75 kg s'élève de 1,5 m au-dessus du plancher. Le plancher de la pièce est situé à 7,5 m au-dessus de la rue. Quelle est l'énergie potentielle de cette personne par rapport au plancher? par rapport à la rue?

6.3 A Un rocher de masse $m = 200$ kg se détache d'une falaise.
L'altitude initiale du rocher est $H = 200$ m par rapport au niveau de la mer.

1/ Quelle est son énergie mécanique totale initiale? On précisera le niveau de référence pour l'énergie potentielle.

2/ En supposant que le rocher tombe en chute libre (résistance de l'air négligeable), calculer l'énergie cinétique et l'énergie potentielle du rocher à l'altitude $h = \frac{H}{2}$.

6.4 A Quelle est la variation d'énergie mécanique d'une charge de 260 kg soulevée à 2,5 m du sol par un haltérophile? Calculer le travail des forces exercées par l'haltérophile sur la barre.

Conservation de l'énergie mécanique

6.5 A Une pierre de masse 200 g est lancée du haut d'une falaise avec une vitesse initiale $v_0 = 20\ \text{m.s}^{-1}$. Lorsque la pierre quitte la main du lanceur, son altitude par rapport au niveau de la mer est $h_0 = 150$ m.

1/ Quelle est, par rapport au niveau de la mer, l'énergie mécanique initiale de la pierre?

2/ En supposant la résistance de l'air négligeable, quelle est la vitesse maximale théorique de la pierre lorsqu'elle atteint la surface de l'eau? Cette vitesse dépend-elle de la trajectoire de la pierre?
En pratique, cette vitesse peut-elle être atteinte? Pourquoi?

6.6 C Une balle de fusil 22 *Long rifle,* de masse 2,2 g, est propulsée à la vitesse de $505\ \text{m.s}^{-1}$. Quelle est l'énergie cinétique du projectile à la sortie du canon? Quelle altitude théorique maximale peut-il atteindre? En pratique, cette altitude peut-elle être atteinte? Pourquoi?

6.7 C Un enfant lance verticalement vers le haut une bille de masse $m = 20$ g. A une hauteur de 1,30 mètre au-dessus du sol, sa vitesse est de $4\ \text{m.s}^{-1}$. On néglige la résistance de l'air.

1/ Calculer l'énergie mécanique de la bille en précisant le niveau de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur.

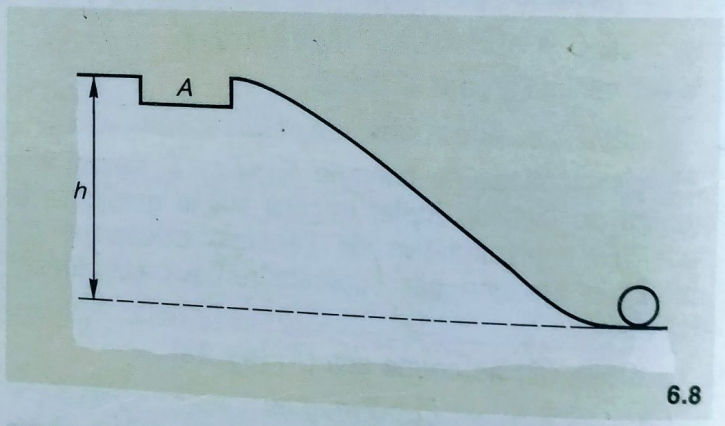
2/ Jusqu'à quelle hauteur la bille va-t-elle monter?

3/ Avec quelle vitesse va-t-elle repasser par le point d'altitude 1,30 m?

4/ Avec quelle vitesse va-t-elle atteindre le sol?

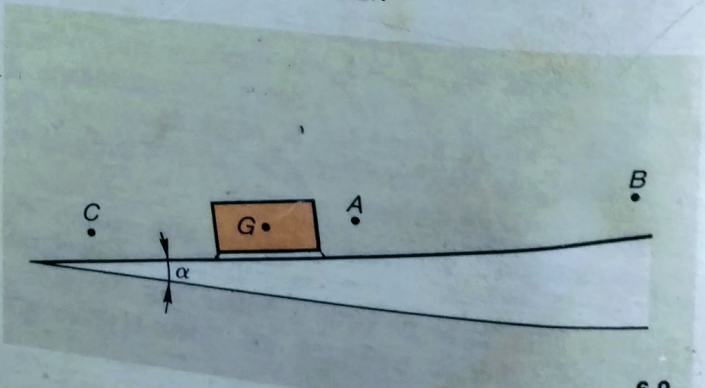
6.8 C Dans un golf miniature, représenté par la figure ci-dessous, quelle vitesse minimale faut-il donner à la balle pour qu'elle vienne se loger dans le trou A si l'on néglige les frottements?

Donnée : $h = 50$ cm.



6.8

6.9 A Un solide de centre d'inertie G peut glisser sans frottement sur un banc à coussin d'air incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale.
En A le mobile a une vitesse dirigée vers le haut. Il s'élève jusqu'en B, puis fait demi-tour.



6.9

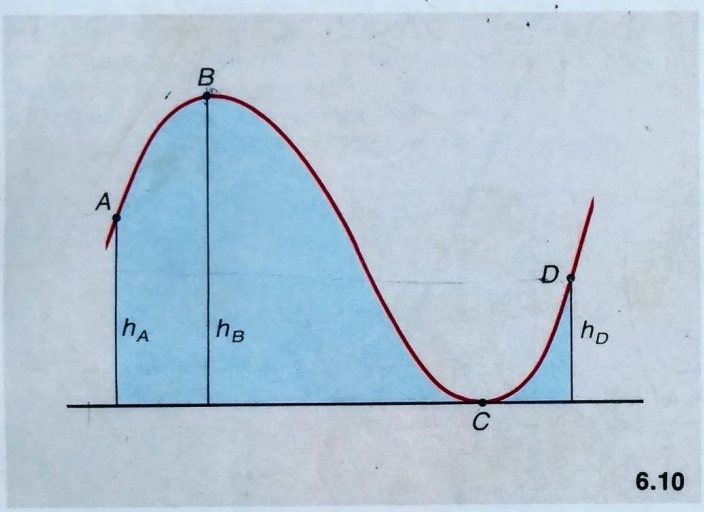
1/ Quelle est l'énergie mécanique du solide en A? On prendra l'énergie potentielle de pesanteur nulle en C.

2/ Avec quelle vitesse a-t-il été lancé en A?

3/ Quelle est son énergie cinétique et sa vitesse en C?

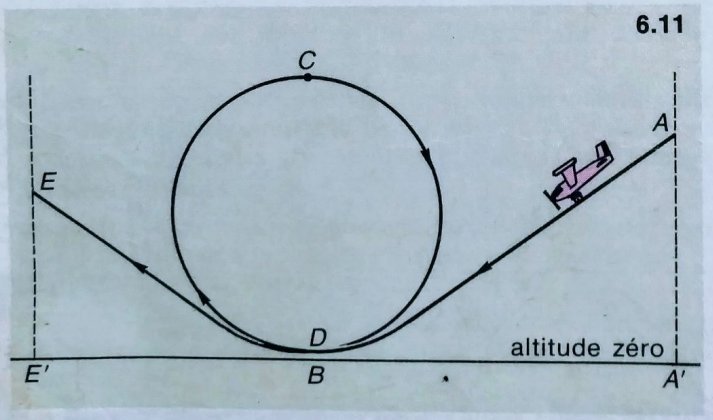
Données : $m = 75$ g; A, B et C sont sur une ligne de plus grande pente et A est au milieu du segment BC; $AB = AC = 60$ cm; $\alpha = 15°$. On néglige les frottements.

6.10 C Un toboggan a la forme indiquée sur la figure ci-dessous où $h_A = 3$ m, $h_B = 5$ m, $h_D = 2$ m. Le véhicule a une masse de 120 kg. On le lâche en B vers C et D, sans vitesse initiale.
Quelle est sa vitesse en C et en D si l'on néglige les forces de frottement? Avec quelle vitesse doit-on le lancer en A pour atteindre D?



6.10

6.11 B Un jouet d'enfant se déplace sur des rails effectuant une boucle selon la figure ci-dessous. Sa masse est $m = 0{,}78$ kg. Une mesure de vitesse effectuée en D donne $3{,}2\ \text{m.s}^{-1}$. Les différentes hauteurs des points A, B, C, D et E sont : $h_A = 0{,}52$ m; $h_B = 0$ m; $h_C = 0{,}29$ m; $h_D = 0$ m; $h_E = 0{,}25$ m. On néglige les frottements.



6.11

1/ Calculer l'énergie mécanique totale du système.

2/ En déduire les vitesses du mobile aux points A, B, C, D et E.

3/ Tracer approximativement l'énergie potentielle du véhicule en fonction de l'abscisse curviligne de ce dernier. En déduire la courbe donnant son énergie cinétique en fonction de son abscisse curviligne.

Données : $A'B \approx 2$ m; $E'B \approx 1$ m (attention : cotes non respectées sur la figure).

6.12 B On lance verticalement vers le haut, avec une vitesse $v_0 = 3\ \text{m.s}^{-1}$, un solide quasi ponctuel, de masse $m = 500$ g, à partir d'un point de cote $z = 1{,}8$ m. La résistance de l'air est négligée. On attribue une valeur nulle à l'énergie potentielle de pesanteur au point de cote $z = 0$.

1/ Représenter graphiquement l'énergie potentielle de pesanteur $\mathcal{E}_p(z)$ du solide en fonction de l'altitude z.

2/ Représenter graphiquement (sur le même graphique) l'énergie cinétique du solide $\mathcal{E}_c(z)$ et son énergie mécanique $\mathcal{E}_m(z)$.

3/ Calculer la vitesse v du solide en fonction de la cote z.

6.13 C Un pendule est constitué d'une tige OA, de longueur $\ell = 60$ cm, de masse négligeable, mobile sans frottement autour d'un axe horizontal Δ passant par le point O. En A est fixée une surcharge quasi ponctuelle de masse $m = 500$ g. La résistance de l'air est négligée.

1/ Le pendule est initialement immobile, en équilibre stable.
Un opérateur l'écarte d'un angle $\alpha = 60°$ par rapport à la verticale.
En prenant comme référence de l'énergie potentielle de pesanteur la position d'équilibre stable, calculer l'énergie mécanique du pendule dans cette nouvelle position.

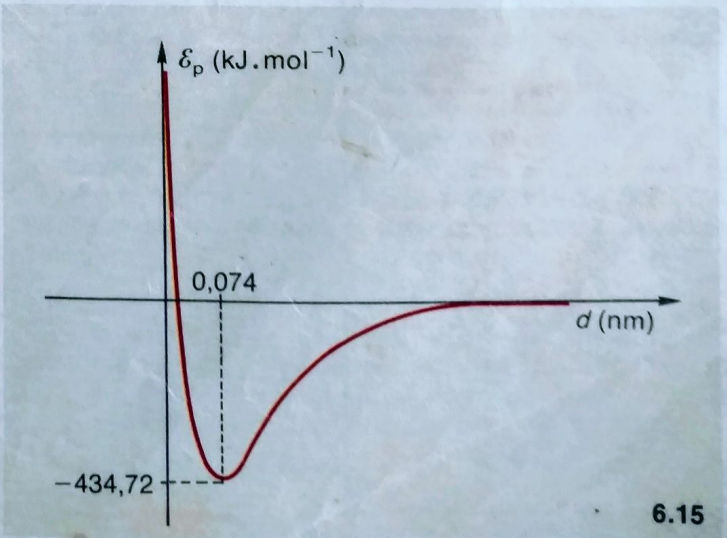
2/ Le pendule est lâché par l'opérateur sans vitesse initiale et effectue des oscillations. Calculer la vitesse angulaire du pendule lorsqu'il passe par sa position d'équilibre au cours des oscillations.

6.14 C On considère à nouveau le pendule décrit dans l'exercice précédent. Les frottements au niveau de l'axe et la résistance de l'air sont négligés.

1/ Quelle énergie mécanique minimale faut-il fournir au pendule initialement au repos (position d'équilibre stable) pour qu'il fasse un tour complet autour de l'axe Δ? Avec quelle vitesse circonférentielle la surcharge A quitte-t-elle alors sa position d'équilibre?

2/ Cette énergie mécanique minimale lui étant communiquée, quelle est la vitesse angulaire du pendule lorsqu'il traverse le plan horizontal contenant l'axe Δ?

6.15 BC L'énergie potentielle de la molécule de dihydrogène H_2 est donnée en fonction de d, distance entre les deux atomes, par le graphique ci-dessous.



6.15

On étudie le mouvement d'un atome par rapport à l'autre.

EXERCICES

1/ Pour quelle valeur de d les deux atomes sont-ils au repos l'un par rapport à l'autre?

2/ Quel est le travail minimal qu'il faut fournir aux deux atomes pour les séparer complètement lorsqu'ils sont initialement au repos l'un par rapport à l'autre?

3/ Une molécule de dihydrogène a une énergie de -4.10^{-19} J. Calculer l'énergie cinétique maximale du système. Entre quelles valeurs extrêmes la distance d varie-t-elle approximativement?

Donnée : nombre d'Avogadro $N_A = 6{,}02.10^{23}$ mol^{-1}.

6.16 B Un solide de masse $m = 0{,}5$ kg peut se déplacer en translation sur un axe horizontal. Il est repéré par l'abscisse x ; les forces de frottement sont négligeables; il est soumis à un système de forces conservatives. L'énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ de ces forces est fonction de la position x : $\mathcal{E}_p = 50x^2$ avec x en mètres, $\mathcal{E}_p$ en joules.

1/ Tracer le graphique de sa fonction $x \longmapsto \mathcal{E}_p(x)$ pour $x \in [-1; +1]$.

2/ Quelle est la position x_0 d'équilibre du solide (correspondant à l'énergie potentielle minimale)?

3/ Au cours d'une expérience, le solide est écarté de sa position d'équilibre en $x_1 = 0{,}2$ m, puis lâché sans vitesse initiale. Déterminer son énergie mécanique. Montrer que le système oscille autour d'une position entre deux valeurs extrêmes de x. Calculer sa vitesse lorsqu'il passe en $x = 0$.

4/ Au cours d'une autre expérience, le solide est lancé en $x = 0$ avec une vitesse de 6 m.s^{-1}. Montrer que le système oscille entre deux positions extrémales que l'on calculera.

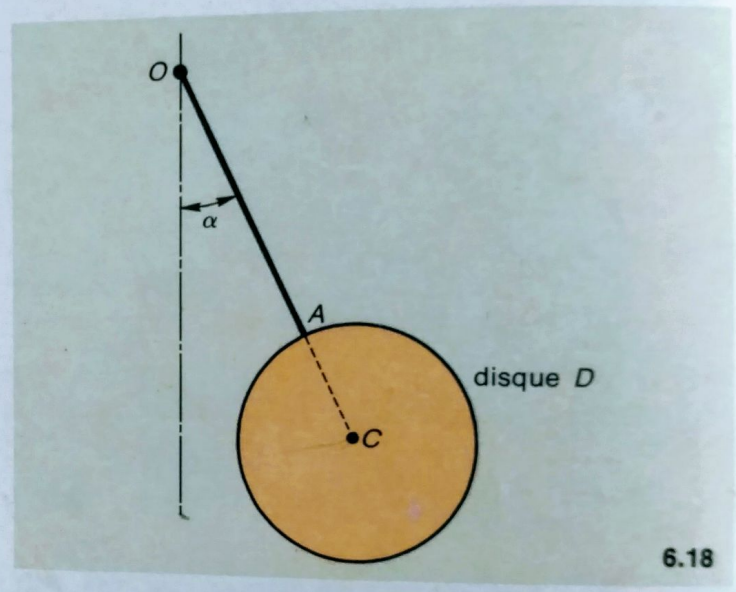
6.17 C Une particule est soumise à un système de forces conservatives.
Elle peut se déplacer suivant un axe $(x'x)$, et son énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ est fonction de son abscisse x. Les variations de $\mathcal{E}_p$ sont représentées sur la figure ci-dessous.

1/ L'énergie mécanique totale est de 6 kJ; la particule vient de $x = -\infty$. Décrire qualitativement la variation de vitesse de la particule.

2/ L'énergie mécanique est de 4,5 kJ. La particule arrive de $x = +\infty$. Décrire qualitativement la variation de vitesse de la particule.

3/ L'énergie mécanique est de 3 kJ. Montrer que certaines régions de l'axe ne peuvent être atteintes par la particule. Indiquez, selon la position initiale de la particule, la partie de l'axe décrite par celle-ci et le type de mouvement.

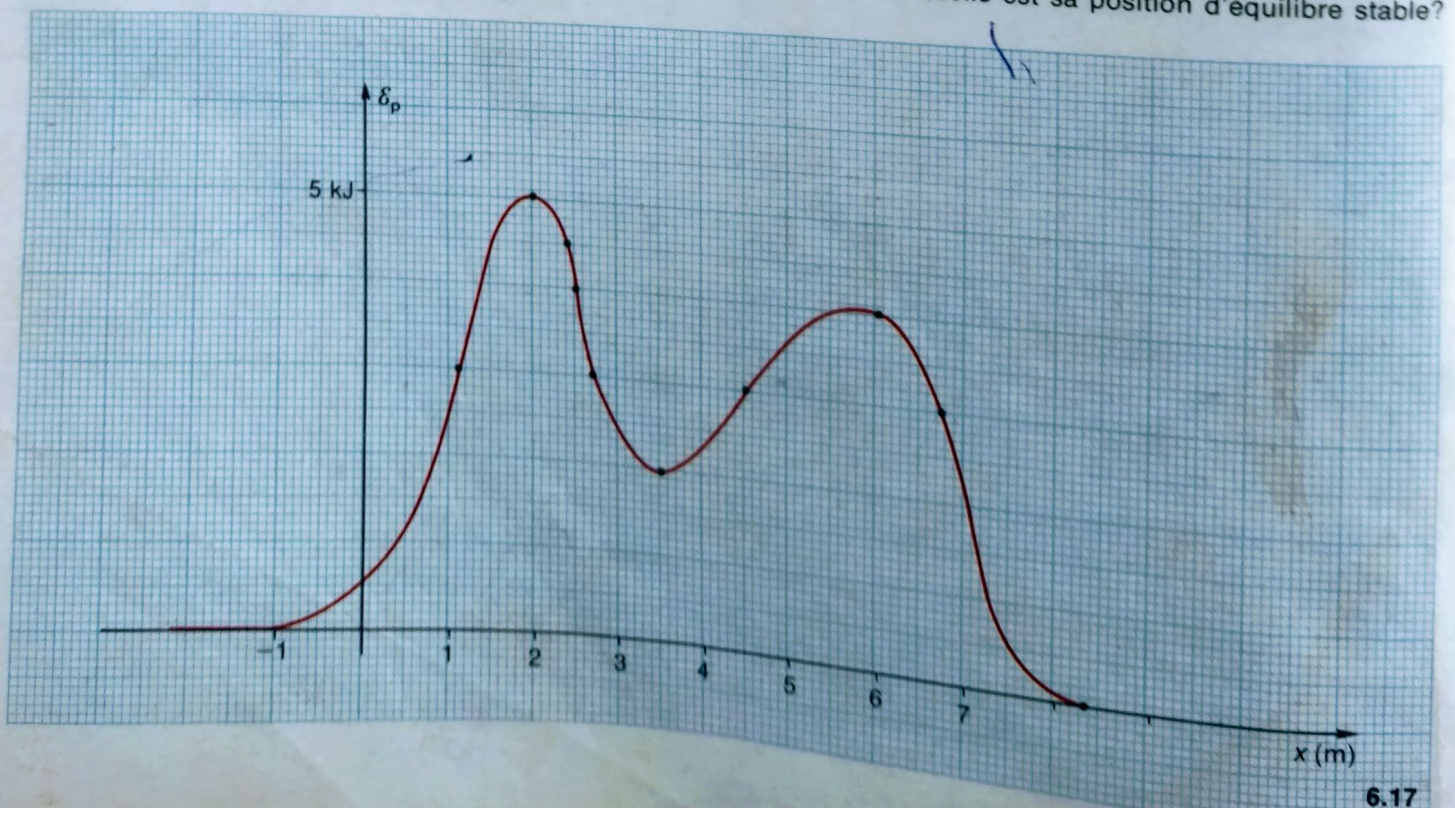
6.18 BC Un balancier d'horloge peut être schématisé par un disque D soudé à l'extrémité d'une tige OA.



6.18

1/ Déterminer la position du centre d'inertie G du pendule ainsi constitué.

2/ Ce pendule peut osciller autour de l'axe horizontal passant par O. Quelle est sa position d'équilibre stable?



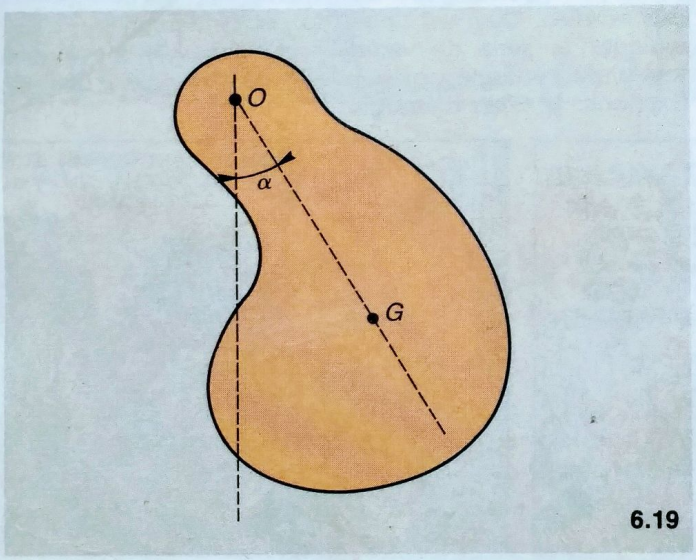
6.17

3/ Au cours d'une oscillation, le pendule passe par sa position d'équilibre avec une vitesse angulaire égale à 2,14 rad.s^{-1}. On néglige les frottements.

a/ Calculer alors son énergie cinétique. En précisant le niveau de référence de l'énergie potentielle, calculer l'énergie mécanique du pendule.
b/ Calculer l'amplitude angulaire maximale atteinte α_m.
c/ Lorsqu'il passe par une position telle que $\alpha = 20°$, calculer sa vitesse angulaire.

Données : m(tige) = 0,5 kg; $m(D) = 1$ kg; $OA = 1$ m; $AC = 10$ cm; moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe horizontal passant par O : 1,38 kg.m^2.

6.19 BC Un pendule pesant est assujetti à tourner autour d'un axe horizontal passant par O (voir figure ci-dessous). Sa masse est $m = 5$ kg, son centre d'inertie G est à la distance $a = OG = 0{,}6$ m de l'axe de suspension O; le moment d'inertie du solide par rapport à l'axe est $J = 0{,}5$ kg.m^2. On repère la position du solide par l'angle α, angle entre la verticale et OG.
Dans tout le problème on néglige les frottements.



6.19

1/ Tracer le graphique représentant l'énergie potentielle de pesanteur du système en fonction de α pour $-\pi < \alpha < \pi$. On prendra $\mathcal{E}_p = 0$ pour $\alpha = 0$.

2/ Pour $\alpha_0 = \pi$, le système est en équilibre instable. Un léger déséquilibre suffit à le faire basculer. Calculer alors sa vitesse angulaire ω_0 lorsqu'il passe par la position d'équilibre stable $\alpha = 0$.

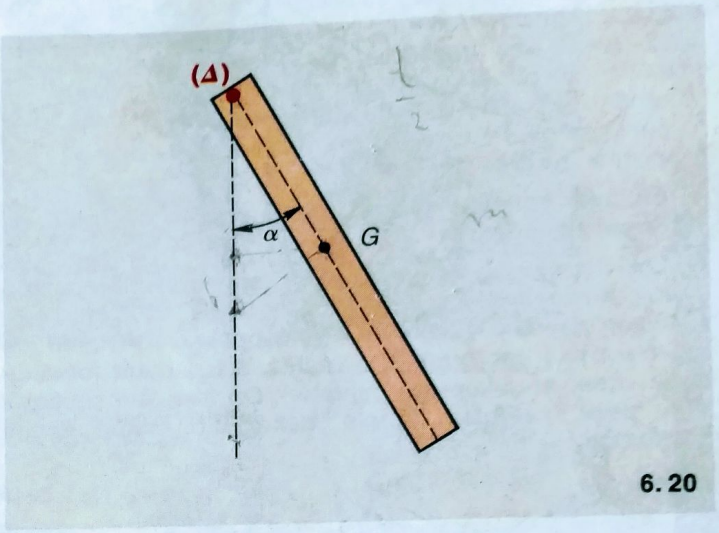
3/ Au cours d'une expérience, on lance le pendule avec une vitesse initiale $\omega_1 = \omega_0/2$ à partir de la position $\alpha = 0$. Étudier son mouvement ultérieur.

4/ Au cours d'une autre expérience, on le lance avec une vitesse initiale $\omega_2 = 2\omega_0$. Étudier le mouvement ultérieur.

5/ Nous voulons maintenant que le pendule oscille entre $-\frac{\pi}{2}$ et $+\frac{\pi}{2}$. Quelle doit être sa vitesse angulaire en $\alpha = 0$?

Donnée : $g = 10$ m.s^{-2}.

6.20 BC Un pendule pesant (voir figure ci-après) est constitué par une règle de longueur $\ell = 1$ m, de masse $m = 1$ kg, mobile autour d'un axe horizontal passant par l'une de ses extrémités. Par rapport à cet axe, le moment d'inertie de la règle vaut $J = 0{,}3$ kg.m^2.



6.20

1/ A quelles forces est soumise la règle? Donner les conditions d'équilibre.

2/ On écarte le pendule d'un angle α avec la verticale. Donner l'expression de l'énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ en fonction de α. Représenter graphiquement $\mathcal{E}_p$ en fonction de $\alpha \in [-\pi; +\pi]$.
L'état d'équilibre stable est choisi comme référence pour l'énergie potentielle.

3/ Le pendule est écarté d'un angle $\alpha_m = 60°$, puis abandonné sans vitesse initiale. Donner l'expression de l'énergie mécanique du système oscillant en fonction de α et de ω, vitesse angulaire du pendule. On néglige les frottements.

Donnée : $g = 10$ m.s^{-2}.

Frottements et dissipation de l'énergie

6.21 C Un cycliste descend une pente de longueur $\ell = 5$ km, de dénivellation $h = 300$ m. Parti sans vitesse initiale, il arrive en bas de la pente avec une vitesse $v = 50$ km.h^{-1}; la masse totale du cycliste et de son vélo est de 80 kg.

1/ Calculer l'énergie mécanique « perdue » et le travail des différentes forces de frottement.

2/ Les forces de frottement sont représentables par leur vecteur somme $\vec{f}$, de sens opposé au vecteur vitesse $\vec{v}$ du cycliste.
Calculer la norme $\|\vec{f}\|$, supposée constante (ce qui n'est pas conforme à la réalité, car celle-ci varie avec la vitesse).

6.22 C Après un schuss selon la ligne de plus grande pente d'une piste de longueur 2 km et de dénivellation 500 m, un skieur atteint la vitesse de 80 km.h^{-1}. La masse du skieur et de son équipement est de 90 kg.

1/ Quelle serait, en l'absence de frottement, la vitesse théorique atteinte au bas de la piste?

2/ Les forces de frottement sont représentables par leur vecteur somme $\vec{f}$, de sens opposé au vecteur vitesse $\vec{v}$ du skieur. Calculer la norme $\|\vec{f}\|$, supposée constante.

EXERCICES

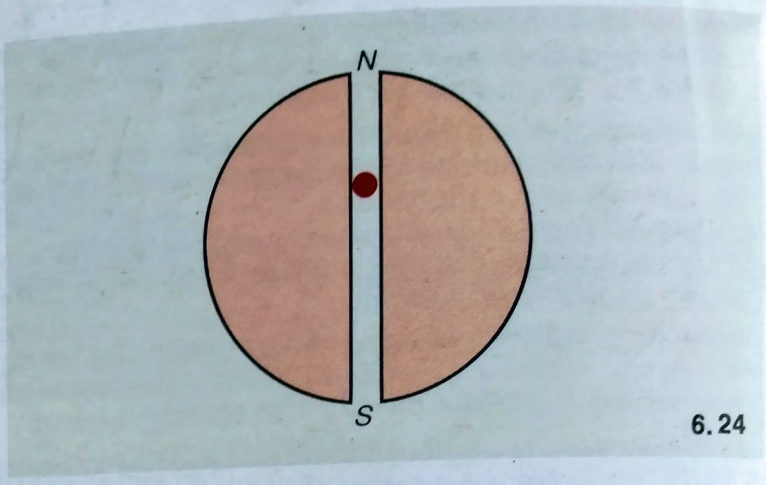
6.23 C Considérons à nouveau le pendule de l'exercice **6.13** ($\ell = 60$ cm; $m = 500$ g). Un opérateur l'écarte de sa position d'équilibre stable d'un angle $\alpha_m = 90^\circ$ et l'abandonne sans vitesse initiale. Après une oscillation, le pendule ne s'écarte plus que d'un angle $\alpha_1 = 80^\circ$ par rapport à la verticale.

