

PHYSIQUE BASIC

EDITION 2015



1^{ère} S

EDITIONS CLAIRAFRIQUE

TABLE DES MATIERES

Comment travailler en 8 points.
Comment rédiger vos devoirs

Chiffres significatifs
Unités du système International
Finalités et objectifs de l'enseignement de la Physique

PREMIERE PARTIE


ENERGIE ET CHAMPS



Parties	Chapitres	Pages
PREMIERE PARTIE	C1 – TRAVAIL ET PUISSANCE...	14
	C2 – TRAVAIL D'UNE FORCE APPLIQUEE A UN SOLIDE EN ROTATION	30
	• DOCUMENT : Mouvements fondamentaux	45
	• EXPLOITATION DE DOCUMENT : Mouvements circulaires	47
	C3 - ENERGIE CINETIQUE	48
	• DOCUMENT: Les plus rapides	59
	• EXPLOITATION DE DOCUMENT : Chute libre	65
	C4 – ENERGIE MECANIQUE	66
	• DOCUMENT : Exemples de systèmes conservatifs	80
	• TP : Pendule élastique	82
	C5 – CALORIMETRIE	84
• DOCUMENT : Echelles de température	102	
• TP : Calorimétrie	103	
C6 - CHANGEMENT D'ETATS	104	
• DOCUMENT : Quelques mots sur l'air liquide, l'oxygène liquide	115	
• DOCUMENT : Machines frigorifiques	116	
• TP : Chaleur de fusion de la glace	117	
C7 – CHAMP ELECTROSTATIQUE	118	
C8 - TRAVAIL DES FORCES ELECTROSTATIQUES - DIFFERENCE DE POTENTIEL	132	
• DOCUMENT : Hommage à Benjamin Franklin	146	
• DOCUMENT: «Coups de foudre»..	147	
C9 -ENERGIE ELECTRIQUE	148	
• TP : Caractéristique d'un électrolyseur	166	
C10 – CONDENSATEUR	168	
• TP : Capacité d'un condensateur	185	
• TP : Utilisation d'un oscilloscope; charge d'un condensateur	186	
C11 – L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL	188	
• DOCUMENT : le voltmètre électronique	204	

DOSSIER ENERGIE

Quelques mots sur l'énergie	210
Le pétrole dans la vie de tous les jours	212
La puissance des pays du golf	214
Les sources d'énergie	216
Le saviez-vous ?	220
La TEPCO	221
Voiture à hydrogène	221
L'énergie des grands fonds	221
Ne pas confondre diesel, fioul et gazole	221
Transformateur	222
L'avion solaire	222
Les biocarburants	223
Se nourrir ou conduire	224
Les agro-carburants sont-ils nocifs ?	225
Production mondiale d'agro-carburants	225
Les agro-carburants et l'effet de serre	225
Le barrage de Manantali	226
L'électricité à gogo grâce au soleil	227
La naissance du courant électrique	229

Parties	Chapitres	Pages
DEUXIEME PARTIE PHENOMENES PERIODIQUES 	C12 – PHENOMENES PERIODIQUES...	232
	Des phénomènes périodiques bien particuliers	245
	C13 – PROPAGATION D'UN SIGNAL	246
	C14 - ONDES PROGRESSIVES	264
	C15 – INTERFERENCES MECANIQUES	280
	EXPLOITATION DE DOCUMENT: Phénomènes d'interférences	291

DOSSIER : ONDES

Fréquences et origines des ondes électromagnétiques	296
Découverte des ondes électromagnétiques	297
L'abolition des distances	298
Toutes les ondes ne suivent pas le même chemin	300
Histoire de la Télévision	302
Le téléphone mobile, comment ça marche	303
Le saviez-vous ?	304
Portable indésirable	304
Faut-il jeter les portables	305
Les 10 principes de précautions	306
Satellites de télécommunications	307
50 ans d'ordinateur	308
Internet, c'est quoi ?	310
Internet, petit dictionnaire	311
Timothy Berners-Lee	312

Parties	Chapitres	Pages
TROISIEME PARTIE  OPTIQUE	C16 – DISPERSION DE LA LUMIERE <ul style="list-style-type: none"> DOCUMENT : La lumière à travers les siècles DOCUMENT : Théorie de l'arc-en-ciel DOCUMENT : Le test d'ISHIHARA... DOCUMENT : L'algèbre des couleurs DOCUMENT : Unité d'éclairement... DOCUMENT : Les fausses couleurs 	314 324 325 328 329 329
	C17 - GENERALITES SUR LES LENTILLES TP : Etude qualitative des lentilles	330 339
	C18 – LENTILLES CONVERGENTES <ul style="list-style-type: none"> TP : Formule de conjugaison Focométrie 	340 356 357
	C19 – LENTILLES DIVERGENTES <ul style="list-style-type: none"> TP : Lentilles divergentes 	358 367
	C20– INSTRUMENTS D'OPTIQUE <ul style="list-style-type: none"> DOCUMENT : Le télescope Quelques mots sur le microscope 	368 388 390

DOSSIER : L'OEIL ET LA VISION

Quelques mots sur l'œil	395
Macula	395
Accommodation	396
Le cerveau et l'œil	396
Principaux défauts de l'œil	397
Maladies des yeux	398
Préservez la santé de vos yeux	399
Vos yeux et votre cerveau vous trahissent-ils des fois ?	400
Les questions de Toto	402
Ishihara	403
Vue de loin , vue de près	404

ANNEXE

Grandeurs astronomiques	406
Objet de la Physique : mesure de grandeurs	407
Unités du système international	408
Multiplés et sous-multiplés	408
Autres unités d'énergie	408
Unités hors système international : autres unités, anciennes unités, unités utilisées dans les pays anglo-saxons	409
Constantes physiques	410
Symboles électriques	411

Le mot français « énergie » vient du latin vulgaire *energia*, lui-même issu du grec ancien *ἐνέργεια* / *enérgeia*. Ce terme grec originel signifie « force en action », par opposition à *δύναμις* / *dýnamis* signifiant « force en puissance ».

Première partie

ENERGIE ET CHAMPS



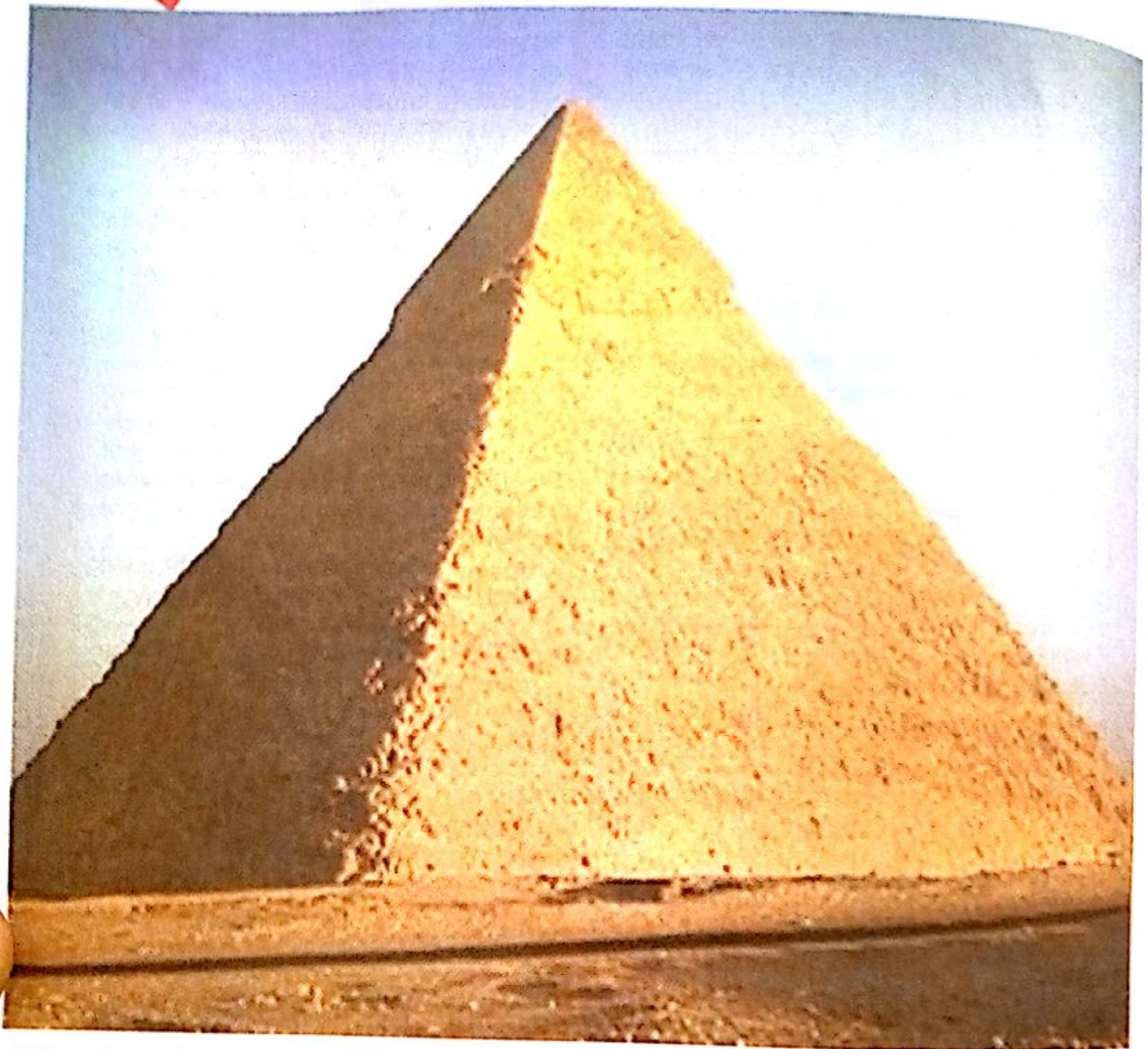
Sans le soleil, l'eau de mer ne s'évaporerait pas. Il n'y aurait donc pas de pluie.
Sans le soleil, il n'y aurait pas de vent (le vent est dû à un déplacement de grandes masses d'air à des températures et pressions différentes).
Sans le soleil, il n'y aurait ni végétaux (pas de synthèse chlorophyllienne), ni animaux (qui se nourrissent eux-mêmes de végétaux).
Sans le soleil, il n'y aurait ni charbon, ni pétrole

Bref, toute forme de vie sur terre dépend étroitement de la quantité d'énergie que le soleil nous envoie. Tout est suspendu à ses rayons; les microbes, les arbres, les poissons, les récoltes, les climats, nos radiocommunications...La liste est infinie.

Des recherches scientifiques assez récentes ont montré que la lumière solaire stimulait le cerveau et la production d'hormones , ce qui incite à rester éveillé et dynamique .



TRAVAIL ET PUISSANCE



L'idée de se faire enterrer dans une pyramide revient à Djeser, premier pharaon de la III^e dynastie (2685–2615 av. J. C) et à son architecte de génie Imhotep. Aujourd'hui il reste encore en Egypte environ 80 pyramides. Celle de Chéops est la plus haute de toutes. Elle a été construite au XXVII^e siècle avant Jésus Christ à Gizeh (dans la proche banlieue de la ville actuelle du Caire). Elle mesurait à l'origine 146,6 m de haut (137 m aujourd'hui) et 230,5 m de côté. Jusqu'au XIX^e siècle, elle est restée l'édifice le plus élevé du monde.

Pour construire cette pyramide, il a fallu mobiliser des milliers d'ouvriers pour déplacer, tailler, polir et superposer 2 300 000 blocs de pierre. Ce travail colossal a duré 20 ans.

La construction des pyramides destinées à devenir les demeures éternelles des pharaons rois-dieux a nécessité certainement beaucoup d'ingéniosité, des efforts surhumains de la part des ouvriers et des pertes immenses en vies humaines.

EXERCICES

1

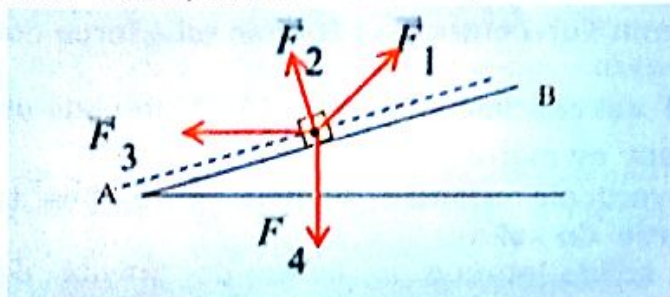
Répondre par vrai ou faux.

- 1) Le travail d'une force est une grandeur vectorielle.
- 2) Le travail d'une force est un scalaire.
- 3) Le travail d'une force est une grandeur algébrique.
- 4) Une force parallèle au déplacement ne travaille pas.
- 5) Une force perpendiculaire au déplacement ne travaille pas.
- 6) Le travail du poids est toujours moteur.
- 7) Le travail du poids peut être résistant.
- 8) Le travail des forces de frottement est toujours résistant.
- 9) L'unité internationale du travail est le kW.h.

2

Un solide de masse m supposé ponctuel est déplacé sur un plan incliné suivant la ligne de plus grande pente de A à B (voir croquis). Il est soumis durant ce déplacement aux forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , et \vec{F}_4 .

Préciser parmi ces forces celle(s) qui effectue(nt) un travail moteur, un travail résistant, un travail nul.



\vec{F}_2 est perpendiculaire à AB.

3

Le point d'application G d'une force \vec{F} est déplacé dans un repère orthonormé $(0, \vec{i}, \vec{j})$.

On donne $\vec{F} = 6\vec{i}$. F est exprimé en newton.

G est déplacé successivement de A à B, puis de B à C, enfin de C à D.

On donne $\vec{OA} = 2\vec{i} + 4\vec{j}$; $\vec{OB} = -3\vec{i} + 4\vec{j}$;

$\vec{OC} = -2\vec{i} + 8\vec{j}$; $\vec{OD} = -4\vec{j}$

Les coordonnées des points sont en cm. Calculer le travail effectué par la force sur chaque déplacement.

4

n briques homogènes de masse m reposent sur un sol horizontal par une des grandes faces. La hauteur des briques est h . Le travail minimal fourni par un ouvrier pour les superposer est W . Encadrer la réponse juste parmi les suivantes.

$W = nmgh$; $W = (n-1)mgh$; $W = (n+1)mgh$;

$W = 0$; $W = mgh(2+3+4+\dots+n)$

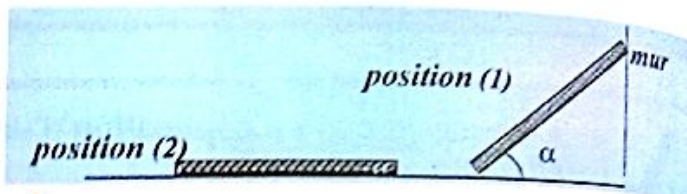
5

Une poutre cylindrique de longueur ℓ , de masse m

repose par une extrémité sur un mur vertical. Le diamètre de la poutre est négligeable devant sa longueur. La poutre fait initialement un angle α avec le sol (position 1). On fait passer la poutre de cette position à la position horizontale au sol (position 2). Le travail effectué par le poids de cette poutre pendant ce déplacement est W . Cocher la réponse juste.

$$W = mg\ell; \quad W = \frac{1}{2} mg\ell \cos \alpha; \quad W = \frac{1}{2} mg\ell \sin \alpha$$

$$W = -\frac{1}{2} mg\ell \tan \alpha$$



6

Un chariot de masse $m = 150$ kg remonte une route inclinée AB suivant la ligne de plus grande pente. L'inclinaison du plan est $\alpha = 8,0^\circ$. Le chariot est tiré par un câble qui fait avec le plan incliné un angle $\beta = 20^\circ$. Le déplacement se fait avec une vitesse constante $V = 6$ km/h.

1) Calculer la tension F du câble.

2) Calculer la puissance de cette tension.

On suppose Négligeable Les forces de frottement et la résistance

de l'air. On donne $g = 10$ N/kg

7

Un escalier mécanique transporte 20 personnes de l'altitude 0 à l'altitude 5,0 m en 12s. Chaque personne a une masse moyenne de 65 kg. Calculer la puissance minimale que doit développer le moteur de l'escalier.

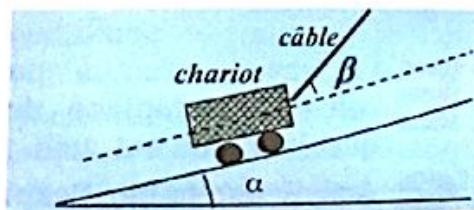
On ne tient pas compte des forces de frottement.

8

Un pont élévateur de garage soulève de $h = 2,0$ m une voiture d'une tonne en 20 s. Calculer la puissance moyenne développée par le moteur sachant que seulement 80% de cette puissance sert à soulever la voiture. Calculer le travail fourni par le moteur pendant cette opération.

9

Un ouvrier pousse une caisse de masse $M = 120$ kg sur un parquet horizontal. Le mouvement de la caisse est rectiligne uniforme de vitesse $V = 0,50$ m/s. Le coefficient de frottement k entre la caisse et le parquet est de 0,20.

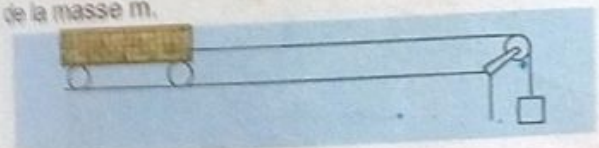


Le coefficient de frottement est défini par $k = \frac{T}{N}$.

\vec{f} et \vec{A} sont les composantes tangentielle et normale de la réaction \vec{R} du parquet sur la caisse.

- 1) Calculer l'intensité de la force \vec{F} exercée par l'ouvrier sur la caisse. On suppose que cette force est horizontale parallèle au déplacement.
- 2) Calculer la puissance développée par l'ouvrier. On donne $k = 0,20 \text{ SI}$.

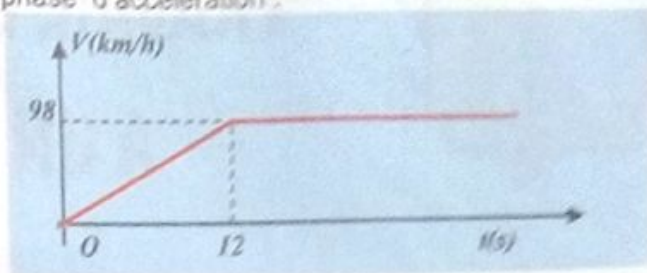
- 10**
- Une automobile de masse $M = 1,2$ tonne remonte une côte de pente 8% à la vitesse constante $V = 20 \text{ km/h}$. Le moteur développe une puissance constante $\mathcal{P} = 30 \text{ kW}$. Les différentes forces résistantes sont équivalentes à une force unique \vec{f} parallèle au vecteur vitesse mais de sens opposé. On donne $f = 260 \text{ N}$.
- Calculer pour une montée de durée 5 min le travail effectué par le moteur (c'est-à-dire par la force développée par le moteur),
 - le travail du poids, et le travail de la force \vec{f} .
- 11**
- Un chariot de masse M est entraîné à vitesse constante $V = 0,50 \text{ m/s}$ sur une table horizontale par un contrepoids de masse $m = 1,0 \text{ kg}$. Le contact entre le chariot et la table a lieu avec des frottements équivalents à une force unique \vec{f} en sens contraire du déplacement.
- 1) Représenter sur un croquis très clair les forces qui s'exercent sur les 2 solides.
 - 2) Calculer la puissance développée par le poids de la masse m .



- 12**
- Une voiture de masse $M = 1,20$ tonne tracte une caravane de masse $M' = 500 \text{ kg}$ à la vitesse constante $V = 72 \text{ km/h}$ dans une montée rectiligne de pente 8%. Les forces de frottement équivalent à une force unique en sens contraire du déplacement
- d'intensité $f = 100 \text{ N}$ pour la voiture
 - d'intensité $f' = 200 \text{ N}$ sur la caravane.
- 1) Représenter les forces qui s'exercent sur le système. La force développée par la voiture est équivalente à une force unique \vec{F} de même sens que le vecteur vitesse.
 - 2) Calculer l'intensité de la force \vec{F} , et l'intensité de la force de tension du câble qui relie la voiture et la caravane.
 - 3) Calculer la puissance développée par la voiture.

- 13**
- Une voiture démarre sur une route horizontale et atteint au bout de 12 s la vitesse de 98 km/h. La vitesse a varié avec le temps pendant ces 12 s

suivant la loi ci-dessous. La force motrice est équivalente à une force unique de même sens que le déplacement et d'intensité $F = 2500 \text{ N}$ pendant la phase d'accélération.



- 1) Exprimer la loi de variation de la vitesse en fonction du temps t .
- 2) Exprimer en fonction de t la puissance développée par le moteur pendant la phase d'accélération, - Calculer la puissance développée par le moteur pendant la phase de croisière sachant que la force développée par le moteur pendant cette phase est seulement de 400 N.
- 3) Représenter la courbe qui traduit les variations de la puissance \mathcal{P} en fonction du temps t . En déduire le travail effectué par le moteur pendant la phase d'accélération.

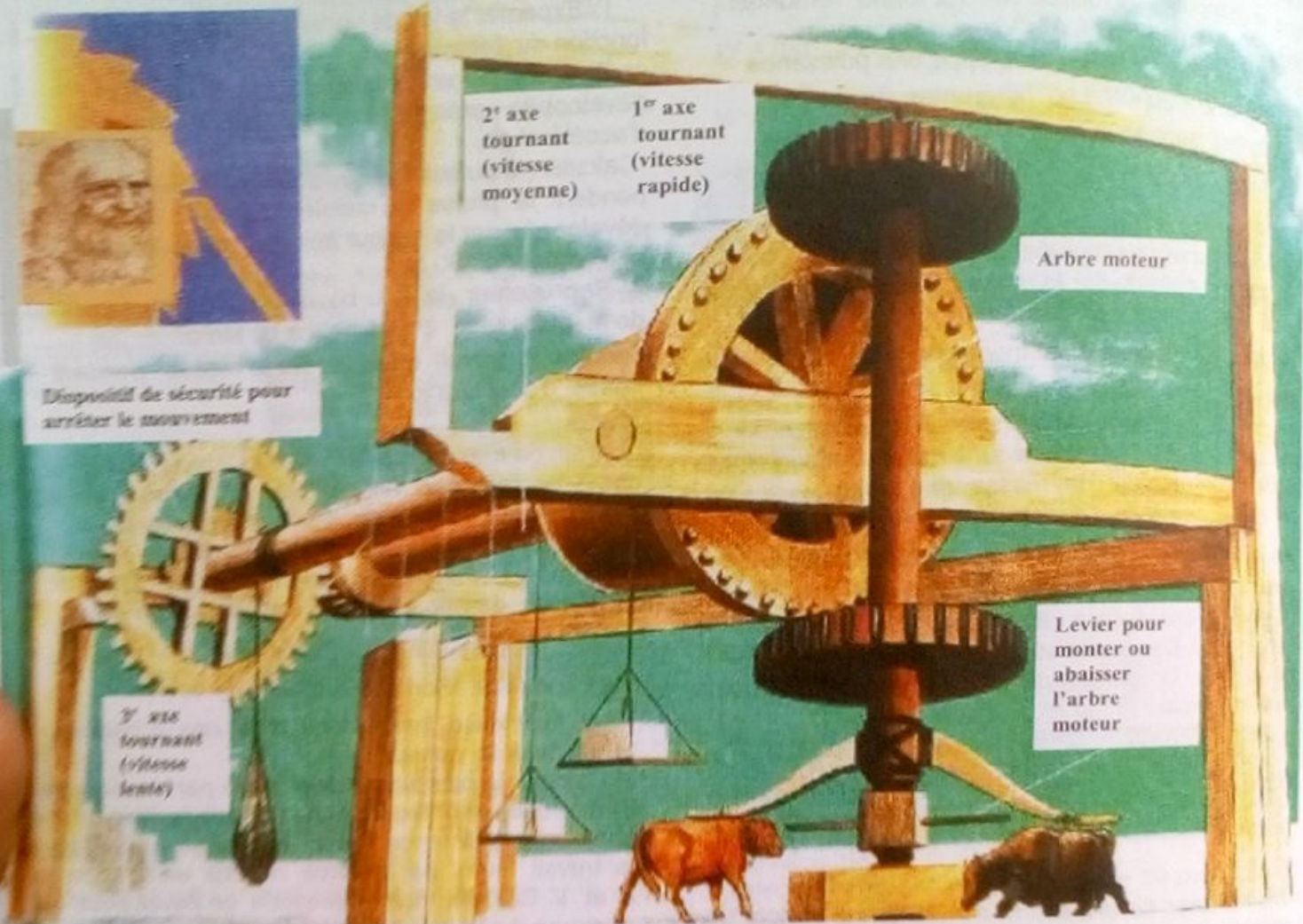
- 14**
- Un train de masse totale $m = 1000$ tonnes roule sur une voie rectiligne horizontale à la vitesse $V = 40 \text{ m/s}$. Sur une rampe de pente 1% la vitesse devient 25 m/s, les moteurs développant la même puissance. Les forces résistantes (frottements et résistance de l'air) sont équivalentes à une force unique \vec{f} parallèle au vecteur vitesse \vec{V} et de sens contraire. Son intensité est $f = kV^2$ V est la vitesse instantanée, k est une constante.
- 1) Calculer la constante k .
 - 2) Calculer la puissance développée par les moteurs.
 - 3) Sur une voie rectiligne horizontale le train parcourt une distance d avec la vitesse V . Exprimer le travail fourni par la force motrice en fonction de d et V . Calculer numériquement ce travail pour un parcours $d = 1 \text{ km}$ dans les deux cas suivants - 1^{er} cas : $V = 120 \text{ km/h}$; 2^e cas : $V = 180 \text{ km/h}$

- 15**
- Une voiture est animée d'un mouvement rectiligne sur une route horizontale; La force motrice \vec{F} est de la forme $F = kV^2 + F_0$. \vec{F} et \vec{V} ont même direction et même sens. V est la vitesse de la voiture. k et F_0 sont des constantes. Les puissances développées par le moteur pour des vitesses de 10 et 20 m/s sont respectivement 8000 et 25000 W.
- 1) Calculez la puissance développée par le moteur lorsque la voiture roule à 30 m/s.
 - 2) Comparez les travaux développés par le moteur sur un parcours de 100 km effectué avec la vitesse constante de 20 m/s d'une part et d'autre part avec la vitesse constante de 30 m/s.
 - 3) En admettant que la consommation de carburant est proportionnelle au travail développé par le moteur, comparez ces consommations sur les parcours de 100 km définis précédemment.