1/ Calculer l'énergie mécanique « perdue » au cours de cette oscillation.

2/ Les forces de frottement sont représentables par un couple de moment $\mathcal{M}_\Delta$ par rapport à l'axe Δ.
Calculer la valeur absolue $|\mathcal{M}_\Delta|$, supposée constante (ce qui n'est pas conforme à la réalité, $|\mathcal{M}_\Delta|$ étant fonction de la vitesse angulaire du pendule). On fera une supposition pour calculer l'angle décrit au cours d'une oscillation.

Exercices de recherche et d'analyse

6.24 C On imagine un tunnel traversant la Terre suivant l'axe nord-sud. Un objet est lâché en N sans vitesse initiale. En négligeant les frottements, décrire l'allure du mouvement de l'objet.



6.24

6.25 C Un satellite artificiel décrit une orbite elliptique autour de la Terre (repère géocentrique, voir exercice **1.22**).

1/ Que peut-on dire de la vitesse du satellite aux points les plus rapprochés du centre de la Terre? On négligera les frottements.

2/ En fait, il existe des frottements dus à l'atmosphère très raréfiée. Quel est l'effet de ces frottements?
Indiquer le sens de variation de l'énergie mécanique totale, de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique. Expliquer le bilan d'énergie.

11 CHAMP ÉLECTROSTATIQUE

EXERCICES

Faire le point

Vrai ou faux?

- Quel que soit le signe de la charge, la force électrostatique et le champ électrostatique ont même direction.
- L'unité de champ électrostatique est le V.m.
- Dans un champ uniforme, les lignes de champ sont parallèles.
- Une ligne de champ est orientée vers les potentiels croissants.
- Dans un champ uniforme, les surfaces équipotentielles sont des plans.
- Dans un champ uniforme $\vec{E}$, la différence de potentiel entre deux points C et D est donnée par $V_C - V_D = \vec{E} \cdot \overrightarrow{CD}$.

Dans tous les exercices suivants, on prendra :

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Applications directes du cours

11.1 A Une particule α (noyau d'hélium He^{2+}) est placée dans un champ électrique uniforme d'intensité 10^4 V.m^{-1}.

1/ Représenter les lignes de champ ainsi que la force $\vec{F}$ d'origine électrostatique s'exerçant sur cette particule.

2/ Calculer l'intensité de cette force.

11.2 A Un pendule électrostatique de charge q est placé dans un champ électrostatique uniforme horizontal d'intensité $E = 2.10^4$ V.m^{-1}. Il s'écarte d'un angle de 10° par rapport à sa position d'équilibre verticale. Sachant que sa masse est égale à 0,1 g, en déduire q.
On donne : $g = 10$ m.s^{-2}.

11.3 A Un électron, animé d'une vitesse $\vec{v}_0$, se présente entre deux plaques soumises à une tension :

$$V_A - V_B = 100 \text{ V}$$

et séparées de 10 cm.



11.3

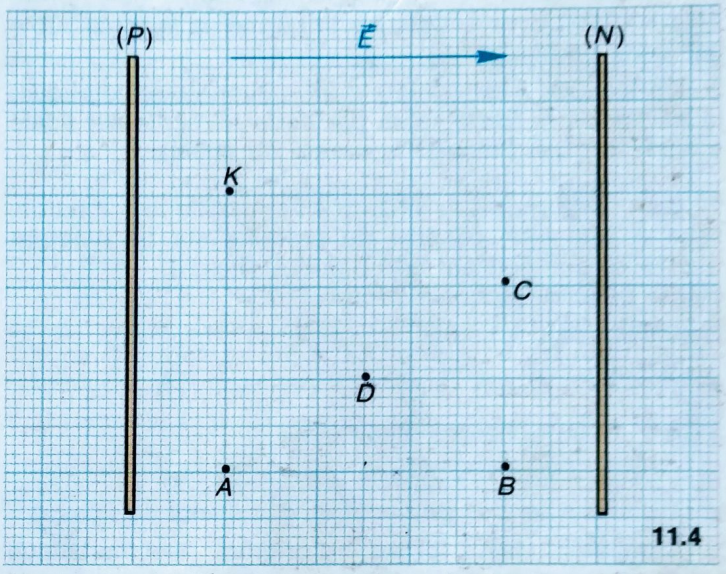
1/ Représenter les lignes de champ en indiquant leur orientation.

2/ Calculer l'intensité du champ $\vec{E}$.

3/ Déterminer la force s'exerçant sur cet électron.

4/ Dessiner sommairement la trajectoire de l'électron.

11.4 A Entre deux plaques chargées parallèles règne un champ électrique uniforme de norme $E = 100$ V.cm^{-1}. La distance entre les deux plaques est égale à 5 cm.



11.4

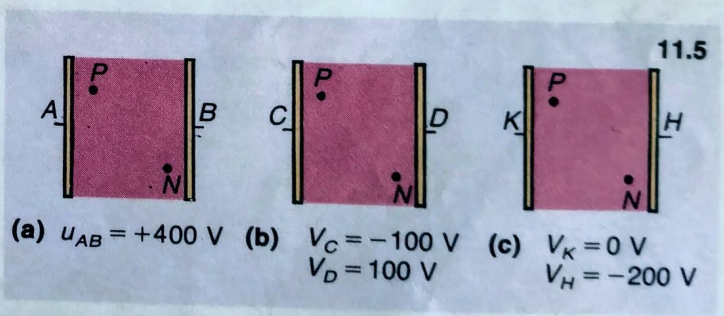
1/ Calculer les différences de potentiel suivantes :

$$V_A - V_B ; \quad V_D - V_A ; \quad V_D - V_K ;$$
$$V_K - V_C ; \quad V_D - V_C ; \quad V_P - V_N .$$

2/ Montrez simplement que $V_A - V_B = V_K - V_C$.

3/ On prend comme origine des potentiels $V_N = 0$; tracer les plans équipotentiels correspondant à $V_1 = 200$ V et $V_2 = 350$ V.

11.5 A Entre les différentes plaques conductrices parallèles portées à des potentiels différents, on établit des champs électriques uniformes. La distance entre les plaques est égale à 10 cm dans les trois cas (a), (b) et (c)) de la figure.



11.5

(a) $u_{AB} = +400$ V **(b)** $V_C = -100$ V, $V_D = 100$ V **(c)** $V_K = 0$ V, $V_H = -200$ V

1/ Dans chacun des cas, représenter en P et en N le vecteur champ électrique et donner sa norme.

2/ Dans le cas (b), tracer les plans équipotentiels correspondant à $V_0 = 0$ V, $V_1 = 50$ V et $V_2 = -50$ V.

3/ Dans le cas (c), tracer le plan équipotentiel correspondant à $V_1 = -100$ V.

11.6 B Un champ électrostatique uniforme est caractérisé par $\vec{E} = E_0 . \vec{k}$ avec $E_0 = 10^5$ V.m^{-1} et $\vec{k}$ vecteur unitaire de l'axe zz' d'un repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

1/ Calculer les d.d.p. $V_A - V_B$, $V_A - V_C$ et $V_C - V_D$ entre les points $A(0, 1, 0)$, $B(1, 2, 3)$, $C(1, 2, -1)$, $D(1, 4, 4)$, l'unité de longueur étant le centimètre.

2/ Quelles sont les surfaces équipotentielles?

EXERCICES

1/ Calculer en fonction de ℓ, α, q et $E = \|\vec{E}\|$ le moment des forces électrostatiques par rapport à l'axe de rotation du dispositif.

2/ Calculer le moment du poids du système par rapport à l'axe de rotation.

3/ Le dispositif étant en équilibre, le fil de torsion exerce des actions mécaniques dont le moment par rapport à l'axe de rotation est proportionnel à l'angle de rotation α :

$$|\mathcal{M}_\Delta| = C.\alpha, \quad \text{avec} \quad C = 13{,}5.10^{-7}\ \text{N.m.rad}^{-1}.$$

Calculer q sachant que : $E = 272\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}$; $\ell = 15$ cm; $\alpha = \pi/6$.

Champ et potentiel

11.15 A La différence de potentiel entre deux plaques conductrices parallèles et distantes de 12 cm est :

$$V_P - V_N = 600\ \text{V}.$$

1/ Préciser, à l'aide d'un schéma, les caractéristiques du champ électrostatique régnant entre ces plaques.

2/ A quelle distance de N se situe le plan équipotentiel 100 V? (On prendra pour référence $V_N = 0$ V.)

11.16 B Soient 2 points $A(2, 5, 7)$ et $B(0, 1, 2)$ d'un repère (O, x, y, z), l'unité de longueur étant le décimètre. Ces points sont dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E} = E_0.\vec{k}$, où $\vec{k}$ est le vecteur unitaire de Oz.

On constate que $V_A - V_B = -50$ V. En déduire E_0.

11.17 BC 1/ Soit un champ uniforme $\vec{E} = E.\vec{k}$, tel que :

$$E = 300\ \text{V.cm}^{-1}.$$

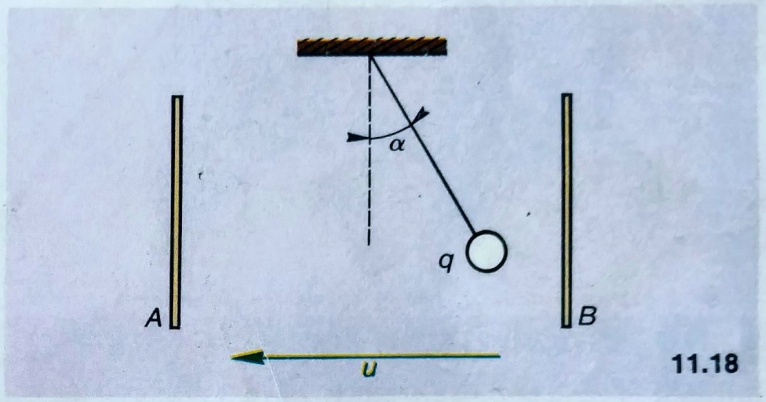
$(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est un repère orthonormal. L'unité de longueur est le centimètre. Calculer la différence de potentiel entre les points $A(3, 2, 1)$ et $B(5, 0, 8)$.

2/ On superpose au champ précédent le champ :

$$\vec{E}_1 = -E_1.\vec{j}, \quad \text{avec} \quad E_1 = 400\ \text{V.cm}^{-1}.$$

Calculer la nouvelle différence de potentiel entre les points A et B.

11.18 C On considère l'expérience schématisée sur la figure ci-dessous.



11.18

1/ La charge q est négative. Quel est le signe de u?

2/ Caractériser le champ électrostatique régnant entre ces plaques distantes de 10 cm pour $|u| = 10^4$ V.

3/ La charge q est égale à 20 nC. Sachant que le poids du pendule est égal à 10^{-2} N, déterminer l'angle α.

4/ Que devient l'angle α si $q = 80$ nC?

11.19 C Des gouttes d'huile électrisées peuvent se déplacer entre deux plateaux métalliques horizontaux, distants de 7 mm. L'une des gouttes, de rayon $0{,}88.10^{-6}$ m, reste immobile lorsque la d.d.p. appliquée entre les plaques vaut 245 V, la plaque supérieure étant chargée positivement.

Calculer la charge de la goutte d'huile. Comparer ce résultat à la charge électrique élémentaire.

Données : masse volumique de l'huile : $800\ \text{kg.m}^{-3}$; volume d'une sphère de rayon R : $V = \frac{4}{3}\pi.R^3$; intensité du champ de pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

12 ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTROSTATIQUE

EXERCICES

Faire le point

- Lorsqu'une charge q passe d'un point N (où le potentiel est V_N) à un point M (où le potentiel est V_M), quelle est l'expression du travail de la force électrostatique?
- Quelle est l'expression de l'énergie potentielle électrostatique d'une particule chargée dans un champ électrostatique? Cette énergie dépend-elle d'un état de référence?
- Donner l'expression de l'énergie mécanique totale d'une particule chargée placée dans un champ électrostatique.
- Que représente $q.(V_A - V_B)$? Cette relation n'est-elle valable que pour un champ uniforme?
- Quelle est en joules la valeur d'un méga-électron-volt (1 MeV)?

Dans tous les exercices suivants, on prendra :

$$e = 1{,}6.10^{-19}\ C.$$

Applications directes du cours

12.1 A Dans un accélérateur de particules, un proton est soumis à une tension de 1 MV entre son point d'émission et la sortie de l'accélérateur.

1/ Calculer le travail de la force électrostatique qui lui est appliquée. Ce travail peut-il être positif ou négatif?

2/ Donner, en MeV, l'énergie acquise.

12.2 A Un électron passe d'un point A ($V_A = 10$ V) à un point B ($V_B = 100$ V).

1/ Calculer le travail de la force électrostatique qui lui est appliquée.

2/ Cet électron a initialement en A une vitesse de $10^5\ m.s^{-1}$. Quelle est sa vitesse en B?

Donnée : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg.

12.3 A Un proton se déplace d'un point A ($V_A = 10$ V) à un point B ($V_B = 50$ V). Sa vitesse initiale en A est égale à $1{,}2.10^5\ m.s^{-1}$. Quelle est sa vitesse en B?

Donnée : $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg.

12.4 A Une particule α passe d'un point M ($V_M = 500$ V) à un point N ($V_N = 100$ V). Sa vitesse en M est nulle.

1/ Quelle est l'énergie totale de cette particule?

2/ En déduire son énergie cinétique en N, puis sa vitesse.

Données : $\alpha = He^{2+}$; $m_\alpha = 6{,}68.10^{-27}$ kg.

12.5 AB Dans une région de l'espace règne un champ électrostatique uniforme d'intensité $E_0 = 10^6\ V.m^{-1}$. Dans un repère orthonormal, ce champ a pour expression $\vec{E} = -E_0.\vec{k}$.

1/ Calculer le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur un électron lorsque cette particule passe du point $A(1, 3, 4)$ au point $B(5, 6, 0)$, l'unité de longueur étant le centimètre.

2/ Donner la variation d'énergie cinétique (en eV) de cet électron.

12.6 C Un électron pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique. Sa trajectoire passe par deux points A et B. En A, où le potentiel électrique est $V_A = 100$ V, sa vitesse est $v_A = 5.10^6\ m.s^{-1}$.
Quel doit être le potentiel V_B au point B pour que l'électron arrive en B avec une vitesse nulle? Peut-il atteindre un point C dont le potentiel serait égal à $V_C = 10$ V? On donne $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg.

12.7 C Un proton pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique. Il passe en un point D de potentiel électrique $V_D = -500$ V, avec une vitesse $v_D = 10^5\ m.s^{-1}$.
Peut-il atteindre un point C de potentiel $V_C = -100$ V? On donne $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg.

12.8 C Dans un canon à électrons, un électron quitte le filament; il est accéléré par un champ électrique créé entre deux plaques. Il passe d'un point K de potentiel électrique $V_K = -20$ V à un point C de potentiel électrique $V_C = 20$ V.

1/ Calculer la variation d'énergie potentielle de l'électron lorsqu'il passe de K en C.

2/ Calculer le travail de la force électrique appliquée à l'électron entre K et C.

3/ Calculer sa variation d'énergie cinétique entre K et C.

12.9 C Un générateur maintient une tension $U = 200$ V entre deux plaques conductrices parallèles situées dans le vide.

1/ Un électron quitte la plaque négative pour être capté par la plaque positive. Calculer le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur cet électron (en joules et en électronvolts).

2/ La distance séparant les plaques est $d = 2$ cm. Caractériser le champ électrostatique en tout point de l'espace compris entre les plaques.

3/ On écarte les plaques, toujours parallèles, à $d' = 4$ cm; la tension de 200 V est maintenue. Reprendre les questions précédentes. Conclure.

4/ Les plaques sont déplacées de façon quelconque et ne sont plus parallèles. Peut-on toujours calculer simplement le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur l'électron allant de la plaque positive à la plaque négative?

12.10 A Soit un champ électrostatique uniforme d'intensité $200\ V.m^{-1}$, parallèle à un axe $x'Ox$ et dirigé suivant Ox. L'origine de l'énergie potentielle est le point O. Au point A, la différence de potentiel est :

$$V_A - V_O = -10\ V.$$

1/ Donner l'abscisse du point A.

2/ Un proton H^+ est situé en A. Quelle est son énergie potentielle? Quel est le travail de la force électrostatique si l'on déplace le proton en O?

3/ Mêmes questions avec un électron initialement situé en A.

12.11 C Un proton de masse $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg est libre de se déplacer dans un champ électrostatique uniforme de norme $E = 200\ V.m^{-1}$. On le suppose soumis à la seule force électrostatique. En un point A, sa vitesse est nulle.

1/ Dans quel sens le proton va-t-il se déplacer?

2/ Il parcourt une distance $AB = 2$ cm parallèlement à la direction du champ $\vec{E}$. Calculer sa variation d'énergie potentielle lorsqu'il passe de A en B.

avec une vitesse de sens opposé à $\vec{v}_2$. Avec quelle vitesse v_1' retraverse-t-il G_1 ? On fera les approximations légitimes.

Données : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg; $m_n \approx 1\,840 m_e$.
On indique qu'au cours d'un choc élastique il y a conservation de l'énergie cinétique et conservation de la quantité de mouvement du système {électron, neutron}.

12.21 **BC** Au voisinage de la Terre, près du sol, il existe un champ électrostatique uniforme, vertical et dirigé vers le sol. Sa norme varie linéairement avec l'altitude selon la loi $E = a + bh$ entre les altitudes $h = 0$ et $h = 1\,400$ m.

1/ Sachant que pour $h = 0$, $E = 100$ V.m^{-1} et que pour $h = 1\,400$ m, $E = 20$ V.m^{-1}, déterminer les constantes a et b. Quelles sont leurs unités?
Représenter graphiquement E en fonction de h.

2/ Par une méthode graphique, déterminer le travail des forces électriques s'exerçant sur une charge de 10^{-10} C se déplaçant de l'altitude 0 à l'altitude h. En déduire le potentiel électrostatique d'un point situé à l'altitude h si l'on prend comme référence la surface terrestre.

3/ Un ion H^+ est formé à l'altitude $h = 1\,400$ m. Le champ de pesanteur est supposé uniforme, d'intensité $g = 10$ m.s^{-2}. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie potentielle électrostatique de cet ion. Les comparer.
Si l'ion part de l'altitude $h = 1\,400$ m avec une vitesse nulle, quelle sera sa vitesse à l'arrivée sur le sol (on négligera toutes les autres interactions)?

12.22 **B** La sphère, supposée petite et chargée positivement, d'un pendule électrostatique est en équilibre en un point O situé entre deux plaques P et N conductrices, parallèles et distantes de $d = 15$ cm. Les plaques sont initialement neutres. On applique une tension $u_{PN} = 1\,500$ V entre les deux plaques. La sphère chargée adopte, après quelques oscillations, une nouvelle position d'équilibre A.

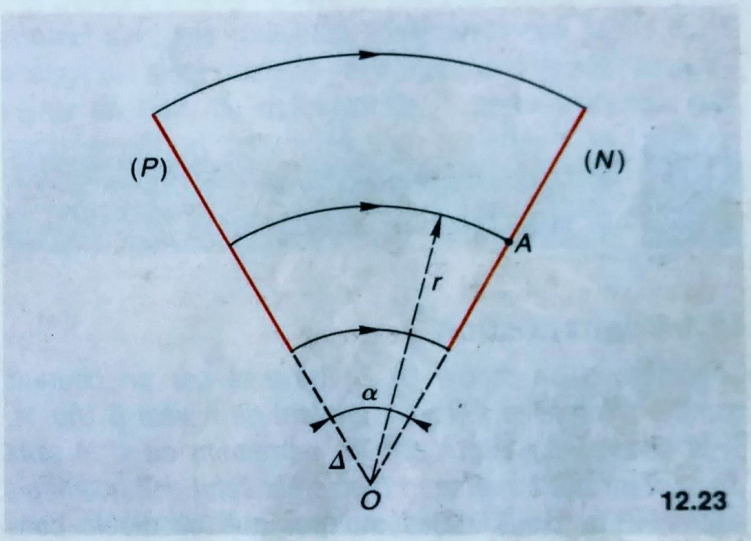
1/ Calculer la charge q du pendule si, à l'équilibre, l'angle α que fait le fil de suspension avec la verticale vaut 30°; la sphère est attirée du côté de la plaque négative N.

2/ Le point O est pris comme point de référence. α est l'angle que fait le fil du pendule avec la verticale lorsque la sphère est attirée par la plaque N. Pour $\alpha \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right[$, exprimer en fonction de α l'énergie potentielle de pesanteur $\mathcal{E}_{pg}$ et l'énergie potentielle électrostatique $\mathcal{E}_{pe}$.
Représenter graphiquement $\mathcal{E}_{pg}$ et $\mathcal{E}_{pe}$ en fonction de α.
En déduire la représentation graphique de la somme $\mathcal{E}_p$ de ces énergies potentielles.
Pour quelle valeur de α cette somme est-elle minimale? Conclure.

Données : masse de la sphère : $m = 0{,}5$ g; longueur du fil : $\ell = 20$ cm; $g = 10$ m.s^{-2}.

Exercices de réflexion et d'analyse

12.23 **BC** Les plans de deux plaques métalliques identiques forment un dièdre d'angle $\alpha = 60°$ et d'arête Δ. La plaque P est portée au potentiel +100 V, la plaque N au potentiel −100 V. En négligeant les effets de bord, les lignes de champ sont des portions de cercles centrées sur l'axe Δ.



12.23

1/ Sachant que les équipotentielles sont orthogonales aux lignes de champ, tracer les équipotentielles 0 V, −50 V et +50 V.

2/ Le champ électrique ne dépend que de la distance r à l'axe Δ. Calculer le champ électrique à la distance $r = 10$ cm.

3/ Un électron se détache de la plaque N sans vitesse initiale. Calculer sa vitesse lorsqu'il arrive sur la plaque P. Pouvez-vous donner, qualitativement, l'allure de sa trajectoire? Pourquoi ne peut-il suivre une ligne de champ?

Donnée : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg.

12.24 **C** On reprend les données de l'application 8 (page 152).

1/ Expliquer pourquoi la composante de la vitesse perpendiculairement au champ $\vec{E}$ reste constante au cours du mouvement.

2/ En déduire numériquement l'angle α que fait la vitesse initiale $\vec{v}_A$ avec le champ $\vec{E}$.

13 LES RÉCEPTEURS - BILAN ÉNERGÉTIQUE

EXERCICES

Faire le point

- Définir la puissance et l'énergie reçue par un dipôle récepteur en courant continu.
- Énoncer la loi de Joule.
- Le kilowatt-heure est-il une unité de puissance ou d'énergie? Relier cette unité à l'unité correspondante du système international d'unités.
- Définir le rendement en puissance d'un récepteur linéaire de f.c.é.m. e' et de résistance interne r'.
- Indiquer quelques appareils utilisant l'effet Joule.

Applications directes du cours

13.1 A Aux bornes d'un récepteur traversé par un courant d'intensité $I = 0{,}3$ A est appliquée une tension de 24 V.

1/ Calculer la puissance électrique reçue par ce récepteur.

2/ Calculer l'énergie électrique reçue s'il fonctionne durant 3 h.

13.2 A Un récepteur reçoit une énergie électrique de 5 kWh en 6 h. La tension entre ses bornes est 220 V. Calculer l'intensité du courant qui le traverse.

13.3 A Calculer la puissance électrique dissipée par effet Joule dans un rhéostat de 23 Ω parcouru par un courant d'intensité 5 A.
Quelle est la quantité de chaleur (en J et en kWh) dégagée en une demi-heure de fonctionnement?

13.4 A 1/ Un conducteur ohmique dissipe une puissance de 0,5 W lorsqu'il est traversé par un courant d'intensité 33 mA. Calculer la tension à ses bornes.

2/ On lui applique maintenant une tension de 12 V. Calculer la puissance dissipée. Quelle hypothèse suppose ce calcul?

13.5 A Un démarreur fournit une puissance mécanique de 1,5 kW. Il fonctionne avec une batterie d'accumulateurs de 12 V.
Quelle est l'ordre de grandeur de l'intensité du courant qui le traverse. En réalité, l'intensité du courant est-elle supérieure ou inférieure à la valeur calculée? Pourquoi?

13.6 A Le constructeur indique pour une résistance à couche de carbone : 47 Ω; 0,85 W à 70 °C.
Quelle est l'intensité maximale du courant qui peut traverser cette résistance?

13.7 A Pour une résistance à couche de métal, le constructeur indique : 499 Ω; 0,25 W à 125 °C.
Quelle est la tension maximale que l'on peut appliquer entre ses bornes?

13.8 A Un électrolyseur de f.c.é.m. 2 V, de résistance 10 Ω, est parcouru par un courant d'intensité 0,5 A.

1/ Quelle est la puissance électrique reçue par ce récepteur?

2/ En 2 h de fonctionnement, quelles sont les quantités :
a/ d'énergie électrique consommée?
b/ d'énergie électrique utilisée pour provoquer les réactions chimiques?
c/ de chaleur dégagée?

13.9 A En 10 min, un électrolyseur de f.c.é.m. 1,5 V utilise une énergie électrique de 840 J pour réaliser des transformations chimiques.
Calculer sa puissance utile et l'intensité du courant qui le traverse.

Effet Joule

13.10 C Une lampe à halogène de puissance 20 W fonctionne normalement sous une tension de 12 V.

1/ Calculer l'intensité I du courant qui traverse cette lampe.

2/ Pour ce régime de fonctionnement normal, on peut définir la résistance R de cette lampe par $\mathcal{P} = RI^2$. Calculer R.

3/ Quelle est l'énergie dissipée pendant 12 h de fonctionnement? En admettant que le prix du kilowatt-heure est de 0,90 F, taxes comprises, quel est le coût de fonctionnement pour cette durée?

13.11 C Sur un fer à repasser, on lit l'indication suivante : (800 W; 220 V). Il fonctionne sur la tension alternative du secteur.

1/ En admettant que tout se passe, au point de vue consommation d'énergie, comme si ce fer était branché sous une tension continue de 220 V, calculer l'intensité I du courant continu qui circulerait dans cet appareil.

2/ Calculer la résistance électrique du fer à repasser et le prix de revient d'une heure de repassage (prix du kWh : 0,90 F).

13.12 C Sur une lampe, on peut lire : (6 V; 1 W). Calculer la valeur de la résistance du conducteur ohmique qu'il faut brancher en série avec cette lampe pour pouvoir l'utiliser normalement avec un générateur maintenant une tension de 12 V aux bornes de l'association.

13.13 C On veut chauffer un litre d'eau de 15 °C à 40 °C au moyen d'une spirale d'alliage métallique plongée dans cette eau et parcourue par un courant électrique constant de 4 A. La différence de potentiel aux deux extrémités de la spirale est 220 V.

1/ Quelle doit être la résistance de la spirale?

2/ Quelle quantité de chaleur faut-il fournir?

3/ Quelle sera la durée de l'expérience?

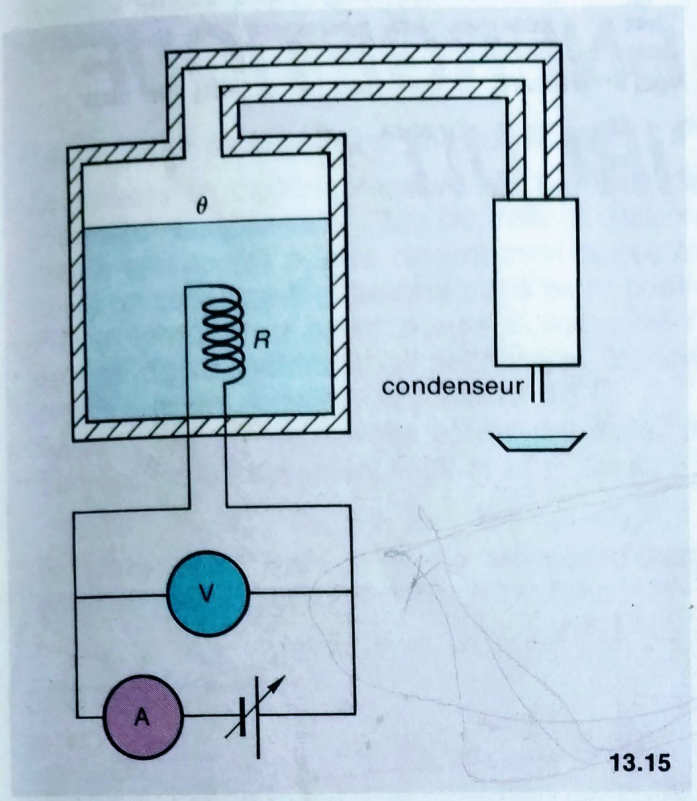
4/ Quelle sera la quantité d'électricité qui aura traversé la spirale?

Donnée : $c_{eau} = 4\,180$ J.kg^{-1}.°C^{-1}.

13.14 C Pendant combien de temps faut-il faire passer un courant de 4 A dans une résistance de 25 Ω pour amener un litre d'eau à sa température d'ébullition? La température initiale de l'eau est de 20 °C et on admet que toute la chaleur est utilisée pour chauffer l'eau.

Donnée : $c_{eau} = 4{,}18$ kJ.kg^{-1}.°C^{-1}.