2

TRAVAIL D'UNE FORCE APPLIQUEE A UN SOLIDE EN ROTATION

Le mégatreuil à trois vitesses



Connaissez-vous le « méga-treuil à 3 vitesses » de Léonard de Vinci ?

Léonard de Vinci (Leonardo di Ser Piero da Vinci) né à Vinci le 15 avril 1452 et mort à Amboise le 2 mai 1519, est un peintre florentin, qui fut un homme d'esprit universel, à la fois artiste, scientifique, ingénieur, inventeur, anatomiste, peintre, sculpteur, architecte, urbaniste, botaniste, musicien, poète, philosophe et écrivain.

Comme ingénieur et inventeur, Léonard développe des idées très en avance sur son temps.

Passionné de Mécanique, il a laissé dans ses nombreux carnets des dessins, des études très fouillées sur le vol des oiseaux, l'hélicoptère, le char de combat, le sous-marin, la bicyclette et l'automobile par exemple. Plutôt que de s'adonner à des spéculations théoriques, il préférait analyser par des dessins et des croquis tout ce qui concerne les mouvements aussi bien des animaux ou de l'homme, que des machines. Imaginatif et ingénieux, inventant ou perfectionnant les mécanismes, il fit de la mécanique une science appliquée pour tout ce qui concerne les mouvements.

EXERCICES

Une roue tourne autour d'un axe vertical (Δ) passant par son centre. L'axe est perpendiculaire au plan de la roue. Elle est soumise à 3 forces \vec{F}_1 , \vec{F}_2 et \vec{F}_3 appliquées respectivement en A, B et C (voir croquis).

On donne : $F_1 = F_2 = F_3 = 10 \text{ N}$; rayon de la roue $R = 20 \text{ cm}$.

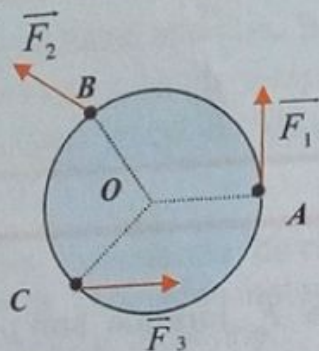
$(\vec{OA}, \vec{F}_1) = 90^\circ$;

$(\vec{OB}, \vec{F}_2) = 30^\circ$;

$(\vec{OC}, \vec{F}_3) = 150^\circ$

Calculer le travail effectué par chacune de ces forces pour une rotation de la roue de 10 tours.

NB : les moments des différentes forces restent constants pendant la rotation.



2

Un moteur porte les indications suivantes :

- Moment du couple moteur : 140 Nm,

- Vitesse de rotation : 4800 tours / min.

Calculer la puissance du moteur.

Calculer le travail accompli par le moteur en 15 min.

3

Une tige AB de longueur ℓ , de masse m est mobile autour d'un axe (Δ) horizontal passant par A.

On applique en B une force \vec{F} perpendiculaire à AB. La tige tourne alors lentement jusqu'à la position horizontale (La force reste perpendiculaire à la tige durant tout le déplacement.).

1) Le travail accompli par \vec{F} lors de cette rotation est

a) $F\ell$ b) $F\ell\pi$

c) $\frac{F\ell}{2}$ d) $\frac{F\ell\pi}{2}$

Encadrer l'expression exacte.

2) Le travail effectué pendant cette rotation par le poids de la tige est :

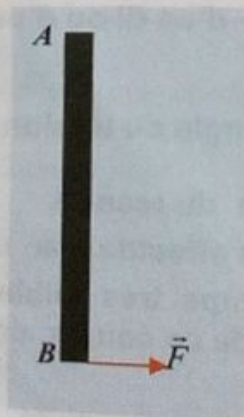
a) $2mg\ell$ b) $mg\ell$

c) $-2mg\ell$ d) $-\frac{mg\ell}{2}$

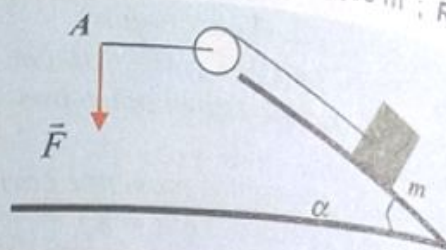
Encadrer l'expression exacte.

4

Un treuil est constitué d'une poulie de rayon R solidaire d'une manivelle OA de longueur ℓ . Une force \vec{F} d'intensité constante s'exerçant



perpendiculairement en A à OA permet de faire monter une charge m sur un plan incliné. On donne $\alpha = 30^\circ$; $m = 50 \text{ kg}$; $\ell = 0,50 \text{ m}$; $R = 10 \text{ cm}$



- Calculer F sachant que la masse m remonte le plan incliné avec une vitesse constante.
- Calculer le travail de cette force au bout de 20 tours de manivelle. Quelle est pendant ce temps la distance d parcourue par la masse m ?

5

On dispose d'une montre réveil dont le ressort moteur est un ressort spiral de constante de raideur $C = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ Nm/rad}$.

1)-Exprimer les travaux développés quand on remonte le réveil

- pendant le premier tour,
- pendant le deuxième tour,
- pendant le troisième tour
- pendant le $n^{\text{ème}}$ tour

2)-Montrer que ces travaux sont en progression arithmétique. Donner l'expression de la raison r de cette progression.

6

Un couple de forces (\vec{F}, \vec{F}') est appliqué à la barre d'un pendule de torsion. Le fil de torsion n'est pas initialement tordu. A l'équilibre l'angle de torsion est $\alpha = 40^\circ$. On donne : $F = F' = 0,25 \text{ N}$. La distance entre les droites d'action des 2 forces $d = 20 \text{ cm}$

1)-Calculer la constante de torsion du fil.

2)-Quel est le travail du couple de torsion quand l'angle de torsion du pendule passe de 20° à 45° ?

7

On fait l'étude expérimentale d'un pendule de torsion. Pour diverses valeurs du moment \mathcal{M} du couple moteur appliqué, on donne les valeurs des angles de torsion.

\mathcal{M} (10^{-2} Nm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
α (rad)	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

1) Tracer le graphe $\mathcal{M} = f(\alpha)$

En déduire la constante de torsion du fil.
2)-On fait varier lentement l'angle de torsion de 22° à 32° , on demande le travail du couple moteur et le travail du couple de rappel.



ÉNERGIE CINÉTIQUE



Qu'est-ce qu'un avion supersonique

Le 14 Octobre 1947, un pilote américain du nom de Chuck Yeager brise le mur du son à bord de son avion X-1.

Le mur de son est l'ensemble des phénomènes aérodynamiques (ondes de choc et turbulence) que rencontre un objet se déplaçant dans l'air à une vitesse proche de celle du son.

Le nombre Mach (du nom du physicien allemand Ernest Mach) exprime la vitesse d'un véhicule par rapport à celle de l'air.

Au sol, à 0°C celle-ci est de 340 m/s soit 1224 km/h. A l'altitude où évoluent les avions de ligne (vers 10.000 m, la température y est de l'ordre de -50°C) le mur du son se situe à 1050 km/h.

Le 27 mars 2004, le X-43A, un prototype de la NASA franchit dans le ciel de Californie la vitesse de 7 700 km/h soit Mach 7. On ne parle plus alors d'avion supersonique mais d'avion hypersonique.

Un tel avion vous permet de faire le tour de la terre en moins de 330 minutes.

Pourquoi un avion en passant le « mur du son » fait-il « bang » ?

EXERCICES

COMMENT APPLIQUER LE THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE.

- Bien choisir et préciser le système à étudier. - Préciser le référentiel d'étude.
- Préciser l'état initial (date, vitesse, énergie cinétique) et l'état final (date, vitesse, énergie cinétique).
- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système.
- Exprimer le travail de chacune des forces entre les dates considérées.
- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique.

1 VRAI OU FAUX ?

- a) -L'énergie cinétique d'un point matériel de masse m à un instant où sa vitesse est \vec{V} est un vecteur de même direction et de même sens que \vec{V} .
- b) -L'énergie cinétique d'un projectile tiré verticalement vers le haut est négative.
- c) -L'énergie cinétique d'un solide mobile autour d'un axe (Δ) passant par son centre de gravité est nulle.
- d) -L'énergie cinétique ne dépend pas du référentiel.
- e) -Le moment d'inertie d'un disque plein homogène de masse M et de rayon R par rapport à son axe de révolution est $\frac{1}{2} MR^2$.

2

Un solide de masse M est animé d'un mouvement de translation de vitesse V . Son énergie cinétique est de 1000 joules.

Quelle serait la nouvelle valeur de cette énergie

- a) si la vitesse du solide était réduite de moitié ?
- b) si la vitesse du solide devenait 4 fois plus importante ?
- c) si la masse du solide devenait 4 fois plus grande ?
- d) si la masse du solide devenait 4 fois plus grande et sa vitesse 2 fois plus faible ?

3

Une masse m animée d'un mouvement de translation de vitesse V à une énergie cinétique égale à 700 joules.

L'énergie cinétique d'une masse m' animée d'un mouvement de translation de vitesse V' telles que

$$m' = 2m \text{ et } V' = \frac{V}{2} \text{ est : a) 700 J b) 350 J}$$

c) 1400 J d) 2100 J e) $700\sqrt{2}$ J ; $\frac{700}{\sqrt{2}}$ J

Cocher la valeur exacte.

4

On démontre qu'une masse m lancée verticalement du sol avec une vitesse de 11,4 km/s ne retombe pas sur terre. (Cette vitesse est appelée vitesse de libération de la terre). Calculer l'énergie cinétique d'un solide de masse 1 kg en translation à la vitesse de 11,4 km/s.

Comparer cette énergie à celle d'un train de 325 tonnes lancé à 72 km/h.

5

a) Un disque homogène de masse $m = 50$ g de rayon $R = 20$ cm tourne autour d'un axe fixe (Δ) passant par son centre.

L'axe (Δ) est perpendiculaire au plan du disque. Calculer le moment d'inertie du disque par rapport à l'axe (Δ) . Calculer l'énergie cinétique du disque lorsqu'il tourne à la vitesse de 5 tours/s.

6

b) Une bille homogène de masse $m = 20$ g de rayon R roule sans glisser sur un plan horizontal. La vitesse du centre d'inertie de la bille est $V = 50$ cm/s. Calculer l'énergie cinétique de la bille.

7

1) - Un solide de masse m est lâché sans vitesse d'une altitude $h = 20$ m par rapport au sol. Calculer sa vitesse à l'arrivée au sol.

2) - Un solide de masse m supposé ponctuel est lancé du sol verticalement vers le haut avec une vitesse $V = 30$ m/s. Trouver l'altitude maximale atteinte. **On négligera la résistance de l'air.**

8

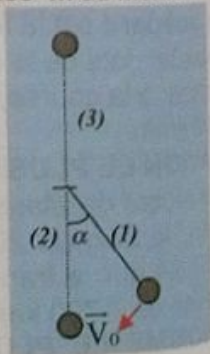
Une masse m supposée ponctuelle est fixée à l'extrémité d'un fil AB de longueur $\ell = 1,0$ m. Le pendule ainsi constitué est écarté de sa position d'équilibre d'un angle α , le fil restant tendu. On lance alors la masse m vers le bas avec une vitesse V_0 , le vecteur vitesse \vec{V}_0 étant perpendiculaire au fil (voir croquis).

a) Calculer la vitesse de la masse m au moment où le fil fait avec la verticale :

- un angle de 30°
- un angle de 0°

Donnés : $V_0 = 2,0$ m/s ; $\alpha = 60^\circ$

b) Le fil peut-il remonter jusqu'à la verticale (position 3) ? Si oui, quelle est alors la vitesse de la masse m au moment où le fil passe par cette position ?



9

Un ascenseur et sa charge ont un poids total $P = 5000$ N. Au démarrage la tension du câble qui le fait monter est $T = 5500$ N. Calculer la vitesse acquise par l'ascenseur au bout de 2,00 m de parcours. **On suppose la tension constante.**

10

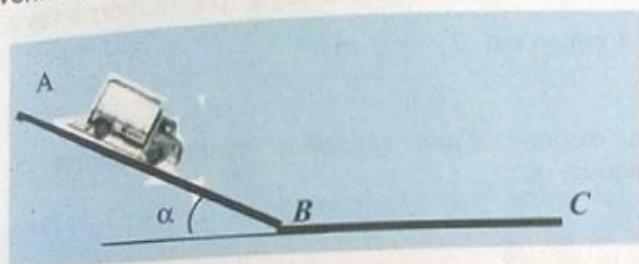
Un véhicule de masse $m = 1000$ kg est lâché sans vitesse d'un point A d'une route AB inclinée

de pente 1%. Le moteur est arrêté, les freins desserrés. Il arrive en B au bas de la pente avec une vitesse V_A . On donne $AB = 100$ m.

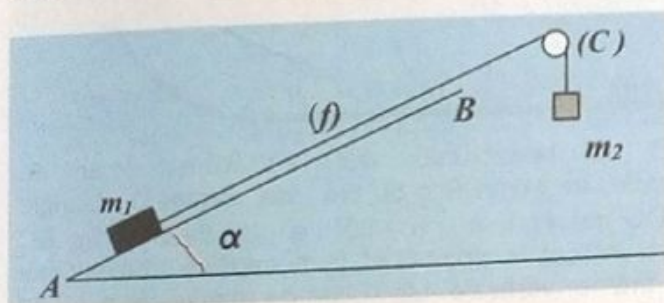
1) On néglige les forces de frottement et la résistance de l'air. Quelle serait la vitesse du véhicule au passage en B ?

2) Les forces résistantes ne sont pas en réalité nulles. La résistance de l'air et les forces de frottement chaussée-pneus sont équivalentes à une force unique \vec{f} en sens contraire du vecteur vitesse. La vitesse du véhicule au passage en B est en réalité égale à 2,5 m/s. Calculer f .

3) Quelle distance le véhicule peut-il parcourir sur le tronçon horizontal BC avant de s'immobiliser, les forces résistantes sur BC ont même intensité que sur AB ? On admettra que le mouvement du véhicule est un mouvement de translation.



11 On considère le dispositif ci-dessous :



Les deux masses m_1 et m_2 sont identiques $m_1 = m_2 = 1,0$ kg

- AB est un plan incliné ($\alpha = 30^\circ$).
- (C) est une poulie de masse négligeable.
- (f) est un fil inextensible de masse négligeable.

Les forces de frottement entre le plan incliné et la masse m_1 sont équivalentes à une force unique \vec{f} en sens contraire du déplacement.

Le système est abandonné sans vitesse, la masse m_2 se trouvant à une hauteur $h = 80$ cm du sol.

- 1) Calculer la vitesse de la masse m_2 au moment où elle arrive au sol.
- 2) Quelle est la distance parcourue par la masse m_1 avant de s'immobiliser sur le plan AB et de faire demi-tour ? On donne $f = 2$ N.

12 Une masse m peut glisser sans frottement sur un plan incliné AB. La longueur du plan AB est la même dans les deux expériences, la masse est lâchée chaque fois sans vitesse en A.

Première expérience

L'inclinaison du plan AB est $\alpha_1 = 60^\circ$. La vitesse de la masse au passage en B est V_1 .

Deuxième expérience

L'inclinaison du plan AB est $\alpha_2 = 30^\circ$. La vitesse de m au passage en B est V_2 . Quelle est la seule relation exacte parmi les relations suivantes ?

- a) $V_1 = 2V_2$ b) $V_1^2 = 2V_2^2$ c) $V_1^2 = \sqrt{3} V_2^2$
 d) $V_1 = \sqrt{2} \cdot V_2$

13

Au cours d'une série de tests, on a mesuré la distance de freinage d d'une voiture lancée initialement à une vitesse V sur une route horizontale. Durant le freinage, nous supposons que la voiture est soumise uniquement à une force \vec{f} supposée constante en sens contraire du déplacement. Cette force est la même pendant les différents tests. Les tests donnent les résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

V (m/s)	5	8	10	12	15	18
d (m)	2,5	6,4	10	14,4	22,5	32,4
V^2 (m ² /s ²)						

- 1) Compléter le tableau. Tracer la courbe qui traduit les variations de V^2 en fonction de d
- 2) En déduire l'intensité de la force f sachant que la masse de la voiture est de 800 kg.

14

Un cycliste et sa machine ont une masse $M = 72$ kg

- 1) Le cycliste roule sur une route horizontale à la vitesse constante de 24 km/h.

Les frottements chaussée-pneus et la résistance de l'air sont équivalents à une force unique \vec{f} ($f = 15$ N) de même direction que le vecteur vitesse. Trouver la puissance développée par le cycliste.

- 2) Le cycliste remonte une route inclinée de pente 3% avec la même vitesse de 24 km/h.

Les forces résistantes ont la même intensité que précédemment. Trouver l'intensité de la force F' développée par le cycliste.

Trouver la puissance de cette force.

Le mouvement de l'ensemble est assimilé à un mouvement de translation.

15

Un disque (D) de masse M et de rayon R peut tourner autour de son axe de révolution (Δ). Il est initialement immobile. On lui applique à la date 0 un couple moteur de moment \mathcal{M} .

Au bout de 10 tours, il acquiert la vitesse 15 tours/s. Le moment d'inertie du disque par rapport à son axe de révolution est $J_\Delta = 0,02$ kg.m². Calculer \mathcal{M} sachant que les frottements sont négligeables.

16

Sur un treuil (C) assimilable à un cylindre plein homogène de masse M et de rayon R est enroulé un fil inextensible de masse négligeable. Le fil porte une masse m . On donne : $m = 10$ kg ; $M = 2$ kg ; $R = 10$ cm.

- 1) Calculer le moment d'inertie du treuil par rapport à son axe de révolution
- 2) Le système est lâché sans vitesse initiale. Calculer après un parcours de $h = 2,0$ m de la masse :
 - la vitesse acquise par cette masse ;
 - la vitesse angulaire du treuil ;
 - le nombre de tours effectués par le treuil.



17

Un appareil de levage comporte un treuil d'axe horizontal (Δ). Le moment d'inertie du treuil par rapport à son axe de révolution est $J_{\Delta} = 4,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Un câble est enroulé sur le cylindre (C) d'axe (Δ) faisant partie du treuil. Le rayon du cylindre est $r = 0,10$ m. A l'extrémité du câble est suspendue une charge de masse $m = 100$ kg.

1) Le moteur du treuil est arrêté.

Le système est lâché sans vitesse. Calculer la vitesse prise par la charge après une chute de $h = 5,0$ m.

2) La descente de la charge m est stoppée, le moteur du treuil est mis en marche.

La charge remonte avec une vitesse constante V .

- a) Calculer le moment du couple exercé par le moteur.
- b) La montée se fait en 30 s à la vitesse constante de 3 tours/s.
 - Calculer le travail du couple moteur
 - Calculer sa puissance.

18

Un volant de masse $m = 1960$ kg tourne autour de son axe de révolution (Δ) à raison de $N = 1200$ tours/min. Il est assimilable à un cylindre homogène plein de rayon $R = 50$ cm.

- 1) Calculer le moment d'inertie J_{Δ} du volant par rapport à l'axe (Δ).
- 2) Quelle est la variation de la vitesse angulaire du volant (en tours par minute) lorsque le volant perd 1/100 de son énergie cinétique ?
- 3) Pour freiner le volant on lui applique une force \vec{F} en un point A situé à $d = 40$ cm de l'axe (Δ) et tangente au cercle passant par A et centré sur l'axe (Δ). Au bout de combien de tours le volant va-t-il s'immobiliser ?

19

Un wagonnet de masse M est monté sur 4 roues de masse m et de rayon r chacune. Il est lâché sans vitesse sur un plan incliné de α par rapport au plan horizontal. Le moment d'inertie d'une roue

par rapport à son axe de révolution est $J_{\Delta} = \frac{mr^2}{2}$

1) Donner l'expression de l'énergie cinétique de l'ensemble lorsque la vitesse du centre d'inertie est V .

2) Quelle doit être la valeur du rapport $\frac{M}{m}$ pour que l'énergie cinétique de M soit 10 fois plus grande que celle des 4 roues réunies.

- 3) On donne $\alpha = 30^\circ$. Calculer la vitesse du centre d'inertie de l'ensemble après un parcours de $d = 2$ m. On donne $M = 10 \cdot m = 400$ g.

20

Une règle homogène AB de longueur $l = 1$ m, de masse $m = 200$ g peut tourner librement autour d'un axe (Δ) horizontal passant par l'extrémité A. On l'écarte de sa position d'équilibre de 90° puis on l'abandonne sans vitesse.

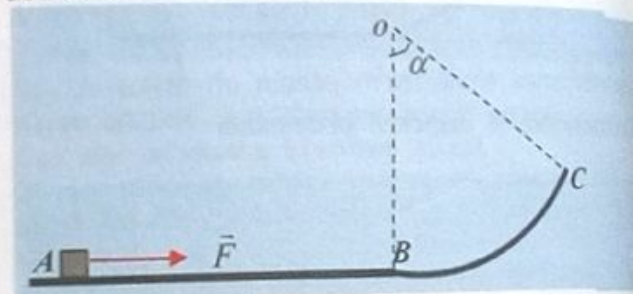
1) Calculer la vitesse angulaire de la règle au moment où elle passe pour la première fois par sa position d'équilibre en supposant les frottements négligeables.

2) Cette vitesse est en réalité égale à 4,1 rad/s. Calculer le moment des forces résistantes qui sont appliquées à la règle. (Ce moment est supposé constant).

Le moment d'inertie de la règle par rapport à l'axe de rotation est $J_{\Delta} = \frac{1}{3} m l^2$.

21

On dispose d'une gouttière ayant la forme ci-dessous.



AB est horizontale: $AB = 2$ m. BC est un arc de cercle de rayon $R = 50$ cm, de centre O. L'angle BOC est égal à $\alpha = 60^\circ$. Le plan de la partie BC est vertical, le point O et le point B se trouvent sur la même verticale. Un solide de masse $m = 2,0$ kg est posé en A. Une force \vec{F} est appliquée au solide de A à B puis supprimée. \vec{F} a même direction et même sens que \overrightarrow{AB} .

- 1) Donner l'expression de la vitesse V_B acquise par le solide au passage en B.
- 2) Donner l'expression de la vitesse du solide au passage en C.
- 3) Quelles valeurs doit-on donner à l'intensité de la force \vec{F} pour que le solide n'atteigne pas le point C ?

22

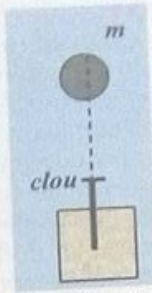
Un solide de masse $m = 200$ g est lâché sans vitesse à la verticale d'un clou C planté verticalement dans une planche. Le solide initialement à une hauteur h du clou arrive sur celui-ci avec une vitesse V et rebondit avec une

vitesse $V' = \frac{V}{3}$. On donne $h = 2,0$ mètres.

- 1) Calculer V puis V' .
- 2) L'énergie cinétique perdue par le solide au cours du choc est communiquée intégralement au clou. Après ce choc, le clou s'enfonce de

$l = 0,80 \text{ cm}$.

La force de résistance \vec{f} que la planche oppose à l'enfoncement du clou est supposée verticale constante. Calculer f si on suppose que le poids du clou est négligeable devant f .



23 Une petite bille très dure est lâchée sans vitesse d'une hauteur h au-dessus du plancher. Elle arrive sur le plancher avec une vitesse V_0 . Elle rebondit avec une vitesse verticale V_1 telle que $V_1 = e \cdot V_0$.

Elle remonte alors d'une hauteur h_1 , retombe au plancher et rebondit avec une vitesse V_2 telle que $V_2 = e \cdot V_1$. Elle remonte d'une hauteur h_2 , retombe au plancher et rebondit avec une vitesse V_3 telle que $V_3 = e \cdot V_2$... et ainsi de suite. e est appelé coefficient de restitution.

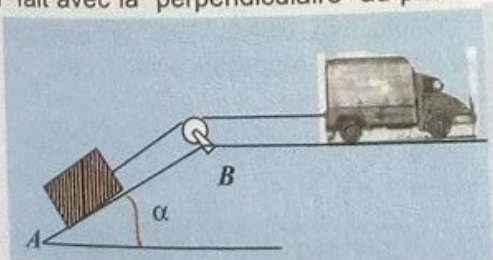
- 1) Exprimer $h_1, h_2, h_3, h_4, \dots, h_n$ en fonction de h et e .
- 2) Trouver e sachant que $h_{10} = \frac{h}{100}$

24 Une automobile de masse $M = 1$ tonne développe une puissance constante $P = 30 \text{ kW}$ pour maintenir une vitesse constante de 108 km/h sur une route horizontale.

- Calculer l'intensité de la force f due aux frottements et à la résistance de l'air qui s'exercent sur la voiture.
- Cette force est supposée avoir la même direction que le vecteur vitesse.
- Calculer la vitesse limite que cette voiture peut atteindre en remontant une route de pente de 4% si les forces résistantes dues à l'air et aux frottements gardent la même intensité.

25 Un camion de masse $M = 2$ tonnes remonte une charge de masse $m = 5$ tonnes par l'intermédiaire d'un câble de masse négligeable passant sur la gorge d'une poulie de masse négligeable. La charge glisse sur un plan AB incliné de $\alpha = 30^\circ$ par rapport au plan horizontal. (voir croquis). La résistance de l'air est négligeable. La réaction du plan AB sur la charge est équivalente à une force unique \vec{f} qui fait avec la perpendiculaire au plan incliné AB un angle β .

- 1) Le camion se déplace lentement à la vitesse constante



de $2,0 \text{ m/s}$. La force motrice F développée par le moteur a même sens que le vecteur vitesse, sa valeur est $F = 28000 \text{ N}$.

Calculer la tension du câble. Calculer β . Calculer f .