13.15 C Une enceinte calorifugée contient un liquide et sa vapeur en équilibre sous la pression atmosphérique à la température θ; la résistance chauffante R, plongée au sein du liquide, le maintient à l'ébullition à la température θ; la vapeur dégagée est condensée à l'extérieur; le liquide condensé est ensuite pesé.



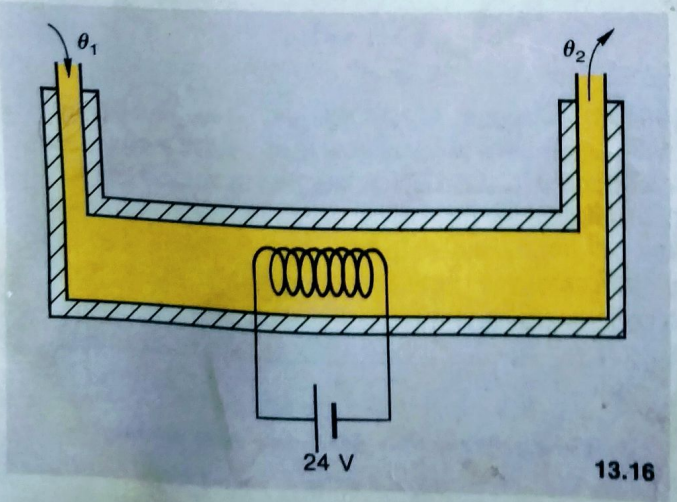
13.15

1/ On réalise une première expérience dans les conditions électriques suivantes : $I_1 = 2{,}24$ A; $U_1 = 16$ V. La masse de liquide recueillie au bout d'une minute est de 5,59 g. Si on admet que la masse de liquide recueillie représente toute la vapeur produite, calculer la chaleur latente L de vaporisation de ce liquide à θ °C.

2/ Avec la même hypothèse, on réalise une seconde expérience avec $I_2 = 1{,}40$ A et $U_2 = 10$ V; on recueille 1,96 g au bout d'une minute. Calculer, avec ces valeurs, la chaleur latente de vaporisation.

3/ On interprète ces valeurs différentes en admettant qu'il y a une perte de chaleur entre l'enceinte et l'extérieur. Cette perte par minute est constante, égale à Q. Calculer les valeurs de Q et de la chaleur latente L_V.

13.16 C Dans l'appareil schématisé sur la figure, un courant d'huile est chauffé à l'aide d'une résistance chauffante; le système est entièrement calorifugé pour éviter les pertes de chaleur. La tension appliquée aux bornes de la résistance est $U = 24$ V; l'intensité du courant est égale à 2 A.



13.16

En régime permanent, la température de l'huile entrant dans l'appareil est $\theta_1 = 20{,}4$ °C; la température de sortie est $\theta_2 = 24{,}6$ °C. Le débit d'huile est de 1,53 $\ell.min^{-1}$; la masse volumique de l'huile est égale à 0,9 $g.cm^{-3}$.

1/ Quelle est l'énergie produite par effet Joule et transmise par minute à l'huile?

2/ Calculer la chaleur massique de l'huile.

Transformation énergie électrique-énergie chimique

13.17 BC On trace la caractéristique d'un électrolyseur (A, B) à électrodes de carbone et contenant une solution aqueuse de chlorure de sodium. Pour une tension u_{AB} inférieure à 2,6 V, l'intensité I du courant est nulle. Pour une tension supérieure, on observe un dégagement gazeux sur les électrodes.
On a relevé les couples de valeurs suivants :

u_{AB} (V)	2,75	2,85	2,95	3,10	3,20	3,27
I (mA)	2	5	10	19	30	40
u_{AB} (V)	3,35	3,42	3,50	3,56	3,63	3,70
I (mA)	50	60	70	80	90	100

1/ Tracer la caractéristique intensité-tension. Sur un certain domaine de fonctionnement à préciser, la caractéristique est linéarisable. Déterminer la f.c.é.m. e' et la résistance interne r'.

2/ Pour une tension appliquée de 3,5 V, quel est le rendement électrochimique de cet électrolyseur, c'est-à-dire le rapport de la puissance utile à la puissance électrique reçue?

Transformation énergie mécanique-énergie électrique

13.18 C Un moteur de résistance $r' = 0{,}2\ \Omega$ est alimenté par une tension continue. Il fonctionne à courant constant $I = 140$ A. Il tourne à 720 $tr.min^{-1}$ quand la tension est $U = 208$ V.

1/ Calculer sa f.c.é.m. dans ces conditions de fonctionnement.

2/ Calculer le moment du couple disponible sur l'arbre moteur.

3/ La f.c.é.m. est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur. Calculer cette vitesse de rotation pour des tensions à ses bornes $U = 50$ V et $U = 150$ V.

13.19 C Le moteur d'une grue soulève une charge de 30 000 N à la vitesse de 15 $m.min^{-1}$.

1/ Le rapport de la puissance mécanique fournie à la puissance utile du moteur (rendement mécanique) est de 75 %. Calculer la puissance utile de ce moteur.

2/ La tension d'alimentation continue est 230 V, l'intensité 45 A. Calculer la puissance électrique reçue, puis la puissance Joule.

3/ Calculer la f.c.é.m. du moteur et sa résistance.

14 LES GÉNÉRATEURS - BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UN CIRCUIT

EXERCICES

Faire le point

Voici 7 affirmations :

a/ La puissance disponible aux bornes d'un générateur (e, r) est $\mathcal{P} = e.I$.
b/ La puissance Joule perdue dans un générateur (e, r) est $\mathcal{P} = r.I^2$.
c/ Le rendement en puissance d'un générateur idéal de tension est 100 %.
d/ La puissance disponible aux bornes d'un générateur (e, r) est supérieure à la puissance de ce générateur, car les charges gagnent de l'énergie à la traversée du générateur.
e/ Les électrons sortant par la borne − du générateur ont une énergie potentielle supérieure à ceux entrant par la borne +.
f/ Le rendement énergétique d'un générateur linéaire est $\eta = 1 - \frac{r.I}{e}$.
g/ Dans un montage électronique, la puissance à la sortie est généralement supérieure à la puissance d'entrée. La conservation de l'énergie n'est donc plus vérifiée.

Cocher le ou les numéros correspondant à une bonne proposition.

1 Sont vraies les affirmations *a*, *b*, *e*, *f*, *g*.

2 Sont vraies les affirmations *b*, *f*, *g*.

3 Est vraie l'affirmation *b*.

4 Sont vraies les affirmations *b*, *c*, *e*, *f*.

5 Sont vraies les affirmations *c*, *d*, *g*.

Applications directes du cours

14.1 A Un générateur fournit au circuit extérieur une puissance électrique de 25 W lorsqu'il débite un courant d'intensité 2 A. Quelle est la tension entre ses bornes?

14.2 A Un générateur a une f.é.m. de 9 V et une résistance interne de 2 Ω. Il débite un courant d'intensité 2 A.

1/ Déterminer la puissance électrique engendrée, la puissance dissipée par effet Joule à l'intérieur du générateur et la puissance électrique disponible à ses bornes.

2/ En une heure de fonctionnement, quelle est la quantité de chaleur dégagée et quelle est l'énergie fournie par le générateur au circuit extérieur?

14.3 A Un générateur de f.é.m. 6 V et de résistance interne $r = 2\ \Omega$ est branché aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance $R = 18\ \Omega$.

1/ Calculer l'intensité du courant dans le circuit.

2/ Calculer la puissance électrique engendrée et la puissance électrique disponible aux bornes du générateur.

3/ Calculer la puissance dissipée dans ce circuit par effet Joule et la quantité de chaleur dégagée en 20 min de fonctionnement.

14.4 A Un électrolyseur de f.c.é.m. 1,5 V et de résistance interne 48 Ω est branché aux bornes d'un générateur de f.é.m. 4,5 V et de résistance interne 2 Ω.

1/ Calculer l'intensité du courant dans le circuit.

2/ Calculer la puissance électrique engendrée par le générateur, la puissance électrique transformée utilement par l'électrolyseur, la puissance transformée au total par effet Joule.

3/ Calculer le rendement de l'électrolyseur, puis le rendement du circuit.

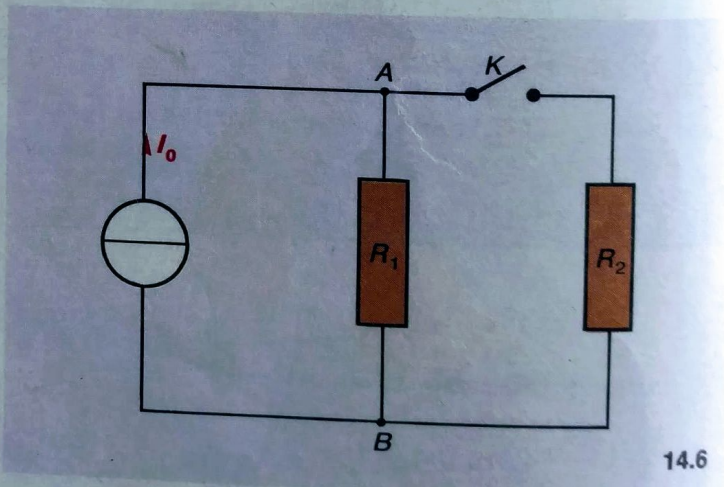
Puissance et énergie pour un générateur

14.5 BC Une pile fournit au circuit extérieur une puissance $\mathcal{P} = 11{,}25$ W. Cette pile a une f.é.m. $e = 5{,}5$ V et une résistance $r = 0{,}2\ \Omega$.

1/ Quelles sont les valeurs possibles de l'intensité?

2/ Calculer la puissance électrique engendrée, la puissance fournie au circuit et la puissance Joule.

14.6 C Un générateur de courant débite un courant constant quelle que soit la charge sur laquelle il est branché. La résistance du générateur de courant est infinie.



14.6

1/ Dans le montage de la figure, on considère K ouvert, $I_0 = 2$ A et $R_1 = 33\ \Omega$. Calculer la puissance fournie par le générateur de courant.

2/ On considère maintenant K fermé et $R_2 = 47\ \Omega$. Calculer la puissance fournie par le générateur de courant.

14.7 BC Une dynamo débite dans un circuit de résistance variable. Sa résistance interne est $r = 0{,}5\ \Omega$. On a relevé la tension U aux bornes de ce générateur lorsqu'il débite un courant d'intensité I :

I (A)	0	4	8	12
U (V)	110	107	102	97
I (A)	16	20	24	28
U (V)	91	84	76	68

1/ Représenter graphiquement la tension U en fonction de l'intensité I et, sur le même graphique, la f.é.m. e en fonction de I.

2/ La dynamo tourne à 1500 $tr.min^{-1}$ et débite un courant d'intensité 20 A. Calculer le moment du couple moteur qu'il faut appliquer sur le rotor de la dynamo. Quel est alors le rendement électrique défini par $\eta = \frac{U.I}{e.I}$?

Rappel : puissance du moment d'un couple : $\mathcal{P} = \mathcal{M}.\omega$.

14.8 C Une pile type Leclanché comporte par élément une masse de 6,5 g de zinc transformable en ions Zn^{2+}. La pile possède trois éléments en série.

1/ Quelle est la quantité maximale d'électricité susceptible d'être fournie par la pile en supposant que tout le zinc soit transformé? Quelle est la capacité maximale en Ah?

2/ Quelle est l'énergie maximale pouvant être fournie par la pile en supposant qu'au cours du fonctionnement, la f.é.m. reste constante, égale à 1,2 V, par élément?

3/ En réalité, la pile étant devenue inutilisable, on constate qu'il reste 6,0 g de zinc par élément.
Quelle a été la quantité d'électricité fournie par la pile? Quelle a été l'énergie « chimique » transformée en énergie électrique?

Données :
$1\ \mathcal{F} = 96\,500$ C; $M_{Zn} = 65$ g.mol^{-1}.

Bilan énergétique dans un circuit

14.9 A Un générateur de f.é.m. 2 V et de résistance interne de 0,1 Ω est branché aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance inconnue x; l'intensité du courant est de 4 A.

1/ Donner la valeur de x.

2/ Donner la valeur de la tension aux bornes du générateur.

3/ Quelle est la puissance électrique disponible aux bornes de ce générateur?

14.10 A Un circuit comporte une pile ($e = 9$ V; $r = 1$ Ω), en série avec un conducteur ohmique de résistance $R = 10$ Ω.

1/ Déterminer le point de fonctionnement de ce circuit.

2/ Calculer la puissance dépensée par effet Joule dans le conducteur ohmique.

3/ Calculer la puissance dépensée par effet Joule dans le générateur.

4/ Calculer la puissance électrique fournie par le générateur et la puissance électrique engendrée d'origine électrochimique.

14.11 B Un générateur de f.é.m. $e = 12$ V et de résistance interne $r = 5$ Ω débite dans un conducteur ohmique de résistance R.

1/ Calculer l'intensité du courant débité en fonction de R.

2/ Quelle est la puissance $\mathcal{P}_J$ consommée dans le conducteur ohmique?

3/ Représenter graphiquement $\mathcal{P}_J$ en fonction de R. Montrer que $\mathcal{P}_J$ passe par un maximum pour $R = r$.

4/ On définit le rendement de ce circuit par le rapport $\eta = \frac{\mathcal{P}_J}{e.I}$. Représenter graphiquement η en fonction de R. Quel est le rendement pour la puissance $\mathcal{P}_J$ maximale?

14.12 C On associe en série une batterie d'accumulateurs (de f.é.m. $e = 18$ V et de résistance interne $r = 1{,}2$ Ω), un conducteur ohmique (de résistance $R = 4{,}8$ Ω), un moteur (de f.c.é.m. e' et de résistance r') et un ampèremètre de résistance négligeable.

1/ On empêche le moteur de tourner. L'intensité du courant dans le circuit vaut alors $I = 2{,}1$ A. Calculer r'.

2/ Le moteur tourne à la vitesse de 150 $tr.min^{-1}$; l'intensité du courant vaut alors $I = 1{,}2$ A. Calculer e'. Calculer la puissance électrique « consommée » par chaque dipôle. Quel est le moment du couple moteur?

3/ Quel est le rendement de ce circuit, c'est-à-dire le rapport de la puissance électrique utile transformable en puissance mécanique à la puissance engendrée par les transformations chimiques dans le générateur?

14.13 C Un générateur de f.é.m. 6 V et de résistance 2 Ω est associé en série avec un électrolyseur de f.c.é.m. 2 V et de résistance 10 Ω.

1/ Déterminer le point de fonctionnement du circuit.

2/ Calculer la puissance électrique engendrée, la puissance électrique disponible aux bornes du générateur et reçue par l'électrolyseur, ainsi que la puissance électrique utile, transformée pour les réactions chimiques.

3/ Définir et calculer le rendement du générateur, le rendement de l'électrolyseur et le rendement du circuit.

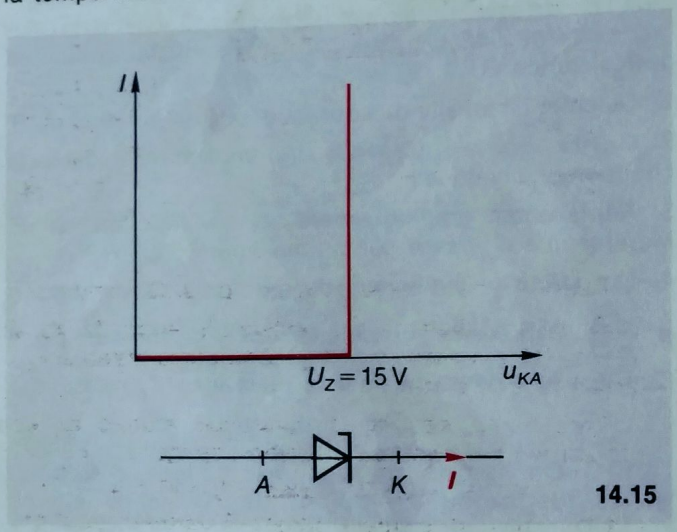
14.14 C Un circuit électrique comprend, associés en série, un générateur, de f.é.m. constante $e = 54$ V et de résitance interne $r = 1$ Ω, un moteur, de f.c.é.m. e' et de résistance r' et un conducteur ohmique, de résistance $R = 5$ Ω, plongé dans un calorimètre.

1/ On empêche le moteur de tourner; sa f.c.é.m. est nulle. On mesure un dégagement de chaleur de 24 kJ en 5 min dans le calorimètre.
Calculer la résistance r'.

2/ Le moteur fonctionne. La quantité de chaleur dégagée n'est plus que 1,5 kJ en 5 min. Calculer la f.c.é.m. e' et la puissance mécanique du moteur lorsqu'il fonctionne.

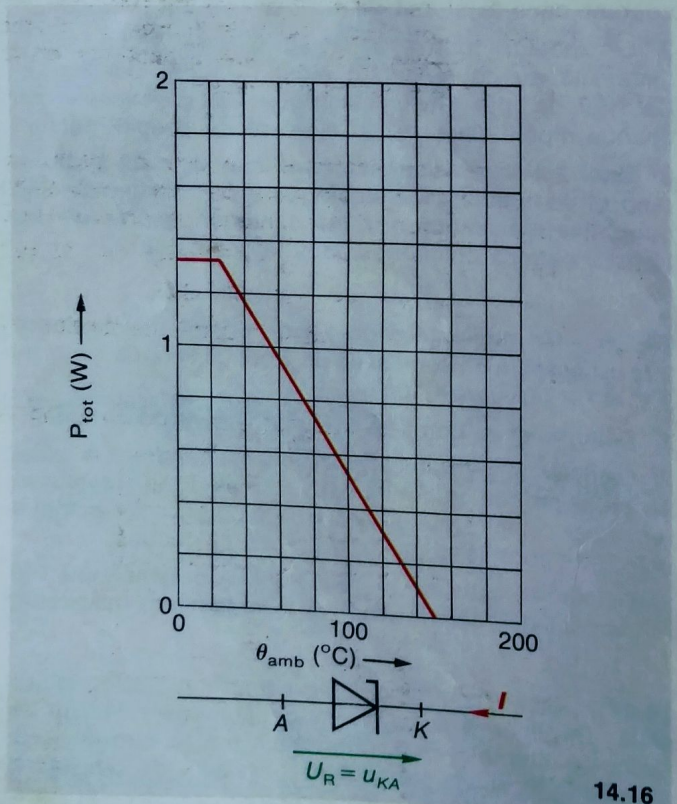
Puissance dissipée dans un composant électronique

14.15 AC La caractéristique inverse d'une diode Zener (ZY 15) est donnée sur la figure ci-dessous. La puissance électrique à ne pas dépasser est de 1,3 W. Calculer l'intensité maximale qu'elle peut supporter lorsqu'elle conduit en sens inverse. La caractéristique est donnée à la température ambiante de 25 °C.



14.15

14.16 BC Une diode Zener idéale est utilisée en sens inverse. Sa tension Zener est de 20 V.



14.16

1/ Tracer la caractéristique inverse (U_R, I_R).

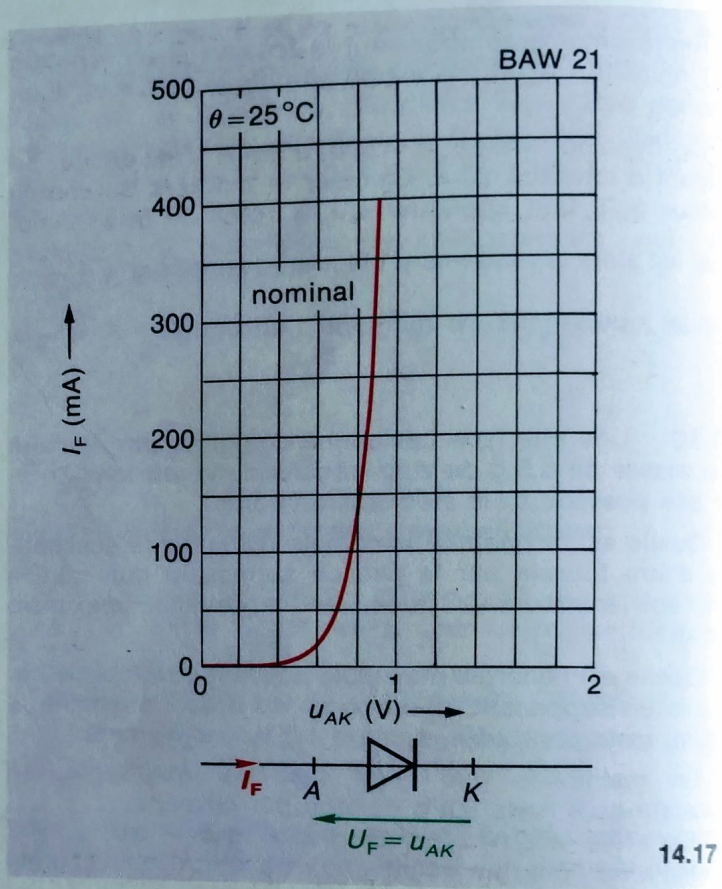
2/ Le constructeur indique sur le graphique la puissance maximale à ne pas dépasser en fonction de la température ambiante prise à 10 mm de l'enveloppe extérieure.

a/ Pourquoi la puissance que peut supporter la diode Zener diminue-t-elle lorsque la température ambiante croît?

b/ Calculer, à la température ambiante de 20 °C, l'intensité du courant inverse à ne pas dépasser.

c/ Même question à la température de 100 °C.

14.17 AC Le fabricant donne, pour la diode à jonction BAW 21, la caractéristique de la diode lorsqu'elle est traversée en sens direct.



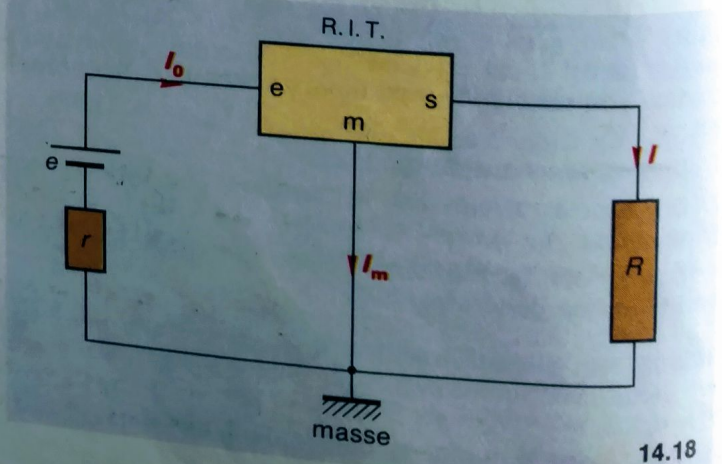
14.17

1/ Calculer la puissance reçue par la diode lorsqu'elle est traversée par un courant de 300 mA.

2/ A la température ambiante de 25 °C, relevée à une distance de 8 mm du composant, l'intensité ne doit pas dépasser 400 mA. Calculer la puissance maximale admissible à cette température.

14.18 C Un générateur de f.é.m. e et de résistance interne $r = 10\ \Omega$ est associé à un régulateur intégré tripolaire (R.I.T.) pour débiter dans une résistance de charge R.

Des mesures ont donné : $U_{em} = 20$ V; $U_{sm} = 15$ V; $I = 0{,}5$ A; $I_m = 1$ mA.



14.18

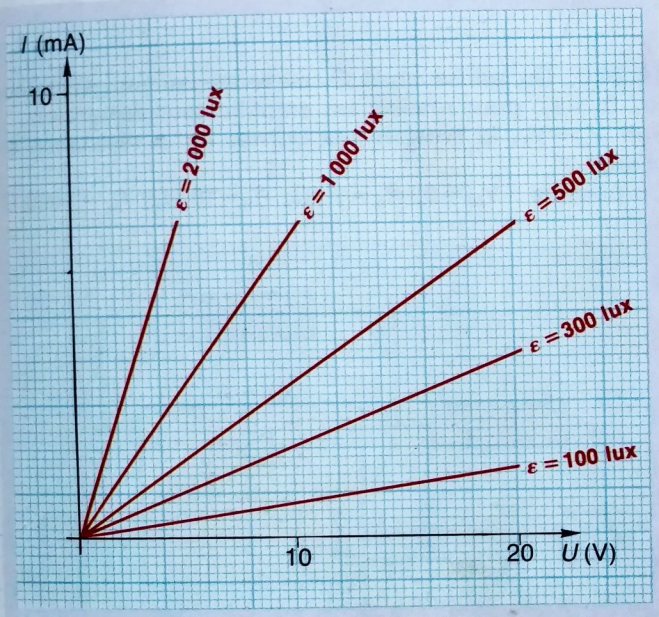
1/ Calculer la f.é.m. e du générateur.

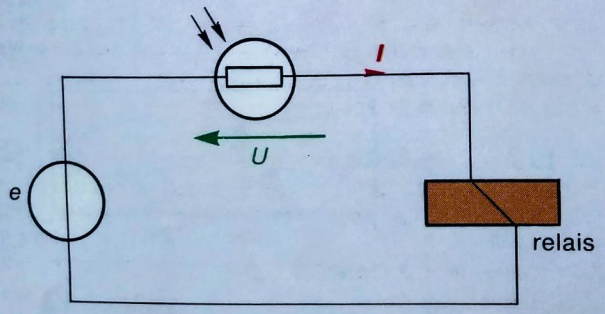
2/ Calculer la puissance dissipée dans la résistance R.

3/ Calculer la puissance dissipée dans le R.I.T. et le rendement en puissance de ce composant électronique.

4/ Quelle est la puissance totale dissipée dans le circuit?

14.19 BC La résistance d'une photorésistance dépend de son éclairement ε; le lux est une unité d'éclairement. Nous avons tracé le réseau de caractéristiques d'une photorésistance.
Cette photorésistance est montée en série avec un générateur continu de f.é.m. $e = 20$ V et la bobine d'un relais de résistance $r = 2$ kΩ.





14.19

1/a/ Pour les différents éclairements, calculer l'intensité I du courant dans le circuit.

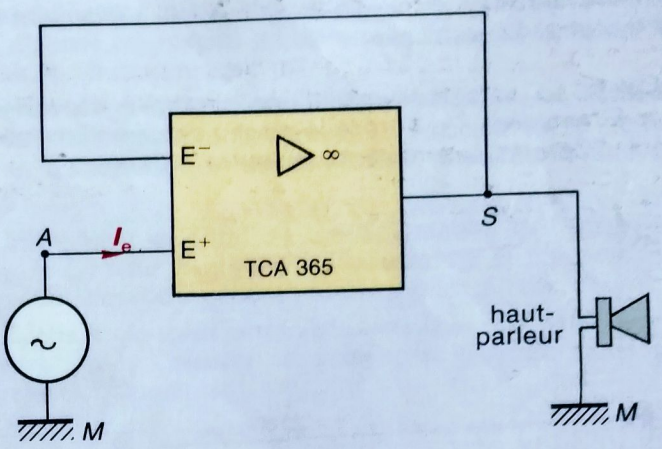
b/ Tracer $\varepsilon \longmapsto I = f(\varepsilon)$.

2/ Le courant d'enclenchement du relais est $I_e = 6$ mA; le courant de déclenchement, $I_d = 4$ mA. Calculer les éclairements d'enclenchement et de déclenchement du relais.

3/ Pour I_e et I_d, calculer la puissance fournie au relais.

14.20 C Le TCA 365 est un amplificateur opérationnel. Il est monté comme l'indique la figure ci-après. Nous admettrons qu'il est idéal.

14.20



1/ Rappeler les caractéristiques d'un A.O. idéal.

2/ Quelle relation simple existe-t-il entre la tension $V_A - V_M$ et la tension $V_S - V_M$? On pourra prendre $V_M = 0$ (potentiel de masse).

3/ Lors d'une mesure, la puissance fournie au haut-parleur est de 3 watts; la tension appliquée est :

$$V_A - V_M = 0{,}5 \text{ V}, \quad \text{avec} \quad I_e = 10^{-8} \text{ A}.$$

L'A.O. est-il strictement idéal? Pourquoi peut-on le qualifier d'amplificateur opérationnel de puissance? D'où provient le surcroît de puissance fournie à la charge qu'est le haut-parleur?

4/ Le composant est alimenté par un générateur (+15 V; −15 V); quelle doit être l'intensité moyenne minimale fournie par ce générateur? L'intensité peut-elle, en fait, être égale à cette intensité minimale?

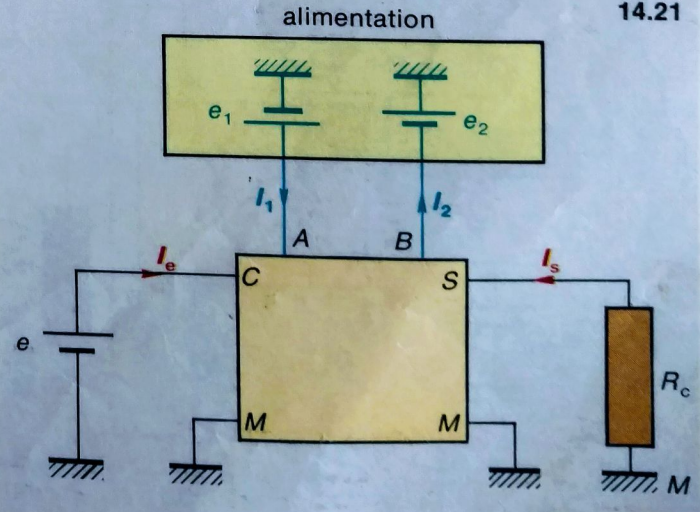
14.21 C Un système électronique construit à partir d'un ampli opérationnel est alimenté par une alimentation $(e_1, 0, -e_2)$. Au cours d'une expérience, on a mesuré :

$I_1 = 1{,}58$ mA; $e_1 = 15{,}13$ V; $I_2 = 2{,}57$ mA; $e_2 = 15{,}10$ V;

$I_e = 0{,}02$ mA; $R_c = 2\,000$ Ω.