2) Le camion accélère brusquement et fait passer sa vitesse de 2 à 3 m/s sur une distance $d = 5,0 \text{ m}$. Calculer la nouvelle valeur de la force motrice. On suppose que f garde la même valeur que précédemment.

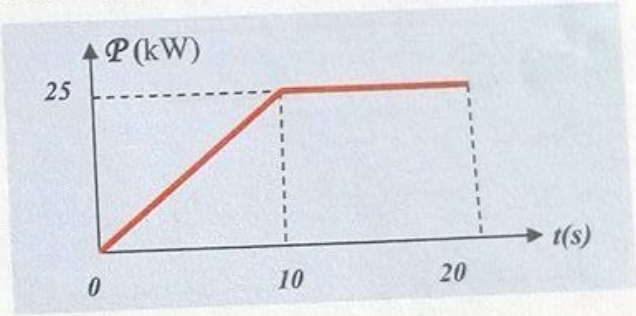
On suppose aussi que la force motrice garde une valeur constante F' durant la phase d'accélération.

Grosse tête



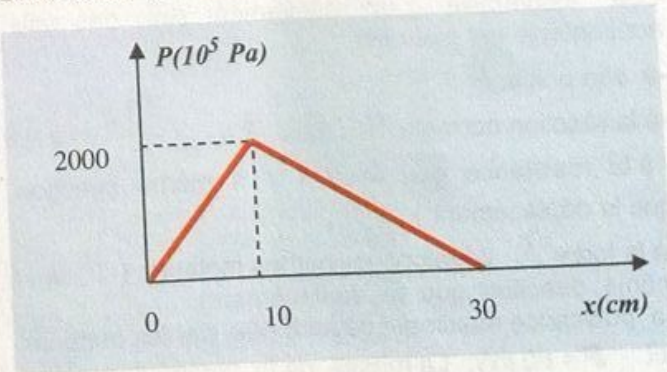
I. Newton

26 Une voiture de masse $m = 1000 \text{ kg}$ se déplace sur une route horizontale. Sa vitesse initiale est nulle. La puissance développée par le moteur varie avec le temps t suivant la loi ci-dessous.



- On néglige toutes les forces résistantes
- quelle est la vitesse de la voiture au bout de 10 s ?
- quelle est la vitesse de la voiture au bout de 20 s ?

27 Une arme à feu tire des balles de masse m supposée constante. On donne $m = 8 \text{ g}$. La vitesse initiale de la balle au fond du canon est nulle. La vitesse à la sortie du canon est V . La section de la balle est circulaire de surface $2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$. La pression P que les gaz exercent sur cette section varie avec la distance x parcourue par la balle dans le canon suivant le graphe ci-dessous.



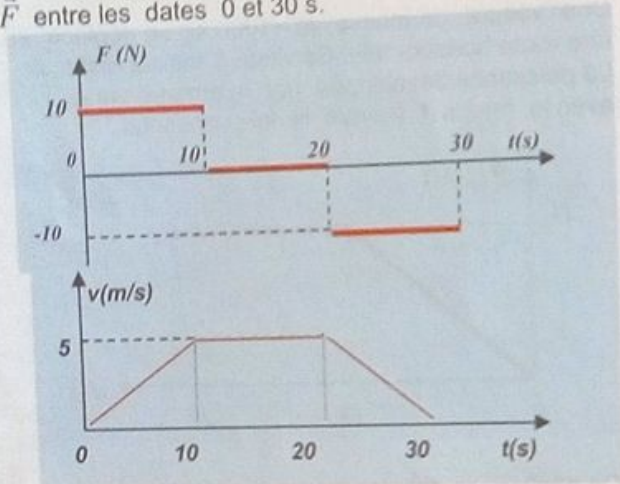
- 1) Représenter la courbe qui donne les variations de la force F due aux gaz et s'exerçant perpendiculairement à la section de l'obus en fonction de x .
 - 2) Calculer V . On néglige le poids de l'obus devant F .
- On néglige la pression atmosphérique.

28

Un mobile est soumis à une force unique \vec{F} .

\vec{F} garde une direction constante. Sa mesure algébrique varie avec le temps t suivant le graphe (1). Sa vitesse varie avec le temps suivant le graphe (2).

- 1) Trouver la distance parcourue par ce mobile
 - entre les dates 0 et 10 s,
 - entre les dates 10 et 20 s,
 - entre les dates 20 et 30 s.
- 2) Calculer le travail effectué par \vec{F}
 - entre les dates 0 et 10 s,
 - entre les dates 10 et 20 s,
 - entre les dates 20 et 30 s.
- 3) Trouver la puissance moyenne développée par \vec{F} entre les dates 0 et 30 s.



29

Une voiture de masse $m = 1500$ kg démarre à la date 0 sans vitesse sur une route rectiligne horizontale et acquiert une vitesse V à la date t , la puissance $P = 12$ kW développée par le moteur demeurant constante.

Etablir la relation qui existe entre la vitesse instantanée V et la date t . Tracer la courbe $V(t)$ pour t compris entre 0 et 25 s

On néglige les frottements et la résistance de l'air

30

Une locomotive en mouvement sur des rails horizontaux est soumise :

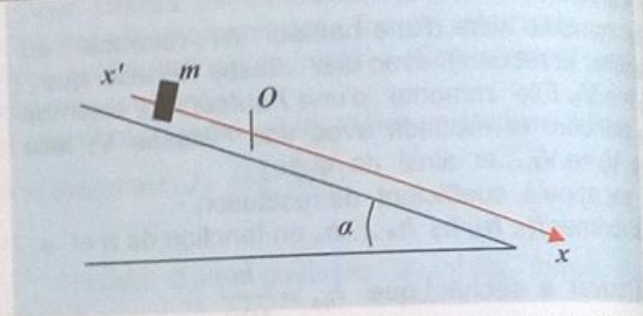
- à son poids \vec{P} ,
- à la réaction normale des rails \vec{R}_N .
- à la résistance de l'air \vec{f} (\vec{f} a même direction que le déplacement)
- à la force \vec{F} développée par les moteurs (\vec{F} a même direction que le déplacement).

La puissance maximale développée par les moteurs est $P = 60$ kW. La masse de la locomotive est $m = 10$ tonnes. \vec{f} varie avec la vitesse instantanée suivant la relation $f = k \cdot V^2$ (k est une constante égale à 30 SI). Calculer la vitesse maximale de la locomotive sur ces rails.

31

Un solide de masse m glisse le long de la ligne de plus grande pente d'une table inclinée d'un angle α par rapport au plan horizontal. Le solide est lâché sans vitesse d'un point origine O. L'enregistrement du mouvement du centre d'inertie du solide a été déclenché à une date quelconque, que l'on prendra comme date 0 origine des temps. Le tableau ci-dessous donne les abscisses du centre d'inertie du solide sur sa trajectoire en fonction du temps.

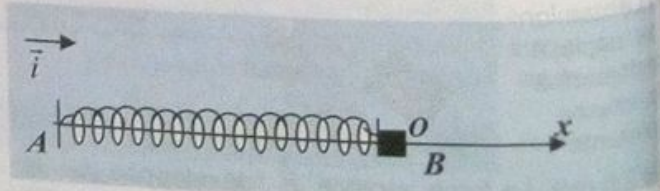
t (s)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
X (cm)	0	7,5	18	31,5	48	67,5	90
V (m/s)							



- 1) Les intervalles de temps qui séparent 2 mesures consécutives sont suffisamment courts pour que l'on puisse confondre les valeurs des vitesses moyennes et instantanées. Calculer les vitesses instantanées du solide aux dates : 0,10s ; 0,20 s ; 0,30 s ; 0,40s et 0,50 s. Tracer le graphe traduisant les variations $V = f(t)$ de la vitesse en fonction du temps. En déduire la vitesse du solide à la date 0.
- 2) Calculer l'intensité des forces de frottement \vec{f} supposées constantes qui s'exercent sur le solide. On suppose que les vecteurs \vec{f} et \vec{V} sont de sens contraires. On donne $m = 200$ g ; $\alpha = 23^\circ$; $g = 10$ SI.
- 3) Calculer la distance parcourue par le solide entre l'instant où il a été lâché et l'instant de date 0.

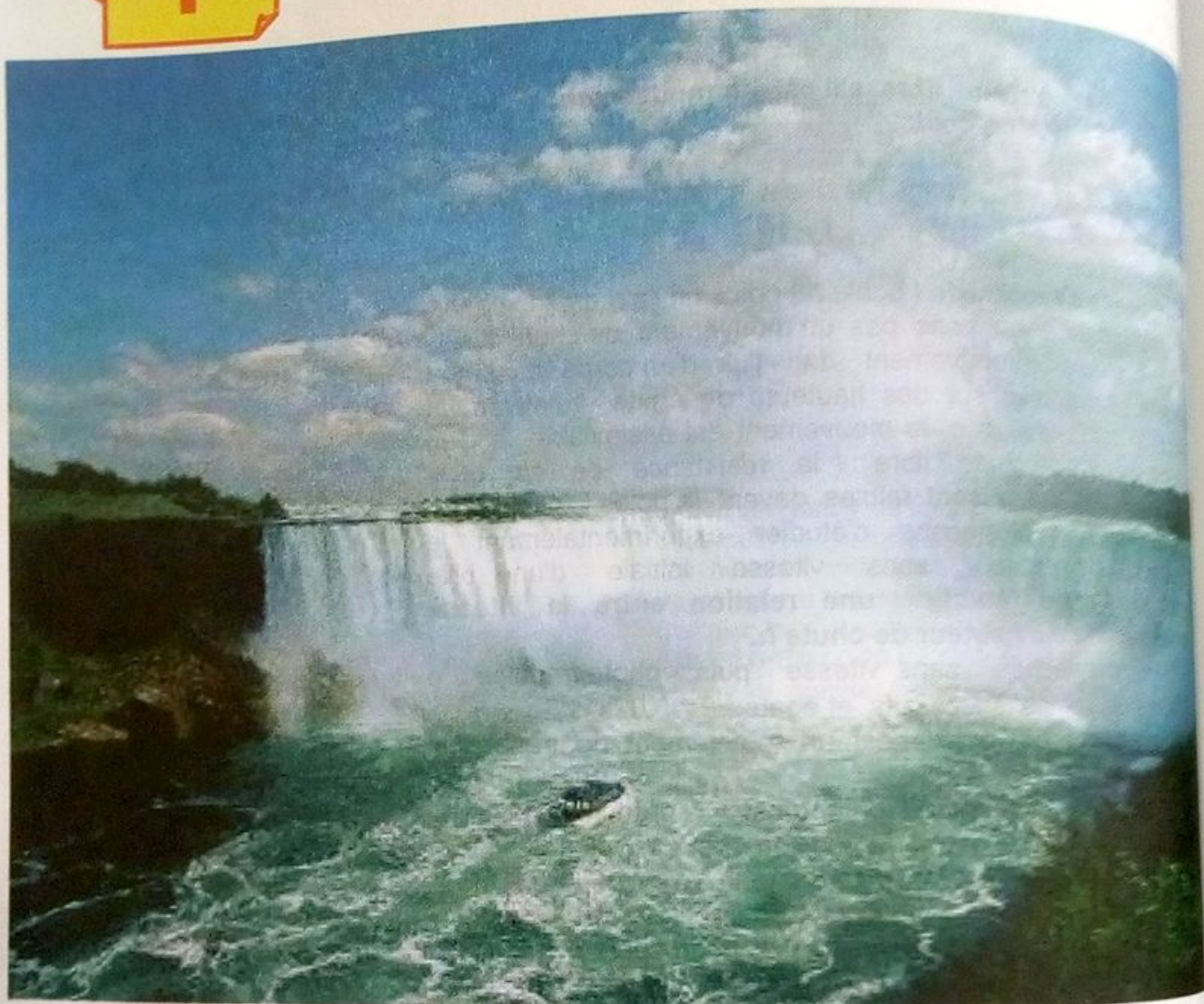
32

Un ressort AB à spires non jointives de masse négligeable, de raideur $k = 10$ N/m est enfilé sur une tige horizontale. L'extrémité A est fixe. On accroche en B un solide de masse $m = 100$ g pouvant coulisser sans frottement sur la tige. A l'équilibre la masse m se trouve au point d'abscisse $x = 0$ sur un axe orienté de A vers B. On écarte la masse de 10 cm dans le sens positif puis on l'abandonne sans vitesse. Calculer sa vitesse lors des passages aux points d'abscisses respectifs 5cm ; 0 cm ; -5cm ; -10cm



4

ENERGIE MECANIQUE



es débuts de la vie et ceux de l'évolution animale et végétale se perdent dans la nuit des temps.

es premiers êtres vivants parfaitement identifiables par leurs fossiles sont apparus dans les eaux.

es eaux océaniques et les eaux marines couvrent 71% de la superficie totale de notre planète (qui aurait dû d'ailleurs s'appeler planète Océan au lieu de planète Terre). La masse d'eau océanique est évaluée à 1400 milliards de km^3 .

cette masse océanique est la grande régulatrice des vents, des températures à la surface du globe. Elle constitue le thermostat de la terre. Sans l'immense surface qu'elle soumet à l'évaporation, l'atmosphère ne serait pas alimentée en nuages, ni le sol de pluies bienfaisantes. Sans les courants marins et les transgressions océaniques chaudes, les climats ne seraient pas ce qu'ils sont sur une partie de la surface de notre planète.

REF, L'EAU C'EST LA VIE.

Le nos jours l'eau c'est aussi **L'ENERGIE**. L'énergie hydroélectrique donne lieu à la construction de gigantesques barrages et lacs de retenues d'où l'eau est amenée ensuite par conduites forcées sur des aubes de turbines géantes.

Potentiel
Norm co
qu'un co

« L'eau
transpo
gravité
Une é
utilisée
produir
d'une c
Ces ca
l'énergi
rivière,
dépend
La co
revanc
d'élect

L'é
représ
de kWh

Canau
en cas
utilise
poten
(SCIE



Tou

Apr
Larou
VIE
poten
stock
utilis
dispo
L
accu
dans
de te
senti



- L'énergie potentielle d'un système est l'énergie qu'il peut libérer en modifiant les positions relatives de ses diverses parties en interaction.
- Par définition, la diminution de l'énergie potentielle d'un système entre deux instants est mesurée par la somme des travaux effectués entre ces deux instants par les forces conservatives qui s'exercent sur le système

$$-\Delta E_p = \sum W_{(\text{forces conservatives})}$$

- L'expression de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide de masse m dans le champ de pesanteur terrestre (supposé uniforme) s'écrit $E_p = mgZ + K$
 Z est la cote du centre d'inertie G du solide sur un axe vertical $Z'Z$ orienté vers le haut.
 K est une constante additive dont la valeur dépend du choix de l'état de référence.

L'état de référence est l'état du système pour lequel son énergie potentielle est nulle : cet état est choisi arbitrairement.

- L'énergie potentielle élastique d'un ressort de raideur k allongé ou comprimé d'une longueur x est $E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2$

L'énergie potentielle élastique d'un ressort spiral (ou d'un fil de torsion) de constante de torsion C , lorsque celui-ci (ou le fil de torsion) subit une torsion d'un angle α est $E_{pe} = \frac{1}{2}C\alpha^2$.

- L'énergie mécanique d'un système est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle $E_m = E_c + E_p$

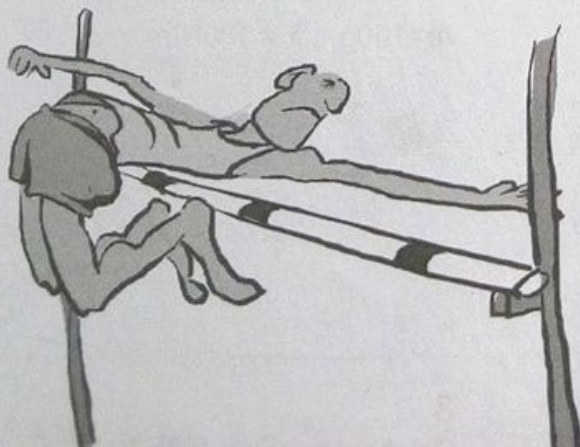
• L'énergie mécanique d'un système isolé à l'intérieur duquel il n'existe pas de forces de frottement se conserve :

$$\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow \Delta E_c = -\Delta E_p$$

Lorsque l'énergie cinétique décroît, l'énergie potentielle croît.
 Lorsque l'énergie cinétique croît, l'énergie potentielle décroît.

- Entre 2 instants la variation de l'énergie mécanique d'un système à l'intérieur duquel il existe des forces de frottement est égale au travail effectué entre ces 2 instants par les forces de frottement.

$$\Delta E_m = W(\vec{f}) < 0$$



Un sauteur en hauteur de masse 60 kg arrive au niveau du sautoir avec une vitesse de 9 m/s. De quelle hauteur pourrait-il s'élever si toute son énergie cinétique était convertie en énergie potentielle de pesanteur ?

EXERCICES

- 1
- Le poids est une force conservative.
 - Les forces de frottement sont des forces conservatives.
 - L'énergie mécanique d'un système qui n'est soumis qu'à des forces conservatives peut diminuer mais ne peut augmenter.
 - Lorsque l'énergie cinétique d'un système décroît, son énergie potentielle croît.
 - L'énergie mécanique d'un système est une grandeur toujours positive.
- Commenter brièvement ces affirmations.

2
Les services de la prévention routière affirment : " Vous roulez à 144 km/h sur une route horizontale. Si par suite d'un choc brutal la vitesse de votre voiture tombait à 0 et si l'énergie cinétique ainsi développée servait à soulever le véhicule, il monterait en l'air de 80 mètres au-dessus de la route". Etes-vous d'accord avec la prévention routière ? Justifiez.

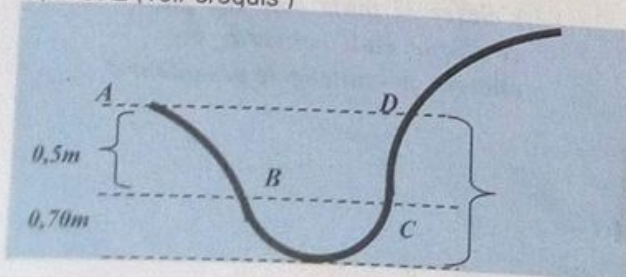
3
Un pot de fleurs de masse $m = 5,0$ kg tombe sans vitesse initiale du haut d'un balcon situé à une hauteur $h = 4,0$ m du sol.

- Calculer au cours de la chute :
 - la variation de l'énergie potentielle de pesanteur du pot,
 - la variation de l'énergie cinétique du pot.
 On néglige les forces de frottement.
- Calculer la vitesse du pot à l'arrivée au sol (On suppose que le mouvement du pot est un mouvement de translation rectiligne).

4
On a noté ci-dessous les énergies cinétique et potentielle d'un système (S) à 2 instants t_1 et t_2 .

- $t_1: E_{c1} = 4250$ J $E_{p1} = 2850$ J
 $t_2: E_{c2} = 5200$ J $E_{p2} = 1850$ J
- Répondez par oui, non ou pas obligatoirement
- Le système est conservatif.
 - Entre t_1 et t_2 le travail des forces non conservatives est moteur.
 - Entre t_1 et t_2 le travail du poids est moteur.
 - Entre t_1 et t_2 le travail des forces non conservatives est nul.

5
On dispose d'une gouttière ABCD dans un plan vertical. Un solide de masse m est lâché en A sans vitesse. Les frottements sont négligeables. Trouver la vitesse du solide lors des passages en C, D et E (voir croquis)

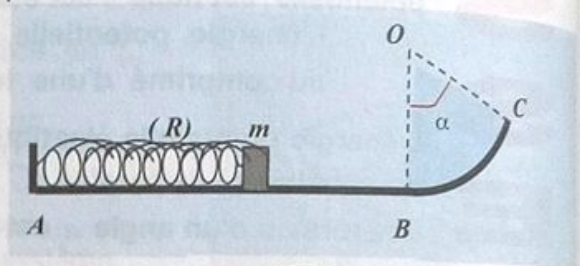


6
Un jouet est constitué d'une gouttière ABC. AB est horizontal, BC est un arc de cercle de centre O et de rayon R.

La gouttière se trouve dans un plan vertical, les points O et B se trouvent sur la même verticale. Un solide de masse m peut être lancé de A par l'intermédiaire d'un ressort de raideur k .

1)-Trouver la diminution minimale de longueur qu'il faut imprimer au ressort pour qu'il puisse envoyer le solide jusqu'en C.
On donne : $m = 100$ g; $R = 0,5$ m; $\alpha = 60^\circ$; $k = 10$ N/m

2)-On imprime maintenant au ressort une diminution de longueur égale à $2l_0$. Trouver la vitesse du solide au passage par le point C.



Grosse tête



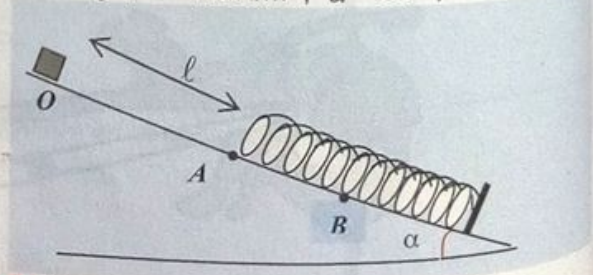
7
Un solide de masse m peut glisser sans frottement sur un plan incliné de α . Il est abandonné sans vitesse initiale. Après un parcours de l , il comprime un ressort de raideur k (voir croquis).

1) Considérant le système (ressort - masse m) dans le champ de pesanteur, dire sans calcul les transformations d'énergie qui se produisent :

- lorsque le solide se déplace de O à A,
- lorsque le solide comprime le ressort de A à B.

3) Trouver la diminution de longueur du ressort au moment où le solide s'immobilise avant de faire demi-tour. On donne

$m = 100$ g ; $k = 100$ N/m ; $\alpha = 30^\circ$; $l = 20$ cm



8
On dispose d'un ressort à spires non jointives de longueur à vide l_0 . Il s'allonge de 2 cm pour une traction de 100N. Il peut travailler en compression et en dilatation le long d'un axe

$x'x$ horizontale
Un solide de masse m est lâché en A sans vitesse initiale.
1) - Donner l'expression de l'énergie potentielle élastique du ressort en fonction de x lorsque le solide est à la position x .
2) On tire le solide de A vers B par la force $F = 10$ cm.

a) Calculer la vitesse du solide au point B. On suppose que l'énergie mécanique est nulle.
b) Donner l'expression de l'énergie cinétique du système au point B en fonction de la masse m .
c) Trouver la vitesse du solide au point B lors de sa chute.

Une bille de masse m est lâchée en A sans vitesse initiale. VA

Le vecteur vitesse v fait un angle α avec l'horizontale. Le vecteur vitesse v est constant.

1) Trouver la vitesse de la bille à l'arrivée au point B.
2) Trouver l'angle α maximal que fait le vecteur vitesse v par la bille au point B.
On donne $\alpha = 60^\circ$; $h = 2,0$ m.

10
Un pendule simple de longueur l inextensible et de masse m négligeable est lâché en A sans vitesse initiale. Il est écarté de 60° par rapport à la verticale. On donne $l = 0,5$ m; $m = 0,1$ kg.

$E_{pp} = 0$

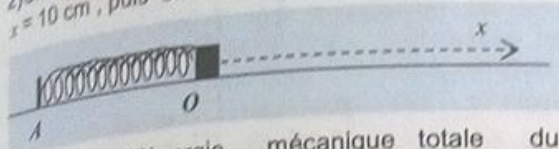
1) - Donner l'expression de l'énergie cinétique du solide au point B en fonction de la masse m et de l'angle α .
2) - Donner l'expression de l'énergie potentielle élastique du ressort en fonction de x lorsque le solide est à la position x .

$x'Ox$ horizontal. L'extrémité A du ressort est fixe. Un solide de masse $m = 500$ g est fixé à l'autre extrémité (voir croquis).

1) - Donner l'expression de l'énergie potentielle élastique du système (ressort - masse m - terre) lorsque la longueur du ressort est $l_0 + x$.

Tracer le graphe donnant les variations de l'énergie potentielle élastique $E_p(x)$ du système lorsque x varie de -10 cm à $+10$ cm.

2) On tire le solide pour l'amener au point d'abscisse $x = 10$ cm, puis on l'abandonne sans vitesse.



a) Calculer l'énergie mécanique totale du système. On suppose que l'énergie potentielle de pesanteur est nulle.

b) Donner l'expression de l'énergie cinétique E_c du système en fonction de l'abscisse x de la masse m . Tracer le graphe $E_c = f(x)$.

c) Trouver la vitesse maximale de la masse m lors de ses oscillations.

9 Une bille supposée ponctuelle est lancée d'un point A situé à une hauteur h du sol avec une vitesse V_A .

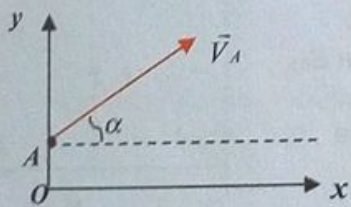
Le vecteur vitesse \vec{V}_A fait avec le plan horizontal un angle α . On admettra que la composante du vecteur vitesse suivant l'axe $x'Ox$ reste constante durant tout le mouvement de la bille.

1) Trouver la vitesse de la bille à son arrivée au sol.

2) Trouver l'altitude maximale atteinte par la bille.

On donne $\alpha = 60^\circ$;

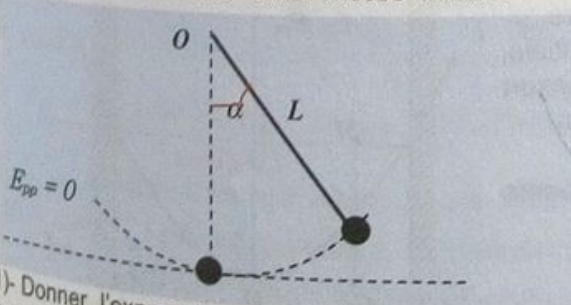
$h = 2,0$ m; $V_A = 20$ m/s; $g = 9,8$ SI.



10

Un pendule simple est constitué d'un fil inextensible de longueur $L = 1,0$ m, de masse négligeable portant à l'extrémité libre une masse ponctuelle $m = 100$ g.

Il est écarté de sa position d'équilibre d'un angle de 60° puis abandonné sans vitesse initiale.



1) Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur du pendule dans le champ de pesanteur lorsque le fil fait avec la verticale un

angle α . L'énergie potentielle est supposée nulle lorsque le pendule est en équilibre.

2) Compléter le tableau de valeurs ci-dessous en calculant l'énergie potentielle de pesanteur pour les valeurs données de l'angle α .

α ($^\circ$)	0	10	20	30	40	50	60
E_{pp}							

Tracer le graphe $E_{pp}(\alpha)$.

3) Calculer l'énergie mécanique du pendule.

4) Donner l'expression de l'énergie cinétique E_c de la masse m en fonction de α .

Tracer le graphe $E_c(\alpha)$.

5) Pour quelle valeur de α les énergies cinétique et potentielle sont-elles égales ?

11

Un lance-pierre est formé d'une fourche indéformable (f) en bois et d'un ruban élastique AOB de masse négligeable.

Les portions de ruban AO et BO sont à réponse linéaire, le coefficient de raideur est $k = 80$ N/m.

On donne

$AO = BO = L_0 = 10$ cm au repos;

distance $AB = a = 12$ cm;

Un caillou de masse

$m = 20$ g est calé en O. Le tireur exerce une traction en

O pour tendre le ruban.

1) - O est amené en O' tel $AO' = A'O' = 25$ cm.

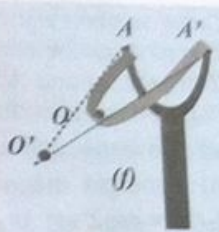
- Calculer l'accroissement de l'énergie potentielle élastique du système.

- Calculer le travail minimum fourni par le tireur pour amener O en O'.

2) - Le tireur lâche le projectile. On néglige l'effet de la pesanteur

- Calculer sa vitesse au départ.

- Calculer sa vitesse au moment où il touche un oiseau situé 4 mètres plus bas.



12

On dispose d'un arc (voir croquis).

- L'arc n'est pas tendu: on donne $AB = 110$ cm.

- L'arc est tendu par l'archer: $A'B' = 80$ cm.

La corde est inélastique, l'armature seule se déforme. La flèche est placée au milieu de la corde.

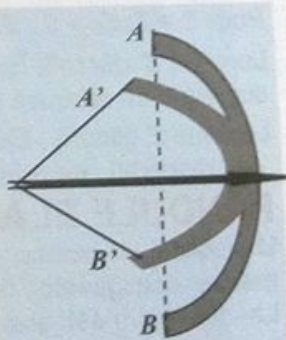
1) - A l'équilibre la force exercée par l'archer est horizontale d'intensité $F = 160$ N.

Calculer la tension de chaque brin de la corde.

2) - La flèche est tirée verticalement vers le haut. Elle parcourt 30 m avant de redescendre.

- Calculer sa vitesse initiale.

- Calculer le travail minimal fourni par l'archer pour tendre la corde.



QUELQUES TEMPERATURES

Centre du Soleil :
15000000°C

Noyau de la Terre : 5000°C

Lave de volcan : 1000°C

Huile bouillante : 190°C

Eau bouillante : 100°C

Belle journée
ensoleillée : 30-35°C

Glace fondante : 0°C

Neige carbonique : -79°C



La flamme est le phénomène qui accompagne la combustion. En fait toutes les combustions ne sont pas accompagnées d'une production sensible de chaleur avec flamme. La flamme est un phénomène lumineux plus ou moins intense selon le combustible et le comburant.

La présence d'une flamme est toujours liée à la combustion d'un combustible gazeux. Certains solides semblent brûler avec une flamme, mais c'est en fait le réchauffement du solide qui engendre des produits gazeux de décomposition qui brûlent avec une flamme visible.

Dans la flamme on distingue 3 zones :

- la zone interne : de couleur bleue où la combustion est absente,
- la zone centrale,
- la zone externe presque incolore mais très chaude.

Scientifiquement prouvée, la maîtrise du feu est relativement récente (- 400 000 ans).

La maîtrise du feu est importante dans l'évolution humaine. "Il y a environ 400 000 ans, avec l'apparition des premiers foyers aménagés, se développe autour du feu une vie sociale organisée. Le feu a été un formidable moteur d'hominisation. Il éclaire et prolonge le jour aux dépens de la nuit ; il a permis à l'homme de pénétrer dans les cavernes. Il a permis à l'homme d'envahir les zones tempérées froides de la planète. Il permet de cuire la nourriture et, en conséquence, de faire reculer les parasitoses. Il améliore la fabrication des outils en permettant de durcir au feu la pointe des épieux. Mais c'est surtout un facteur de convivialité".

Henry de Lumley

Sir William Thomson
(Lord Kelvin)

I
subjectives. Il e
est plus chaud
simplement en
de comparaison
manque de se
Lorsqu'un corp
les physiciens
supérieure à ce
Pour comparer
physiciens pr
physique qu
physique faci
reproductibilité
sensibilité son
choix du phén
Tout dispositif
l'inégalité de t
thermomètre.
Le thermoscop
longtemps. (Un
servant à ap
chiffre).
Philon, savant
une descripti
ballon de plom
vase plein d'ea
Vers 1621, un
Allemagne un
contenant de l'
de l'eau. La
arbitraire.
En 1640 le p
présenté à Flor
(L'académie de
Le thermomèt
de 1700 lo
comme zéro
laquelle l'eau
Amonton (phy
de la températ
sous une press
En 1724 Gabrie

EXERCICES

1 Un récipient de capacité thermique $C = 500 \text{ J/}^\circ\text{C}$ renferme 500 mL d'eau distillée.

- 1) Calculer la capacité thermique de l'ensemble.
- 2) Calculer la quantité de chaleur échangée par le système (récipient-eau) lorsque sa température passe de 60 à 35°C .

On donne capacité thermique massique de l'eau $c(\text{eau}) = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

2 Un projectile de masse $m = 10 \text{ g}$ animé d'une vitesse $V = 400 \text{ m/s}$ est tiré sur une cible. Il s'incruste dans la cible.

La capacité thermique de l'ensemble (cible - projectile) est $C = 400 \text{ J/K}$.

Trouver l'élévation de température de l'ensemble si on suppose que toute l'énergie cinétique du projectile est transformée en chaleur.

3 Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'air d'une chambre de 0°C à 1°C . On donne :

Masse volumique de l'air $\mu = 1,30 \text{ g/L}$.

Dimensions de la chambre : $5 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$.

Capacité thermique massique de l'air $c(\text{air}) = 820 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

4 De quelle hauteur faut-il laisser tomber une boule de plomb pour qu'en s'écrasant au sol sa température s'élève de 1°C ?

On donne : capacité thermique massique du plomb : $c(\text{plomb}) = 120 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

On suppose que les 20% de l'énergie cinétique de la boule sont transformées en chaleur, et que les 40% de cette quantité de chaleur sont fixés par la boule.

La résistance de l'air est négligeable.

5 Un calorimètre renferme un liquide à la température de 20°C . La capacité thermique de l'ensemble est 800 J/K . On introduit dans le calorimètre un morceau de fer de masse $m = 100 \text{ g}$ qu'on vient de retirer d'un four. La température d'équilibre de l'ensemble est alors $\theta_e = 25^\circ\text{C}$. Trouver la température du four.

On donne :

Capacité thermique molaire du fer $c = 26 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.

Masse molaire du fer $M(\text{fer}) = 56 \text{ g/mol}$.

6 Un récipient renferme 2,0 litres d'eau à 25°C . On y ajoute 0,50 litre d'eau à 90°C .

1) - Quelle serait la température d'équilibre du système si la capacité thermique du récipient était nulle ?

2) - La température d'équilibre est en réalité de 30°C . Trouver la capacité thermique du récipient. On donne : $c(\text{eau}) = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

7 Dans une enceinte de capacité thermique négligeable, on mélange x litres d'eau à 20°C et y litres d'eau à 70°C . On obtient alors 100 litres d'eau à 30°C . Calculer x et y .

8 Une centrale thermique utilise du charbon pour produire de l'énergie électrique. La combustion d'une tonne de charbon brut libère 7500 kWh . Quelle est la teneur en carbone de ce charbon ? Quelle est l'énergie électrique correspondante sachant que le rendement est de 40% ?

9 Un chauffe-eau à gaz est alimenté par du butane. Le pouvoir calorifique du butane est $\gamma = 50 \text{ MJ/kg}$. Le rendement du chauffe-eau est de 80%. Quelle est la masse de butane consommée pour un bain ?

On donne :

Volume d'eau utilisée = 40 litres ;

température initiale de l'eau $\theta_1 = 16^\circ\text{C}$;

température finale de l'eau $\theta_2 = 35^\circ\text{C}$.

Chaleur massique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

10

Un projectile de plomb de masse animé d'une vitesse $V = 400 \text{ m/s}$ percute un obstacle et s'immobilise dans celui-ci.

On suppose que le projectile absorbe les $\frac{2}{3}$ de

son énergie cinétique sous forme calorifique. Calculer la température finale du projectile en supposant qu'il reste à l'état solide.

Commentez le résultat.

On donne :

Chaleur massique du plomb : $126 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$;

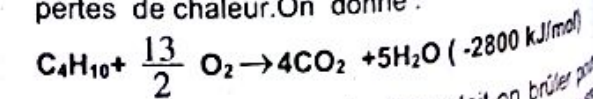
Température de fusion du plomb : 327°C .

11

Une "bouteille de gaz" renferme $m = 3,0 \text{ kg}$ de butane liquide.

1) Quel serait le volume occupé par cette masse de butane sous la pression atmosphérique normale et à la température de 27°C ?

2) Combien de litres d'eau prise à 20°C peut-on porter à l'ébullition par la combustion de cette masse de butane ? On suppose négligeables les pertes de chaleur. On donne :



3) Combien de kg de charbon doit-on brûler pour avoir le même résultat en supposant aussi négligeables les pertes de chaleur ?

On donne $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 \quad (-390 \text{ kJ/mol})$

4) - Comparer le prix de revient d'un kWh fourni par le butane au prix de revient d'un kWh fourni par le charbon.

Une charge de butane de 3 kg coûte 1500 f.

Un kg de charbon coûte 350 francs.

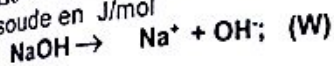
On donne $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$

11 On appelle constante solaire la quantité de chaleur que le rayonnement solaire fournit en 1 s à chaque mètre carré de surface éclairée. Les rayons solaires étant perpendiculaires à la surface éclairée, la constante solaire est alors égale à $Z = 1200 \text{ W/m}^2$. On dispose d'un bassin d'eau de dimensions $10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Il est éclairé par le soleil au zénith.

Trouver la quantité de chaleur fournie à l'eau du bassin en 1 heure.
 Trouver l'élévation de température de l'eau.
 On suppose que l'eau ne fixe que les 40% de la quantité de chaleur fournie par le soleil.

12 Chaleur de dissolution de la soude

On dispose d'un calorimètre de capacité thermique $C = 120 \text{ J/}^\circ\text{C}$. Il renferme $V = 100 \text{ mL}$ d'eau. On laisse tomber dans l'eau $m_1 = 10 \text{ g}$ de pastilles de soude NaOH : la température s'élève alors de $\Delta\theta = 18^\circ\text{C}$. Calculer la chaleur de dissolution de la soude en J/mol



On donne :

- Capacité thermique massique de l'eau $c(\text{eau}) = 4200 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$
- Masse molaire de la soude $M(\text{NaOH}) = 40 \text{ g/mol}$

13 Une mole d'ions hydronium H_3O^+ réagit avec une mole d'ions hydroxyde OH^- avec dégagement d'une quantité de chaleur égale à 57 kJ . Dans un calorimètre de platine de masse $m = 500 \text{ g}$, on place un volume $V_1 = 100 \text{ mL}$ de soude décimolaire. La température de l'ensemble est $\theta_1 = 21^\circ\text{C}$.

On additionne ensuite un volume $V_2 = 50 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique à $0,2 \text{ mol/L}$ pris aussi à 21°C .

- Ecrire l'équation-bilan de la réaction.
- Déterminer les nombres de moles ayant réagi.
- Trouver la température d'équilibre du système si on néglige les pertes de chaleur.

Les solutions de soude et d'acide ont même capacité thermique massique $c = 4200 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.

La capacité thermique massique du platine est $c(\text{platine}) = 135 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.

14

Dans un calorimètre parfaitement isolé, on a placé $V_1 = 400 \text{ mL}$ d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $C_1 = 0,1 \text{ mol/L}$.

L'ensemble est à la température $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$.

On ajoute ensuite une masse $m_2 = 5 \text{ g}$ de zinc à 25°C . Quand l'action de l'acide sur le zinc est achevée, on constate que la température d'équilibre du système est $\theta_e = 27,5^\circ\text{C}$.

La capacité thermique de l'ensemble (calorimètre - acide - zinc) est égale à $1736 \text{ J/}^\circ\text{C}$

- 1) Montrer que l'action de l'acide sur le zinc est une oxydoréduction.
 Ecrire l'équation-bilan.
 En déduire la masse de zinc ayant réagi.

2) - Calculer la quantité de chaleur libérée au cours de la réaction.

3) - Montrer que l'énergie libérée lors de l'oxydation d'une mole de zinc par les ions hydronium s'élève à 217000 J environ.
 On donne $M(\text{Zn}) = 65 \text{ g/mol}$.

15

On place 40 mL d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration $0,50 \text{ mol/L}$ dans un calorimètre. La capacité calorifique du calorimètre et de son contenu est égale à 200 J/K .

On place au-dessus du calorimètre une burette graduée contenant une solution de soude de concentration molaire $2,0 \text{ mol/L}$.

1-) Pour quel volume de soude versé, la température du système sera-t-elle maximale ? Calculer la valeur de cette température.

2-) Calculer la variation de température $\Delta\theta$ lorsqu'on a versé un volume V de soude.
 Compléter pour cela le tableau de valeurs ci-dessous :

V (mL)	2	5	8	10	15	20	
$\Delta\theta$							

Tracer la courbe $\Delta\theta = f(V)$.

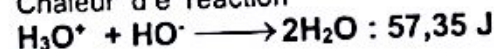
Commenter l'allure de la courbe.

Données :

Température initiale de l'acide et de la soude : 18°C ;
 Chaleur massique de la soude et de l'acide : $4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$;

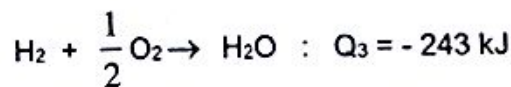
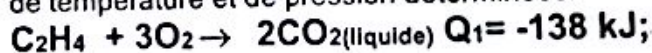
Masse volumique de la solution : 1000 g/L ;

Chaleur de réaction



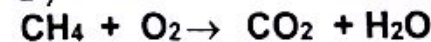
16

1-) On considère les chaleurs des réactions chimiques suivantes dans les conditions de température et de pression déterminées.



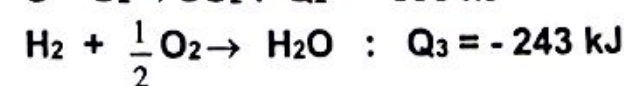
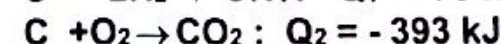
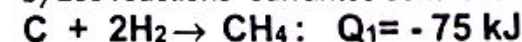
Sachant que dans ces conditions, la condensation de la vapeur d'eau libère 41 kJ/mol , déterminer la chaleur de réaction d'hydrogénation de l'éthylène en éthane.

2-) On considère la combustion du méthane



a-) Équilibrez l'équation.

b) Les réactions suivantes sont exothermiques



Calculer dans les mêmes conditions, la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un mètre cube de méthane (on assimilera le méthane à un gaz parfait), les gaz étant ramenés à la température initiale.

Grosse tête



JP Joule

17

Un flacon de verre de masse 80 g contient 100g d'alcool à la température de 75 °C. On plonge l'ensemble dans un calorimètre renfermant de l'eau, la température de l'eau s'élève de 10°C à 13,85 °C

Ayant retiré le flacon, on y ajoute 50 g d'alcool. On le porte de nouveau à 75 °C, on le plonge une nouvelle fois dans le calorimètre dont la température passe de 12 à 17,13 °C.

La capacité thermique de l'ensemble (calorimètre -eau) dans les deux expériences est 5020 J/K. Calculer les capacités thermiques massiques du verre et de l'alcool

18

On dispose d'une bouteille de gaz. La combustion de 1 L du gaz (volume mesuré dans les CNTP) fournit 21 kJ. On chauffe sous la pression normale un litre d'eau prise à 10 °C jusqu'à l'ébullition en $t = 4$ min. L'eau est contenue dans une casserole de capacité thermique ≈ 100 J/°C.

1) - Trouver la quantité de chaleur fournie par la combustion du gaz.

On admet que la quantité de chaleur fixée par l'eau et la casserole ne représente que les 30% de la quantité de chaleur libérée par la combustion du gaz.

2) - Trouver en L/min le débit du gaz.

La capacité thermique massique de l'eau est égale à 4200 J/kg.K.

19

On dispose d'un chauffe-eau à gaz. On donne :

- Débit du gaz $d = 40$ L/min.
- Pouvoir calorifique du gaz $\sigma = 19$ kJ/L.
- Puissance utile $P_u = 9,0$ kW.
- Débit de l'eau $d' = 0,10$ L/s.
- Température de l'eau à l'entrée $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$

1) - Trouver la température de sortie de l'eau.

2) - Calculer la quantité de chaleur libérée en 1 s par la combustion du gaz.

Trouver le rendement du chauffe - eau.

Le rendement est le rapport de la quantité de chaleur absorbée par l'eau à la quantité de chaleur fournie par le gaz.

3) - Le débit du gaz est ramené à 20 L/min, le rendement du chauffe - eau restant le même.

Trouver la température de sortie de l'eau.

On donne : capacité thermique massique de l'eau $c = 4200$ J/kg.K.

20

La capacité thermique molaire d'un gaz diatomique pour un échange de chaleur s'effectuant à pression constante est $C_p = 29,0$ J/mol.K

1) - Quelle est la chaleur massique du dioxygène ?

2) - Un flacon de volume $V = 2,00$ L contient du dioxygène. Il est en communication avec un ballon de baudruche dégonflé (figure a).

L'ensemble est en équilibre avec l'air ambiant à la température $\theta_a = 19,0^\circ\text{C}$ et à la pression

$P_A = 1,01 \cdot 10^5$ Pa.

Quelle est la quantité de dioxygène

contenue dans le ballon ? Quelle en est la masse ?

3) - Le ballon est longé dans de l'eau chaude. Le petit ballon se

gonfle. (figure b). Expliquer pourquoi.

4) - La température finale du dioxygène est $\theta_f = 35,3^\circ\text{C}$. Quelle est la quantité de chaleur échangée par le dioxygène avec l'eau ? Quelle est le volume final occupé par le dioxygène ?

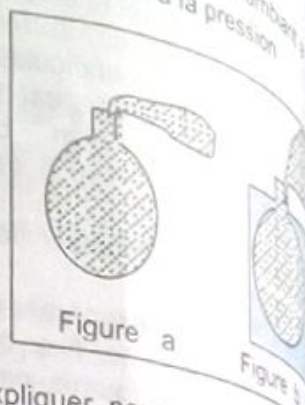


Figure a

Figure b

21

Dans une centrale thermique au fuel, il faut pour améliorer le rendement des turbines refroidir les condenseurs. On utilise soit directement l'eau de mer, soit l'eau d'un lac ou d'une rivière.

Par exemple, pour une centrale de puissance installée 4000 MW, on prélève en amont 12 m³/s d'eau dans une rivière, 10 m³ sont rejetés en aval avec une élévation de température de 10°C, les 2 m³ restants sont évaporés dans les tours de réfrigération. Calculer la quantité de chaleur perdue par seconde dans la rivière.

2) - On envisage de recueillir cette eau chaude pour l'utiliser dans l'agriculture.

Quel volume de fuel devrait-on employer par an pour disposer de la même quantité de chaleur ?

Le pouvoir calorifique du fuel est environ de 37 400 kJ/L

22

Dans le moteur d'un véhicule l'énergie produite par la combustion du carburant est transformée en énergie mécanique avec un rendement de 75%.

La puissance mécanique du véhicule est 29 kW.

1) - Quelle est la valeur de la puissance fournie par la combustion du carburant ?

2) - On désigne par x (en litres) le volume de carburant (liquide) consommé par le véhicule pour un parcours de 100 km à la vitesse de 100 km/h. Calculer x .

On donne :

- Masse volumique du carburant : 750 g/L.

- La combustion de 1 kg de carburant fournit 46000 kJ.

23

On dispose d'un chauffe-eau électrique. La puissance fournie par la résistance chauffante est $P = 800$ W. Le débit de l'eau est $\delta = 5,0$ L/min.

L'eau entre à 20°C.

1) - Trouver la température de sortie de l'eau. On néglige les pertes de chaleur et la capacité thermique du réservoir.

2) - Quelle serait la température de sortie de l'eau si le débit de l'eau passait accidentellement de

5,0 L/min à 1,0 L/min ?

Le résultat mathématique trouvé vous paraît-il acceptable? Commenter.

La capacité thermique massique de l'eau sera prise égale à 4200 J/kg.K.

24 On dispose d'un calorimètre renfermant de l'eau. La capacité thermique du calorimètre, de ses accessoires et de l'eau est \mathcal{C} .

Dans le calorimètre on plonge une résistance chauffante de capacité thermique négligeable. Lorsque la résistance est parcourue par un courant d'intensité I elle fournit une puissance calorifique $\mathcal{P} = 20\text{W}$.

On lance le courant dans la résistance et on déclenche un chronomètre. On repère alors la température du système à des différentes dates t . Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau qui suit :

$t(\text{min})$	1	2	4	6	10	12
$T(^{\circ}\text{C})$	21	21,9	23,9	25,8	29,7	31,8

1-) Tracer la courbe qui donne les variations de la température en fonction du temps. Conclure.

2-) Déterminer le coefficient directeur de la droite obtenue, en déduire la valeur de \mathcal{C} .

3-) Trouver la température initiale du système (calorimètre- eau- résistance).

25

Un chalumeau est alimenté avec du propane et du dioxygène en excès. Il consomme 94,7g de propane par minute.

1-) Ecrire l'équation de la réaction de combustion du propane dans le dioxygène sachant qu'il se forme du dioxyde de carbone et de l'eau.

1-) La chaleur dégagée par la flamme est entièrement utilisée pour chauffer de l'eau qui circule dans un serpentin avec un débit de 15 litres par minute. L'eau entre dans le serpentin à la température 15°C et en sort à la température de 85°C. Trouver la chaleur de combustion Q dans le dioxygène d'une mole de propane à la température ambiante.

Données

Masse volumique de l'eau : 1000 kg/m³ ;

Capacité thermique massique de l'eau :

4,19 kJ/kg.K ;

Masse molaire du propane : 44 g/mol.

26

On considère un liquide de masse volumique $\mu = 800\text{ kg/m}^3$ et dont on se propose de déterminer la capacité thermique massique c .

Pour cela, le liquide circule avec un débit fixe et connu d dans un serpentin métallique immergé dans un bain d'huile dont la température est maintenue constante grâce à un dispositif approprié de chauffage électrique.

Dans les 2 expériences suivantes, le liquide pénètre dans le serpentin à la température

$\theta_1 = 15^{\circ}\text{C}$ et en sort à la température $\theta_2 = 25^{\circ}\text{C}$.

Première expérience.

Le débit du liquide est $d_1 = 15\text{ mL}$ à la minute, la puissance consommée par le dispositif de chauffage est $P_1 = 4,40\text{ W}$.

Deuxième expérience.

Le débit du liquide étant maintenu à $d_2 = 9\text{ mL}$ à la minute, la puissance consommée par le dispositif de chauffage est $P_2 = 2,76\text{ W}$.

1-) En admettant que la chaleur produite par le dispositif de chauffage est intégralement absorbée par le liquide, montrer que ces 2 expériences ne fournissent pas des résultats concordants en ce qui concerne la valeur de c .

2-) En fait cette différence s'explique par l'existence d'une "fuite thermique" c'est à dire qu'une partie de la chaleur produite par le dispositif de chauffage est perdue. En admettant que la fuite de chaleur par unité de temps (que vous noterez F) soit la même dans les 2 expériences, en déduire :

- la valeur exacte de c ,
- la valeur de F que vous exprimerez en watts.

27

On suppose que la capacité calorifique molaire d'un corps varie en fonction de la température suivant la loi

$$\mathcal{C} = A + B.T.$$

A et B sont des coefficients constants ;

T est la température en K.

1-) Donner l'allure de la courbe qui traduit les variations de \mathcal{C} en fonction de T .

2-) Pour échauffer de T_1 à T_2 une mole du corps, il faut une quantité de chaleur Q .

Montrer que Q est représentée par la surface du trapèze limité par le graphe, l'axe des abscisses et les droites d'équations $T = T_1$ et $T = T_2$.

Application numérique :

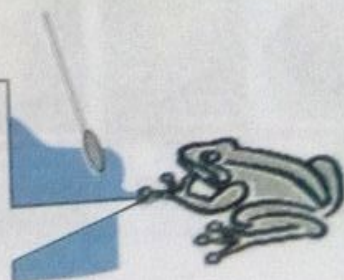
A pression constante la capacité calorifique en J/K d'une mole d'hydrogène s'exprime par la formule suivante valable entre les températures 0°C et 500°C.

$$\mathcal{C} = 27,7 + 3,4.10^{-3}.T.$$

Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer un mole d'hydrogène de 20°C à 200°C.



J'aime l'eau, mais je ne l'aime ni chaude, ni froide. Avant de plonger dans une mare, j'y plonge d'abord mon thermomètre.





Un iceberg : la masse émergée représente le $\frac{1}{8}$ de la masse totale.

Un iceberg.

La masse émergée représente le $\frac{1}{8}$ de la masse totale.

Sous l'effet de la rotation de la terre tout corps en mouvement sur notre planète est dévié vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

Les icebergs n'échappent pas à cette force dite de Coriolis.

Dans l'océan glacial Arctique par exemple les icebergs ne dérivent pas dans l'axe du vent mais sont déviés légèrement à droite.