La tension d'entrée e est égale à 0,21 V, la tension u_{SM} à −1,98 V.

14.21



1/ Calculer la puissance utile fournie à la charge R_c.

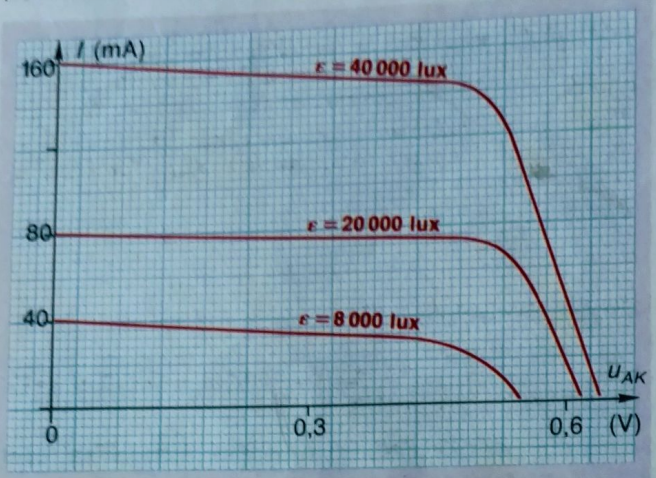
2/ Calculer la puissance d'entrée ou encore la puissance fournie par le générateur e au composant électronique.

EXERCICES

3/ Calculer la puissance fournie par l'alimentation.

4/ Faire un bilan d'énergie et calculer le rendement de ce système électronique.

14.22 BC La caractéristique d'une photopile dépend de son éclairement. On a tracé le réseau de caractéristiques pour différents éclairements (mesurés en lux).

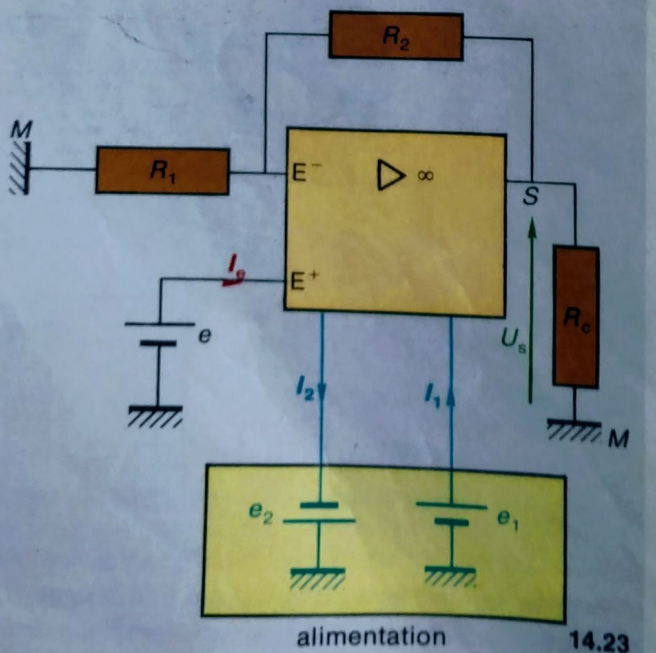


photopile 14.22

1/ Calculer la puissance délivrée par la photopile sous une tension de 0,3 V.

2/ D'où provient l'énergie fournie par la photopile?
Le rendement d'une telle photopile est de l'ordre de 20 %. Calculer l'énergie reçue en 8 h pour un éclairement de 8 000 lux.

14.23 C A l'aide d'un amplificateur opérationnel alimenté par un générateur $(e_1, 0, -e_2)$, nous avons réalisé le montage de la figure ci-dessous.



alimentation 14.23

1/ En supposant l'A.O. idéal ($I^+ = I^- = 0$; $V_{E^+} - V_{E^-} = 0$), montrer que $\frac{U_s}{e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$.

Application numérique : $R_1 = 10\ k\Omega$; $R_2 = 100\ k\Omega$.

2/ Avec un A.O. 741, on a relevé les mesures suivantes :

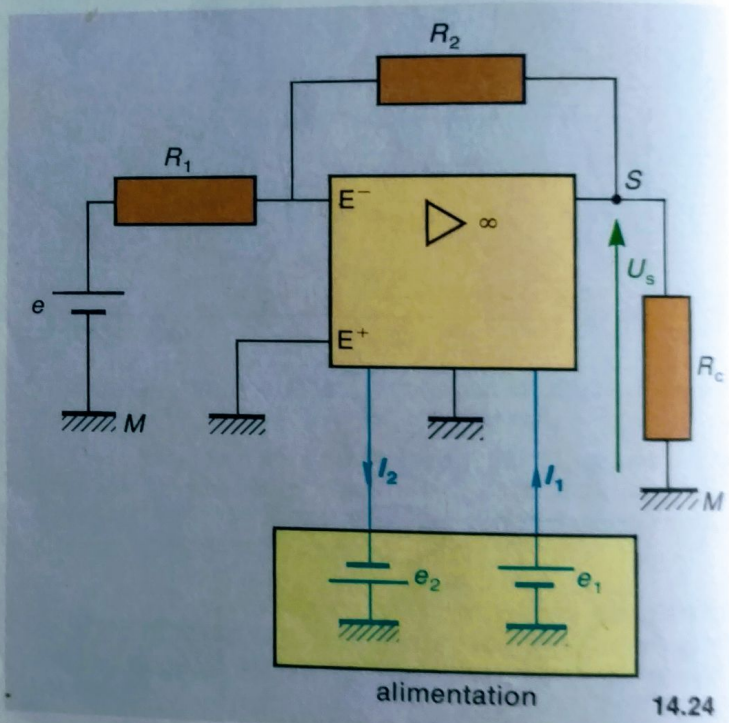
$I_e = 0{,}004\ \mu A$; $e = 0{,}48\ V$; $U_s = 5{,}4\ V$;
$R_c = 2\,000\ \Omega$; $e_1 = 15{,}13\ V$; $I_1 = 4{,}23\ mA$.
$e_2 = 15{,}10\ V$; $I_2 = 1{,}50\ mA$.

a/ Calculer le rapport expérimental $\frac{U_s}{e}$. Conclure.

b/ Comparer la puissance fournie par le générateur de f.é.m. e à la puissance reçue par la charge R_c. Conclure.

c/ Calculer la puissance fournie par l'alimentation et le rendement de ce système électronique. Conclure.

14.24 C On utilise un A.O. alimenté par un générateur $(e_1, 0, -e_2)$ pour réaliser un amplificateur de tension. Soit $V_S - V_M$ la tension aux bornes de la résistance de charge.
On prendra : $V_M = 0$; $R_1 = 1\ k\Omega$; $R_2 = 10\ k\Omega$; $R_c = 1\,000\ \Omega$.



alimentation 14.24

1/ Montrer que $\frac{U_s}{e} = -R_2/R_1$ si l'on considère que l'A.O. est idéal ($I^+ = I^- = 0$ et $V_{E^+} - V_{E^-} = 0$).

2/ Dans quel sens circule le courant dans R_c?

3/ *a/* Calculer la puissance fournie par le générateur de f.é.m. $e = 0{,}7\ V$.

b/ Calculer la puissance fournie à la charge R_c.

c/ D'où provient ce gain de puissance?

4/ Au cours d'une expérience faite avec un A.O. 741 et les valeurs des résistances ci-dessus, on a trouvé :

$I_e = 0{,}7\ mA$; $V_S - V_M = -6{,}7\ V$; $e = 0{,}7\ V$;
$I_2 = 9\ mA$; $e_2 = -15{,}0\ V$; $I_1 = 1{,}5\ mA$; $e_1 = 15{,}1\ V$.

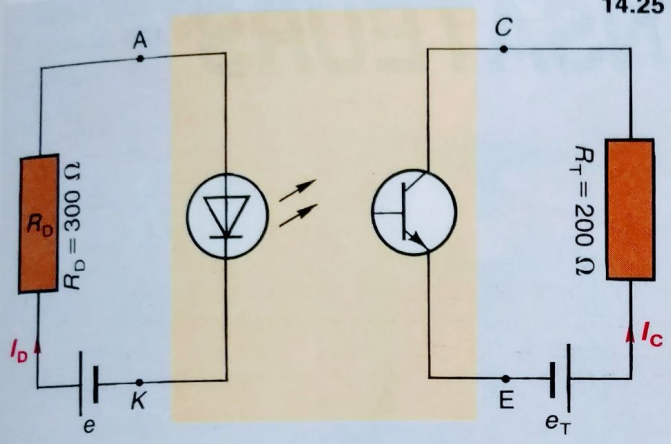
a/ Les mesures sont-elles en accord avec les résultats théoriques prévus?

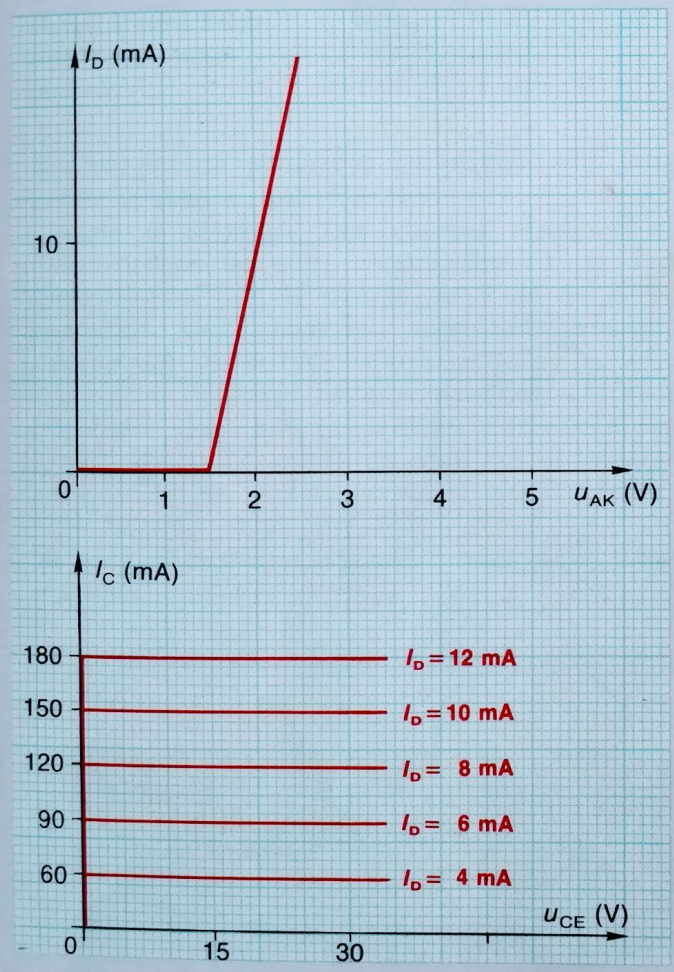
b/ Calculer le rendement de ce système électronique. Commenter le résultat.

EXERCICES

14.25 **BC** On a réalisé un relais opto-électronique à l'aide d'une diode électroluminescente et d'un phototransistor.

14.25





Lorsque le phototransistor est éclairé par la diode, il conduit le courant; la diode éclaire plus ou moins le phototransistor selon le courant I_D qui la traverse.
On dispose du réseau de caractéristiques pour la diode (a) et le phototransistor (b).

1/ Pour $e = 5$ V, déterminer le point de fonctionnement de la diode électroluminescente (on tracera sur la figure (a) la caractéristique du générateur e vu des points A et K).

2/ Déterminer le point de fonctionnement du transistor (u_{CE} et I_C) pour $e_T = 30$ V (on tracera sur la figure (b) la caractéristique du générateur e_T vu des points C et E).

3/ Calculer la puissance dissipée par la source de commande e. Calculer la puissance dissipée dans la charge R_T. Conclure.

Exercice d'analyse

14.26 **C** Dans un catalogue de composants, on a relevé la caractéristique suivante :

1/ Quelle puissance dissipe ce composant à 20 °C?

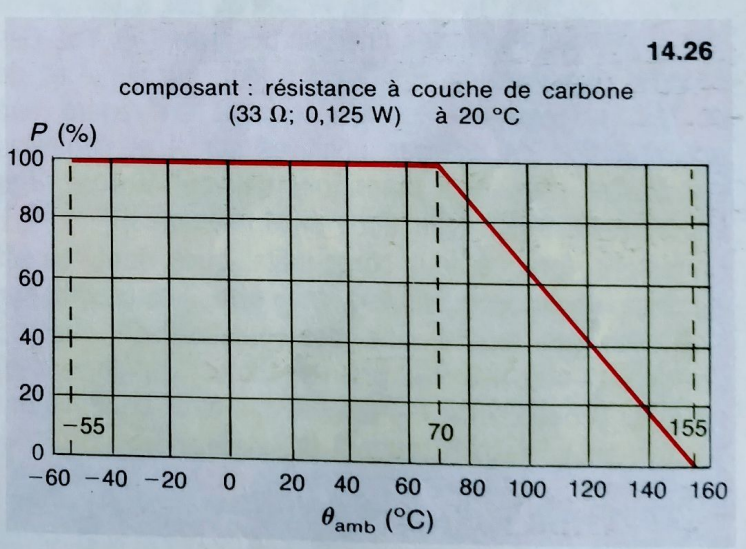
2/ A 20 °C, quelle est la tension maximale et l'intensité maximale à ne pas dépasser?

3/ Que constatez-vous quand la température ambiante dépasse 70 °C?

4/ Pour une température ambiante de 120 °C, calculer la tension maximale que l'on peut appliquer aux bornes et l'intensité maximale à ne pas dépasser.

5/ La puissance est nulle à 155 °C : pouvez-vous en donner une conséquence d'utilisation?

14.26



15 CONDENSATEURS

EXERCICES

Faire le point

Vrai ou faux?

- L'unité de capacité d'un condensateur est le farad.
- La charge d'un condensateur est la charge totale portée par les deux armatures.
- La capacité d'un condensateur plan augmente lorsqu'on rapproche les deux armatures.
- Dans un circuit, une branche comportant un condensateur n'est jamais parcourue par un courant.
- La capacité du condensateur équivalant à l'association parallèle de deux condensateurs de capacité 2,2 μF et 3,3 μF est égale à 5,5 μF.
- Pour un condensateur d'armatures A et B, nous avons :

$$q_B = C \cdot u_{BA}.$$

Applications directes du cours

15.1 A Un condensateur possède deux bornes A et B reliées respectivement aux armatures A et B. L'armature A porte la charge électrique $q_A = 2{,}2\ \mu C$.

1/ Quelle est la charge électrique de l'armature B?

2/ L'armature A possède-t-elle un défaut ou un excès d'électrons?

3/ Donner le signe de la d.d.p. $V_A - V_B$.

15.2 A La capacité d'un condensateur est égale à 2,2 μF. La tension u_{BA} entre ses bornes B et A est égale à 50 V.
Quelle est la charge électrique portée par l'armature A?

15.3 A On dispose de deux condensateurs de capacité 1 μF et 2 μF.
Quelle est la capacité du condensateur équivalant à l'association de ces deux condensateurs :

a/ en série?
b/ en parallèle?

15.4 A Un courant d'intensité constante 30 mA charge un condensateur de capacité 1 F. La tension maximale supportée par ce condensateur est égale à 5 V.

1/ Quelle charge électrique maximale peut emmagasiner ce condensateur?

2/ Quelle est la durée maximale de charge?

15.5 C On dispose d'un rouleau de ruban d'aluminium de 5 cm de largeur. Entre deux feuilles d'aluminium, on introduit une mince feuille de papier, de même largeur et d'épaisseur 6 μm, pour réaliser un condensateur « plan ».

Sur quelle longueur doit-on superposer les deux feuilles d'aluminium pour obtenir un condensateur de capacité 0,1 μF?

Données : $\varepsilon_0 = 8{,}84.10^{-12}\ F.m^{-1}$; $\varepsilon_{r\,(papier)} = 4{,}5$.

Charges électriques et d.d.p.

15.6 B Un condensateur de bornes A et B est chargé. L'armature A porte la charge $q_A = -1{,}2$ mC.

1/ Quelle est la charge portée par l'armature B?

2/ La tension $u_{AB} = V_A - V_B$ est-elle positive ou négative?

3/ Les bornes A et B du condensateur sont reliées aux bornes C et D d'une résistance R; le condensateur se décharge.
Quels sont les porteurs de charge qui se déplacent dans les fils de jonction? Indiquer sur un schéma le sens de leur déplacement. Quel est le sens du courant électrique transitoire?

15.7 B Un condensateur de bornes E et D, de capacité :

$$C = 4{,}7\ \mu F,$$

est chargé sous une tension $u_{ED} = V_E - V_D$ égale à 12 V.

1/ Calculer la charge portée par chaque armature E et D.

2/ Quelle est l'armature qui possède un excès d'électrons?

15.8 A Aux bornes d'un condensateur de capacité C est branché un générateur de courant qui débite une intensité constante I_0. La tension aux bornes ne doit pas dépasser U_{max}.

1/ Quelle est la durée τ de charge à ne pas dépasser?

2/ Calculer τ pour $C = 470\ \mu F$, $I_0 = 1{,}2$ mA, $U_{max} = 100$ V.

15.9 C Un condensateur de capacité $C = 2{,}2\ \mu F$ est chargé par un courant d'intensité constante 0,44 mA. Lorsque la tension entre ses armatures atteint la valeur $U = 4$ V, un dispositif électronique décharge le condensateur en un temps que l'on supposera négligeable. La charge à courant constant reprend alors aussitôt.

1/ Calculer la durée de charge du condensateur.

2/ Les armatures du condensateur sont reliées aux bornes d'entrée verticale d'un oscillographe de caractéristiques suivantes :
— sensibilité horizontale : $10\ ms.cm^{-1}$;
— sensibilité verticale : $1\ V.cm^{-1}$.
Sur un écran carré de 10 cm de côté, représenter la courbe que l'on peut observer sur l'écran de l'oscillographe.

Condensateurs plans

Dans tous les exercices suivants, on prendra :

$$\varepsilon_0 = 8{,}84.10^{-12}\ F.m^{-1}.$$

15.10 A 1/ Calculer la tension appliquée entre deux plateaux d'un condensateur plan à air, de capacité 30 pF et portant une charge de 6.10^{-10} C.

2/ Les plateaux circulaires ont 8 cm de rayon. Calculer le champ électrostatique entre les deux plateaux.

15.11 A Un condensateur plan, dont les deux armatures sont séparées d'une distance de 1 cm, est soumis à une différence de potentiel de 100 V. La capacité du condensateur est de 40 pF. La surface d'une armature est égale à 1 dm^2.

On demande :

a/ le champ électrostatique entre les armatures;
b/ la charge du condensateur;
c/ la permittivité relative de l'isolant.

15.12C Un condensateur électrolytique à couche d'alumine a une capacité de 500 µF pour une surface d'une armature de 0,1 m^2. L'alumine a une permittivité relative ε_r voisine de 9.

1/ Calculer l'épaisseur de la couche d'alumine. Comment peut-on obtenir des dépôts si fins?

2/ Quelle est la tension maximale que peut supporter un tel condensateur sachant que la rigidité diélectrique de l'alumine est de 1 000 $kV.mm^{-1}$?

15.13C Un condensateur est constitué par deux disques circulaires de même diamètre $D = 28$ cm. Ces disques de même axe sont parallèles et séparés par une distance d réglable.

1/ Quelle est la capacité de ce condensateur :

a/ si $d = 1$ mm?
b/ si $d = 5$ mm?

2/ Que devient la capacité si l'on interpose entre les armatures, distantes de 5 mm, une lame de verre d'épaisseur 5 mm et de permittivité relative $\varepsilon_r = 4$? Quelle est la tension maximale que peut supporter ce condensateur ainsi formé?
La rigidité diélectrique du verre est égale à 10^7 $V.m^{-1}$.

Détermination de la capacité d'un condensateur

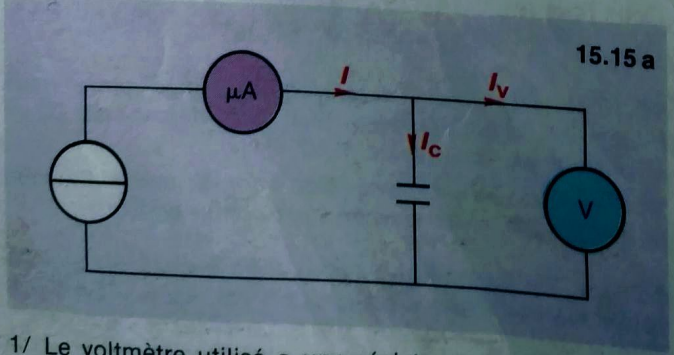
15.14BC Un condensateur est branché aux bornes d'un générateur de courant débitant un courant d'intensité constante égale à $I = 0{,}17$ µA.
Le tableau ci-dessous donne la tension aux bornes du condensateur en fonction de la durée t de charge :

U (mV)	0	4,0	9,2	15,6	21,4	26,1	37,0	46,2
t(s)	0	5	12	20	28	34	48	60

1/ Tracer U en fonction de t. Conclure.

2/ En déduire la capacité du condensateur.

15.15C Lors d'une expérience de charge d'un condensateur avec un générateur de courant, on a constaté que le graphe de la fonction $t \longmapsto U(t)$, $U(t)$ étant la tension aux bornes du condensateur, n'était pas une droite. On se propose d'en chercher la cause, le condensateur étant supposé parfait.

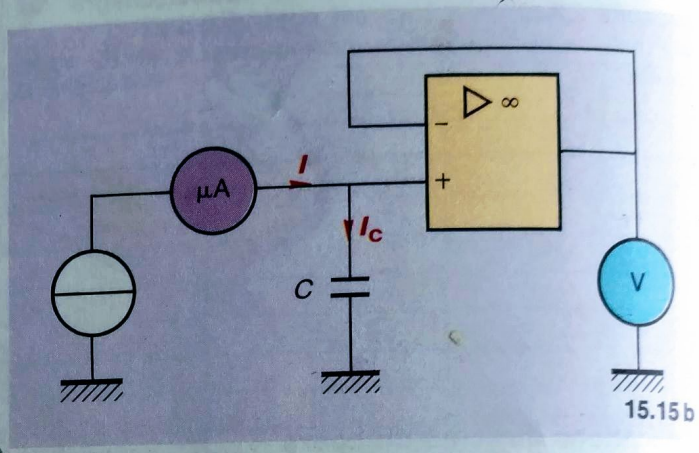


15.15 a

1/ Le voltmètre utilisé a une résistance de 60 000 Ω sur le calibre utilisé; l'ampèremètre indique 1,8 µA. Calculer l'intensité I_V qui traverse le voltmètre et l'intensité I_c qui charge le condensateur lorsque le voltmètre indique 30 mV, 60 mV, puis 90 mV. Peut-on dire que I_c reste constante?

2/ Si on utilise un voltmètre électronique de résistance interne 10 MΩ, déterminer pour les mêmes tensions I_V et I_c. Conclure.

3/ On a vu en classe de Seconde que l'on pouvait se servir du premier voltmètre en réalisant le montage électronique représenté sur la figure 15.15 b. Expliquer pourquoi le courant I_c de charge reste constant. Quel est le nom du montage électronique utilisé?



15.15 b

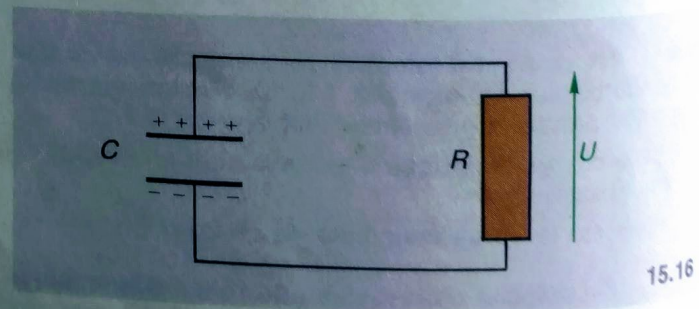
15.16B Un condensateur de capacité C, initialement chargé sous une tension de 5 V, est déchargé à travers une résistance R de 470 Ω (voir figure ci-dessous). On relève la tension U aux bornes de l'association en fonction de la durée de décharge (à $t = 0$, $U = 5$ V) :

U (V)	4,04	3,63	3,26	2,94	2,64
t (s)	10	15	20	25	30

U (V)	2,13	1,39	0,90	0,60	0,254
t (s)	40	60	80	100	140

1/ Tracer U en fonction de t.

2/ On montre que la tangente à la courbe précédente lorsque $t \longmapsto 0$ coupe l'axe des durées pour $t = \tau = R.C$.
a/ Donner la valeur de τ.
b/ En déduire la valeur de C.



15.16

15.17B *Un peu de statistiques; écart-type.*
Un condensateur est chargé pendant la même durée $t = 60$ s avec la même intensité $I_0 = 0{,}12$ µA. On mesure la tension U à ses bornes. L'expérience est recommencée plusieurs fois :

U (mV)	32,73	32,55	32,84	32,62	32,81	32,58	32,75	32,71

1/ Calculer les valeurs C_i de la capacité du condensateur correspondant à chaque mesure; on exprimera ces valeurs en nanofarards.

2/ Une estimation de la moyenne $\overline{C}$ des mesures est donnée par :

$$\overline{C}=\frac{\Sigma C_i}{n},$$

où n est le nombre de mesures. Calculer $\overline{C}$.

3/ Une estimation de la variance est donnée par :

$$V=\sigma^2=\frac{\Sigma(C_i-\overline{C})^2}{n-1}.$$

Calculer σ (écart-type).

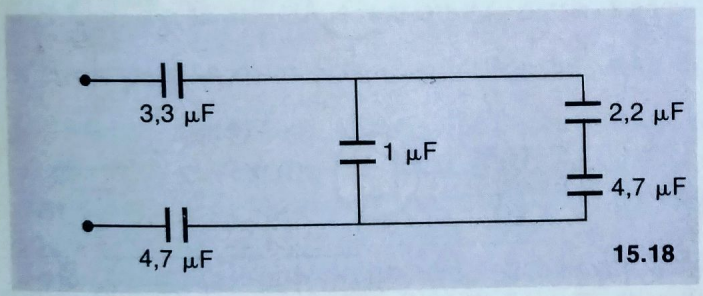
4/ Une loi statistique permet de dire que la vraie valeur C de la capacité est comprise, avec une confiance de 95 %, dans l'intervalle :

$$\overline{C}-0{,}718.\sigma<C<\overline{C}+0{,}718.\sigma.$$

Avec cette confiance, entre quelles limites est comprise la vraie valeur de C?
(On fera les approximations nécessaires.)

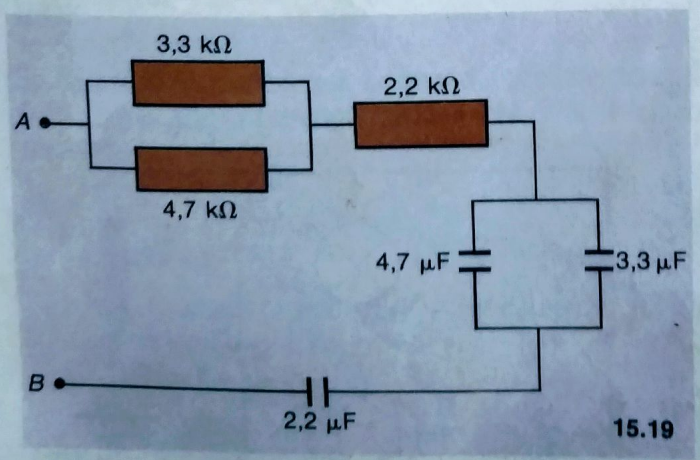
Associations de condensateurs

15.18 A On considère l'association de condensateurs représentée sur la figure. Quelle est la capacité du condensateur équivalant à toute l'association?



15.18

15.19 A Le schéma représente une association de résistances et de condensateurs. On veut simplifier le schéma électrique en remplaçant l'association par une résistance R associée en série à un condensateur de capacité C. Calculer R et C.



15.19

15.20 A On place en parallèle deux condensateurs de capacité $C_1=2{,}2$ nF et $C_2=4{,}7$ nF. L'ensemble est soumis a une tension de 12 V.
Quelle est la charge de chacun des condensateurs?

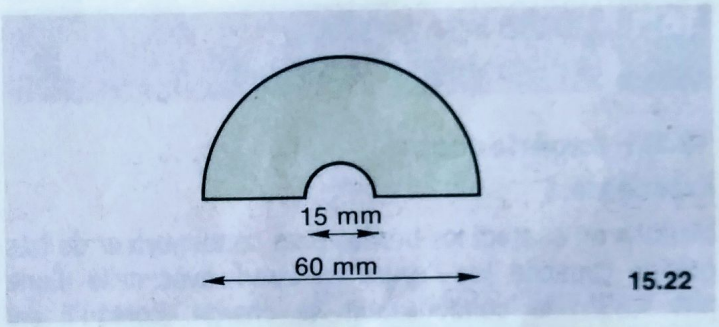
15.21 A On associe en série deux condensateurs de capacité 6,8 µF et 2,2 µF. L'ensemble est soumis à une tension de 220 V.