Depuis plusieurs années la calotte polaire de l'hémisphère Nord fond. La calotte glaciaire arctique se réduit comme peau de chagrin à cause du réchauffement climatique. A la fin de l'été 2005, elle ne s'étendait que sur 5,5 millions de km^2 , contre 8 millions de km^2 au début des années 1980. L'océan Arctique pourrait être dépourvu de glace d'ici 50 ans à 100 ans, ce qui aurait des répercussions assez sensibles sur le système climatique mondial.

L' a m
-
-
-
L'état
étroitement
Lorsqu'un
un autre i
Les dif
physiques
La maîtrise
l'homme e
sait depuis
feu de bûc
certains m
Les procéd
par contre
Il a fallu a
produire e
glacçon».

Sublimation

Condensation

gaz

La fusion
sont des t
La solidi
condensat
exoergique

Précipitation

Infiltration

Eau

EXERCICES

1 On laisse tomber un morceau de glace à 0°C dans un récipient renfermant de l'eau à 20°C . La température d'équilibre obtenue est 0°C . Est-ce possible ? Expliquer.

2 1) Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour faire fondre 100 g de glace prise à 0°C .
2) Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour faire fondre 100 g de glace prise à -27°C .
On donne :
Chaleur latente de fusion de la glace : 335 kJ/kg ,
chaleur massique de la glace : $2,10 \text{ kJ/kg.K}$.

3 1) Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser 100 g d'eau prise à 100°C .
2) Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser à 100°C une masse d'eau de 100 g prise à 27°C . On donne :
Chaleur latente de vaporisation de l'eau 2250 kJ/kg ,
Capacité thermique massique de l'eau : 4200 J/kg.K .

4 Dans un calorimètre de capacité thermique $\mathcal{C} = 450 \text{ J/}^{\circ}\text{C}$ renfermant 300 g d'eau à 21°C , on plonge un morceau de glace de 30 g pris à 0°C . Après fusion de la glace, la température s'équilibre à 15°C .
Déterminer la chaleur latente de fusion de la glace.
Capacité thermique de l'eau = $4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$

5 Pendant 5 minutes, on chauffe 250 g de glace à -20°C à l'aide d'un thermoplongeur de puissance 500 W.
Après combien de temps toute la glace a-t-elle fondue ? Déterminer la température finale.
On donne :
chaleur latente de la glace fusion : 335 kJ/kg
Capacité thermique massique de l'eau : 4200 J/kg.K
chaleur massique de la glace : $2,10 \text{ kJ/kg.K}$.

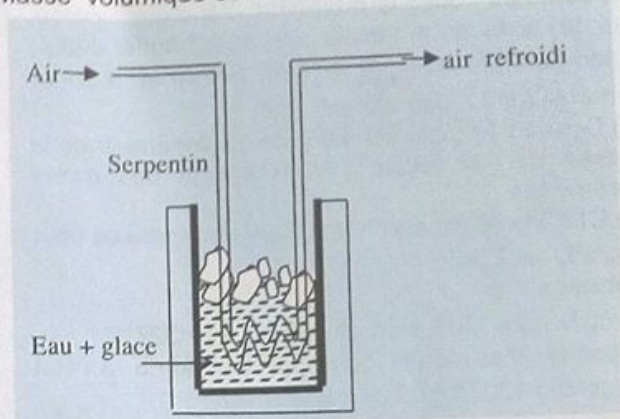
6 Dans un calorimètre de « valeur en eau » $\mu = 400 \text{ g}$, renfermant 200 g d'eau à 20°C , on introduit 100 g de glace à 0°C .
La glace va-t-elle fondre entièrement ? Justifier.
On donne :
chaleur latente de la glace fusion : 335 kJ/kg

7 On fait barboter 10 g de vapeur d'eau prise à 100°C dans 500 g d'eau prise à 30°C .
Quelle sera la température d'équilibre ?
On donne : chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C : 2250 kJ/kg .

8 Un serpent métallique est plongé dans un calorimètre contenant de l'eau et de la glace. Un volume de 50 litres d'air à 20°C sous la pression

façon à le refroidir, le débit étant réglé de façon que l'air sorte à la température de 5°C .
Sachant qu'il reste de la glace dans le calorimètre à la fin de l'opération, quelle est la masse de glace qui a fondu.

On donne :
Chaleur massique de l'air à pression constante : $1 \text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$;
Chaleur latente de fusion de la glace : 334 kJ/kg ;
Masse volumique de l'air : $1,3 \text{ g/L}$.



Grosse tête



Joule

9 Une cuve renferme 500 kg d'eau liquide et 50 kg de glace à 0°C . La capacité thermique de la cuve est négligeable.

1) On chauffe la cuve par injection de 10 kg de vapeur d'eau à 100°C .
Trouver la température d'équilibre de l'ensemble.
On donne :
Chaleur latente de fusion de l'eau : 335 kJ/kg .
Chaleur latente de vaporisation de l'eau : 2245 kJ/kg .

10

De la vapeur d'eau à 100°C sous la pression de 1 bar est introduite dans un serpent baignant dans de l'eau liquide. La vapeur se condense. L'eau sort du serpent à la température de 80°C avec un débit de $0,25 \text{ litre / min}$.
Calculer la puissance thermique reçue par le serpent.

On donne $c_{\text{(eau)}} = 4180 \text{ J.Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

$L_{\text{v(eau)}} = 2260 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

La capacité thermique du récipient est négligeable.

11

Un calorimètre de capacité thermique $\mathcal{C} = 150 \text{ J.K}^{-1}$ contient une masse $m_1 = 200 \text{ g}$ d'eau à la température initiale $\theta_1 = 70^{\circ}\text{C}$. On y place un glaçon de masse $m_2 = 80 \text{ g}$ sortant du congélateur à la température $\theta_2 = -23^{\circ}\text{C}$.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Données:

Chaleur massique de l'eau : $c_e = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 Chaleur massique de la glace : $c_g = 2090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 Chaleur latente de fusion de la glace :

$$L_f = 3,34 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

12

Un projectile en plomb, de masse m , arrive avec une vitesse V sur une cible où il s'écrase et fond.

On admettra que la moitié de l'énergie libérée, lors de l'arrêt du projectile, sert à l'échauffer depuis la température t_1 et à le faire fondre et à porter le métal fondu à la température t' .

1-) Donner l'expression littérale du module V de la vitesse du projectile en fonction des divers paramètres.

2-) Calculer la valeur numérique de la vitesse pour $t = 25^\circ\text{C}$ et $t' = 350^\circ\text{C}$.

Données :

Température de fusion du plomb : $t_f = 327^\circ\text{C}$;
 Capacité thermique massique du plomb à l'état solide $c_1 = 120 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 Capacité thermique massique du plomb à l'état liquide $c'_1 = 142 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 Chaleur latente de fusion du plomb $L = 26333 \text{ J/kg}$

13

Un projectile de plomb de masse $m = 15 \text{ g}$, est lancé par une arme à feu avec une vitesse initiale de 600 m/s . Après un certain parcours, il percute un obstacle avec une vitesse de 400 m/s et s'immobilise dans celui-ci.

1-) Calculer l'énergie cinétique dissipée dans l'atmosphère.

2-) Si l'obstacle est très mauvais conducteur de la chaleur, on peut admettre que toute la chaleur qui apparaît au moment du choc est conservée par le projectile.

Quelle est l'état physique aussitôt après le choc (solide ou liquide) ?

Justifier.

On donne

Température de fusion du plomb : 327°C ;
 Capacité thermique massique du plomb à l'état solide : $126 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 Capacité thermique massique du plomb à l'état liquide : $142 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;
 Chaleur latente de fusion du plomb $L = 25000 \text{ J/kg}$

14

1-) Un calorimètre de capacité thermique négligeable contient 100 g d'eau à 20°C .

On y introduit un morceau de glace de masse 20 g initialement à 0°C .

Montrer qu'il ne reste pas de glace lorsque l'équilibre thermique est atteint.

Calculer la température d'équilibre.

2-) Dans le système précédent, on ajoute alors un second morceau de glace de masse 20 g dont la température est, cette fois -18°C .

Montrer que, lorsque l'équilibre thermique est atteint, il reste de la glace et que la température d'équilibre est 0°C .

Calculer alors les masses d'eau liquide et de glace en présence.

3-) Dans l'ensemble précédent, on introduit un autre morceau de glace de masse 20 g à la température -18°C .

Quelle est la nouvelle température d'équilibre. Calculer la masse d'eau qui se congèle.

Données :

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $4190 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$;

Capacité thermique massique de l'eau solide : $2100 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

Chaleur latente de fusion de la glace :

$$L_f = 3,34 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$$

15

On estime à $50\,000\,000 \text{ km}^3$ l'ordre de grandeur du volume de glace au niveau des pôles Nord et Sud terrestres.

Si les $0,1\%$ de cette glace fondait, de telle sorte que toute la chaleur nécessaire soit prise à l'air atmosphérique, de combien s'abaisserait la température ambiante ?

Données :

Chaleur de fusion de la glace : 334 J/kg ;

Masse volumique de la glace : 900 kg/m^3 ;

Chaleur massique de l'air (à pression constante) : $1 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

La masse d'air dans l'atmosphère est telle qu'il correspond 1 kg d'air à chaque cm^2 de la surface de la terre ;

Rayon de la terre : 6400 km ;

Surface d'une sphère de rayon R : $4\pi R^2$

LE SAVIEZ-VOUS ?



La fonte des glaces polaires s'est accélérée ces dernières années sous l'effet du réchauffement climatique. Le niveau de la mer s'est élevé en moyenne depuis 1992 de plus de 55 mm (3 mm par an), dont la plus grande partie est attribuable à l'expansion thermique de l'eau.

DOCUMENT

L'air peut température méthode u consiste à c subitement . C'est par c refroidit. On L'air se refr à l'état liquid

CONSERVAT

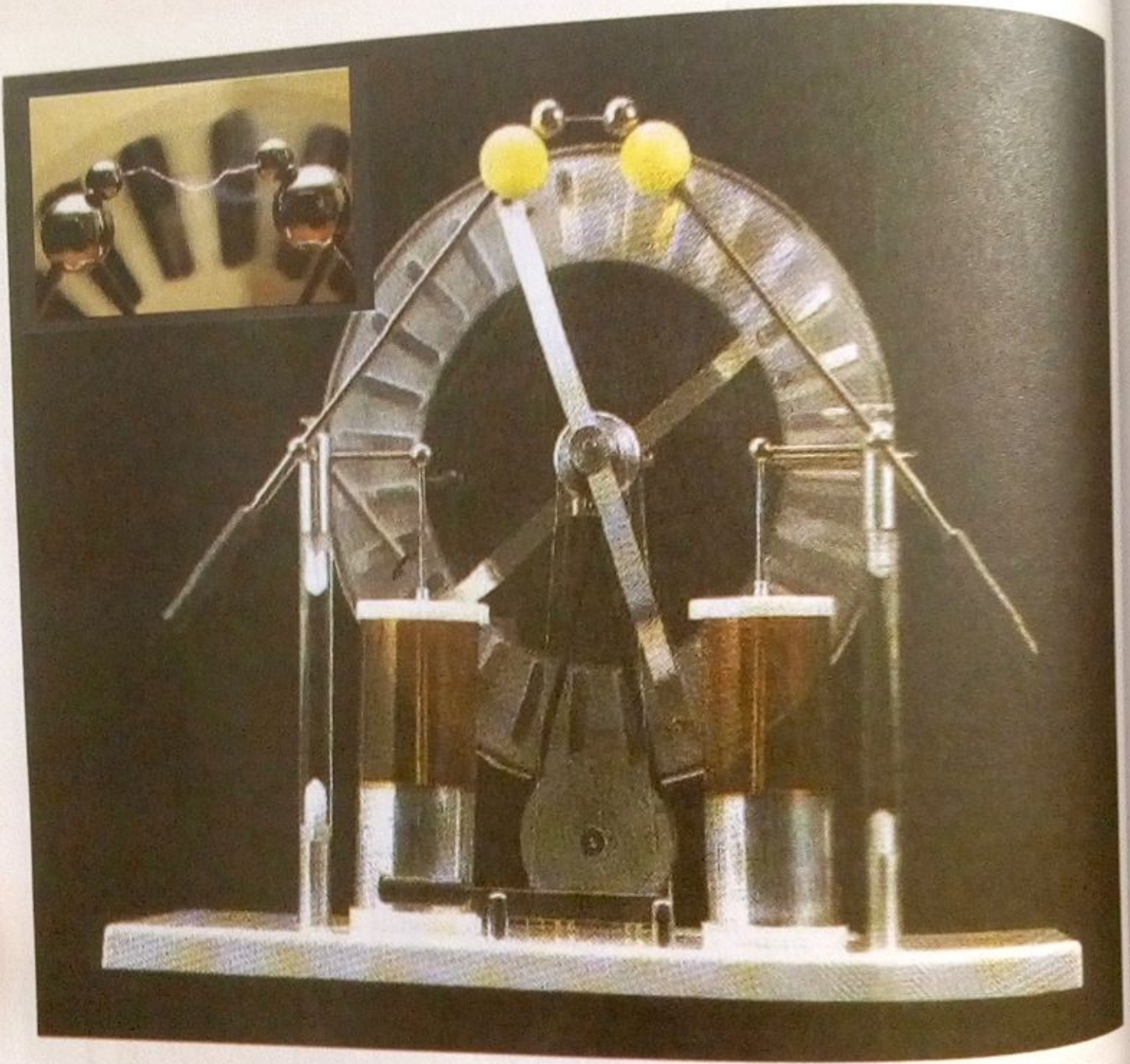
La tempéra basse qu'on ordinaire. On un ballon De première fois paroi où on : chaleur de l améliore l'eff d'une couch réfléchit alor ne peut em l'air liquide b de l'air liqui pression de l

DOCUMENT

De grandes -l'industrie (f - l'aéronautiq - les hôpitaux ranimer les p Pour subver le séparant d suivant le pro Puisque l'air (température d'ébullition : - laissant boui volatile que restant est de Cet oxygène stocké sous procédé de s sous le nom

7

CHAMP ELECTROSTATIQUE



Jusqu'en 1897, on pensait que le courant électrique était dû à la circulation d'un « fluide » à travers les fils conducteurs.

C'est en étudiant les décharges électriques entre deux électrodes planes dans un tube sous vide que J.J. Thomson détecte de minuscules grains de matière de charge négative qui seront appelés électrons.

Les machines électrostatiques permettent d'accumuler des charges. Elles permettent d'obtenir des tensions élevées (plusieurs centaines de milliers de volts), cependant les courants qu'elles débitent sont inférieures au milliampère.

La plus connue est celle dite de Wimshurt.

Deux plateaux isolants (verre et ébonite) tournent en sens inverse autour d'un même axe. Des balais assurent la production de charges électriques que des peignes récupèrent pour les collecteurs.

Elec
Une
fond
cara
part
ex
l'int

L

élect
hydro
Elle
câble
parte
camp
Elle
câble
post
deme
Elle
piles
L'éle
Elle
tasse
Elle
"d'at
Elle
Elle
peup
En e
parti
L'at
- de
- de
élec
- d'é
Lors

d'éle
obs
l'éle
Ces
son
C'es
640
dér
ava
frott



Dans le vide, deux charges électriques ponctuelles q_1 et q_2 distantes de (d) exercent l'une sur l'autre des forces d'attraction ou de répulsion $\vec{F}_{1/2}$ et $\vec{F}_{2/1}$ de même direction de sens contraires, d'intensité commune

$$\vec{F}_{1/2} = \vec{F}_{2/1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

La constante électrique ϵ_0 est appelée permittivité du vide. Sa valeur dans le système international est $8,85 \cdot 10^{-12}$

Ce qui donne $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$

Nous pouvons donc écrire $\vec{F}_{1/2} = \vec{F}_{2/1} = k \frac{|q_1| |q_2|}{d^2}$ avec $k = 9 \cdot 10^9$ SI.

Considérons une charge ponctuelle Q positive placée en un point O .

Elle crée dans son voisinage un espace champ électrique.

Si \vec{E}_A est le vecteur champ électrique créé par cette charge Q en un point A et si \vec{u}_{OA} est un vecteur unitaire orienté de O vers A .

Nous aurons :

$$\vec{E}_A = k \frac{Q}{OA^2} \cdot \vec{u}_{OA}$$

Si nous plaçons une charge témoin q unitaire en A , elle serait soumise à une force \vec{F} telle :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}_A = k \frac{Q \cdot q}{OA^2} \cdot \vec{u}_{OA}$$

Le vecteur champ électrique est en chaque point tangent à la ligne de champ passant par ce point.

Exercices

Répondre par vrai ou faux

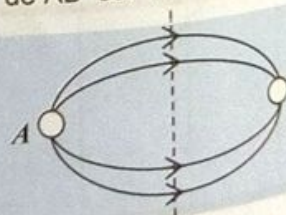
- La force électrostatique est une force de contact.
- L'intensité des forces d'interaction électrostatique entre deux charges ponctuelles est inversement proportionnelle à la distance qui sépare ces charges.
- La permittivité relative d'un diélectrique peut être positive ou négative.
- La permittivité du vide est nulle.
- Un champ électrique est toujours uniforme.
- Les lignes de champ ne se coupent jamais.
- Lorsqu'un champ électrique est uniforme, les lignes de champ sont parallèles.
- Le champ électrique créé par une charge ponctuelle est uniforme.

Les lignes de champ au voisinage de 2 charges ponctuelles q_1 et q_2 placées respectivement en A et B sont dessinées ci-dessous.

- Quelles sont les signes de q_1 et q_2 ?
- Le champ électrique en O milieu de AB est nul.

Vrai ou faux ?

- Le champ électrique en tout point de la médiatrice de AB est nul. Vrai ou faux ?



3 Deux charges exercent l'une sur l'autre des forces \vec{F} telles que $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Que devient la force si on réduit la distance ?

4 1) Trouver l'énergie électrostatique d'un atome d'hydrogène (le proton et l'électron). La charge élémentaire est $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. 2) Comparer l'énergie de liaison de l'atome d'hydrogène ($M(H) = 1$ g/mol) à l'énergie électrostatique.

5 On approche un petit objet chargé de la plaque électrostatique. On observe la déviation du fil suspendu. Calculer l'intensité du champ électrique \vec{E} en fonction de l'angle α de déviation. On donne : $m = 1$ g, $l = 10$ cm, $q = 10^{-8}$ C.

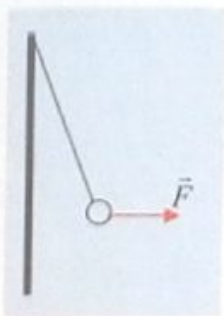
6 On considère une charge ponctuelle Q placée en O . On considère une barre de longueur l d'une barre de longueur l . Chaque fil est chargé de q . $m = 1$ g. Électrisés, les fils se dévient. La déviation est α . 1° Quelle est l'intensité du champ électrique en O ? Représenter le champ électrique en O (en pointillés). 2) La charge q est $2,23 \cdot 10^{-10}$ C. 3) Déterminer l'angle α de déviation de chaque pendule. On donne $g = 9,8$ m/s². Les deux fils sont de longueur $l = 10$ cm.

7 Deux charges ponctuelles q_1 et q_2 sont placées en A et B . Une troisième charge q_3 est placée à la distance y de la médiatrice de AB . Déterminer l'intensité de la force électrostatique exercée sur q_3 dans les deux cas suivants. Premier cas : $q_1 = q_2 = q$. Deuxième cas : $q_1 = 2q$, $q_2 = q$. On donne $q = 10^{-8}$ C, $AB = 10$ cm, $y = 5$ cm.

3. Deux charges ponctuelles q et q' distantes de d exercent l'une sur l'autre des forces d'attraction \vec{F} et \vec{F}' telles que $F = F' = 10^{-6} \text{ N}$.
Que devient l'intensité commune de ces forces si on réduit la distance d de moitié ?

4. 1) Trouver l'intensité des forces d'interaction électrostatique entre le proton et l'électron dans un atome d'hydrogène. La distance moyenne entre le proton et l'électron est $0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. La charge élémentaire est $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
2) Comparer l'intensité commune de ces forces au poids de l'atome d'hydrogène.
 $M(H) = 1 \text{ g/mol}$; nombre d'Avogadro = $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

5. On approche un bâton d'ébonite chargé de la boule d'un pendule électrostatique. Il en résulte une déviation du pendule de 10° par rapport à la verticale. Calculer l'intensité de la force électrique \vec{F} supposée horizontale exercée par la tige d'ébonite sur la boule.
On donne :
Masse de la boule $m = 5 \text{ g}$
Intensité du pesanteur $g = 10 \text{ N/kg}$.



6. On considère deux pendules électriques identiques de longueur $l = 20 \text{ cm}$ noués en deux points A et B d'une barre horizontale distants de 2 cm . Chaque fil supporte une petite boule de masse $m = 1 \text{ g}$.
Électrisés par le même pôle d'une machine électrostatique, les deux pendules accusent chacun une déviation par rapport à la verticale. La déviation du pendule fixé en A est $\alpha = 6^\circ$.
1° Quelle est la déviation du pendule fixé en B ? Représenter les deux pendules avant électrisation (en pointillés) et après électrisation (en traits pleins).
2) La charge du pendule fixé en B est de $-2,23 \cdot 10^{-10} \text{ C}$, trouver la valeur algébrique de la charge du pendule fixé en A.
3) Déterminer l'intensité de la tension du fil de chaque pendule.
On donne $g = 10 \text{ SI}$.

7. Les deux pendules se trouvent dans le vide.
Deux charges ponctuelles de même valeur q sont placées en deux points A et B distants de x . Une troisième charge q' est placée en C à égale distance y des deux précédentes.
Déterminer la direction, le sens et l'intensité de la force électrostatique résultante sur q' dans les deux cas suivants.
Premier cas : $q = 1 \text{ nC}$; $q' = 10 \text{ nC}$
Deuxième cas : $q = 2 \text{ nC}$; $q' = -10 \text{ nC}$
On donne dans les deux cas $x = 20 \text{ cm}$, $y = 30 \text{ cm}$

Grosse tête

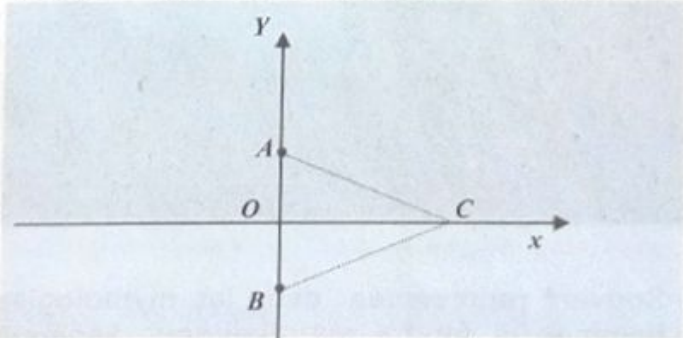
Coulomb



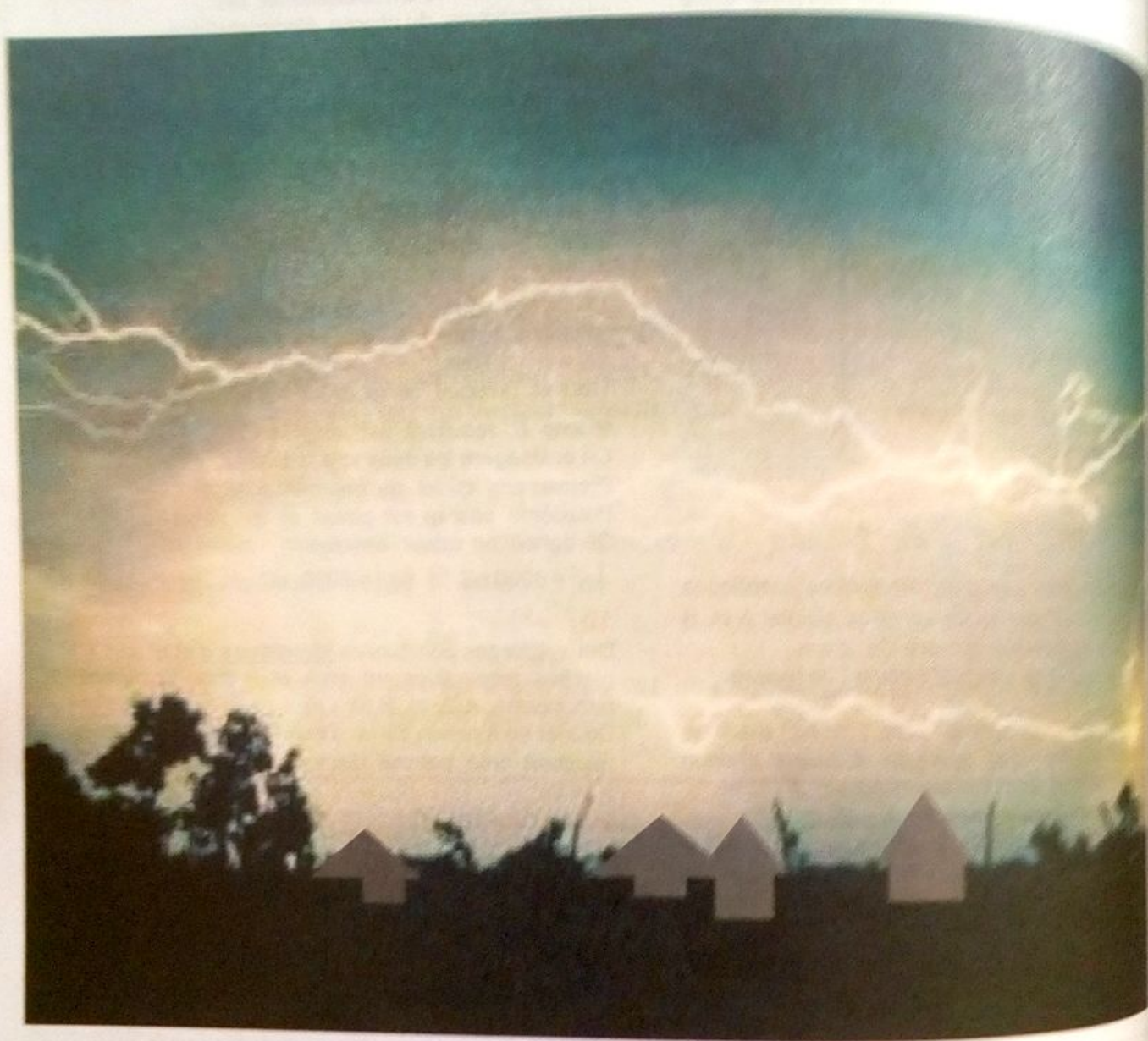
8. Deux charges ponctuelles $q = 40 \text{ nC}$ et $q' = 30 \text{ nC}$ sont placées dans le vide respectivement en A et B tel que $AB = 10 \text{ cm}$. Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique
a) en un point O situé à 5 cm de chacune de ces charges.
b) en un point P situé sur la droite AB du côté de B tel que $OP = 15 \text{ cm}$.
c) en un point Q situé sur la médiatrice de AB tel que $OQ = 5 \text{ cm}$.
d) en un point M situé à 8 cm de la charge q et à 6 cm de la charge q' .