1/ Calculer la capacité du condensateur équivalent.

2/ Quelle est la charge commune à chaque condensateur?

3/ Calculer la différence de potentiel aux bornes de chaque condensateur.

15.22 C Un condensateur à air utilisé dans un poste radio est constitué par 10 demi-disques métalliques fixes, réunis entre eux, et par 9 demi-disques mobiles intercalés entre ces derniers et également réunis entre eux. Ces demi-disques ont un diamètre extérieur de 60 mm; l'encoche centrale évidée et demi-circulaire a un diamètre de 15 mm; l'écartement entre deux demi-disques consécutifs est égal à 0,72 mm. L'ensemble est monté sur un axe commun.

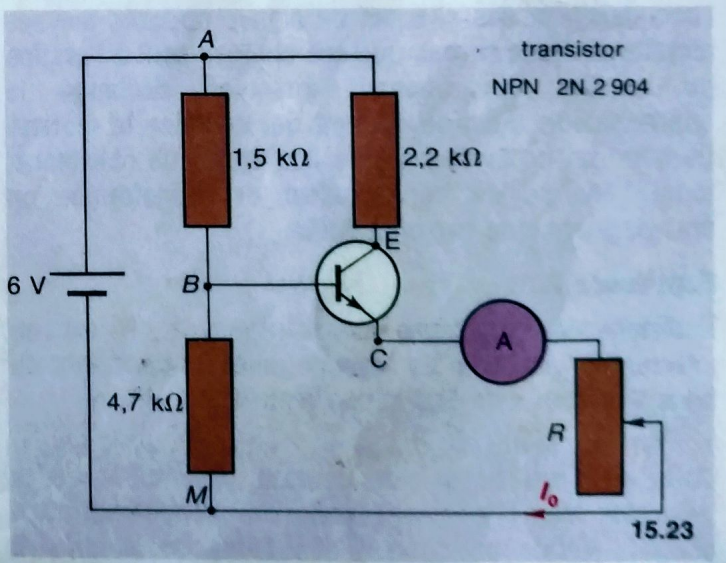


15.22

Calculer la capacité maximale de ce condensateur. On donne $\varepsilon_{air}=8{,}84.10^{-12}$ F.m^{-1}.

15.23 C *Construction d'un générateur de courant*

1/ Réaliser le montage de la figure ci-dessous.



15.23

2/ Faire varier la résistance R, qui est un potentiomètre de 5 kΩ. Que peut-on dire du courant I_0?

3/ On remplace R par une pile de 1,5 V; l'intensité I_0 est-elle toujours la même?

4/ A la place de R, on dispose d'un condensateur de capacité C. Comment alors, par une mesure de l'intensité I_0, une mesure de temps et une mesure de tension aux bornes de ce condensateur, peut-on déterminer C?

Application numérique : Dans une expérience, on a trouvé $I_0\approx 0{,}34$ mA et une tension $U_C=2$ V au bout de 28 s de charge. Calculer la capacité C du condensateur.

18 LES PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES

EXERCICES

Faire le point

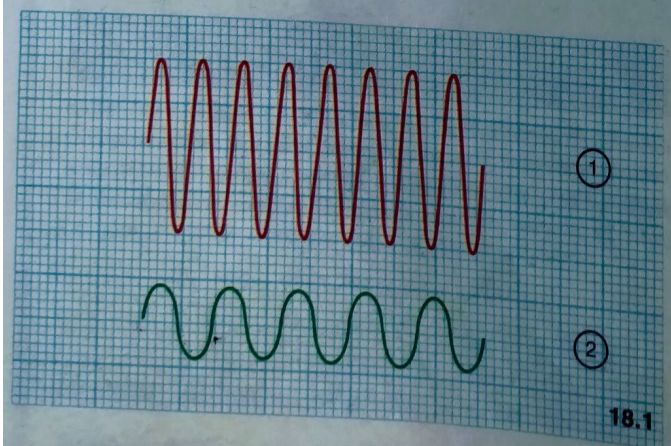
- Comment caractérise-t-on un phénomène vibratoire?
- Définir la période et la fréquence d'un oscillateur. Préciser les unités.
- Les oscillations d'un oscillateur non entretenu s'amortissent. Qu'entend-on par là? Expliquer le phénomène.
- Un circuit électrique parcouru par un courant alternatif est le siège d'oscillations électriques sinusoïdales. Comment peut-on visualiser ces oscillations et en déterminer la fréquence?
- Quel est le principe de la visualisation des vibrations d'un oscillateur mécanique à l'aide d'un oscillographe?
- Qu'est-ce qu'un stroboscope?
- Dans quelles conditions provoque-t-on par stroboscopie l'immobilisation apparente d'un oscillateur? Peut-on observer le mouvement ralenti de l'oscillateur?
- Dans quel domaine de fréquences les oscillateurs acoustiques vibrent-ils?
- De quoi la hauteur d'un son dépend-elle? et l'intensité d'un son?

Applications directes du cours

18.1 B Un enregistreur muni de deux stylets enregistre simultanément les vibrations de deux oscillateurs. La courbe (1) correspond à un oscillateur de fréquence 10 Hz.

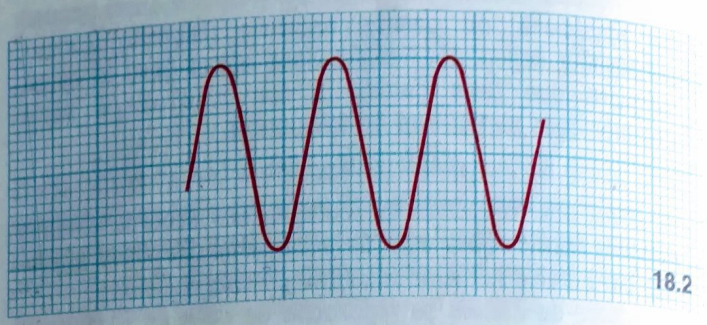
1/ A quelle vitesse se déplace le papier de l'enregistreur?

2/ Quelle est la fréquence du second oscillateur (courbe (2))?



18.1

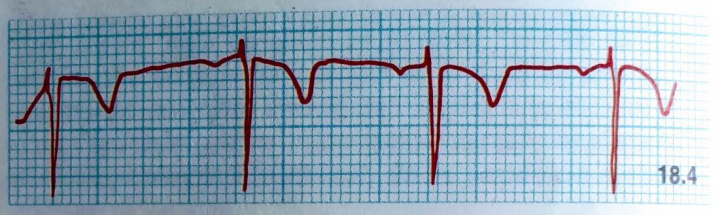
18.2 A Lors de l'enregistrement du mouvement vibratoire d'un oscillateur, on a obtenu la courbe ci-après. Le papier de l'enregistreur se déplace à la vitesse 2 $cm.s^{-1}$.


18.2

Quelle est la période et la fréquence de l'oscillateur?

18.3 B Un mouvement oscillatoire est enregistré sur un papier qui se déroule à la vitesse de 30 $cm.min^{-1}$. La courbe enregistrée est périodique et se reproduit sur le papier, identique, tous les 0,8 cm.
Quelle est la fréquence de l'oscillateur?

18.4 B La courbe ci-dessous est le relevé d'un électrocardiogramme.


18.4

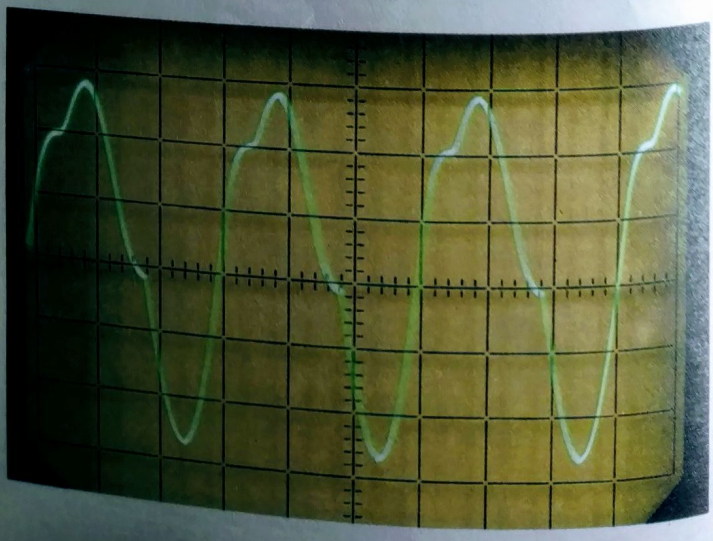
1/ Peut-on dire que les battements du cœur constituent un phénomène périodique? Si oui, dans quelle condition?

2/ La vitesse de déplacement du papier étant de 25 $mm.s^{-1}$, calculer le nombre de pulsations cardiaques du patient par minute.

18.5 C Une photorésistance est un dipôle dont la résistance varie en fonction de l'éclairement qu'elle reçoit. On dispose d'une photorésistance, d'une source de lumière et d'un générateur de courant. Un enregistreur permet de transcrire les variations de tension appliquée à l'entrée de l'enregistreur.
Imaginer un dispositif simple permettant d'enregistrer un phénomène lumineux périodique.

18.6 B A l'aide d'un oscillographe et d'un capteur, on enregistre un phénomène vibratoire entretenu (voir photo ci-dessous). Le bouton « balayage » est réglé sur la sensibilité 50 $\mu s.cm^{-1}$.

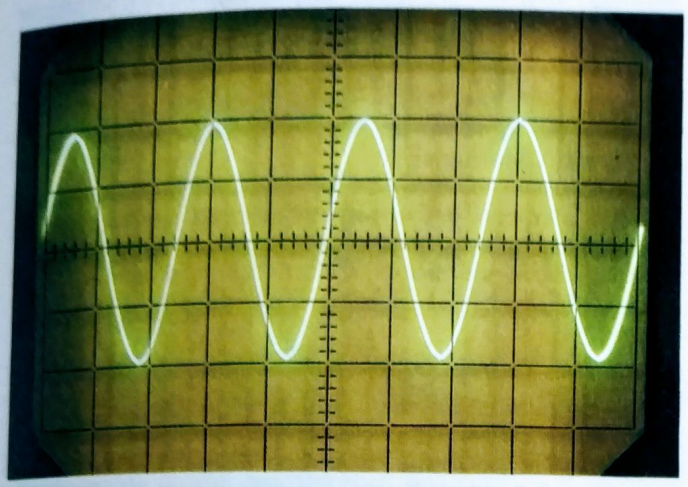
Calculer la période et la fréquence de ce phénomène vibratoire.



18.7 B A l'aide d'un microphone, on visualise à l'oscillographe le son émis par un diapason. Le bouton « balayage » de l'oscillographe est sur la sensibilité $2\ \text{ms.cm}^{-1}$.

1/ Calculer la période et la fréquence du son émis.

2/ Ce son est-il grave ou aigu?



18.8 A Un disque comportant un secteur blanc et tournant à la vitesse constante de $2400\ \text{tr.min}^{-1}$ est éclairé par un stroboscope.

Pour quelles fréquences du stroboscope le disque semble-t-il immobile? La persistance des impressions lumineuses n'est réalisée que pour des fréquences d'éclairs supérieures à 10 Hz.

18.9 A Un garagiste utilise un stroboscope pour équilibrer une roue. En faisant décroître la fréquence des éclairs, il observe l'immobilité de la roue pour les fréquences 60 Hz, 30 Hz et 20 Hz.

1/ Calculer le nombre de tours effectués par seconde par la roue.

2/ Qu'observe-t-il pour une fréquence des éclairs de 59 Hz? de 61 Hz?

Étude d'oscillateurs mécaniques

18.10 B Un pendule simple peut être constitué par un objet, de petites dimensions et de grande masse volumique (point matériel), suspendu à un point fixe par un fil inextensible. Écarté de sa position, le système oscille. On montre que la période des oscillations de faible amplitude est donnée par la relation $T = 2\pi.\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, ℓ étant la longueur du fil et g l'intensité du champ de pesanteur.

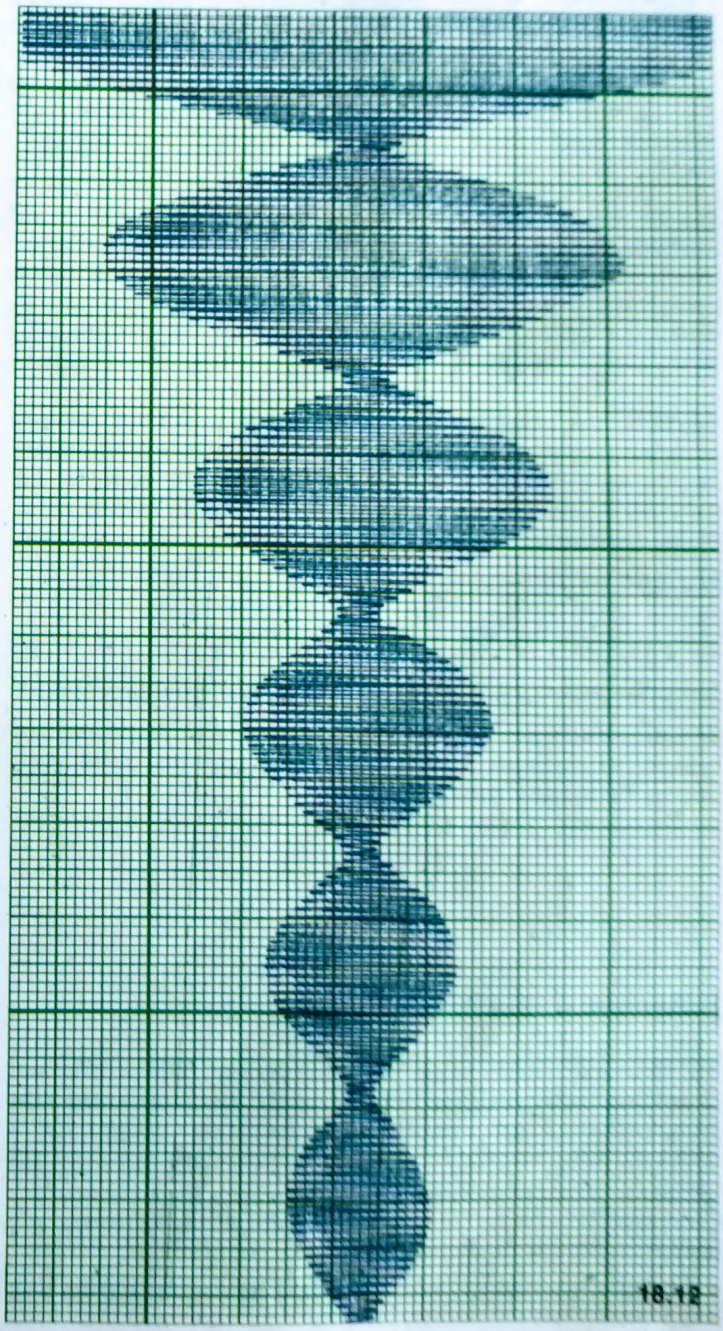
Déterminer la longueur du fil d'un pendule simple capable de battre la seconde, c'est-à-dire de demi-période égale à 1 s.

18.11 B Un pendule de torsion peut être réalisé avec un fil d'acier tendu, de constante de torsion C (en N.m.rad^{-1}), sur lequel est fixée transversalement une barre rigide. Le fil tendu constitue un axe autour duquel peut osciller la barre. Soit J le moment d'inertie de la barre par rapport à cet axe. La période des oscillations est fonction de J et de C.

Des relations $T = 2\pi.\sqrt{\frac{J}{C}}$ et $T = 2\pi.\sqrt{\frac{C}{J}}$, laquelle vous paraît plausible?

18.12 B On a enregistré un phénomène de « battements », qui est la superposition de deux mouvements de fréquences N_1 et N_2.

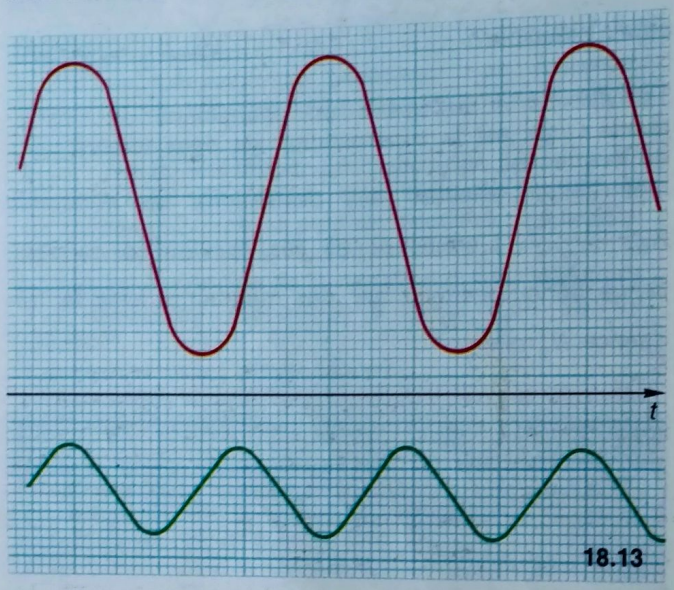
L'oscillateur effectue des oscillations de fréquence $N_0 = \frac{N_1 + N_2}{2}$. L'amplitude de ces oscillations, variable, passe périodiquement par des minimums avec la fréquence $N'_0 = \frac{N_1 - N_2}{2}$.



1/ Sachant que le papier avance à la vitesse de $0{,}5\ \text{cm.s}^{-1}$, calculer N_1 et N_2.

2/ Ce phénomène vibratoire est-il amorti?

18.13 B Un enregistreur, muni de deux stylets, enregistre simultanément les vibrations de deux oscillateurs. La figure ci-dessous représente une partie de l'enregistrement. La courbe rouge est l'enregistrement d'un oscillateur étalon de fréquence $N_1 = 10$ Hz.



18.13

Quelle est la fréquence N_2 du second oscillateur? A certains instants, les deux oscillateurs passent simultanément par leur élongation maximale. Montrer que cette coïncidence est périodique, de période θ. Exprimer la période θ de ce phénomène en fonction des périodes T_1 et T_2 des oscillateurs.

18.14 B Un objet de masse m, suspendu à un ressort et écarté suivant la verticale de sa position d'équilibre, oscille verticalement de part et d'autre de celle-ci. La période T des oscillations est fonction de la masse m et de la constante de raideur k du ressort.

1/ Des relations suivantes :

$$T = 2\pi . \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{et} \quad T = 2\pi . \sqrt{\frac{k}{m}},$$

laquelle vous paraît plausible? Justifier qualitativement.

2/ Calculer la période d'un tel pendule constitué par un ressort de raideur $k = 10^2$ N.m^{-1} et par un objet suspendu de masse $m = 1$ kg.

Utilisation d'un oscillographe

18.15 B La sortie d'un transformateur 220 V-6 V est branchée aux plaques (Y, Y') d'un oscillographe. Ce transformateur est branché à une prise de courant 220 V reliée au réseau E.D.F. L'écran de l'oscillographe est un carré de 10 carreaux de côté.

Représenter l'écran de l'oscillographe et la figure qui s'y inscrit pour les réglages suivants :

a/ calibre vertical : 2 V/div. (c'est-à-dire « par carreau »); base de temps : 2 ms/div;

b/ calibre vertical : 2 V/div.; base de temps : 8 ms/div.

18.16 A Des vibrations acoustiques captées par un micro sont visualisées sur l'écran d'un oscillographe dont la fréquence de balayage est de 200 Hz. On observe 5 oscillations sur l'écran.

1/ Quelle est la fréquence des vibrations de l'émetteur?

2/ Quelle fréquence de balayage faut-il adopter pour n'observer qu'une oscillation?

18.17 B La note la_3 (440 Hz) est captée par un micro branché à un oscillographe. On observe 3,5 vibrations. Quelle est la fréquence de balayage?

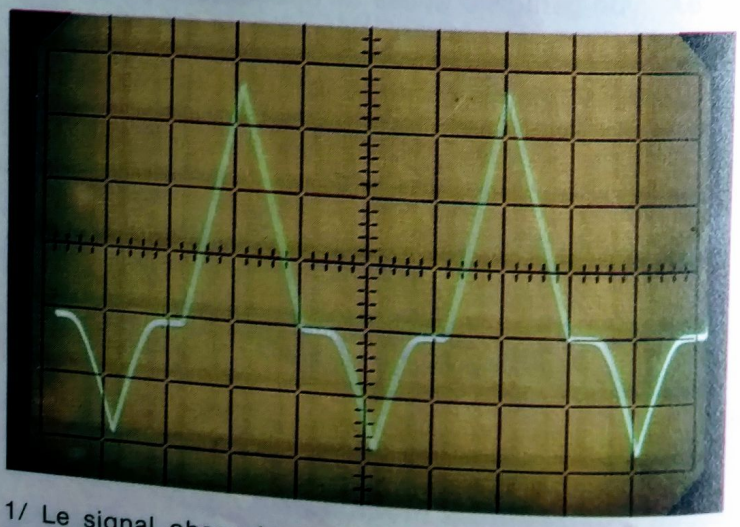
Un son de fréquence N est capté et visualisé sur l'écran de l'oscillographe. On observe 3 vibrations lorsque le balayage est réglé sur 0,5 ms.cm^{-1}. La largeur de l'écran est 10 cm. Déterminer N.

18.18 B Un son est enregistré sur un oscillographe à l'aide d'un microphone. La longueur de l'écran de l'oscillographe comporte 10 carreaux ou divisions. Sur le calibre 50 µs/div., on observe 2 périodes du phénomène sonore.

1/ Calculer la fréquence du son émis.

2/ La fréquence du son vient à varier, et l'on observe alors sur l'écran 2,5 périodes du phénomène sonore. Quelle est la nouvelle fréquence du son? Quelle durée de balayage faudrait-il adopter pour retrouver sur l'écran deux périodes du phénomène? Le son est-il devenu plus grave ou plus aigu?

18.19 B Observer la photographie de l'écran de l'oscillographe. En l'absence de tension appliquée sur la voie utilisée, le spot décrit la ligne horizontale centrale. Le sélecteur des durées de balayage est sur la position 50 µs.cm^{-1}. Le calibre de la voie A est sur la position 2 V.cm^{-1}.



1/ Le signal observé est-il périodique? Si oui, calculer sa période.

2/ Quelle est la tension maximale positive détectée?

3/ Quelle est la tension minimale négative détectée?

Utilisation d'un stroboscope

18.20 B Un ventilateur comporte trois pales identiques. La fréquence de l'éclairage est 100 Hz (éclairage au néon).

Pour quelles vitesses de rotation, exprimées en tr.min^{-1}, le ventilateur paraît-il immobile?

EXERCICES

18.21 B Quelle est la vitesse angulaire du plateau d'un tourne-disque « $33\frac{1}{3}$ tours »? En combien de secteurs égaux faut-il diviser ce plateau pour qu'il paraisse immobile quand il est éclairé par une lampe au néon s'illuminant 100 fois par seconde?

18.22 B Une diligence est filmée avec une caméra prenant 24 images par seconde. Ses roues, de 1 m de diamètre, comportent 12 rayons identiques.

1/ Le projecteur fournit 24 images par seconde. Pour quelles vitesses de la diligence les roues paraissent-elles immobiles?

2/ Qu'en est-il si l'on projette à raison de 18 images par seconde?

18.23 A Sous éclairage stroboscopique, une roue paraît immobile lorsque la fréquence des éclairs vaut 100 Hz ou 50 Hz ou 33 Hz. Expliquer le phénomène.

1/ Quelle est (en $tr.min^{-1}$) la vitesse de rotation de la roue si 100 Hz est bien la fréquence la plus élevée permettant l'immobilité apparente?

2/ Quelle est la vitesse apparente de la roue si la fréquence des éclairs est 101 Hz?

18.24 A Un diapason vibrant à la fréquence 400 Hz est observé sous éclairage stroboscopique.

1/ Pour quelles fréquences du stroboscope le diapason paraît-il immobile? Préciser la fréquence la plus élevée.

2/ Qu'observe-t-on si la fréquence du stroboscope est 398 Hz?

18.25 B Un vibreur oscille à la fréquence N (période $T=\frac{1}{N}$). Le stroboscope est réglé sur une fréquence N_e légèrement inférieure à N, soit T_e légèrement supérieure à T. Un éclair surprend le vibreur lorsque l'amplitude de l'oscillation est maximale. Le vibreur est éclairé, dans cette même position, à intervalles de temps successifs, égaux à θ.

1/ Que représente θ?

2/ Durant cette durée θ, le vibreur effectue n oscillations. Quel est le nombre maximal d'éclairs qui se sont produits pendant cette durée?

3/ Exprimer la durée θ en fonction de n et T d'une part, de n et T_e d'autre part. En déduire que $\frac{1}{\theta}=N-N_e$.

18.26 B A l'aide d'une pipette, on peut émettre des gouttes d'eau à intervalles de temps égaux. Sur fond noir, on éclaire les gouttes avec un stroboscope. Grâce à un réglage convenable du stroboscope, on constate qu'après un certain parcours dans l'air, les gouttes paraissent immobiles et régulièrement espacées.

1/ Expliquer le phénomène observé.

2/ Au cours d'une expérience, on a trouvé pour la fréquence des éclairs : $N_e=29$ Hz; distance entre deux gouttes : 24 cm. Calculer la vitesse limite de ces gouttes dans l'air.

3/ Quel est le mouvement apparent des gouttes si la fréquence des éclairs est réglée sur 30 Hz, puis sur 28 Hz?

20 RÉFLEXION ET TRANSMISSION

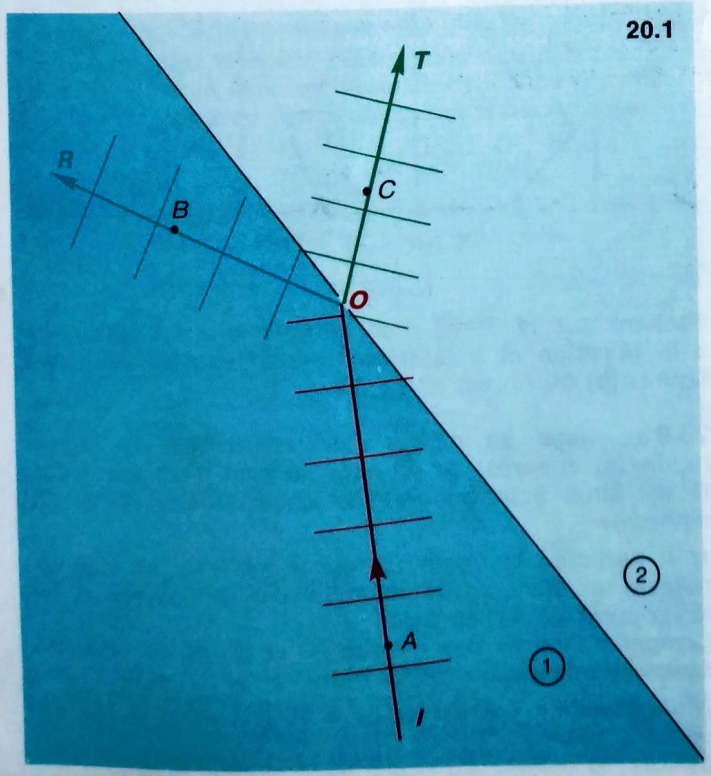
Faire le point

Vrai ou faux?

- A la frontière entre deux milieux, un signal incident donne un signal transmis seulement.
- Une surface parabolique transforme une onde plane qui se dirige suivant son axe en une onde circulaire.
- Une onde plane arrivant sur une surface plane séparant deux milieux donne généralement naissance à deux ondes planes.
- Une onde circulaire se réfléchit sur une surface plane en donnant une onde circulaire qui semble provenir d'un point symétrique de la source par rapport au plan réflecteur.
- Lors du passage d'un milieu (1) à un milieu (2), la longueur d'onde se conserve.
- Lors du passage d'un milieu (1) à un milieu (2), la fréquence de l'onde incidente est égale à la fréquence de l'onde transmise.
- Le fait d'immobiliser toutes les ondes se propageant à la surface de l'eau en observation stroboscopique prouve que leur fréquence ne change pas lorsqu'elles passent dans des milieux différents.

Applications directes du cours

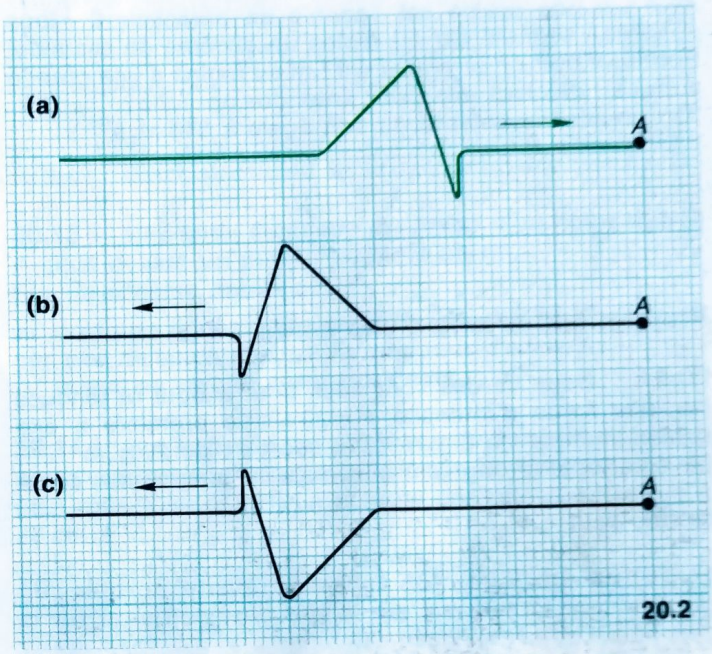
20.1 B La figure représente, à un instant donné, les lignes de crêtes d'une onde rectiligne, sinusoïdale, de fréquence 50 Hz. L'onde incidente se partage en une onde réfléchie et une onde transmise dans un second milieu de propagation. Trois rayons représentent les directions et les sens de propagation de ces ondes.



20.1

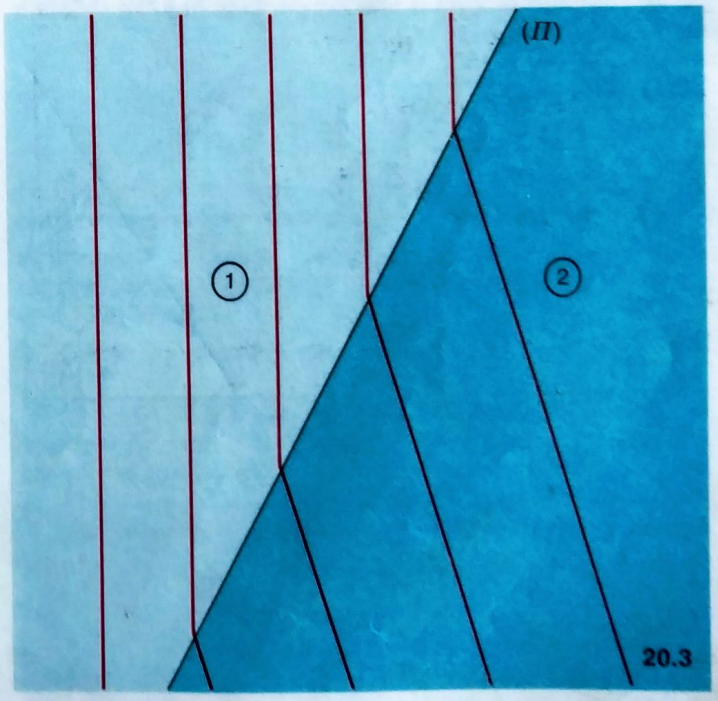
Mesurer λ_1 et λ_2, longueurs d'onde des ondes réfléchie et transmise. Déterminer les célérités c_1 et c_2. La figure est à l'échelle 1/10.

20.2 A Un signal se propage le long d'une corde. La figure (a) représente la corde à un certain instant t. Le signal se réfléchit sur l'extrémité A.
Indiquer quelle est la figure, (b) ou (c), qui correspond à un signal réfléchi si l'extrémité A est libre? si l'extrémité A est fixe?



20.2

20.3 B Sur une cuve à ondes, on étudie la transmission d'une onde plane d'un milieu (1) vers un milieu (2) séparés par une surface plane (Π). Sur la figure sont représentées les lignes de crêtes des ondes.



20.3

1/ Dans quel milieu la célérité des ondes est-elle la plus élevée?

2/ Tracer quelques rayons perpendiculaires aux surfaces d'ondes. Soit i_1 l'angle que fait un rayon incident avec

EXERCICES

la perpendiculaire au plan (Π) et i_2 l'angle que fait le rayon émergent avec cette même perpendiculaire.
Vérifier graphiquement la loi de transmission :

$$\frac{\sin i_1}{c_1} = \frac{\sin i_2}{c_2},$$

c_1 et c_2 étant les célérités dans les milieux (1) et (2).

3/ Déterminer graphiquement l'angle de déviation D des rayons.

20.4 A Une oreille est capable de percevoir 2 « tops sonores » séparés par au moins un dixième de seconde. Pourquoi doit-on se placer à 17 m au moins d'une grande surface réfléchissante pour entendre un écho?
(On prendra la célérité du son égale à 340 $m.s^{-1}$.)

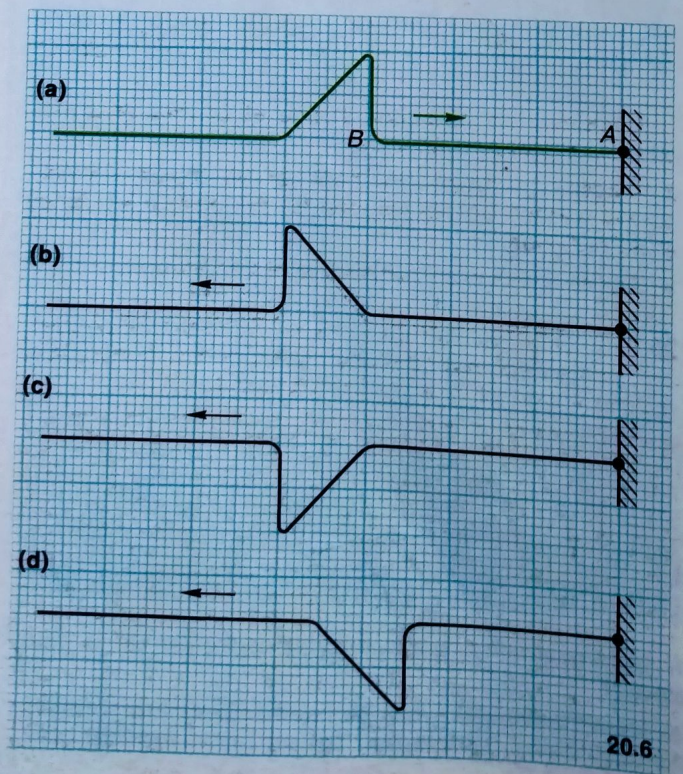
Propagation le long d'une corde

20.5 A Deux cordes sont liées bout à bout et tendues par une force d'intensité $F = 20$ N. La première a une masse linéique de 5 $g.m^{-1}$, la seconde de 20 $g.m^{-1}$.
La célérité d'un signal transversal le long d'une corde tendue vaut $c = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$.

1/ Décrire ce que l'on observe lorsqu'on crée un ébranlement transversal sur la première corde ou sur la seconde. Faire des schémas.

2/ Un train d'ondes de fréquence $N = 50$ Hz se propage le long des cordes. Calculer la longueur d'onde de l'onde sur chacune d'elles.

20.6 B La figure (a) représente à la date $t = 0$ un signal qui se propage le long d'une corde. Le signal se réfléchit sur l'extrémité fixe A.

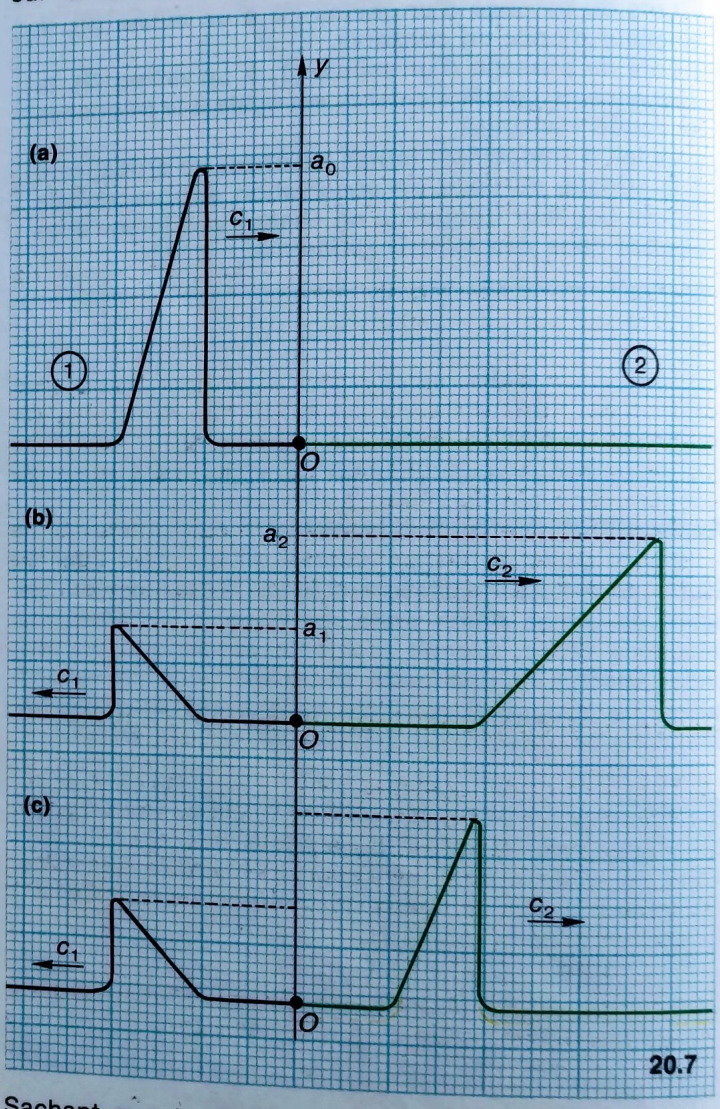


20.6

1/ Quelle est parmi les figures (b), (c) ou (d), celle qui correspond au signal réfléchi?

2/ La célérité du signal est de 1 $m.s^{-1}$. La figure (a) correspond à l'état de la corde à la date $t = 0$. A quelle date le signal réfléchi est-il observé?
La distance AB est égale à 20 cm.

20.7 B Un ébranlement transversal (figure (a)) se réfléchit partiellement à la jonction de deux cordes de natures différentes. Il donne naissance, par réflexion, à un ébranlement réfléchi et, par transmission, à un ébranlement transmis.
La célérité du signal sur la corde (1) est $c_1 = 2$ $m.s^{-1}$ et, sur la corde (2), $c_2 = 4$ $m.s^{-1}$.



20.7

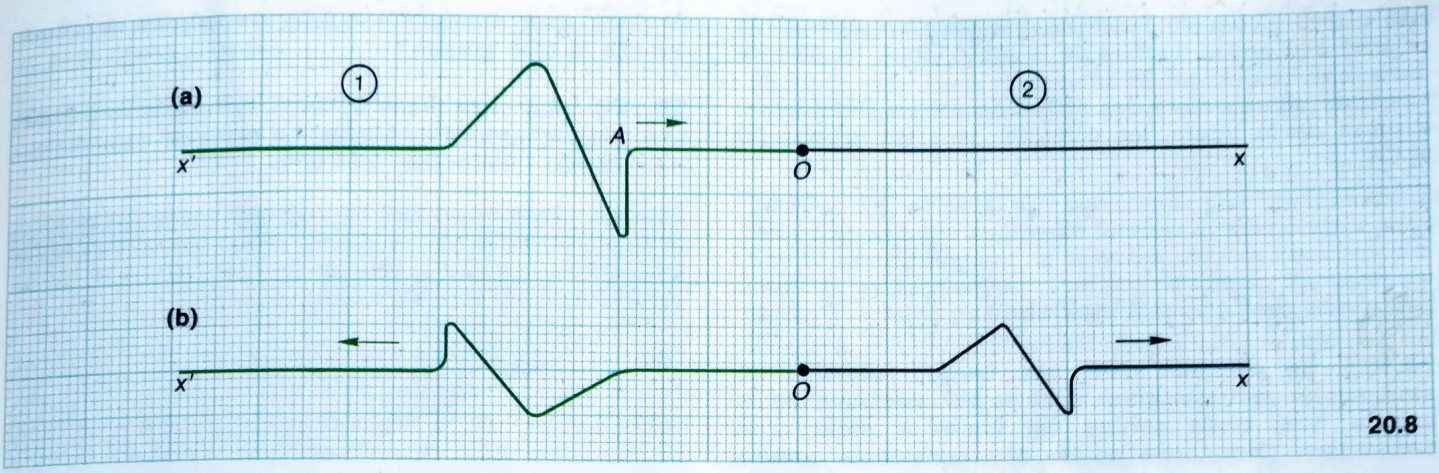
Sachant que la durée d'un ébranlement est conservée à la réflexion et à la transmission, laquelle des deux figures (b) ou (c) est correcte?

20.8 B Dans un milieu unidimensionnel, un signal (figure (a) ci-après) se propage le long d'un axe $x'Ox$. O est situé à la frontière de deux milieux (1) et (2) différents.

1/ A partir de la figure (b) qui représente les signaux réfléchi et transmis, commenter les phénomènes de réflexion et de transmission.
Comparer l'inertie des milieux (1) et (2) et les célérités dans ces milieux.

2/ La distance OA est égale à 20 cm, et la durée du signal à 16 ms.
Calculer la célérité du signal dans chaque milieu.

EXERCICES



20.8

Ondes sonores

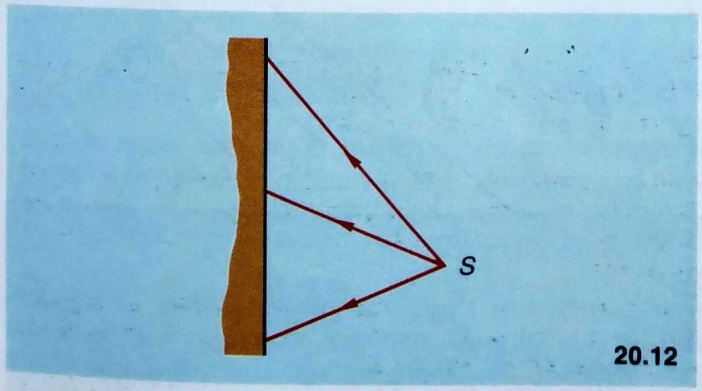
20.9 B Une chauve-souris vole vers un obstacle à la vitesse de 8 $m.s^{-1}$. Elle émet un signal ultrasonore lorsqu'elle se trouve à 25 m de cet obstacle.
A quelle distance la chauve-souris se trouve-t-elle de l'obstacle lorsqu'elle reçoit l'écho?
(Célérité du son : $c = 340\ m.s^{-1}$.)

20.10 B Deux murs plans verticaux, P et P', parallèles, sont situés à une distance $a = 204$ m l'un de l'autre. Un observateur se place entre eux à la distance $d = 34$ m du mur P. Il donne un bref coup de sifflet. La célérité du son dans l'air est de 340 $m.s^{-1}$.
Sachant que l'oreille peut distinguer deux signaux brefs s'ils sont séparés par un intervalle de temps égal ou supérieur à 0,1 s, décrire ce qu'entend l'observateur.

Ondes se propageant à la surface de l'eau

20.11 B Une onde rectiligne arrive à la frontière séparant deux milieux. Cette frontière est parallèle au front d'onde. La célérité dans le milieu (2) est telle que $c_2 = 2c_1$.
Faire un schéma donnant l'aspect de l'onde transmise. On tracera quelques lignes de crêtes dans le milieu (1) et dans le milieu (2).

20.12 B La figure ci-après représente un faisceau de rayons divergents, issus d'un point source S.



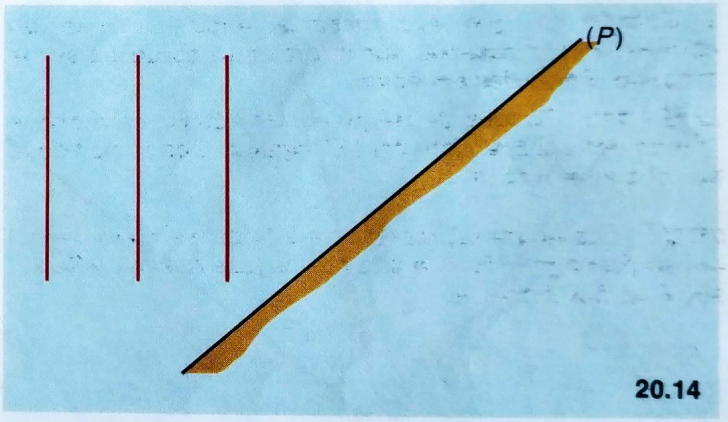
20.12

Quelle est la forme de l'onde correspondante? Représenter les rayons correspondants de l'onde réfléchie dont on précisera la forme. D'où semble provenir l'onde réfléchie? Dessiner les lignes de crêtes de ces ondes à un instant donné en adoptant $\lambda = 5$ mm.

20.13 B Une onde circulaire est émise d'un point source A situé devant un plan (P) réfléchissant.
Sur un schéma, tracer :

a/ quelques lignes de crêtes de l'onde réfléchie séparées par une distance égale à la longueur d'onde λ ;
b/ quelques rayons correspondants.

20.14 B Sur la figure, on a représenté 3 crêtes successives d'une onde rectiligne qui subit une réflexion sur le plan réfléchissant (P). La célérité des ondes est égale à 20 $cm.s^{-1}$.



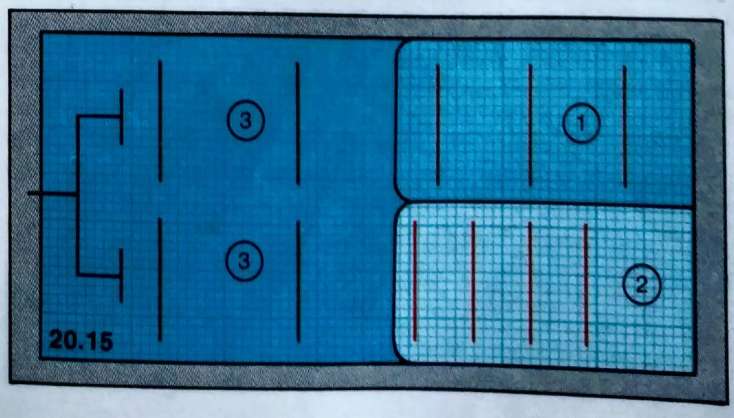
20.14

1/ Déterminer la longueur d'onde et la fréquence des ondes incidente et réfléchie.

2/ Tracer un rayon incident et le rayon réfléchi correspondant. Donner les valeurs des angles d'incidence et de réflexion.

3/ Tracer 3 crêtes successives après réflexion.

20.15 B Deux plaques de verre, d'épaisseurs différentes, sont posées sur le fond d'une cuve à ondes, horizontale, remplie d'eau, selon la figure ci-dessous.



20.15

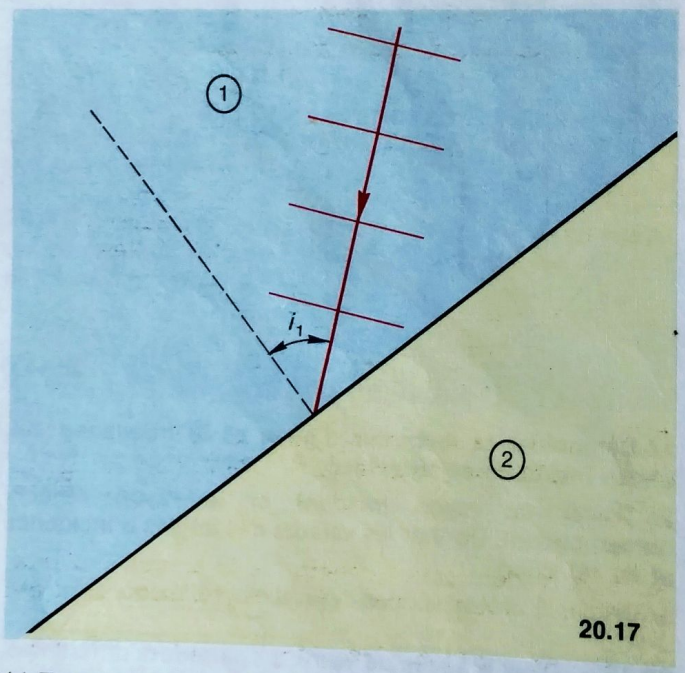
EXERCICES

Des ondes planes sont émises à l'aide d'un vibreur. La célérité des ondes dépend de la profondeur. La célérité dans le milieu (1) est 25 $cm.s^{-1}$.
Les traits représentent des lignes de crêtes. Déterminer, à partir de la figure, les célérités dans les milieux (2) et (3).

Influence de l'angle d'incidence

20.16 B Un pêcheur, dans une barque, surveille un plongeur sous-marin situé à 30 m à la verticale de la barque. Une onde sonore est émise à partir d'un hélicoptère. Cette onde pourra être considérée comme plane dans une région limitée de l'espace qui entoure le pêcheur.
L'angle d'incidence vaut 12°. Par rapport au pêcheur, avec quel retard le front de l'onde parvient-il au plongeur?
Données : célérité du son dans l'air : $c_1 = 340\ m.s^{-1}$; célérité du son dans l'eau : $c_2 = 1\,500\ m.s^{-1}$.

20.17 B Une onde plane sonore arrive sur une paroi plane sous l'angle d'incidence i_1. La célérité de l'onde sonore dans le milieu (1) est 1,5 fois plus importante que dans le milieu (2) ($c_1 = 1{,}5c_2$).



20.17

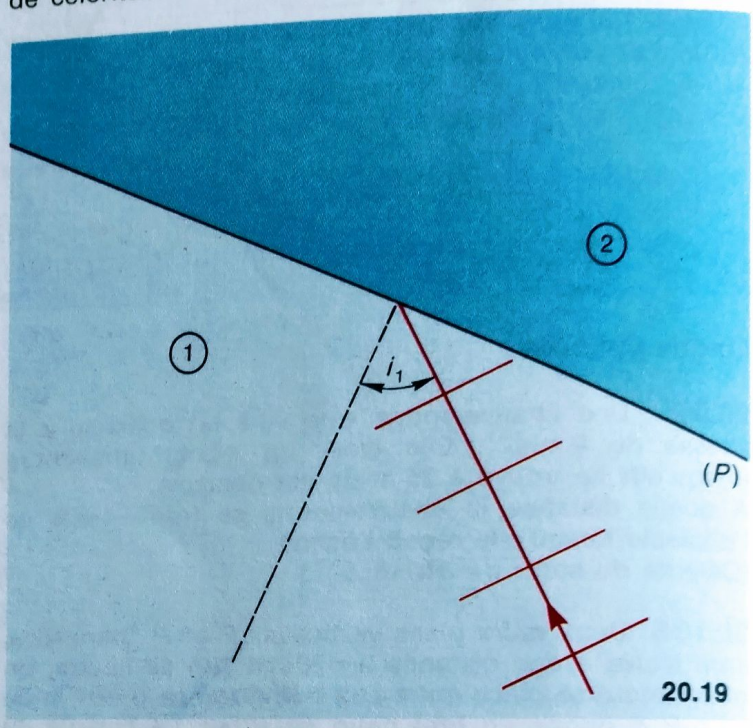
1/ Tracer, pour $i_1 = 50°$, le faisceau réfléchi et le faisceau réfracté. On représentera dans chaque milieu des lignes de crêtes distantes de la longueur d'onde λ_1 ou λ_2.
2/ Montrer que, quel que soit l'angle d'incidence i_1, on a toujours un faisceau réfracté et un faisceau réfléchi.

20.18 B Au cours de l'étude de la propagation d'une onde plane sur une cuve à ondes, on a mesuré les angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2.
1/ Compléter le tableau suivant :

i_1	12°	40°		90°
i_2	8°		35°	

2/ Dans quel milieu, (1) ou (2), la célérité de l'onde est-elle la plus grande?

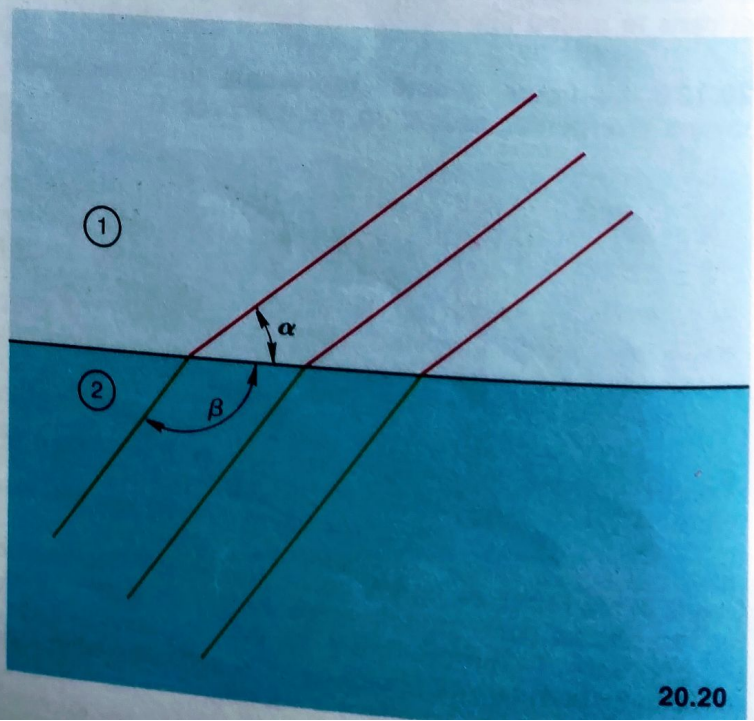
20.19 B Une onde plane obtenue sur une cuve à ondes arrive sur la surface de séparation plane de deux milieux de célérités différentes : $c_1 = 0{,}7c_2$.



20.19

1/ L'angle d'incidence est $i_1 = 50°$. Montrer que le faisceau incident est entièrement réfléchi. Tracer ce faisceau réfléchi.
2 Calculer l'angle limite i_ℓ pour lequel le faisceau incident donne un faisceau réfléchi et un faisceau réfracté. Quelle est la direction de ce faisceau réfracté?
3/ Tracer les faisceaux réfléchis et réfractés pour $i_1 = 30°$. On tracera des lignes de crêtes correspondant à des vibrations en phase dans chaque milieu.

20.20 B Au cours d'une expérience, on a mesuré les angles que font les lignes d'onde avec la surface de séparation.



20.20

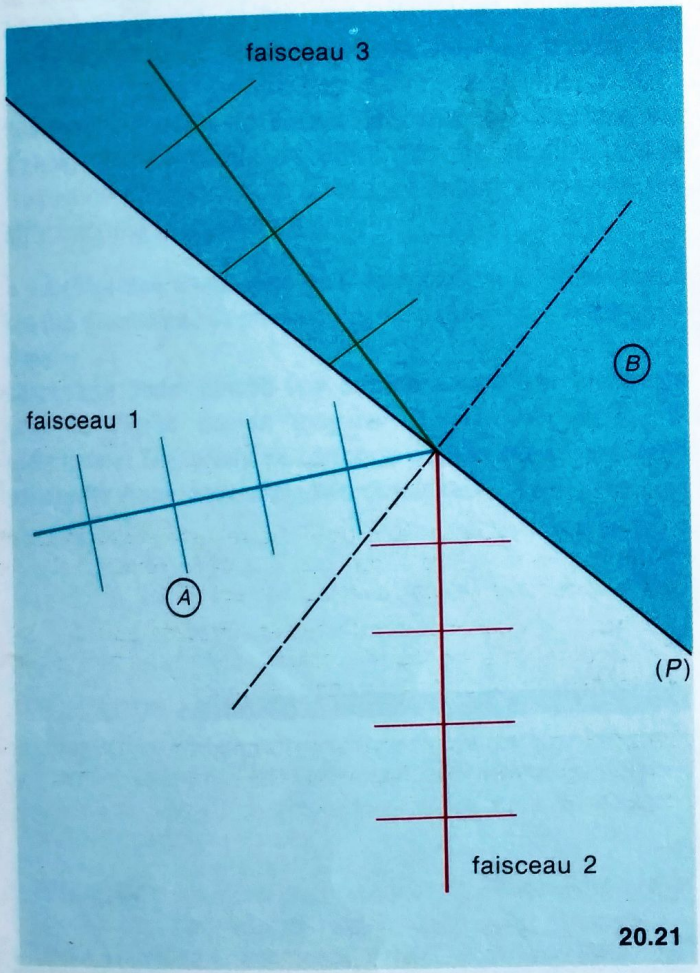
1/ Relier α et β aux angles d'incidence i_1 et de réfraction i_2 (voir figure ci-avant).

2/ Compléter le tableau suivant :

α	15°	30°	40°	
β	160°			90°

3/ Que se passe-t-il pour les ondes arrivant sous une incidence supérieure à 49°?

20.21 B On a reproduit sur la figure l'expérience de propagation d'une onde rectiligne sur une cuve à ondes.



20.21

1/ Comment s'appellent les phénomènes qui se produisent sur la surface de séparation (P) des deux milieux (A) et (B)?

2/ Quel est le faisceau incident? le faisceau réfléchi? le faisceau réfracté?

3/ Définir les angles d'incidence, de réflexion et de réfraction.

4/ On a représenté des lignes correspondant à des points vibrant en phase. Quel est le rapport des longueurs d'ondes correspondant aux milieux (A) et (B)? En déduire le rapport des célérités.

5/ Quelles lois peut-on vérifier? On pourra faire une mesure d'angle.