9. Deux charges ponctuelles q_1 et q_2 sont placées dans le vide respectivement en A et B. On pose $AB = d = 10 \text{ cm}$.
Trouver un point de la droite AB où le vecteur champ \vec{E} résultant est nul.
On envisagera les deux cas suivants.
Premier cas : q_1 et q_2 ont même signe
Deuxième cas : q_1 est positif et q_2 négatif.
On donne en valeur absolue
 $|q_1| = 6000 \text{ nC}$; $|q_2| = 5000 \text{ nC}$

10. Deux charges ponctuelles identiques q et q' sont placées respectivement en A et B dans un repère orthonormé $A(0; a)$ $B(0; -a)$.
Donner en fonction de x l'expression du champ résultant créé par ces deux charges au un point C $(x; 0)$
Pour quelle valeur de x ce champ est-il maximal



Il y a de l'électricité dans l'air



Souvent représentée dans les mythologies par une gerbe brûlante ou un faisceau de flammes, la foudre marquait pour Sénèque l'inflammation de vapeurs en suspension dans l'air. Anaximène, pour sa part, y voyait le changement d'air en feu. La foudre et l'éclair constituent deux manifestations d'un même phénomène.

L'éclair se produit lorsqu'il y a court-circuit entre un nuage porté à plusieurs centaines de milliers de volts et la terre.

L'intensité du courant de court-circuit peut alors atteindre 10 000 à 200 000 A.

L'air étant alors chauffé localement à plus de 30 000°C émet une lumière intense, c'est l'éclair qui remonte du point de court-circuit vers le nuage.

L'air porté à de fortes pressions se détend brutalement et produit le tonnerre.

Un éclair blanc est signe d'un air sec.

Un éclair rouge indique de la pluie dans l'air.



Le travail effectué par une force électrique \vec{F} s'exerçant sur une charge ponctuelle q lorsque celle-ci est déplacée dans un champ électrique uniforme de vecteur \vec{E} est indépendant du chemin suivi et s'écrit : $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \overline{AB}$.

Le travail effectué par une force électrique s'exerçant sur une charge ponctuelle q lorsque celle-ci est déplacée de A à B dans un champ électrique uniforme ou non uniforme est indépendant du chemin suivi. Ce travail dépend :

- de la charge q ,
- des points A et B.

Nous poserons par définition

$$W_{AB}(\vec{F}) = q(V_A - V_B).$$

$(V_A - V_B)$ est appelé différence de potentiel (d.d.p) entre A et B.

V_A est aussi la d.d.p entre le point A et un point O choisi arbitrairement comme origine.

V_B est aussi la d.d.p entre le point B et le point O choisi arbitrairement comme origine.

Le potentiel d'un point est une propriété de ce point. C'est un scalaire défini à une constante près (Modifier l'origine des potentiels revient à ajouter la même constante aux potentiels de tous les points de l'espace champ).

Le potentiel V peut être mesuré par rapport à un point dont l'état électrique est arbitrairement pris comme référence.

La valeur de la constante dépend de la référence arbitrairement choisie.

- Le vecteur champ électrique en tout point d'un espace champ est toujours dirigé dans le sens des potentiels décroissants.
- L'énergie potentielle d'une charge ponctuelle q lorsque celle-ci se trouve dans un champ électrique en un point de potentiel V est définie par $E_p = qV + \text{constante}$.

Cette énergie est évidemment une énergie de position : elle varie lorsque la position de la charge q varie dans l'espace champ électrique.

- Le travail d'une force électrique \vec{F} lorsque son point d'application est déplacé dans un champ électrique d'un point A à un point B est mesuré par la diminution de l'énergie potentielle de la charge q dans le champ électrique . $W_{AB}(\vec{F}) = (qV)_A - (qV)_B = - \Delta(qV)$.

EXERCICES

1 Dans un repère orthonormé $(0, \vec{i}, \vec{j})$ règne un champ électrique uniforme $\vec{E} = 200 \vec{i}$ (E est exprimé en V/m.).

On considère les points $A(2;2)$; $B(-2;3)$; $C(-5;-4)$ $D(-3;7)$ $F(0;4)$

Les coordonnées sont en cm .

Le potentiel du point B est nul.

Trouver les potentiels des autres points.

Deux plaques conductrices A et B parallèles sont distantes de $d = 2$ cm. A est porté au potentiel 10V et B au potentiel - 50 V

1) Trouver le d.d.p entre A et B .

Trouver l'intensité du champ électrique E qui règne entre A et B.

2) Déterminer la position du plan (P_0) de potentiel 0.

3) Une charge ponctuelle q placée dans ce plan n'est soumise à aucune force électrostatique . Vrai ou faux ?



4) L'énergie électrostatique d'une charge q placée dans le plan (P_0) est nulle. Vrai ou faux ?

5) Lorsqu'une charge ponctuelle q est déplacée d'un point A de A à un point B de B le travail de la force électrostatique est

a) $W = q(V_A - V_B)$ b) $W = q(V_{A'} - V_{B'})$

c) $W = qE \cdot A'B'$; d) $W = qEd$; e) $W = q(V_A - V_B)d$

Barrer les relations fausses.

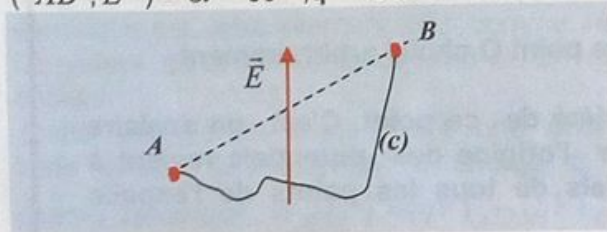
3

Dans un espace électrique uniforme de vecteur \vec{E} orienté de bas vers le haut, une charge ponctuelle q est déplacée de A à B suivant un chemin curviligne (voir croquis).

Calculer le travail de la force électrique durant ce déplacement. On envisagera le cas où q est positif et celui où q est négatif.

On donne $E = 100 \text{ V/m}$; $AB = 10 \text{ cm}$;

$(\overline{AB}, \vec{E}) = \alpha = 30^\circ$; $q = 10 \text{ microcoulombs}$.



4

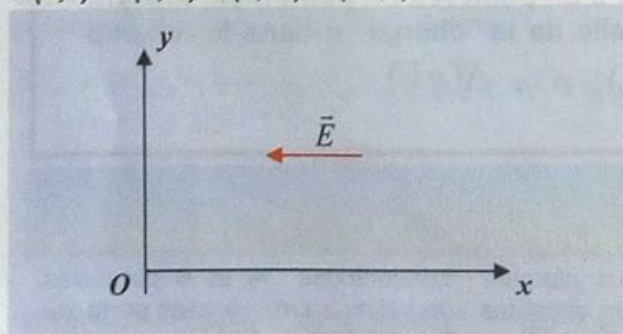
Dans un certain domaine de l'espace muni d'un repère orthonormé $(0, \vec{i}, \vec{j})$ règne un champ électrique uniforme $\vec{E} = -100 \cdot \vec{i}$: E est exprimé en V/m .

1) Préciser les lignes équipotentielles du champ.

2) Trouver le travail effectué par la force électrique \vec{F} s'exerçant sur une charge ponctuelle $q = -1 \mu\text{C}$ lorsque celle-ci est déplacée de A à B , puis de B à C , puis de C à D .

On donne en cm les coordonnées de ces points $A(2;5)$ $B(2;-5)$ $C(0;10)$ $D(-5;5)$.

On donne en cm les coordonnées de ces points $A(2;5)$ $B(2;-5)$ $C(0;10)$ $D(-5;5)$.



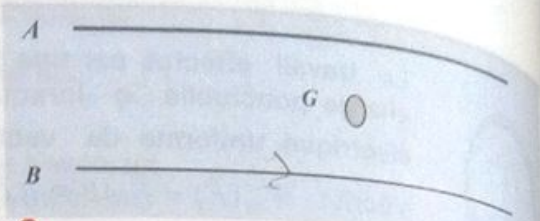
5

Une goutte d'huile supposée sphérique de rayon r portant une charge q est en équilibre entre deux plaques métalliques horizontales A et B distantes de $d = 2 \text{ cm}$ lorsque la tension établie entre celles-ci est $V_B - V_A = 1000 \text{ V}$.

1) Quel est le signe de q ?

2) Déterminer la valeur de la charge q .

On donne $r = 0,947 \text{ micromètre}$; $g = 10 \text{ SI}$; Masse volumique de l'huile $\mu = 900 \text{ kg/m}^3$



6

Deux plaques métalliques A et B planes verticales parallèles sont distantes de $d = 10 \text{ cm}$. Le long de A pend un fil de nylon de longueur $\ell = 5 \text{ cm}$ portant à son extrémité libre une boule métallisée ponctuelle de masse m .

On établit entre A et B une tension $U = V_A - V_B$, le fil s'écarte alors de la verticale d'un angle α .

1) Exprimer la charge q portée par la boule en fonction de m, α, d, U et g .

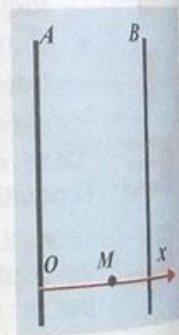
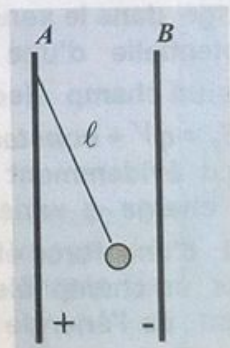
2) Exprimer le travail de la force électrique lors de ce déplacement en fonction de q, α, d, ℓ et U . Calculer ce travail pour $U = 10000 \text{ V}$; $g = 10 \text{ SI}$; $\alpha = 30^\circ$; $m = 0,50 \text{ g}$.

2) On enlève le fil de nylon et la boule. La distance entre A et B reste inchangée, il en est de même de l'écartement entre les plaques.

Ox est un axe perpendiculaire aux plaques. On connecte B au sol par l'intermédiaire d'une prise de terre.

Exprimer en fonction de x le potentiel V_M en tout point M de Ox situé entre A et B . On pose

$\overline{OM} = x$



7

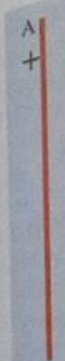
On considère un pendule simple constitué par un fil inélastique isolant de longueur $\ell = 40 \text{ cm}$ et de masse négligeable. L'extrémité O est fixe. L'extrémité C supporte une petite bille assimilable à un point matériel de masse $m = 1 \text{ g}$.

Le pendule est placé entre deux plaques métalliques verticales A et B séparées par une distance d . La bille porte une charge q . La plaque A est reliée à la borne (+) d'un générateur de haute tension continue et B est reliée à la borne (-). La tension entre A et B est U . Le pendule à l'équilibre est écarté de la verticale d'un angle α vers la plaque B .

On donne $U = 25000 \text{ V}$; $d = 20 \text{ cm}$; $\alpha = 14^\circ$; $g = 10 \text{ SI}$

1) Quelle est la nature du champ électrique entre les plaques? Calculer sa norme, préciser sa

2) a) Faire bille.
b) Exprime qui s'exerc et α
c) En dédu son signe
3) Calcule électrique position in En déduire initiale et même bill



8

On consi deux ch placées à

de longu axe verti Ce dipô et verti les arma sépare

$P(+)$
α
$N(-)$

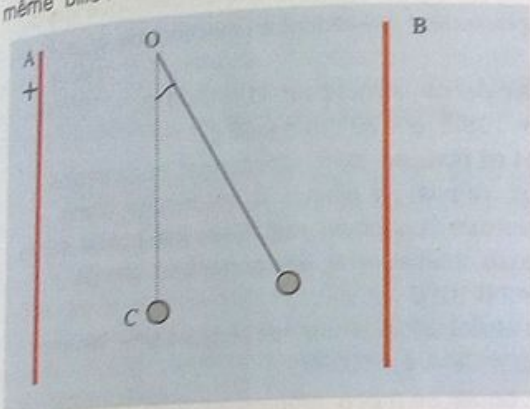
1) Mont couple
2) Calc agissan
3) Calc

le vect AB un On sup lorsque On don $V_P - V_N$

9

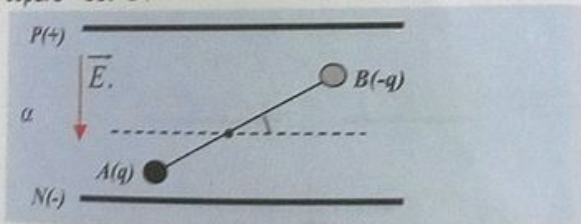
Dans chauffé Ceux champ

- 2) a) Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la bille.
 b) Exprimer l'intensité de la force électrique \vec{F} qui s'exerce sur la bille en fonction de m, g et α .
 c) En déduire la valeur de la charge q , préciser son signe.
 3) Calculer le travail effectué par la force électrique lorsque le pendule passe de sa position initiale verticale à la position d'équilibre. En déduire la d.d.p entre le point G position initiale et le point G' position finale de cette même bille.



8

On considère un dipôle électrique constitué par deux charges électriques ponctuelles q et $-q$ placées aux extrémités A et B d'une tige isolante de longueur l . Cette tige est mobile autour d'un axe vertical confondu en O à la médiatrice de AB. Ce dipôle est placé entre les armatures planes et verticales d'un condensateur. La d.d.p entre les armatures est $V_P - V_N$, et la distance qui les sépare est d .

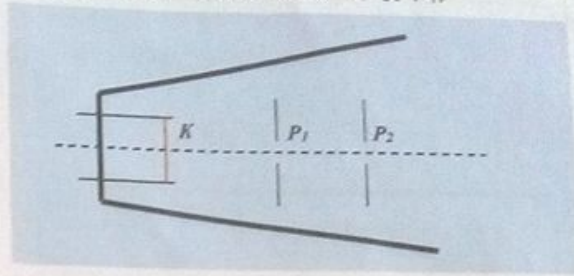


- 1) Montrer que ce dipôle est soumis à un couple de forces.
- 2) Calculer l'intensité des forces électriques agissantes.
- 3) Calculer le moment de ce couple sachant que le vecteur champ électrique \vec{E} fait avec la tige AB un angle α .
 On suppose que AB est parallèle aux plaques lorsque la tension entre les plaques est nulle.
 On donne : $q = 10^{-10} \text{ C}$; $l = 2 \text{ mm}$; $d = 4 \text{ cm}$; $V_P - V_N = 1000 \text{ V}$; $\alpha = 30^\circ$.

9

Dans un oscilloscope électronique, un filament K chauffé émet des électrons sans vitesse initiale. Ceux-ci sont accélérés grâce à un premier champ électrique uniforme existant entre K et une

plaque P_1 . Ce champ est créé par une tension $U_1 = V_{P_1} - V_K > 0$ établie entre K et P_1 .



- 1) Montrer que pour $U_1 = 100 \text{ V}$ le poids de l'électron est négligeable devant la force électrique.

On donne :

- masse de l'électron $m = 9.10^{-31} \text{ kg}$
- charge élémentaire $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$;
- distance entre K et P_1 : $d = 5 \text{ cm}$;
- $g = 10 \text{ N/kg}$.

- 2) Exprimer la variation de l'énergie potentielle électrique du système électron-champ quand l'électron passe de K à P_1 en fonction de e et U_1 . La calculer.

- 3) En déduire la variation de l'énergie cinétique de l'électron entre les mêmes positions et la vitesse des électrons au passage en P_1 .

- 4) Une deuxième plaque P_2 permet une accélération supplémentaire.

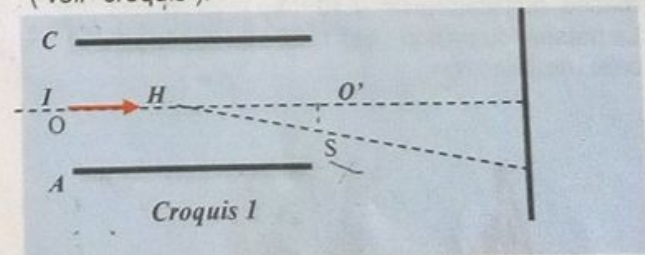
On donne $V_{P_2} - V_{P_1} = U_2 = 1000 \text{ V}$.

Calculer la vitesse des électrons à l'arrivée sur P_2 .

10

Un faisceau homocinétique d'électrons pénètre entre les plaques A et C d'un oscilloscope avec une vitesse $V_0 = 10^7 \text{ m/s}$. La longueur des plaques est $l = 10 \text{ cm}$, leur écartement $d = 4 \text{ cm}$.

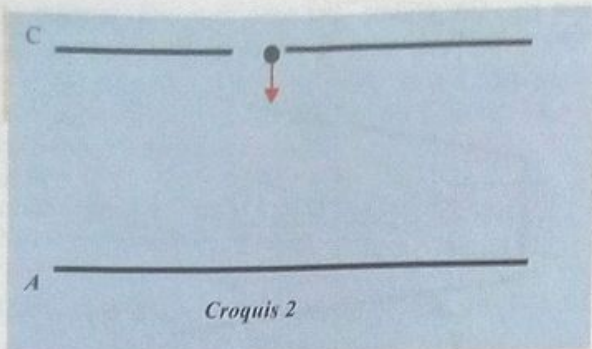
- 1) En l'absence de champ électrique, le faisceau sort des plaques par le point H sans déviation (voir croquis).



Lorsqu'on établit entre A et C une d.d.p U_{AC} , le faisceau est dévié et sort par le point S tel que $SH = 8,9 \text{ mm}$ avec une vitesse V . Quelles sont les signes des charges portées par A et C ?

- 2) Calculer V sachant qu'en valeur absolue la tension entre les plaques est de 40 V .
 Que pensez-vous du résultat ?

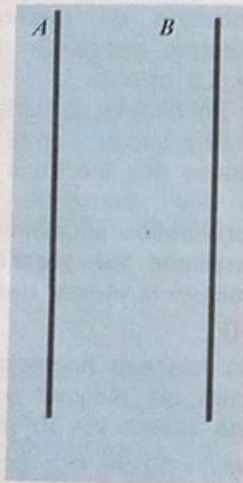
Quelle serait la valeur de la vitesse en A si on injectait les électrons entre les plaques comme indiqué sur le croquis (2).



3) La trajectoire OS des électrons dans le champ est une branche de parabole. A la sortie du champ cette trajectoire est une droite dont le support passe par le point I milieu de OH. Un écran est placé à une distance D du point I. Calculer la déviation $Y = O'I''$ du faisceau. On donne $D = 45 \text{ cm}$;
 masse de l'électron $m = 9.10^{-31} \text{ kg}$
 charge élémentaire $e = 1.6.10^{-19} \text{ C}$.

11

Des électrons émis sans vitesse en A sont accélérés entre les plaques A et B par une tension U telle que $U = 500 \text{ V}$. Ils arrivent en B avec une énergie cinétique $E_c = 500 \text{ eV}$



- 1) Le potentiel de la plaque A est-il supérieur ou inférieur à celui de B ?
- 2) Quelle est la vitesse des électrons à l'arrivée en B ?
- 3) Quelle vitesse faut-il communiquer à un proton pour lui faire acquérir une énergie cinétique de 500 eV ?

On donne charge élémentaire $e = 1.6.10^{-19} \text{ C}$,
 masse de l'électron $= 9.10^{-31} \text{ kg}$.
 La masse du proton est 1800 fois supérieure à celle de l'électron..

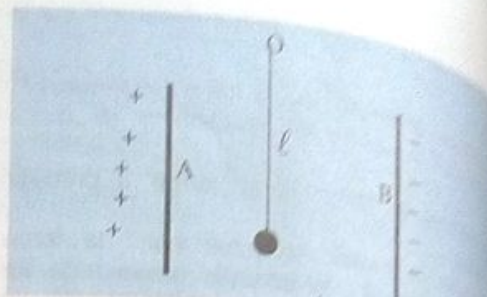
Grosse tête



Coulomb

11

Deux plaques métalliques verticales A et B parallèles sont distantes de $d = 10 \text{ cm}$. Un fil de nylon de longueur $\ell = 5 \text{ cm}$ portant à son extrémité libre une boule métallisée supposée ponctuelle de masse m est suspendue en un point O. On établit entre A et B une tension $U = V_A - V_B$, le fil s'écarte alors de la verticale d'un angle α .



- 1-) Exprimer la charge q portée par la boule en fonction de m, α , d, U et g (intensité de pesanteur)
- 2-) Exprimer le travail de la force électrique lors du déplacement précédent en fonction de q, α , d, et U.

Calculer ce travail pour $U = 1000 \text{ V}$;
 $g = 10 \text{ SI}$; $\alpha = 30^\circ$; $m = 0,50 \text{ g}$.

3-) Les plaques sont maintenant horizontales (voir croquis), la plaque B est percée d'une ouverture. La boule métallisée est posée sur la plaque inférieure A, elle porte une charge $q = -5.10^{-6} \text{ C}$.

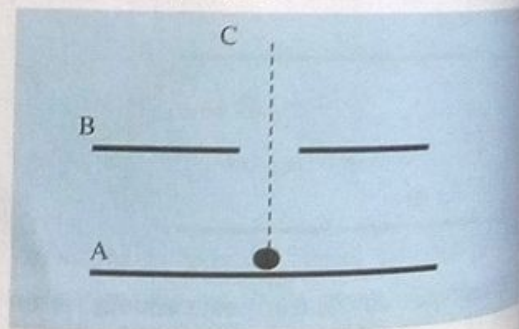
On établit alors entre les plaques une tension $U_{BA} = V_B - V_A = 1000 \text{ V}$.

La boule se met à monter, traverse la plaque B par l'ouverture, monte jusqu'à un point C avant de retomber.

Calculer la vitesse de la boule au moment où elle traverse la plaque B.

Calculer l'altitude maximale atteinte au-dessus de la plaque B

On suppose que le champ électrique est nul à l'extérieur des plaques.



12

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 $E = ah + b$ entre les altitudes $h = 0$ et $h = 1400 \text{ m}$.

1-) Sachant que pour $h=0$, $E=100 \text{ V/m}$ et que pour $h=1400 \text{ m}$, $E = 20 \text{ V/m}$, 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 pote...
 situé à l'altitude h...
 surface terrestre.
 3-) Un ion H^+ est...
 champ de pesanteur...
 d'intensité $g = 10$...
 Calculer l'énergie...
 et l'énergie potentielle...
 Les comparer.
 Si l'on part de l'al...
 nulle, quelle sera...
 (on négligera tou...

13
 La sphère, suppor...
 positivement, d'un...
 équilibre en un po...
 et N conductrices...
 $d=15 \text{ cm}$.
 Les plaques sont...
 une tension U_{PB} ...
 La sphère chargée...
 oscillations, une n...
 1-) Calculer la cha...
 l'angle α que fai...
 verticale vaut 30° ...
 la plaque négative...
 2-) Le point O es...
 α est l'angle que...
 verticale lorsque...

Pour $\alpha \in [0, \frac{\pi}{2}]$
 l'énergie potentielle...
 potentielle électro...
 Représenter grap...
 fonction de α .
 En déduire la repr...
 somme E_p de ce...
 Pour quelle val...
 minimale?
 Conclure.
 Données : masse...
 Longueur du fil : ...

14
 Les plans de deux...
 identiques former...
 d'arête Δ .
 La plaque P est pe...
 plaque N au poter...
 effets de bord, les...
 portions de cercle...
 1-) Sachant que le...
 orthogonale aux li...
 équipotentielles O...
 2-) Le champ él...
 distance r à l'axe...
 à la distance $r=10$...
 3-) Un électron s...
 vitesse initiale. C...
 sur la plaque P.

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 $h = 1400$ m. Le champ de pesanteur est supposé uniforme, d'intensité $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie potentielle électrostatique de cet ion. Les comparer.

Si l'on part de l'altitude $h = 1400$ m avec une vitesse nulle, quelle sera sa vitesse à l'arrivée sur le sol (on négligera toutes les autres interactions)?

13 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 $U_{PN} = 1500$ 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 E_{pg} et l'énergie potentielle électrostatique E_{pE}

Représenter graphiquement E_{pg} et E_{pE} en fonction de α .

En déduire la représentation graphique de la somme E_p de ces énergies potentielles.

Pour quelle valeur de α cette somme est-elle minimale?

Conclure.

Données : masse de la sphère : $m = 0,50$ g

Longueur du fil : $l = 8$ cm ; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

14

Les plans de deux plaques métalliques identiques forment un dièdre d'angle $\alpha = 60^\circ$ 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 .

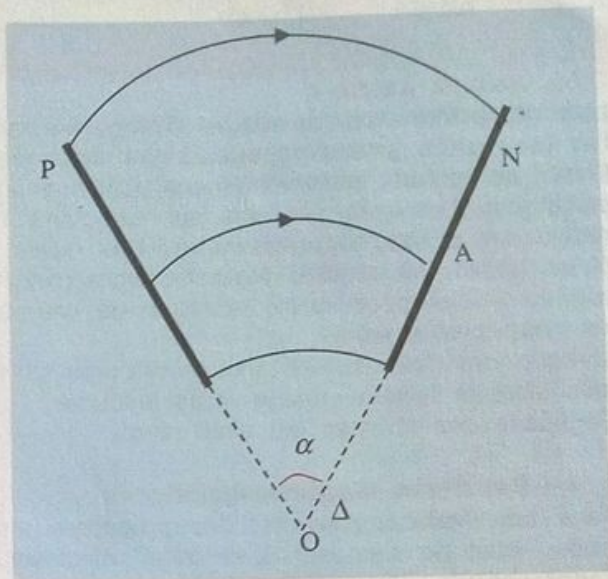
1-) Sachant que les équipotentielles sont orthogonales aux lignes de champ, tracer les équipotentielles 0 V ; -50 V et $+50$ V.