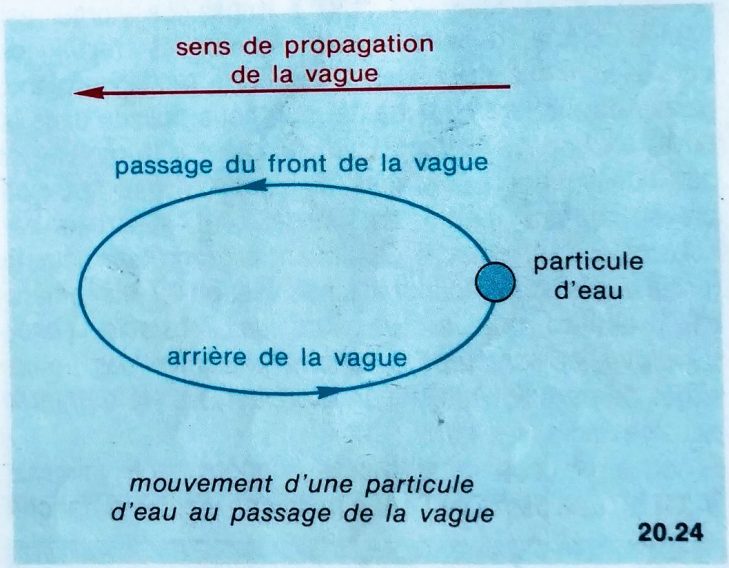
6/ Avec quel appareil peut-on mettre en évidence le fait que la fréquence reste inchangée lorsqu'on passe d'un milieu à l'autre?

Exercices d'analyse et de réflexion

20.22 C Citer deux dispositifs permettant de concentrer l'énergie de vibration transportée par une onde plane? Intérêt?

20.23 C La célérité du son dans l'air varie avec la température : elle augmente lorsque la température croît. En été principalement, la température des couches d'air peut varier localement. Par soir d'orage, on peut voir certains éclairs qui ne sont pas suivis d'un coup de tonnerre. Pourtant l'éclair est toujours accompagné d'une onde sonore.
Expliquer, qualitativement, pourquoi.

20.24 C « Les vagues sont des ondes formées par le vent. Par les frottements qu'exerce l'air sur l'eau, une partie de l'énergie cinétique du vent est transférée à l'eau. La hauteur des vagues dépend non seulement de la force du vent mais aussi de la distance sur laquelle le vent souffle dans une direction donnée. Les vagues n'ont pas toutes la même hauteur. Comme dans une corde, comme dans l'air pour le son, il n'y a pas déplacement d'ensemble de l'eau lors du passage d'une vague : on montre qu'en fait les molécules d'eau décrivent un mouvement elliptique au voisinage de leur position d'équilibre.



mouvement d'une particule d'eau au passage de la vague

20.24

La célérité des vagues dépend de la longueur d'onde : on dit qu'il y a dispersion. En eau profonde, la célérité est donnée par la relation $c = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$ (où $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-1}$).

La puissance de destruction d'une vague peut être énorme et dévastatrice. Des digues de plusieurs tonnes, des bateaux peuvent être projetés sur les rochers ou détruits. »
Après lecture de ce texte (extrait du *Cours de physique générale* de G. Bruhat, Masson), répondre aux questions suivantes :

1/ Sous quelles formes d'énergie, l'énergie cinétique du vent est-elle transférée à l'eau?

2/ En planche à voile, en bateau, on acquiert de la vitesse lorsqu'on « descend » une vague. Lorsque la vague est passée, cette vitesse est-elle modifiée?

3/ Une houle a une longueur d'onde $\lambda = 33$ m. Donner la célérité et la période de cette houle.

21 DIFFRACTION ET INTERFÉRENCES

Faire le point

- Dans une expérience d'interférences sur une cuve à ondes, deux sources synchrones et en phase émettent des ondes de longueur d'onde λ. Quelle relation existe-t-il entre les distances d_1 et d_2 d'un point M aux deux sources pour que l'eau située en ce point reste constamment immobile?
- Dans une expérience d'interférences d'ondes sonores, en un point M, on observe une extinction du son. On modifie légèrement la fréquence N_0 du son émis. Le micro placé en M détecte-t-il une vibration?
- Dans une expérience d'interférences sur une cuve à ondes, on observe l'immobilité de l'eau en un point M.

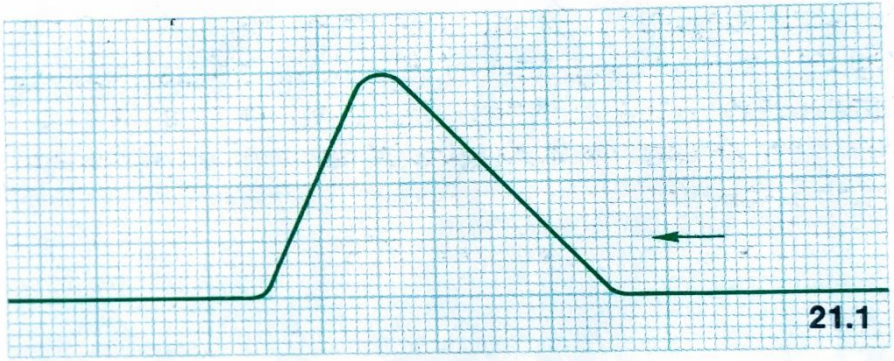
a/ On modifie la profondeur de l'eau. Que se passe-t-il?
b/ On modifie la fréquence du vibreur. Que se passe-t-il?

- Deux haut-parleurs, l'un émettant un son de fréquence N_0, l'autre un son de fréquence $2N_0$, peuvent-ils produire des interférences sonores?
- Au cours de la diffraction d'une onde par un obstacle ou par une ouverture :

a/ la forme de l'onde est-elle modifiée?
b/ la fréquence de l'onde est-elle modifiée?
c/ la longueur d'onde est-elle changée?
d/ les dimensions de l'ouverture sont-elles obligatoirement grandes devant la longueur d'onde?

Applications directes du cours

21.1 A La figure représente un signal se propageant le long d'une corde. Dessiner la déformation que provoquerait un signal qui, venant à la rencontre du précédent, en annulerait les effets lors du croisement.



21.2 A Deux haut-parleurs, S_1 et S_2, placés face à face à 1 m de distance, émettent en phase des sons de fréquence 3 400 Hz.
La célérité du son est égale à 340 $m.s^{-1}$.

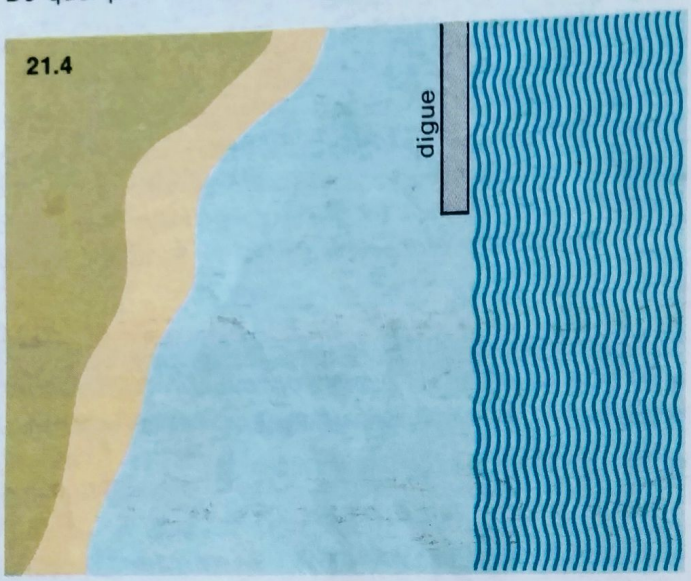
1/ Sur le segment Δ d'extrémités S_1 et S_2, on déplace un petit micro relié à un oscillographe. Décrire ce que l'on observe sur l'écran de cet appareil.

2/ Qu'observe-t-on si le micro est placé au milieu O de Δ?

3/ De quelle distance minimale doit-on déplacer le micro à partir de O pour retrouver le même état vibratoire?

21.3 A Reprendre l'exercice précédent avec S_1 et S_2 vibrant en opposition de phase.

21.4 A La figure représente la houle arrêtée par une digue près du rivage. La compléter en indiquant la forme de la houle jusqu'au rivage et derrière la digue.
De quel phénomène doit-on tenir compte?



21.5 A Les deux extrémités S_1 et S_2 d'un vibreur émettent en phase des ondes circulaires à la surface de l'eau. La célérité de ces ondes est égale à 0,25 m.s^{-1} et leur période à 100 ms.

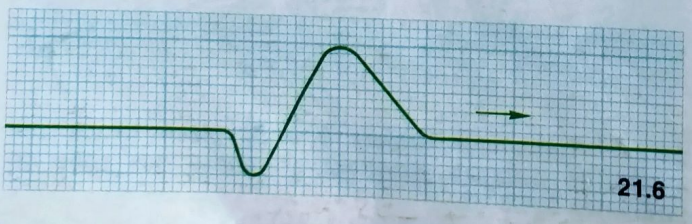
1/ Calculer la longueur d'onde.

2/ Quel est l'état vibratoire d'un point M de la surface tel que $S_1M = 15$ cm et $S_2M = 11{,}25$ cm?

3/ Même question pour un point N tel que $S_1N = 12$ cm et $S_2N = 17$ cm.

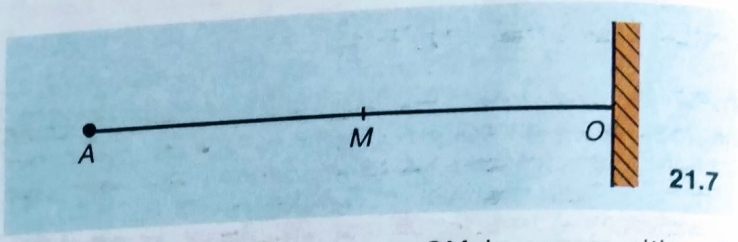
Signaux sur une corde

21.6 A La figure représente la perturbation provoquée par un signal transversal simple se propageant le long d'une corde.
Dessiner la déformation que provoquerait un signal qui, venant à la rencontre du précédent, pourrait en annuler les effets lors du croisement.



21.7 B L'extrémité A d'une corde est animée d'un mouvement vibratoire périodique. L'autre extrémité O est fixée. Une onde progressive se propage de A vers O et donne naissance par réflexion à une onde réfléchie.
Pour cette dernière, tout se passe comme si elle provenait d'une source A' symétrique de A par rapport à O, A' vibrant avec la même fréquence, la même amplitude que A, mais avec un décalage dans le temps de $\frac{T}{2}$.

On pose $OA = \ell$ et c = célérité de l'onde.



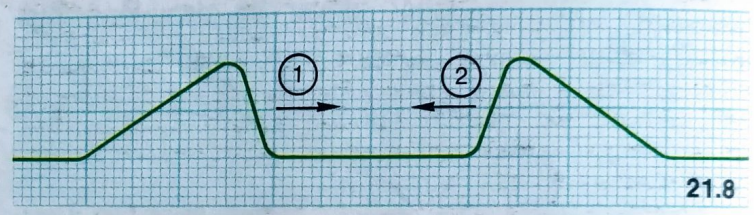
1/ Pour quelles valeurs de $d = OM$ la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie donne-t-elle :

a/ un minimum d'amplitude du déplacement?
b/ un maximum d'amplitude du déplacement?

2/ Pour une fréquence de 100 Hz, on a trouvé que la distance était de 32 cm entre 5 minimums. Calculer la célérité de l'onde sur cette corde.

3/ Expliquer l'équivalence décrite plus haut pour l'onde réfléchie.

21.8 B La figure représente, à la date t, deux déformations provoquées par deux signaux (1) et (2), de même durée θ, allant à la rencontre l'un de l'autre.

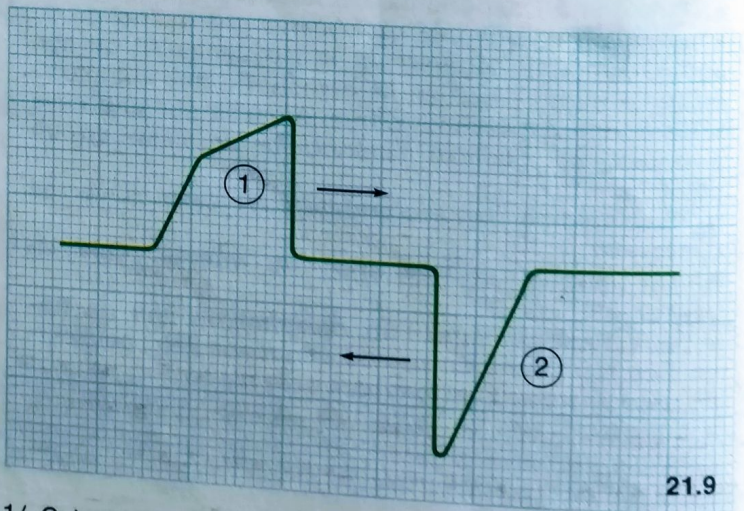


1/ Représenter les déformations provoquées aux dates $t + \frac{\theta}{2}$, $t + \theta$, $t + \frac{3}{2}\theta$.
Représenter la déformation résultante.

2/ A quelle date la déformation résultante présente-t-elle une amplitude maximale?

3/ Combien de temps le phénomène de superposition dure-t-il?

21.9 B Deux signaux transversaux se propagent à la rencontre l'un de l'autre dans un milieu unidimensionnel avec la célérité c.
La figure représente, à l'échelle 1/2, les déformations provoquées à la date $t = 0$. La durée du signal (1) est $\tau_1 = 0{,}06$ s.



1/ Calculer la durée τ_2 du signal (2) et la célérité c.

2/ Quelle sera la durée d'interférence des deux signaux?

3/ Représenter la déformation du milieu de propagation aux instants $t = 50$ ms, $t = 70$ ms et $t = 90$ ms.

EXERCICES

Ondes à la surface de l'eau

21.10 A Les deux extrémités S_1 et S_2 d'un vibreur sont en phase et distantes de 7,5 cm. La célérité des ondes transversales provoquées à la surface de l'eau vaut 0,25 $m.s^{-1}$. La fréquence du vibreur est 10 Hz.
Combien observe-t-on de franges d'amplitude minimale? Pourquoi celles-ci sont-elles peu discernables à proximité des sources?

21.11 A Les deux extrémités S_1 et S_2 d'un vibreur sont distantes de 6 cm. La fréquence des vibrations est 10 Hz, la célérité des ondes transversales à la surface de l'eau vaut 24 $cm.s^{-1}$.

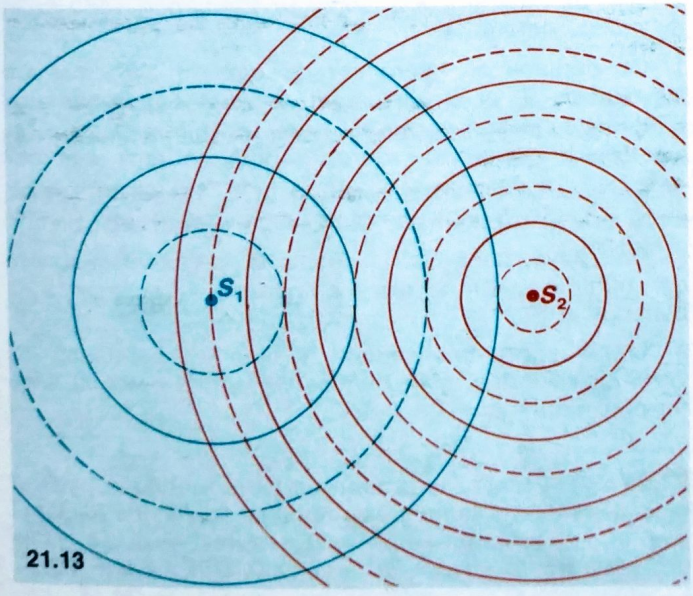
1/ Combien de franges d'amplitude maximale observe-t-on sur le segment S_1S_2 si les 2 sources sont en phase?

2/ Préciser l'état vibratoire des points :

a/ M tel que : $S_1M = 2{,}5$ cm et $S_2M = 4{,}9$ cm;
b/ N tel que : $S_1N = 3$ cm et $S_2N = 6{,}6$ cm.

21.12 C Un vibreur, muni de deux marteaux de petites dimensions, provoque des interférences à la surface de l'eau. La fréquence des vibrations vaut 10 Hz. On constate qu'un point M situé aux distances $S_1M = 9{,}5$ cm et $S_2M = 3{,}3$ cm des points sources appartient à la deuxième frange nodale rencontrée à partir de la frange centrale, d'amplitude maximale.
Quelle est la célérité des ondes transversales à la surface de l'eau?

21.13 A La figure représente les creux (traits discontinus) et les crêtes (traits continus), à une date t, de deux ondes circulaires émises respectivement par les sources S_1 et S_2 vibrant à des fréquences N_1 et N_2 différentes.

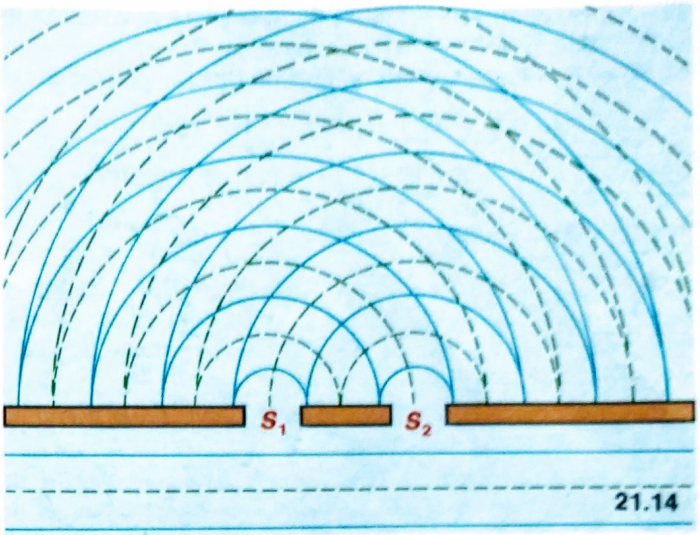


21.13

1/ Existe-t-il un rapport simple entre ces fréquences?

2/ Les ondes étant progressives, situer les crêtes et les creux aux dates $t + \frac{T_1}{2}$, $t + T_1$. Peut-on localiser des points nodaux occupant une position fixe par rapport aux sources? Observe-t-on des franges d'interférences?

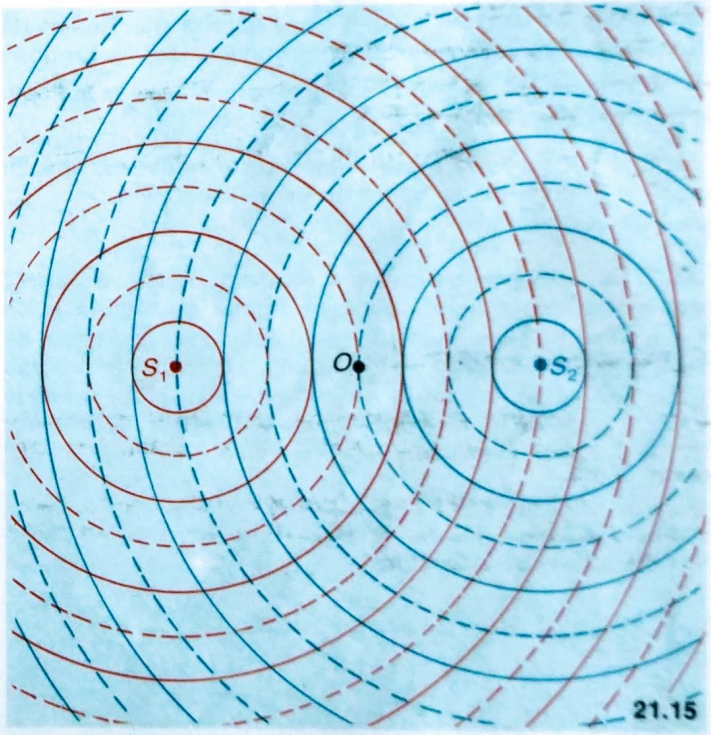
21.14 A La figure ci-après représente les creux (traits discontinus) et les crêtes (traits continus), à une date t, des ondes diffractées par deux ouvertures S_1 et S_2.



21.14

Situer les points nodaux et les points antinodaux (doubles crêtes ou doubles creux). Tracer les lignes nodales et antinodales.

21.15 C La figure représente les creux (traits discontinus) et les crêtes (traits continus) des rides circulaires émises par deux sources cohérentes S_1 et S_2 vibrant en phase.



21.15

1/ Quel est l'état vibratoire des sources S_1 et S_2 à l'instant correspondant au schéma?

2/ Comment doit-on modifier le schéma si les sources vibrent en opposition de phase? Le phénomène d'interférences est-il toujours observable? Situer éventuellement les lignes nodales et antinodales.

3/ On remarque que la figure est symétrique par rapport au point O, milieu du segment S_1S_2.
On appelle frange centrale d'amplitude maximale, le lieu des points tels que :

$$d_2 - d_1 = k.\lambda = 0 \quad (k = 0).$$

Cette frange est confondue avec la médiatrice du segment S_1S_2. Quel est le mouvement des points situés

sur cette médiatrice lorsque S_1 et S_2 vibrent en opposition de phase?

4/ S_1 et S_2 vibrant en opposition de phase, les relations :

$$d_2 - d_1 = k.\lambda \longleftrightarrow \text{amplitude maximale}$$

$$d_2 - d_1 = (2k+1).\frac{\lambda}{2} \longleftrightarrow \text{nœud de vibration}$$

restent-elles valables?

21.16 C On a réalisé des interférences à la surface de l'eau à partir de deux points sources S_1 et S_2 animés par un même vibreur. On se propose d'utiliser deux vibreurs distincts.

1/ Quelles conditions doivent-ils remplir pour que l'on observe des interférences?

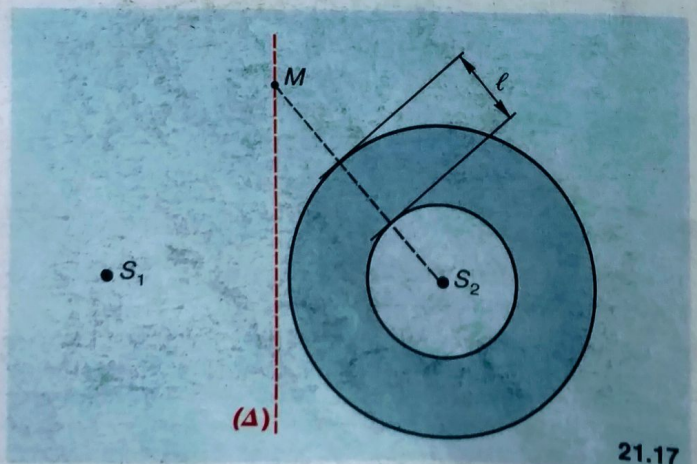
2/ Les vibreurs vibrent à la même fréquence, avec la même amplitude et sont constamment en opposition de phase.
Que peut-on prévoir? (Faire éventuellement un schéma.)

3/ Les vibreurs vibrent à la même fréquence, en phase, l'un avec une amplitude double de l'autre.
Que peut-on prévoir?

4/ Les vibreurs vibrent avec la même amplitude, mais avec des fréquences différentes.
Qu'observe-t-on?

5/ Les vibreurs vibrent avec la même fréquence, la même amplitude et sont en phase. Le dispositif d'entretien de l'un d'eux s'arrête de fonctionner : les vibrations s'amortissent progressivement.
Qu'observe-t-on?
L'un des dispositifs d'entretien souffre d'un mauvais contact : il s'arrête, repart, s'arrête de nouveau, etc., et ceci, à intervalles de temps brefs et irréguliers.
Que peut-on prévoir?

21.17 C Un vibreur provoque en deux points, S_1 et S_2, des vibrations transversales en phase à la surface de l'eau. On dispose au fond de l'eau une couronne de Plexiglas autour du point S_2 (figure). La profondeur d'eau étant moindre au-dessus de cette plaque, la célérité de l'onde y est réduite. On observe une frange nodale sur la médiatrice Δ du segment S_1S_2.



21.17

La fréquence du vibreur étant 10 Hz, la célérité c de l'onde dans l'eau profonde 0,25 m.s^{-1} et la largeur ℓ de la couronne 1,2 cm, calculer la célérité c' de l'onde dans l'eau située au-dessus du Plexiglas.
On prendra la célérité la plus proche de celle en eau profonde.

Ondes sonores

21.18 A Entrebaîller une porte très légèrement ou l'ouvrir complètement sur une pièce très bruyante revient pratiquement au même pour percevoir le bruit.
Expliquer pourquoi.

21.19 A Un son correspond à des ondes sonores dont les fréquences sont couramment comprises entre 100 Hz et 5 000 Hz.
Quelles sont les dimensions (ordres de grandeur) des obstacles ou des ouvertures qui vont diffracter le son?
La célérité du son dans l'air est 340 m.s^{-1}.

21.20 A Deux sources sonores, S_1 et S_2, vibrent en phase et émettent un son de fréquence 392 Hz (sol_3).
La célérité du son dans l'air est alors 333,2 m.s^{-1}.

1/ Comment vibre un point M situé à 3,4 m de S_1 et à 1,7 m de S_2?

2/ Même question pour un point P situé à 2,55 m de S_1 et 2,125 m de S_2.

21.21 A Deux sources sonores, S_1 et S_2, vibrent en opposition de phase et émettent le même son de fréquence 262 Hz avec la même amplitude.
La célérité du son dans l'air vaut alors 340,6 m.s^{-1}.

1/ Quelle est l'amplitude des vibrations sonores en un point M situé à 5,2 m de S_1 et à 2,6 m de S_2?

2/ Même question au point P situé à 2,6 m de S_1 et à 4,55 m de S_2.

21.22 C On dispose deux haut-parleurs identiques face à face. Ils émettent des sons de fréquence 1 550 Hz et de même amplitude.

1/ On déplace un micro sur le segment S_1S_2 joignant les centres S_1 et S_2 des membranes des haut-parleurs. L'intensité du son capté est nulle au milieu O de S_1S_2. Quel est le déphasage entre les deux sources sonores?

2/ A 11 cm de O, sur le segment S_1S_2, l'intensité sonore est à nouveau minimale. Calculer la célérité du son.

3/ On trouve, sur S_1S_2, 11 positions où l'intensité sonore est minimale. Entre quelles valeurs est comprise la distance S_1S_2?

4/ Tracer approximativement le lieu des points où les vibrations sonores sont minimales (points nodaux) dans un plan contenant S_1 et S_2.

21.23 C On place deux haut-parleurs identiques face à face. Ils émettent le même son (même fréquence et même amplitude) et vibrent en phase. La fréquence du son émis est 1 600 Hz; la vitesse du son dans l'air est 336 m.s^{-1}. La distance S_1S_2 séparant les centres S_1 et S_2 des haut-parleurs vaut 120 cm.

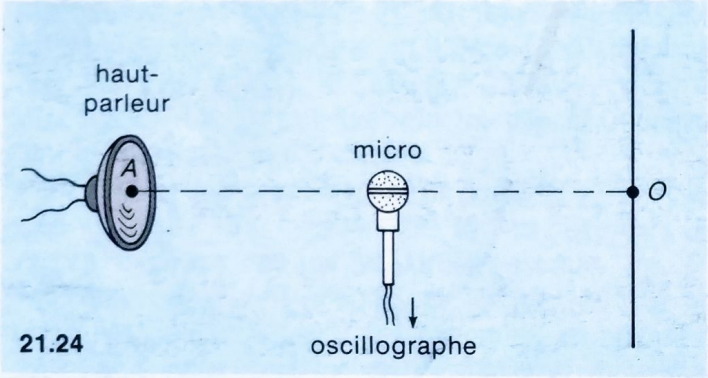
1/ Calculer la longueur d'onde du son émis.

2/ On déplace un micro entre S_1 et S_2. Le son capté est visualisé sur l'écran d'un oscillographe. L'amplitude des vibrations varie avec la position du micro.
Pour quelles positions cette amplitude est-elle maximale? minimale?

3/ Le micro est placé en un point situé à 169 cm de S_1 et à 106 cm de S_2. L'intensité du son capté est-elle maximale?

EXERCICES

21.24 C Un haut-parleur est placé en un point *A* devant un mur; un micro, relié à un oscillographe, permet d'observer et de détecter les variations de pression dues à l'onde incidente émise par le haut-parleur et à l'onde réfléchie par le mur.

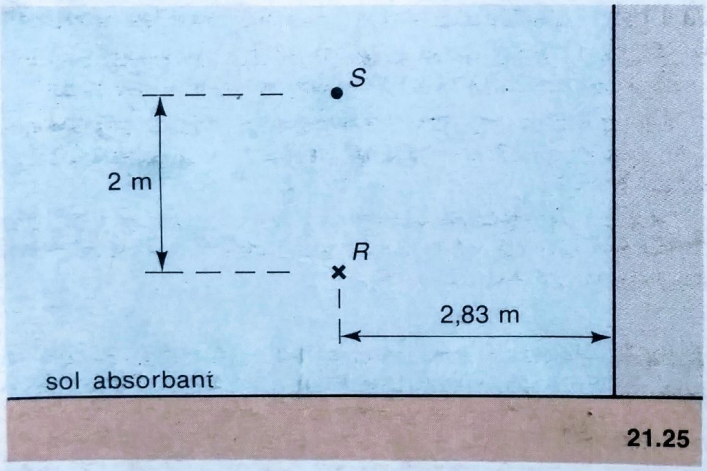


21.24

1/ On constate que le micro placé près du mur enregistre une amplitude maximale; puis, en l'éloignant du mur, il enregistre des minimums et des maximums d'intensité sonore.
Expliquez le phénomène. Montrer que les observations peuvent être interprétées en considérant que l'onde réfléchie semble provenir d'un haut-parleur symétrique du premier par rapport au mur et qui émet en phase avec lui.