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 : masse de l'électron $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.



15

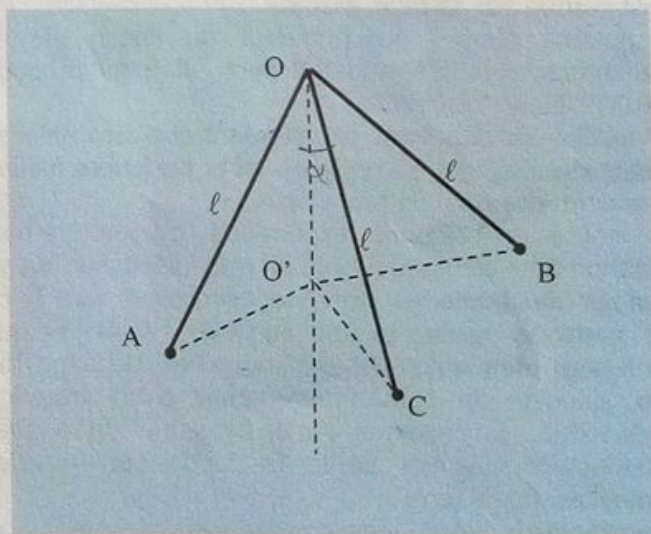
On dispose de 3 pendules identiques constitués par 3 fils inextensibles de masse négligeable, de longueur $l = 20$ cm portant chacun une masse supposée $m = 1$ g.

Les pendules sont fixés au même point O . Ils sont électrisés et acquièrent alors la même charge électrique q . Les fils s'écartent de la verticale d'un même angle $\alpha = 10^\circ$ et occupent alors les sommets d'un triangle équilatéral ABC .

1) Calculer la longueur des côtés du triangle équilatéral ABC .

2) Représenter les forces qui s'exercent sur chacune des masses.

3) Calculer la valeur de la charge électrique q portée par chaque masse.





ÉNERGIE ÉLECTRIQUE



De quelle époque datent les premiers lampadaires électriques ?

L'électricité est qualifiée par certains de huitième merveille du monde. Sa production en grandes quantités a complètement révolutionné l'industrie avant de s'imposer dans nos foyers :

Nous sommes devenus « prisonniers » de l'électricité. Le moindre délestage a des effets négatifs sur notre économie et sur notre « moral ».

L'électricité est produite à partir d'autres formes d'énergie. Elle présente l'avantage d'être propre (pas de fumées , pas de mauvaises odeurs) et d'un emploi souple et efficace . Elle est celle qui se prête le mieux à être transportée sur de longues distances.

APPLICATION 9

Dans le circuit schématisé ci-contre :

G est un générateur ($12\text{ V} ; 6\Omega$).

M est un moteur ($6\text{ V} ; 1\Omega$).

R est un résistor (6Ω).

- 1) Calculer l'intensité I du courant débité par le générateur.
- 2) Calculer les intensités I_1 et I_2 des courants qui traversent respectivement le résistor et le moteur.
- 3) Faire le bilan énergétique du circuit.

Solution

Ecrivons la d.d.p entre les nœuds A et B

$$U_{AB} = RI_2 = E' + r'I_2 = E - rI.$$

En remplaçant les grandeurs connues par leurs valeurs respectives, on tire

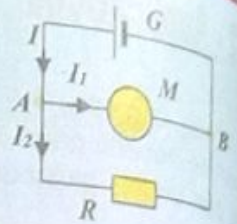
$$6I_2 = 6 + I_1 = 12 - 6I \quad (1)$$

Nous avons aussi

$$I = I_1 + I_2 \quad (2)$$

Les relations (1) et (2) équivalent à un système de 3 équations à 3 inconnues. La résolution donne

$$I = 1\text{ A} ; I_1 = 0 ; I_2 = 1\text{ A}$$



La puissance électrique $P = EI$ fournie par le générateur G est consommée au niveau du générateur et du résistor sous forme calorifique et au niveau du moteur sous forme mécanique et calorifique.



- La puissance électrique échangée avec le reste du circuit par un dipôle passif placé entre les points A et B d'un circuit s'écrit $P =$

$$\frac{W}{\Delta t} = U_{AB} \cdot I_{AB}$$

- La puissance électrique échangée par un résistor de résistance R parcouru par un courant d'intensité I_{AB} pendant une durée Δt s'écrit donc $W = R \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t$

(Cette relation est souvent appelée loi de JOULE).

- La puissance électrique par un moteur (ou un électrolyseur) de f.c.e.m E' , de résistance intérieure r' parcouru par un courant d'intensité I_{AB} est :

$$P = U_{AB} \cdot I_{AB} = (r'I_{AB} + E') \cdot I_{AB}.$$

- La puissance échangée par un générateur G linéaire de f.e.m E , de résistance interne r avec le reste du circuit, c'est - à - dire la puissance disponible à l'extérieur du générateur entre P et N ou plus précisément la puissance électrique que le générateur fournit à tous les autres dipôles du circuit s'écrit $P = -rI^2 + EI$.

Cette puissance se compose de 2 termes.

$E \cdot I_{NP}$ correspond à la puissance engendrée au niveau du générateur.

$r \cdot I_{NP}^2$ correspond à la puissance électrique consommée par le générateur sous forme calorifique.

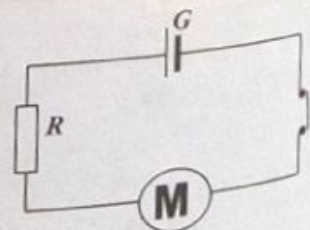
- La loi de Pouillet permet de calculer l'intensité du courant qui circule dans un circuit simple (sans dérivation)

Prenons l'exemple du circuit ci-contre constitué

- d'un générateur $G(E, r)$
- d'un résistor de résistance R ,
- d'un électrolyseur $C(E', r')$.

L'intensité I du courant s'écrit

$$I = \frac{E - E'}{R + r + r'}$$



EXERCICES

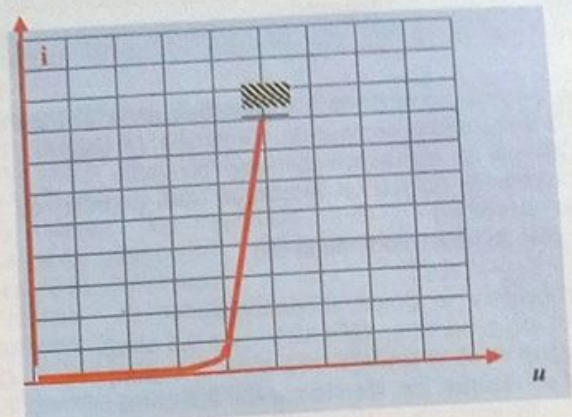
1 Un conducteur ohmique porte les indications suivantes : 50 ohms ; 4 A.
 1) Quelle est la puissance dissipée par ce conducteur ?
 2) Sous quelle tension faut-il l'utiliser ?

2 Un résistor de résistance $R = 2$ ohms plonge dans un calorimètre renfermant de l'eau. La capacité thermique du calorimètre, de ses accessoires et de l'eau est 1600 J/K.
 On lance dans le résistor un courant d'intensité $I = 3$ A.
 Calculer l'énergie électrique consommée par le résistor en $t = 10$ min.
 Calculer l'élévation de température du système au bout de ces 10 min.
 On néglige les pertes de chaleur

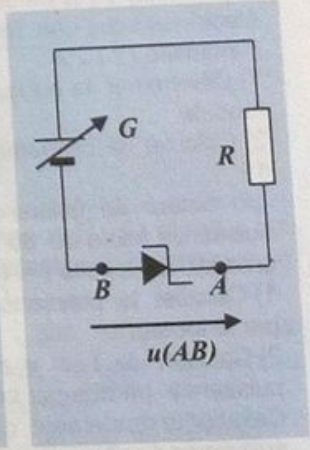
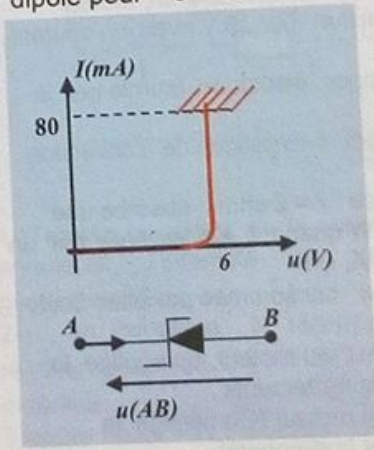
3 Un résistor de résistance R parcouru par un courant d'intensité I dissipe en un temps t une énergie $W = 2000$ joules.
 Calculer l'énergie dissipée :
 a) par le passage dans le même résistor d'un courant d'intensité double pendant le même temps.
 b) par le passage dans le même résistor d'un courant d'intensité I pendant une durée double.
 c) par le passage d'un courant d'intensité $I' = \frac{I}{2}$ pendant un temps $t' = 4.t$.

4 On veut porter à l'ébullition en 10 min un demi litre d'eau prise à 20°C au moyen d'un résistor de résistance R .
 Les pertes de chaleur par conduction, convection et rayonnement représentent les 25% de la chaleur cédée au liquide.
 1) Calculer la puissance électrique dissipée par effet Joule au niveau du résistor.
 2) Calculer l'intensité du courant sachant qu'un courant de 1 A produit en 90 min dans le même récipient et dans les mêmes conditions l'ébullition de la même quantité d'eau prise à la même température.
 3) Calculer la valeur de R .

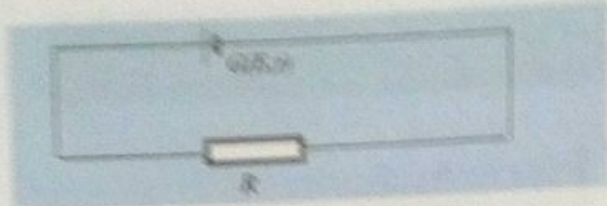
5 On donne ci-dessous la caractéristique d'une diode.
 Echelle : En abscisses 1 division pour 0,2 V
 En ordonnées : 1 division pour 100 mA
 1) Trouver la tension aux bornes de la diode lorsqu'elle est parcourue par un courant d'intensité $I = 100$ mA.
 Calculer la puissance électrique consommée par la diode dans ces conditions.
 2) Calculer la puissance maximale de la diode.



6 On donne ci-dessous la caractéristique d'une diode Zener. La diode est placée dans un circuit en série avec un générateur G de f.e.m variable (e) de résistance interne (r), et un résistor de résistance R .
 L'intensité maximale du courant que peut supporter la Zener est 80 mA
 1)-Quelle doit être la valeur minimale de R si e varie de 8V à 12 V ?
 2)-Calculer l'intensité du courant pour $e = 10$ V et $R = 8$ ohms.
 3)-Faire le bilan des puissances de chaque dipôle pour $e = 10$ V

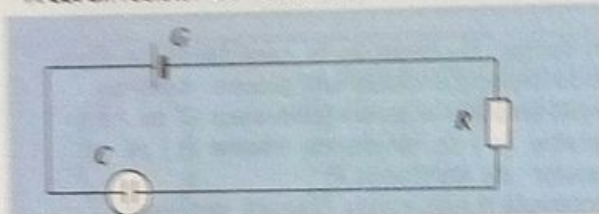


7 On considère le circuit ci-dessous. On donne $E = 6$ V ;
 $r = 1$ ohm ; $R = 7$ ohms.
 Calculer l'intensité I du courant débité par le générateur. Calculer :
 - la puissance électrique fournie par le générateur,
 - la puissance calorifique consommée par le résistor,
 - la puissance calorifique consommée par le générateur.



8 Une pile de f.e.m $E = 4,5 \text{ V}$, de résistance interne $r = 1 \text{ ohm}$ débite un courant d'intensité $I = 0,25 \text{ A}$.
 1) Calculer la puissance électrique convertie.
 2) Calculer la puissance électrique utile (fournie au reste du circuit).
 Calculer le rendement de la pile.

9 On considère le circuit ci-dessous :
 G est un générateur ($E = 12 \text{ V}$; $r = 0,5 \text{ ohm}$).
 C est un électrolyseur ($E' = 2 \text{ V}$; $r' = 1 \text{ ohm}$).
 R est un résistor de résistance $R = 2,5 \text{ ohms}$.



- Calculer l'intensité I du courant.
- Calculer la puissance électrique consommée par chaque dipôle.
- Calculer le rendement de l'électrolyseur.

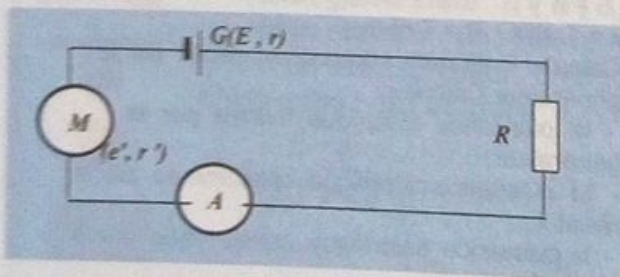
10 Un module photovoltaïque reçoit une puissance rayonnante $P(R) = 300 \text{ W}$. Il alimente un moteur électrique sous une tension $U = 15 \text{ V}$ avec un courant d'intensité $I = 1,2 \text{ A}$.

- Déterminer la puissance électrique fournie par le module.
- Calculer le rendement énergétique de conversion.

11 Un moteur de résistance $r = 2 \text{ ohms}$ absorbe une puissance totale de 80 W quand il est traversé par un courant d'intensité $I = 4 \text{ A}$.

- Calculer la puissance consommée par effet Joule par le moteur.
- Calculer la f.c.e.m du moteur, on néglige la puissance perdue par les frottements.
Calculer le rendement du moteur (On néglige la puissance perdue par les frottements).

12 On réalise le circuit ci-dessous

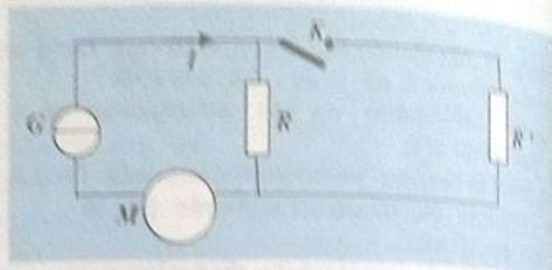


On donne $E = 12 \text{ V}$; $r = 1 \text{ ohm}$; $R = 5 \text{ ohms}$;
 L'ampèremètre A a une résistance nulle.

- On empêche le moteur de tourner. L'ampèremètre indique $I = 1,7 \text{ A}$. Calculer r .
- On laisse tourner le moteur.

L'ampèremètre indique $I' = 1 \text{ A}$. Calculer e' .
 Calculer la puissance électrique consommée par chaque dipôle.
 Quelle est la fraction d'énergie électrique transformée en énergie mécanique ?

13 On donne le circuit ci-dessous



G est un générateur de courant (il débite un courant d'intensité constante $I = 2 \text{ A}$ quelque soit le circuit)
 $R = 33 \text{ ohms}$; $R' = 47 \text{ ohms}$.

Le moteur a une f.c.e.m $E' = 6 \text{ V}$ et une résistance interne $r' = 2 \text{ ohms}$.

Calculer la puissance fournie par le générateur

- lorsque l'interrupteur K est ouvert ;
- lorsque l'interrupteur K est fermé.

14 Un générateur de f.e.m E , de résistance interne r débite un courant d'intensité I dans un résistor de résistance variable R .

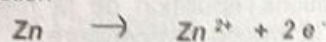
- Donner l'expression de l'intensité I du courant.
- Donner l'expression de la puissance électrique P fournie par le générateur
- Donner l'expression de la puissance y du résistor. Pour quelle valeur de R cette puissance y est-elle maximale ?

Donner l'allure de la courbe $P = f(R)$

applications numériques $E = 12 \text{ V}$, $r = 3 \text{ ohms}$
 R varie de 0 à 20 ohms

15 1) Une lampe de poche comprend une ampoule ($3,5 \text{ V}$; 200 mA) et une pile plate ($E = 4,5 \text{ V}$; r).
Quelle est la valeur de r ?

2) Une pile alcaline contient du zinc qui constitue la borne négative. Il se produit au niveau de cette borne la réaction



Quand la pile est hors d'usage, la masse de zinc a diminué de $1,80 \text{ g}$.

a) Quelle est alors la quantité d'électricité débitée par la pile ?

Quelle est la durée de fonctionnement de la pile ?
 b) Faire le bilan énergétique de l'ensemble sachant que le rendement de l'ampoule est $\mathcal{R} = 5\%$

Le rendement de l'ampoule est le rapport de la puissance lumineuse émise à la puissance électrique reçue.



16 On procède à l'électrolyse d'une solution d'hydroxyde de potassium avec électrodes inattaquables en nickel.

1) Écrire l'équation qui traduit la réduction des molécules d'eau au niveau de la cathode puis la réaction qui traduit l'oxydation des ions hydroxyde au niveau de l'anode. En déduire l'équation-bilan de l'électrolyse.

2) Calculer la quantité d'électricité qui a traversé l'électrolyseur lorsque le volume de dihydrogène dégagé est de 1 mètre cube. Le volume molaire dans les conditions expérimentales est de 30 L.

3) La f.e.m. de l'électrolyseur est $E' = 1,63 \text{ V}$. L'énergie électrique nécessaire pour préparer un mètre cube de dihydrogène est de 4,47 kW.h. Calculer le rendement de l'électrolyseur.

17 La force électromotrice \mathcal{E} d'un moteur est proportionnelle à sa vitesse de rotation. Pour une vitesse angulaire $\omega = 3000 \text{ tours/min}$ la f.e.m. est $\mathcal{E}' = 200 \text{ V}$. La résistance du moteur est $r = 2,0 \Omega$. Le moteur ne peut supporter un courant d'intensité supérieur à $I_{\text{max}} = 30 \text{ A}$.

1) Le moteur est initialement au repos. Quelle serait l'intensité du courant qui traverse le moteur si on le branche seul avec un générateur de f.e.m. $E = 220 \text{ V}$ et de résistance négligeable ?

2) On place en série avec le moteur un rhéostat dit « de démarrage ». Quelle doit être la valeur minimale de la résistance du rhéostat :

- au démarrage ?
- quand la vitesse du moteur est ω .

Faire les applications numériques pour $\omega = 500 \text{ tours/min}$; $\omega = 1000 \text{ tours/min}$; $\omega = 2000 \text{ tours/min}$.

3) Lorsque le moteur tourne à 3000 tours/min le rhéostat est mis à zéro.

Quelle est la puissance électrique reçue par le moteur ? Quelle est la puissance mécanique fournie par le moteur ?

4) Quelle est la puissance électrique reçue par le moteur lorsqu'il tourne aux vitesses angulaires de la question 2 ? Quel est l'intérêt d'avoir, pendant le régime transitoire, un courant plus important que pendant le régime permanent ?

18 Une batterie d'accumulateurs alimente une électropompe de puissance 45 W.

La batterie a une capacité de 105 A.h et une f.e.m. de 12 V. Sa résistance interne est nulle.

La batterie est rechargée par un module photovoltaïque. Ce module a une puissance de « crête » de 32 W sous une tension de 17,5 V pour un éclairage de 500 W/m².

1) Calculer le temps pendant lequel l'électropompe peut fonctionner sans que la batterie soit rechargée.

2) Calculer la valeur maximale du rapport de la durée de fonctionnement de l'électropompe à celle de la durée d'ensoleillement du module pour que la batterie garde une charge constante.

3) La pompe transporte de l'eau sur une hauteur de 45 m avec un débit de 135 litres/h.

Calculer le rendement énergétique de l'électropompe.

19 On considère le circuit ci-contre.

On donne $E = 120 \text{ V}$;

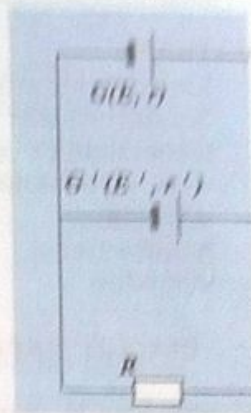
$E' = 135 \text{ V}$; $r = 1 \text{ ohm}$;

$r' = 2 \text{ ohms}$; $R = 6 \text{ ohms}$.

1) Calculer les intensités des courants dans les différentes branches du circuit.

Préciser le sens de chaque courant.

2) Le générateur G se comporte-t-il comme un générateur ou un récepteur d'énergie électrique. Faire le bilan énergétique du circuit.



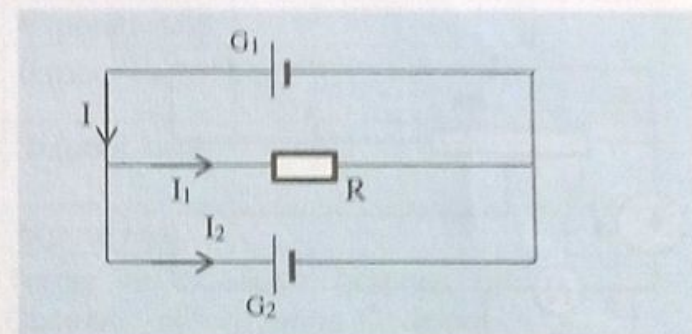
20

On considère le circuit ci-dessous.

G_1 est un générateur de f.e.m. $E_1 = 40 \text{ V}$, de résistance intérieure $r_1 = 10 \Omega$.

G_2 est un générateur de f.e.m. $E_2 = 10 \text{ V}$, de résistance intérieure $r_2 = 1 \Omega$.

R est un résistor

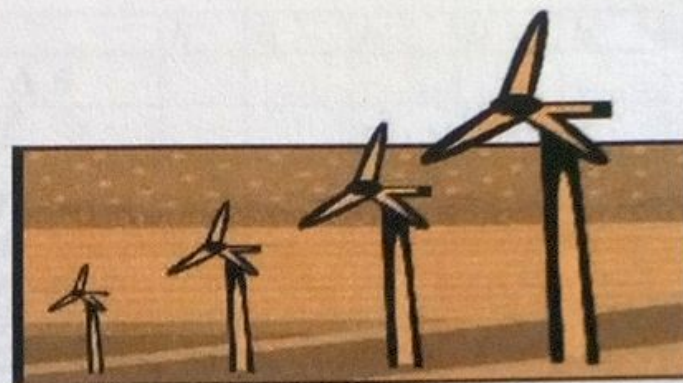


1-) Trouver la valeur de la résistance R du résistor qui annulerait l'intensité du courant qui traverse le générateur G_2 .

2-) On remplace le résistor par un moteur de résistance interne $r' = 1 \Omega$ qui fournit au milieu extérieur une puissance mécanique P_u .

Trouver l'équation qui permet de calculer en fonction de P_u , l'intensité du courant qui traverse le moteur.

En déduire la valeur maximale de P_u .



CONDENSATEURS

10



Philadelphie : 15 Juin 1752...

Jusqu'au XVIII^e siècle, la nature des éclairs pendant les orages restait inconnue. On pensait que l'électricité était due à un fluide présent dans certains corps : le feu électrique qui se manifeste par un éclair et une odeur soufrée et que l'on peut piéger dans la bouteille de Leyde. Passer des machines électrostatiques à l'orage consiste donc à percevoir les éléments communs aux deux phénomènes.

Il faudra l'intuition de B. Franklin pour faire le rapprochement entre décharge du ciel à la terre d'un éclair et étincelles électriques obtenues à l'aide de bâtons d'ébonite frottés ou grâce à la bouteille de Leyde.

L'éclair nuage-sol peut être modélisé de façon très simple : il correspond à la décharge d'un condensateur géant de capacité C , à travers un fil conducteur, le canal ionisé, matérialisé par un conducteur ohmique de résistance r .

Lorsque lors de son expérience du cerf-volant une petite étincelle jaillit entre une petite clef et le câble du cerf-volant, un éclair de génie jaillit dans la tête de Franklin : le paratonnerre venait de prendre forme dans sa tête.

L'électrostatique
très pour
physique
savaient
électrostatique
vitesse
frottaient la
On ignorait
proton, de
structure
électrique
Les physiciens
électrique
fluides,
L'électricité
présenter
trouva le
l'emmagasinement
En 1745,
méditerranéenne
son professeur
étudiaient
statique
avaient compris
était causé
électrique
bouteille
conducteur
externe
était renforcé
plongea
bouchon
ils venaient
de l'histoire
appelée
verre ess

Un condensateur est formé de deux conducteurs très proches l'un de l'autre, les deux conducteurs sont en regard. Ces conducteurs sont proches l'un de l'autre, les deux conducteurs sont en regard. Ces conducteurs sont proches l'un de l'autre, les deux conducteurs sont en regard.

L'isolant s'appelle diélectrique. Les charges conductrices sont opposées.

Pour un condensateur donné le rapport $\frac{Q}{U}$ de la charge à la tension est constant.

Ce rapport caractérise le condensateur, on l'appelle la capacité du condensateur.

On notera $\frac{Q}{U} = C$ ou $Q = C.U$.

Dans le cas d'un condensateur plan, nous admettons que la capacité est donnée par la relation $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{e}$.

e est l'épaisseur du diélectrique, S est la surface en m².

ϵ_r est appelée permittivité du vide, sa valeur est

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} \text{ SI}$$

ϵ_r est la permittivité relative du diélectrique.

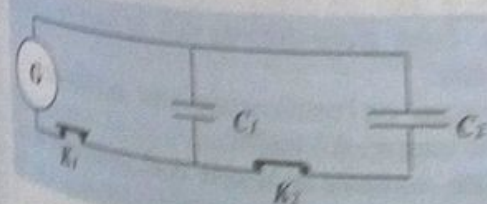
Nous admettons qu'un condensateur de capacité C portant une charge Q possède de l'énergie $E = \frac{Q^2}{2C}$.