2/ Au cours d'une expérience, on a mesuré une distance de 5 cm entre un maximum et un minimum successifs pour une fréquence de 1 700 Hz.
Calculer la célérité du son lors de cette expérience.

21.25 C La figure représente un émetteur *S* d'ondes sonores simples, de fréquence réglable dans l'intervalle [1 200 Hz, 1 500 Hz]. Un récepteur *R* peut capter les ondes en provenance directe de *S* et celles qui se sont réfléchies sur le mur vertical. Le plancher est considéré comme parfaitement absorbant.

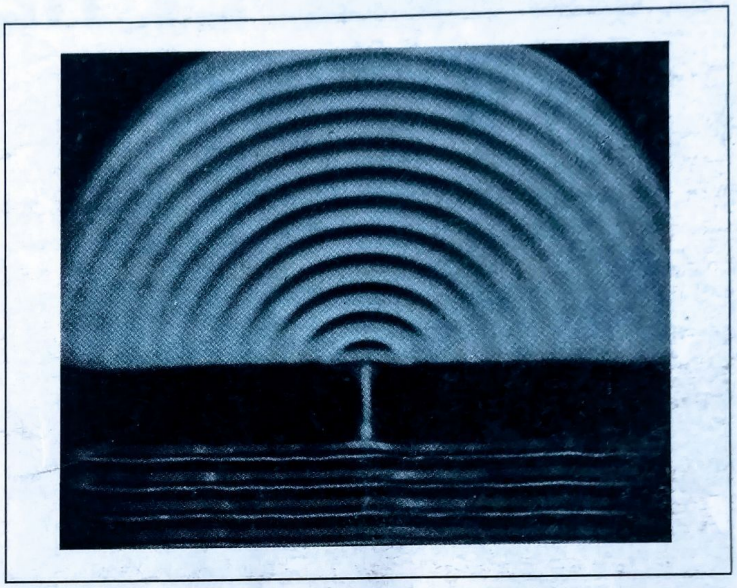


21.25

Déterminer les valeurs de la fréquence pour lesquelles le son capté est minimal. Ce minimum peut-il être nul?
Donnée : $c = 340\ m.s^{-1}$.
On se servira des résultats de l'exercice précédent.

Exercices d'analyse

21.26 B Cette photographie représente à l'échelle 1/4 un phénomène de diffraction observé sur une cuve à ondes.



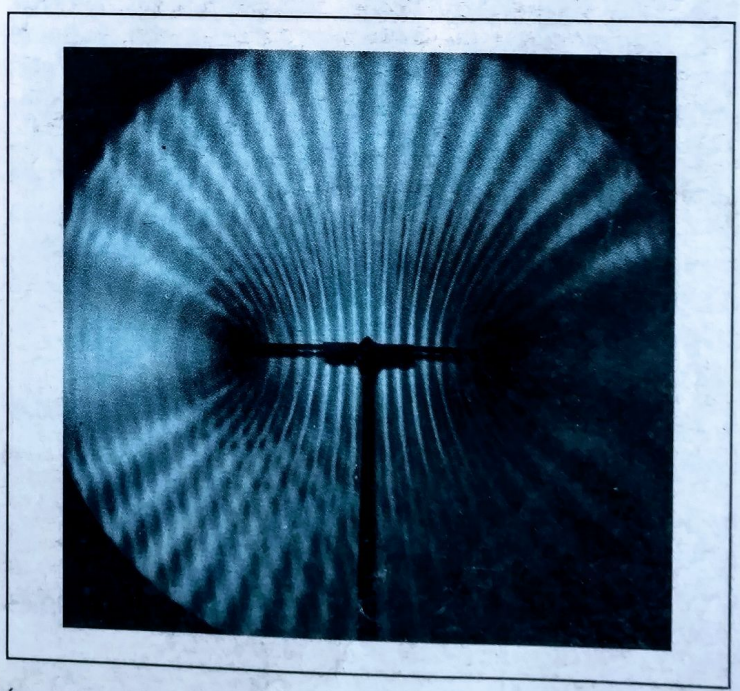
1/ Dans quel sens se propagent les ondes?

2/ Comparer les longueurs d'onde de part et d'autre du trou.

3/ Comparer la largeur du trou à la longueur d'onde.

4/ La fréquence du vibreur produisant ces ondes est égale à 20 Hz. Quelle est leur célérité?

21.27 B Cette photographie représente à l'échelle 1/5 une figure d'interférences sur une cuve à ondes. La fréquence du vibreur est de 16 Hz.



Évaluer la célérité des ondes dans ce milieu.

22 ONDES LUMINEUSES, RÉFLEXION ET RÉFRACTION

EXERCICES

Faire le point

1/ Vrai ou faux?

- A une onde monochromatique correspond une seule fréquence.
- Un faisceau lumineux peut passer devant les yeux ouverts d'un observateur sans que celui-ci s'en aperçoive.
- Lorsqu'une surface polie reçoit la lumière d'un faisceau, le phénomène de réflexion est favorisé par rapport au phénomène de diffusion.
- Selon leur couleur, les ondes lumineuses se propagent à des vitesses différentes dans l'eau.
- La célérité de la lumière dans l'eau ($n = 1{,}33$) est inférieure à la célérité dans le verre ($n = 1{,}50$).

2/ Choisir la ou les bonnes réponses :

- Lorsqu'une onde lumineuse monochromatique change de milieu de propagation, il y a modification de sa *fréquence/célérité/longueur d'onde*.
- L'eau est un milieu *plus/moins* réfringent que l'air.
- Lorsque la lumière se propage d'un milieu transparent vers un autre milieu transparent plus réfringent, le rayon réfracté *s'écarte/se rapproche* de la normale à la surface de séparation des deux milieux.
- La réflexion totale peut s'observer lorsque le milieu de propagation de la lumière incidente est *plus/moins* réfringent que le milieu dans lequel la lumière peut être transmise.

Applications directes du cours

22.1 A Calculer la fréquence d'une onde lumineuse de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 590$ nm (jaune).

22.2 A Calculer la longueur d'onde dans l'eau, d'indice 1,33, d'une radiation de longueur d'onde 470 nm dans le vide.

22.3 A Calculer les longueurs d'onde dans le vide, puis dans le verre, d'indice 1,50, d'une onde lumineuse de fréquence $5{,}1.10^{14}$ Hz.

22.4 A Une radiation lumineuse se propageant dans l'air pénètre dans un liquide sous un angle d'incidence de 40°. L'angle de réfraction vaut 30°.
Calculer l'indice du liquide par rapport à l'air.

22.5 A Une radiation lumineuse se propage dans le verre, d'indice 1,50 par rapport à l'air; elle se réfracte dans l'air. L'angle de réfraction est égal à 40°.
Quel est l'angle d'incidence?

22.6 A La radiation jaune émise par une lampe au sodium a une longueur d'onde de 369 nm dans le sulfure de carbone et une longueur d'onde dans le vide égale à 590 nm.
Calculer l'indice absolu du sulfure de carbone.

22.7 A Un rayon incident *SI* aborde au point *I* la surface de séparation de deux milieux transparents d'indices absolus $N_1 = 1$ et $N_2 = 1{,}33$. L'angle d'incidence est $i = 60°$.
Faire un schéma et tracer les rayons réfléchi et réfracté après avoir calculé les angles de réflexion et de réfraction.

22.8 A L'indice relatif d'un milieu 1 par rapport à un milieu 2 est égal à 2.
Déterminer l'angle de réfraction limite.

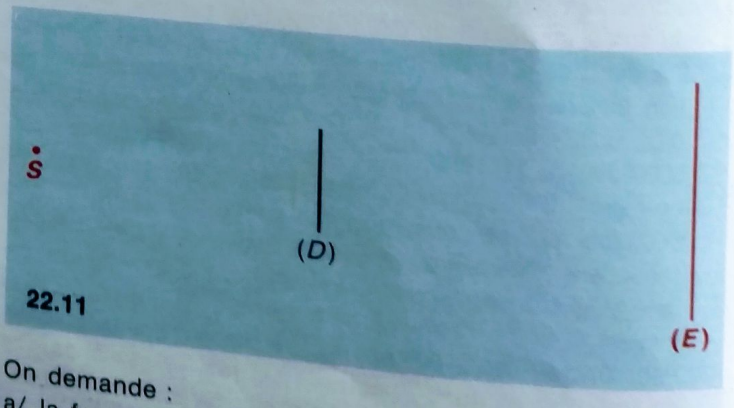
Fréquence, longueur d'onde et indice

22.9 A Une lumière monochromatique de longueur d'onde dans le vide 650 nm arrive dans du sulfure de carbone d'indice $n = 1{,}63$.
Calculer, dans ce nouveau milieu, la célérité de la lumière, la fréquence et la longueur d'onde de cette radiation lumineuse.

22.10 C Une onde lumineuse a une longueur d'onde de 413 nm dans un milieu transparent d'indice 1,50. Quelle est sa longueur d'onde dans un milieu d'indice 1,33? Quelle est la fréquence de cette radiation?

Propagation rectiligne

22.11 A Un disque opaque (D) de 1 cm de diamètre est placé à 1 m d'une source ponctuelle S. On place un écran (E) à 2 m du disque.

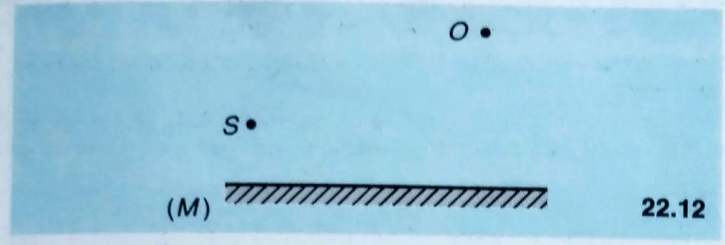


22.11

On demande :
a/ la forme de l'ombre portée sur l'écran;
b/ la dimension de cette ombre;
c/ l'angle au sommet du cône d'ombre.

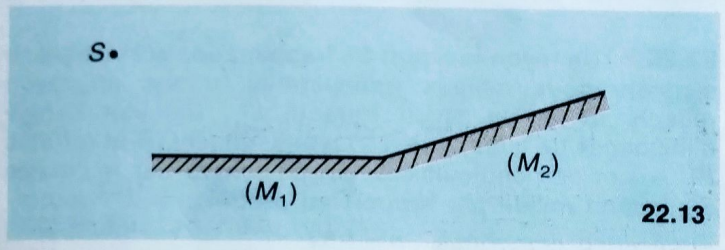
Réflexion

22.12 **A** Reproduire le schéma et tracer la marche du rayon lumineux issu du point S, qui se réfléchit sur le miroir plan (M) et passe par le point O.



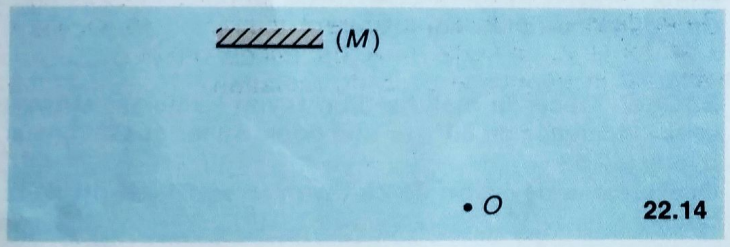
22.12

22.13 **A** Une partie de la lumière issue du point lumineux S se réfléchit sur les miroirs plans (M_1) et (M_2). Représenter les faisceaux incident et réfléchi après avoir reproduit le schéma.



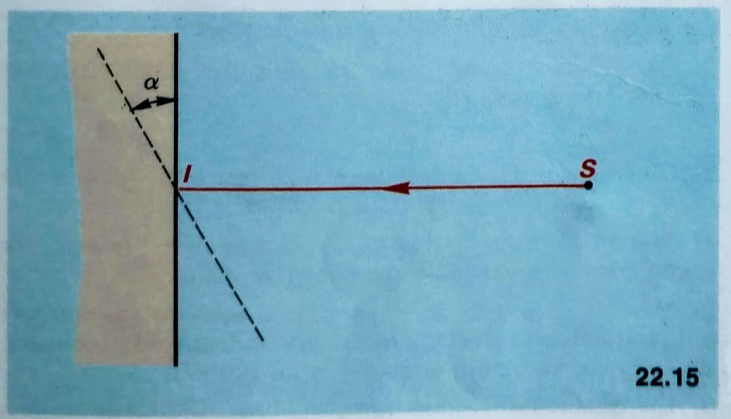
22.13

22.14 **C** Reproduire le schéma. Représenter la région de l'espace vue, dans le miroir plan (M), par un observateur placé en O.



22.14

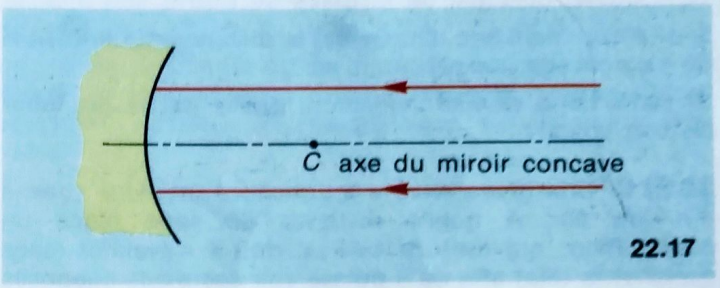
22.15 **C** Un rayon lumineux arrive normalement à la surface d'un miroir plan. Celui-ci tourne d'un angle α comme l'indique la figure.
De quel angle tourne le rayon réfléchi?



22.15

22.16 **C** Un rayon lumineux quelconque se réfléchit successivement sur deux miroirs plans qui font entre eux un angle de 90°. Ce rayon est situé dans un plan perpendiculaire à l'intersection des miroirs.
Montrer que le rayon, réfléchi deux fois, est parallèle au rayon incident et de sens contraire.

22.17 **C** Soit un miroir sphérique concave de 60 cm de rayon et de centre C. Un faisceau de rayons parallèles à l'axe arrive sur le miroir.



22.17

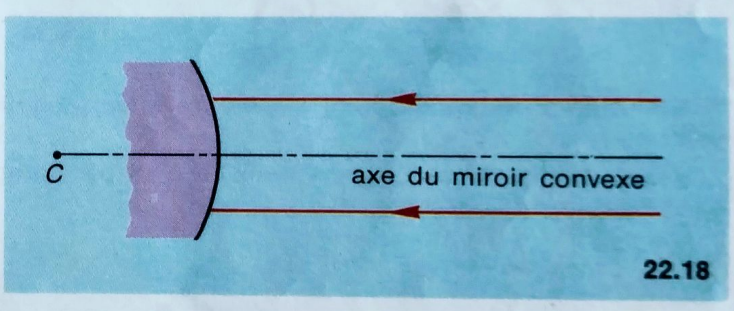
1/ Tracer différents rayons réfléchis correspondant à des angles d'incidence inférieurs à 15° (dessin à l'échelle 1/10).

2/ Constater que tous les rayons réfléchis vont converger en un point F dont on donnera la position.

3/ Quelle est, dans les conditions précédentes, l'image d'un point à l'infini?

4/ Tracer un rayon lumineux d'incidence 60°. Le rayon réfléchi passe-t-il par F?
Conclure.

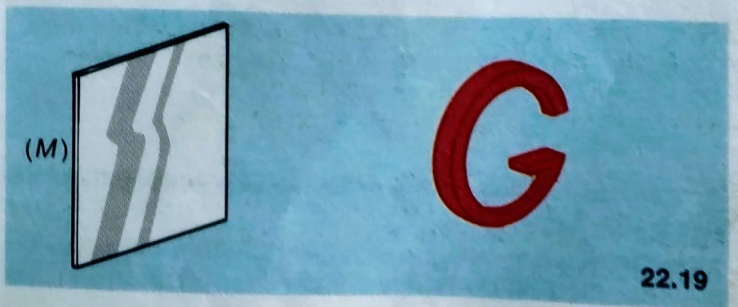
22.18 **C** Reprendre les mêmes questions que celles de l'execice précédent mais avec un miroir sphérique convexe de 60 cm de rayon.



22.18

Image dans un miroir

22.19 **A** Reproduire le schéma et dessiner l'image de la lettre G donnée par le miroir (M).



22.19

EXERCICES

22.20 A Alice observe son image dans un miroir plan vertical. Elle s'éloigne de 0,5 m du miroir. Par rapport à Alice, quel est le déplacement de l'image et dans quel sens?

22.21 A Un personnage est à 1 m d'une armoire à glace.

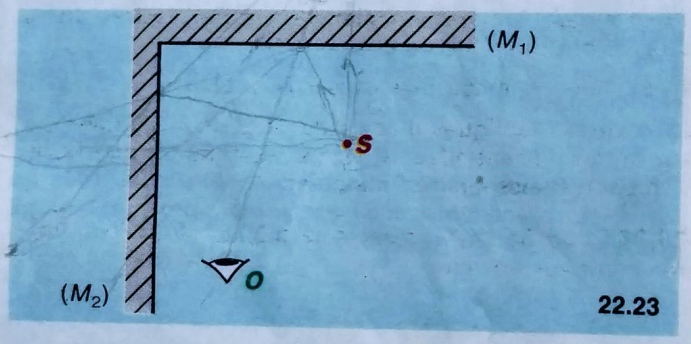
1/ A quelle distance de la glace se trouve son image?

2/ Il recule de 0,5 m. Quelle est la distance qui le sépare de sa nouvelle image?

3/ Dans cette dernière position, quelle est la grandeur de son image?

22.22 C Une glace murale a son bord inférieur situé à 1 m du sol. A quelle distance de cette glace un observateur, qui mesure 1,80 m, doit-il s'avancer (sans pencher la tête) afin qu'il puisse voir ses pieds supposés à la verticale des yeux?
Commenter.

22.23 C La lumière issue d'un point lumineux S se réfléchit à la surface de deux miroirs perpendiculaires selon le schéma suivant.



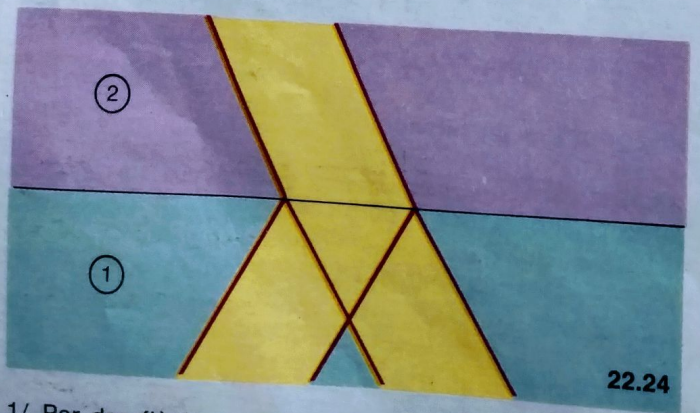
22.23

1/ Combien d'images du point S un observateur peut-il voir?

2/ Tracer la marche des rayons issus de S et pénétrant dans l'œil O de l'observateur.

Réflexion et réfraction

22.24 A Un faisceau incident passe d'un milieu (1) vers un milieu (2). L'un des milieux est du sulfure de carbone, d'indice 1,63, et l'autre est de l'eau, d'indice 1,33.

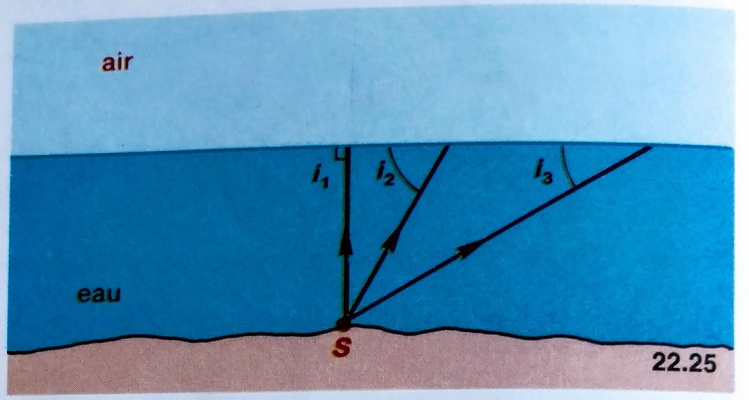


22.24

1/ Par des flèches, indiquer le sens de propagation des faisceaux lumineux.

2/ Indiquer sans calcul quelle est la nature du milieu (2). Calculer l'indice du milieu (2) par rapport au milieu (1).

22.25 A Posé au fond d'un bassin rempli d'eau, un objet ponctuel éclairé S diffuse de la lumière vers la surface. Trois rayons sont représentés, faisant avec la surface des angles $i_1 = 90°$, $i_2 = 60°$ et $i_3 = 30°$. L'indice de l'eau est $n = 1{,}33$.
Qu'advient-il de ces rayons? Préciser l'inclinaison par rapport à la surface des rayons réfléchis ou réfractés.



22.25

22.26 B Un rayon incident SI, frappant une surface plane séparant deux milieux transparents, donne un rayon réfléchi IR et un rayon réfracté IR'. Calculer l'angle d'incidence de façon que les rayons réfléchi IR et réfracté IR' soient perpendiculaires. On désignera par n l'indice du second milieu par rapport au premier.

Application numérique : $n = 1{,}52$.

22.27 B Un rayon lumineux se propageant dans l'air frappe la surface libre horizontale d'un liquide. Ce rayon fait un angle de 56° avec le plan horizontal. La déviation entre le rayon incident et le rayon réfracté est de 13,5°. Calculer l'indice du liquide.

22.28 C Tracer la marche d'un rayon lumineux arrivant sous l'incidence de 60° sur une boule sphérique de cristal d'indice 1,52.
Quelle est la déviation de ce rayon lorsqu'il ressort de la boule?

22.29 C Un faisceau lumineux parallèle arrive sur l'une des faces d'une lame à faces parallèles en verre d'indice 1,52, sous un angle d'incidence de 30°. L'épaisseur de cette lame est de 3 cm.

1/ Tracer la marche d'un rayon lumineux.
On négligera le phénomène de réflexion.

2/ Caractériser le faisceau transmis (on déterminera la translation observée).

22.30 C Un point lumineux A_1 se trouve au fond d'une cuve remplie d'eau, d'indice $n = 1{,}33$.

1/ Tracer la marche d'un rayon lumineux faisant un angle i avec la verticale passant par A_1.

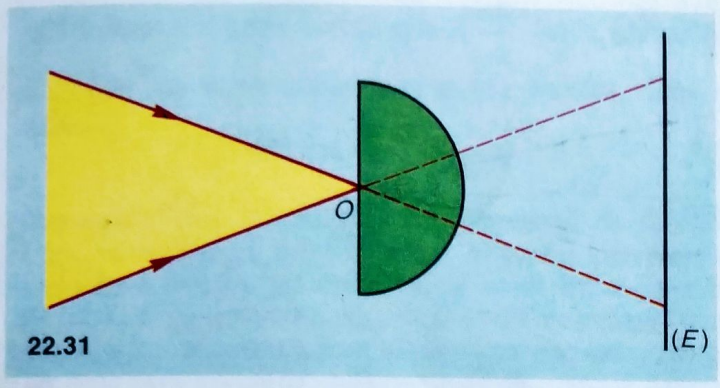
2/ Montrer que tous les rayons, peu inclinés par rapport à la verticale et réfractés dans l'air se trouvant au-dessus de la cuve, semblent provenir d'un point A_2.

3/ Un observateur situé hors de l'eau peut-il affirmer :
— qu'il faut viser sous le poisson pour le harponner?
— qu'une piscine semble toujours moins profonde qu'elle n'est en réalité?

4/ Un poisson est à 1 m de profondeur. A quelle distance de la surface aperçoit-on ce poisson?

EXERCICES

22.31 C Un faisceau lumineux conique, monochromatique, converge en un point O. Il donne sur un écran (E), situé à 0,5 m en arrière de O, une tache lumineuse de 18,2 cm de rayon. On interpose une demi-boule d'indice n comme l'indique la figure, le point O coïncidant avec le centre de la face plane. On constate que la tache sur l'écran n'a plus qu'un rayon de 12,05 cm.



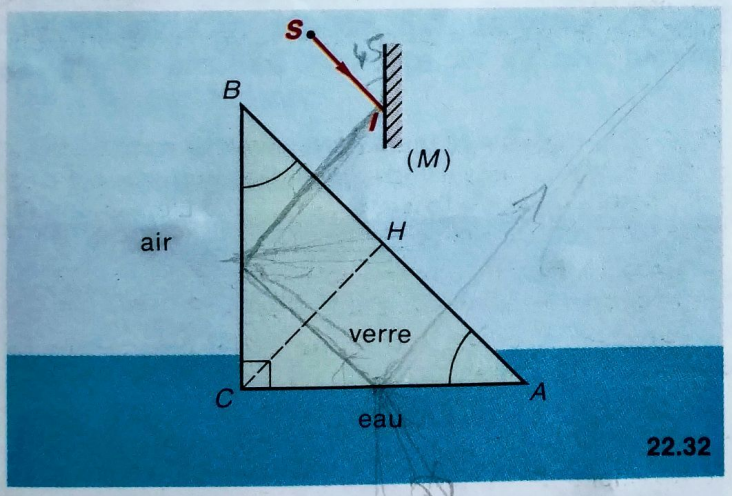
22.31

1/ Calculer l'indice n.

2/ Quel serait le rayon de la tache si tout le système était plongé dans l'eau d'indice $n = 1{,}33$?

Réflexion totale

22.32 C Un prisme de verre, dont la section droite ABC est un triangle rectangle isocèle, reçoit sur la face AB un rayon lumineux cheminant dans le plan ABC (voir figure). Le rayon SI est parallèle à AB, et le miroir M fait un angle de 45° avec ce rayon. Les faces AB et BC sont dans l'air, la face AC dans l'eau.



22.32

On demande de tracer la marche du rayon lumineux incident SI et de calculer l'angle entre le rayon SI et le rayon émergent dans l'eau.

Données : indice du verre, $n = 1{,}50$; indice de l'eau, $n' = 1{,}33$.

22.33 A Quelle est la variation brusque de la déviation d'un rayon lumineux au moment du passage de la réfraction limite à la réflexion totale? Calculer cette variation pour les réfractions eau-air, verre-air et verre-eau.

Données : $n_{eau} = 1{,}33$; $n_{verre} = 1{,}50$.

22.34 A On considère un prisme de verre ($n = 1{,}50$) dont la section principale est un triangle rectangle isocèle. Tracer la marche d'un rayon lumineux tombant, sous incidence normale, successivement sur chacune des faces.

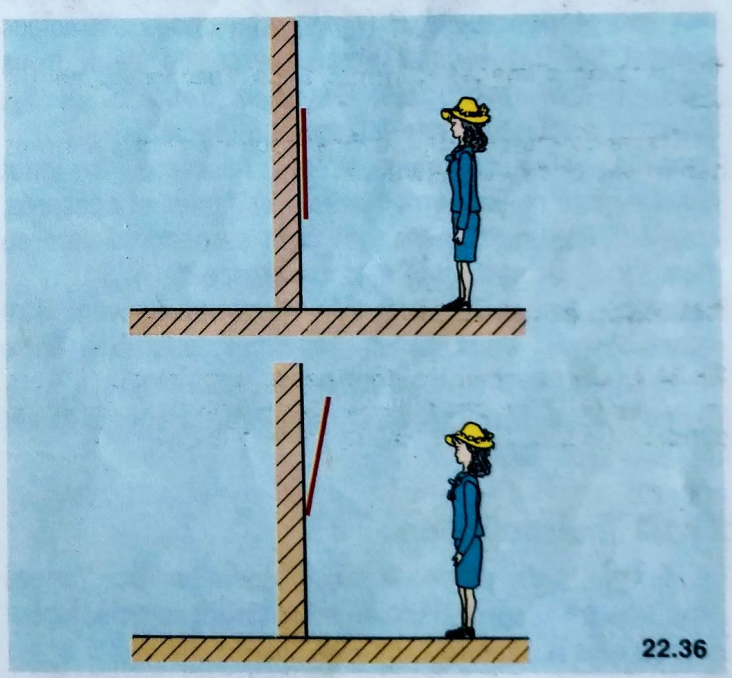
Exercices d'analyse

22.35 C Jules Renard cite le mot de Rivarol sur Lauragais : « Ses idées ressemblent à des carreaux de vitres entassés dans le panier d'un vitrier, claires une à une, et obscures toutes ensemble. »

1/ Expliquer l'image utilisée par Rivarol.

2/ n vitres identiques d'épaisseur e posées les unes sur les autres offrent-elles la même visibilité qu'une seule « vitre » d'épaisseur $n.e$? Justifier.

22.36 C La figure représente le même miroir fixé différemment sur un mur.


22.36

1/ Le personnage se voit-il entièrement, des pieds au chapeau, dans les deux cas?

2/ Le personnage recule et se trouve deux fois plus loin du mur. Voit-il encore ses yeux?