EXERCICES

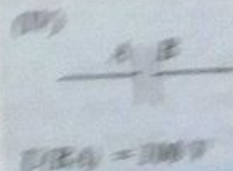
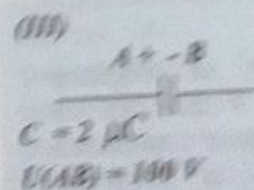
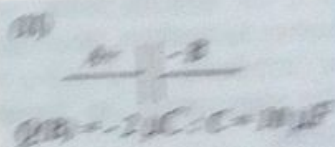
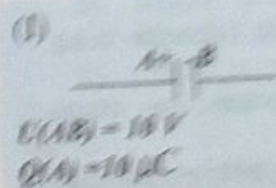
1. Un condensateur de capacité $C = 2$ microfarads est chargé sous une tension $U = 1000$ V. Calculer sa charge. Calculer l'énergie stockée.

2. Un condensateur de capacité $C_1 = 1$ microfarad est chargé sous une tension $U = 1$ kV par un générateur G en fermant l'interrupteur K_1 . On ouvre ensuite K_1 et on ferme l'interrupteur K_2 reliant ce condensateur à un autre condensateur de capacité $C_2 = 3$ microfarads initialement non chargé.

- Calculer la tension commune aux bornes des deux condensateurs.
- Calculer les charges Q_1 et Q_2 acquises respectivement par les deux condensateurs.
- Calculer la perte d'énergie au cours de l'opération.

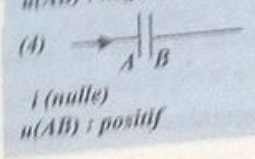
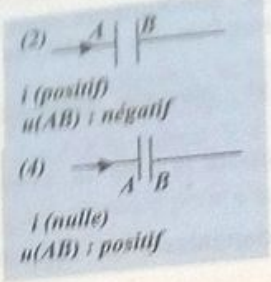
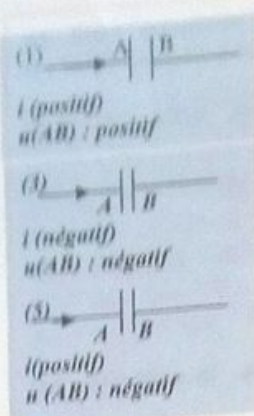


3. On donne les schémas (I), (II), (III), et (IV).



- Croquis I : calculer la capacité du condensateur.
- Croquis II : Calculer la tension $U(B,A)$.
- Croquis III : Calculer $Q(A)$.
- croquis IV : Préciser les signes de $Q(A)$ et $Q(B)$.

4. Préciser si les condensateurs ci-dessous sont en train de se charger, de se décharger ou gardent une charge constante.



5 Un condensateur est chargé à partir de la date 0 par un courant d'intensité constante $i = 10$ microampères pendant un temps $t_1 = 15$ s. La tension aux bornes du condensateur au bout de ces 15 s est $U = 1$ V.

- 1) Calculer la capacité C du condensateur.
- 2) Exprimer la puissance instantanée P du condensateur en fonction de i , C et de la date t considérée.
- 3) - Calculer cette puissance à la date $t = 10$ s.
- 4) - Calculer l'énergie E stockée par le condensateur au bout des 15 s.

Comparer E au produit $P \cdot t$.
Retrouver le résultat graphiquement.

6 La capacité d'un condensateur peut varier entre $0,5 \cdot 10^{-4}$ F et $0,95 \cdot 10^{-3}$ F. On fait $C = 0,95 \cdot 10^{-3}$ F et on charge le condensateur sous une tension constante $U = 400$ V. Il est ensuite isolé. On tourne le bouton pour porter la capacité à sa valeur minimale.

- 1) - Calculer alors la tension entre les deux armatures.
- 2) - Calculer l'énergie emmagasinée initialement par le condensateur

7 Un nuage de surface $S = 1$ km² se déplace horizontalement à une altitude $h = 500$ m. Il constitue avec la terre un condensateur supposé plan. La d.d.p entre le nuage et la terre est $U(NT) = 5 \cdot 10^5$ V.

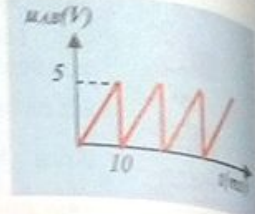
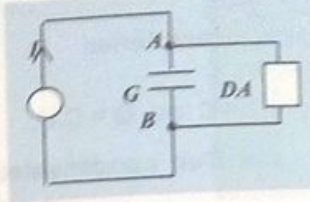
- 1) - Calculer la capacité C de ce condensateur.
- 2) - Donner les caractéristiques du champ électrique entre la terre et le nuage.
- 3) - Il jaillit une étincelle entre le nuage et la terre. Sa durée est $\Delta t = 1$ microseconde. Calculer la puissance moyenne échangée par le dipôle (terre - nuage).

Calculer l'intensité moyenne du courant de décharge.

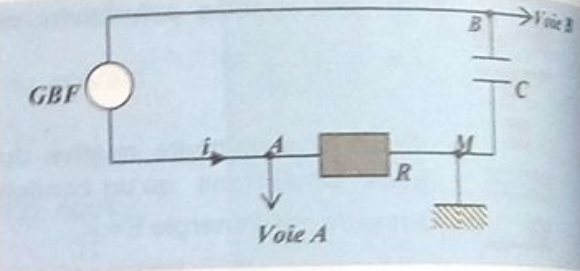
8 On se propose de déterminer la capacité C d'un condensateur à l'aide du montage ci-dessous. G est un générateur qui débite un courant d'intensité constante $i = 1$ mA. Dès que la tension u_{AB} aux bornes du condensateur atteint la valeur maximale $U_m = 5$ V, un dispositif (noté D.A) permet

de décharger automatiquement et instantanément le condensateur. L'oscillographe permet d'observer les charges et décharges successives.

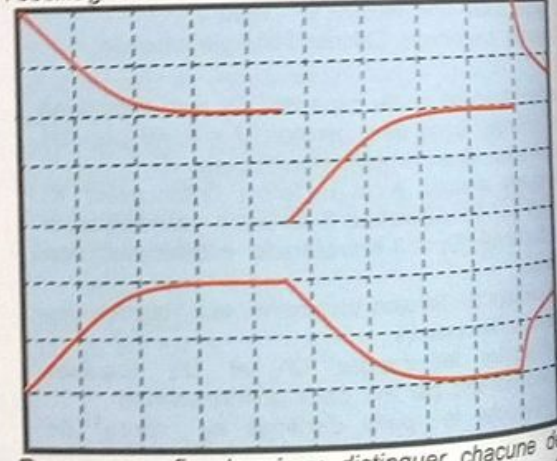
- 1) Déterminer à partir de l'oscillogramme l'équation de la tension $u(t)$, aux bornes du condensateur entre les dates 0 et 10 ms.
- 2) En déduire la capacité C du condensateur.



9 Afin d'étudier la charge et la décharge d'un condensateur, on réalise le circuit ci-dessous.



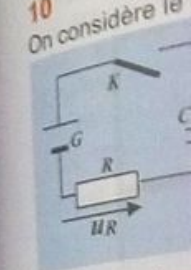
- GBF est un générateur basse fréquence délivrant une tension rectangulaire,
 - R est un conducteur ohmique de résistance $R = 200 \Omega$,
 - C est un condensateur de capacité C .
- Grâce à un oscilloscope électronique, on obtient l'oscillogramme ci-dessous.



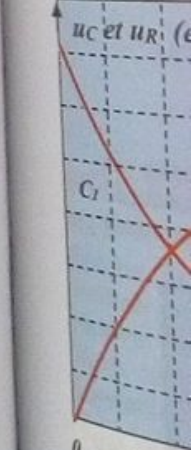
Remarque : afin de mieux distinguer chacune des courbes l'une a été décalée vers le haut et l'autre vers le bas.

- Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :
- Base de temps : $0,5$ ms/div.
 - Sensibilité verticale de la voie A et de la voie B : 2 V/div.
 - entrée B inversée.
- 1) a) Quelles sont les courbes qui représentent :
 - la tension u_{AM} aux bornes du conducteur ohmique ?
 - la tension u_{BM} aux bornes du condensateur ?
 - b) En déduire celle qui permet de connaître les variations de l'intensité i du courant en fonction du

temps t à quoi chaque courbe ?
 2) Déterminer les :
 - fréquence f du p...
 - tension maximale...
 - valeur maxim...
 charge les me...
 3) Pour les me...
 l'oscilloscope, on...
 résistance R .
 - Les grandeurs...
 qui, dans quel s...
 - Représenter la...
 bornes du conde...
10 On considère le



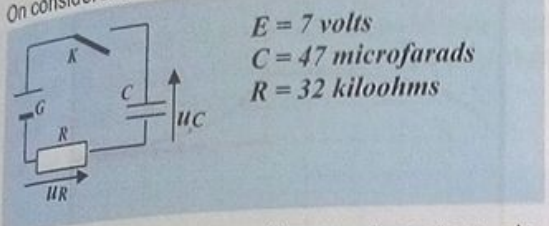
1) - On étudie la capacité C par la mesure de la force électromotrice \mathcal{E} .
 A la date $t = t_1$, on coupe le circuit.
 d'un ordinateur. On donne les données, on étudie le temps de charge du condensateur et du conducteur ohmique.
 figure.



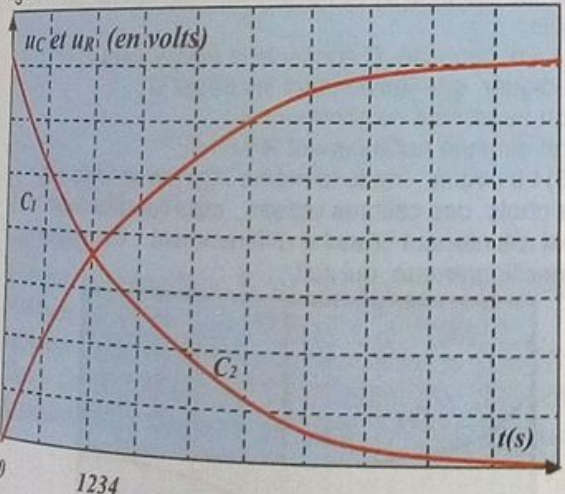
représentative du condensateur ?
 2) A l'instant t_1 , on coupe le circuit. Quelle est sa charge maximale Q_m ?
 3) Sachant que le temps de charge est 63% de τ , représenter graphiquement

temps c) A quoi correspondent les 2 parties de chaque courbe ? Justifier la réponse.
 2) Déterminer les grandeurs suivantes :
 - fréquence f du générateur,
 - tension maximale aux bornes du condensateur,
 - tension maximale aux bornes du conducteur ohmique,
 - valeur maximale I_{max} de l'intensité du courant de charge.
 3) Pour les mêmes réglages du GBF et de l'oscilloscope, on augmente la valeur de la résistance R .
 - Les grandeurs f , et I_{max} sont-elles modifiées ? Si oui, dans quel sens ? si non, pourquoi ?
 - Représenter la nouvelle allure de la tension aux bornes du condensateur.

10 On considère le circuit suivant :

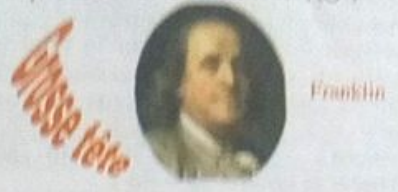


1) On étudie la charge d'un condensateur de capacité C par un générateur de tension de force électromotrice E à travers un circuit de résistance R . A la date $t = 0$, on ferme l'interrupteur et à l'aide d'un ordinateur muni d'une carte d'acquisition de données, on enregistre l'évolution au cours du temps de la tension u_C aux bornes du condensateur, ainsi que la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique comme indiqué sur la figure.



représentative de u_C ? Justifier la réponse.
 b) Comment pourrait-on obtenir la courbe représentative du courant i circulant dans le circuit ?
 2) A l'instant $t = 5 \text{ s}$ le condensateur a-t-il atteint sa charge maximale, Justifier la réponse.
 b) Quelle sera la tension aux bornes de C en fin de charge ? Justifier
 3) Sachant que la constante de temps τ est le temps au bout duquel le condensateur a acquis 63% de sa charge maximale, déterminer graphiquement la valeur de τ .

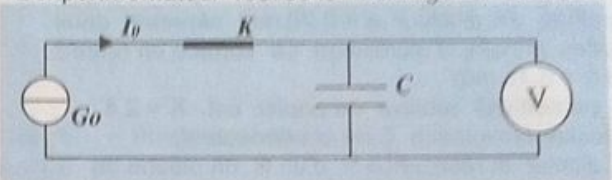
b) Le résultat trouvé est-il en accord avec la valeur déduite de son expression théorique $\tau = RC$?



11 Pour déterminer la capacité C d'un condensateur les matériels à la disposition de l'expérimentateur lui permettent de choisir entre 2 méthodes.

Première méthode

L'expérimentateur réalise le montage ci-dessous.



G_0 est un générateur de courant idéal, c'est-à-dire un générateur qui débite un courant d'intensité constante $I_0 = 2 \text{ mA}$.

V est un voltmètre électronique permettant de mesurer avec une très grande précision la tension aux bornes du condensateur.

K est un interrupteur dont la fermeture déclenche automatiquement un chronomètre permettant de mesurer les durées t de passage du courant. L'instant de fermeture est choisi comme instant initial $t = 0$.

Les mesures ont donné les résultats suivants :

U(volts)	0	4	6	8	10	12,1	14,2
t(secondes)	0	10	15	20	25	30	35

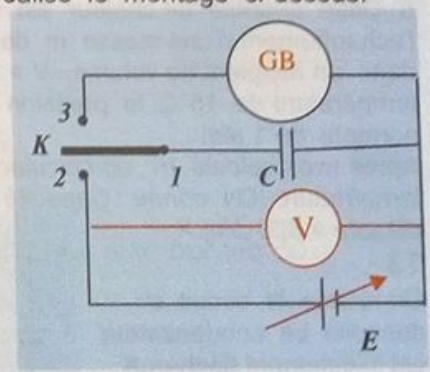
- a) Tracer la courbe $U = f(t)$.
Echelle : 2 V pour 1 cm ; 10 s pour 2 cm.
- b) Etablir la relation entre C , I_0 , U et t .

Déduire de cette relation et de la courbe la valeur de C

Deuxième méthode

L'expérimentateur réalise le montage ci-dessous.

GB est un galvanomètre balistique conçu pour mesurer des quantités d'électricité. Il comporte une échelle graduée de 0 à 150 sur laquelle se déplace un spot lumineux. En l'absence de courant le spot indique la division 0.



La quantité d'électricité Q qui traverse le galvanomètre est proportionnelle à la déviation maximale (d) du spot : $Q = s \cdot d$;

s représente la sensibilité du galvanomètre. Sa valeur est $s = 5 \cdot 10^{-5} \text{ C/division}$.

E est un générateur de tension variable. K est un inverseur : on établit le contact (1,2) dans un premier temps. Le générateur charge le condensateur sous une tension U mesurée par le voltmètre. Dans un deuxième temps, le contact

(1,2) est supprimé et le contact (1,3) est établi aussitôt. Le condensateur se décharge dans le galvanomètre et on mesure une déviation maximale (d) indiquée par le spot lumineux. L'opération est reprise plusieurs fois en faisant varier U. Les résultats suivants sont obtenus.

U(volts)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
d(divisions)	10	20	30	40	50	61	71

- a)- Tracer la courbe $U = f(d)$.
 échelle : 10 divisions pour 1 cm ; 0,1V pour 1 cm
 b)-Etablir la relation entre U, C, d et s. Déduire de cette relation et de la courbe la valeur de C.

12

1) Un condensateur plan est constitué par du papier paraffiné d'épaisseur $e = 0,20$ mm séparant deux feuilles minces d'aluminium. La surface en regard est $S = 3,14$ mm².

La permittivité relative du papier est $K = 2,4$.
 Calculer la capacité C du condensateur.

2)Calculer la résistance R d'un fil de platine de longueur $\ell = 20$ cm et de section circulaire de diamètre $d = 1/50$ mm, sachant qu'un fil de ce métal de longueur 1 m et de section 1 mm² a une résistance $R_0 = 0,11$ Ω

3) Le condensateur est chargé sous une tension $U_0 = 900$ V. On réunit les armatures par l'intermédiaire du fil de platine.

Calculer l'intensité initiale I_0 du courant puis le temps δt très court nécessaire pour que le

potentiel descende à la fraction $\chi = \frac{99}{100}$ de sa

valeur initiale.

Montrer que ce temps est indépendant de U_0 .
 Quelle est l'énergie transformée en chaleur pendant ce temps ? Montrer qu'elle est indépendante de R.

4) Au bout d'un temps égal à un très nombre (plusieurs milliers) de fois δt , la tension aux bornes du condensateur est nulle.

Calculer la quantité de chaleur dégagée dans le fil.

5) Cette quantité de chaleur est utilisée pour l'échauffement d'une masse m de diazote enfermé dans un récipient de volume $V = 2$ litres. A la température de 15°C, la pression est la pression normale de 1 atm.

Après avoir calculé m, on calculera l'élévation de température. On donne : Capacité thermique du diazote = 820 J/kg.K

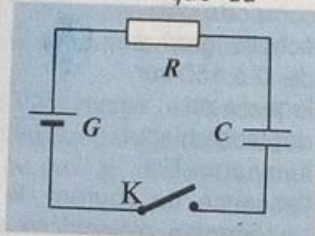
13

On réalise le circuit ci-dessous. Le condensateur est initialement déchargé.

On donne :

$G(100$ V), $r = 0$ ohm) ;

$R = 0,1$ M Ω ; $C = 10$ μ F.



On ferme l'interrupteur K à la date 0.

1)-Déterminer l'énergie du condensateur une fois la charge terminée.

2)-Donner l'allure des courbes qui traduisent en fonction du temps

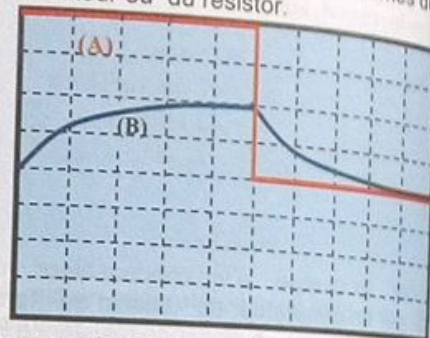
- la variation de l'intensité i du courant,
- la charge q du condensateur.

On précisera en particulier les valeurs initiales et finales
 3)Calculer l'énergie fournie par le générateur et l'énergie consommée par le résistor.

14

On réalise un circuit comprenant en série, un générateur basse fréquence, une résistance et un condensateur. Le générateur délivre une tension u périodique en crêteaux, de fréquence $f = 200$ Hz et qui vaut 0 volt pendant la moitié de la période et $U = 4$ V pendant l'autre moitié ; la résistance vaut $R = 100$ ohms ; le condensateur a une capacité $C = 10$ μ F. L'oscillogramme a été obtenu à l'aide d'un oscilloscope bi-courbe.

Une des courbes obtenues représente la tension aux bornes du générateur, l'autre courbe représente la tension aux bornes du condensateur ou du résistor.



1) Que représente la courbe B ? Comment appelle-t-on le phénomène observé ?

Faire un schéma du montage utilisé.

2) Quelles sont les valeurs maximales de la tension aux bornes du condensateur et aux bornes du résistor ?

2) Préciser les calibres choisis pour la base de temps et pour la déviation verticale de chaque voie.

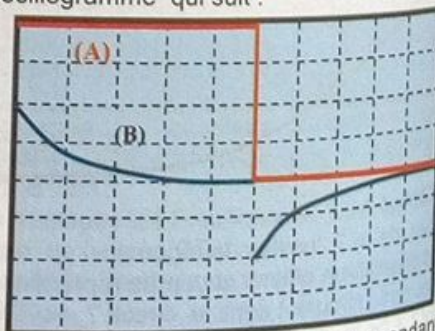
4) La capacité C conserve la même valeur.

Indiquer que deviennent les traces si :

-on augmente notablement R,

-on diminue notablement R

5) Le circuit reste le même. On ne modifie pas le choix des calibres utilisés, mais l'oscilloscope est maintenant branché différemment. On obtient l'oscillogramme qui suit.



Faire un schéma du montage correspondant et préciser les connexions réalisées.

Que représente la courbe B ?

Indiquer l'allure des courbes obtenues si, la valeur de R restant constant on augmente notablement la valeur de la capacité.

OBJECTIF

Déterminer la

MATERIEL

-Générateur

-Interrupteur ;

DISPOSITIF

Réaliser le cir

-V est un voltm

-AO est un a

L'alimentation

-G est un géné

- μ A est un m

-K est un interr

PROTOCO

MESURES

Fermer l'interru

Relever la vale

Relever l'indicat

Vous remarque

condensateur. D

t(s) 0 15 30

U_{AB}

Tracer la courbe

Vérifier que U_{AB}

Déterminer grap

Si q est la charg

Ce qui donne Q

11

L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL



En 1958 et 1959, les sociétés américaines Texas instruments et Fairchild déposent les premiers brevets de micromodules. On peut en assembler plusieurs sur une minuscule plaquette de céramique d'environ 1 cm^2 .

En 1971 une succession de hasards amène une toute petite société Californienne à inventer une puce savante : le microprocesseur à mots de 4 bits (contraction de binaire unit ou unité binaire, soit 0 ou 1) dénommée 4004 .

Fabriquées en quantités industrielles les puces voient leurs prix et leur consommation électrique dégringoler.

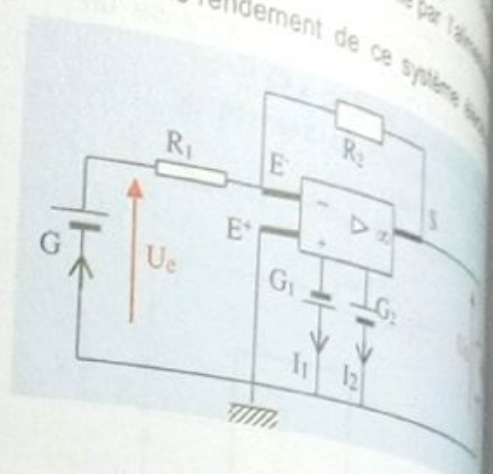
Un microprocesseur est un cœur d'ordinateur reproduit sur un minuscule éclat de silicium de $5 \text{ à } 50 \text{ mm}^2$. C'est la partie qui effectue tous les calculs, toutes les comparaisons, qui contrôle la bonne marche des périphériques.

Un microprocesseur est une tranche de sable fondu zébrée de circuits et emballée dans un petit boîtier. Mais lors de sa fabrication la moindre poussière, la moindre bactérie égarée et tout est à refaire.

signal carré d'amplitude U_0 et de fréquence $N = 200\text{Hz}$.
 - Donner l'allure de tous les signaux sur un écran d'oscilloscope (en expliquant).
 - Donner l'expression littérale exacte des tensions $u_0(t)$, $u_1(t)$ et $u_2(t)$ en fonction du temps.
 (A $t = 0$: $u_0(0) = 0$; $u_1(0) = 0$)
 - Comparer u_0 et u_2 . Comment pourrait-on appeler le montage qui les sépare ?
 4-) Si le signal d'entrée u_0 est un signal sinusoïdal d'amplitude 1V et de fréquence 1000Hz , quel sera le signal $u_3(t)$? Quelles seront sa fréquence et son amplitude ?

11
 On se propose le bilan de puissance du circuit électronique représenté ci-dessous. On donne $R_1 = 10\text{ k}\Omega$; $R_2 = 100\text{ k}\Omega$; $R_U = 1\text{ k}\Omega$. La mesure des tensions aux bornes des générateurs G , G_1 et G_2 et aux bornes de la résistance R_U donne respectivement $U = 15,13\text{V}$; $U_2 = 15,10\text{V}$; $U_S = -7\text{V}$.

- 2-) Calculer
- La puissance P_e fournie par le générateur G ;
 - la puissance utile P_u reçue par la charge R_U à la sortie de l'ampli op ;
 - la puissance P_s fournie par l'alimentation (G_1, G_2) ;
 - le rendement de ce système électronique.

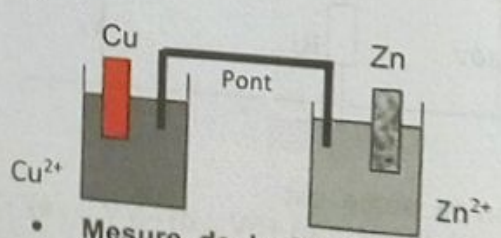


APPLICATION : LE VOLTMETRE ELECTRONIQUE

Réalisons une pile Daniell. Celle-ci est constituée

- d'une demi pile Cu^{2+}/Cu formée d'une lame de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre,
- d'une demi-pile Zn^{2+}/Zn formée d'une lame de zinc plongeant dans une solution de sulfate de zinc.

Les deux solutions sont réunies par un pont salin.



• Mesure de la f.e.m à l'aide d'un voltmètre ordinaire.

Réunissons les deux pôles de la pile ainsi réalisée à un voltmètre, celui-ci indique environ $0,30\text{V}$. Cette indication représente en fait la d.d.p aux bornes de la pile ;

$$U_{PN} = E - rI$$

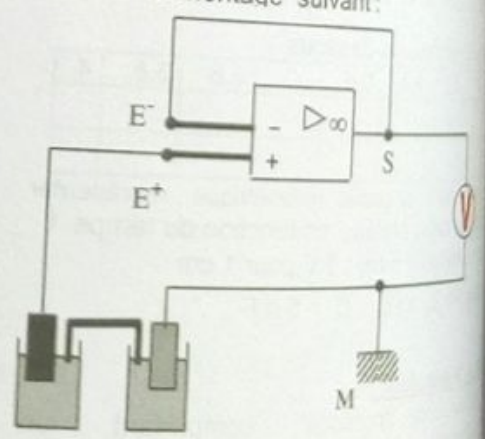
I est l'intensité du courant débité par la pile, r la résistance interne de la pile. La loi de Pouillet nous donne l'expression de I ;

$$I = \frac{E}{r+R}, \quad R \text{ étant la résistance du voltmètre. Nous aurons donc}$$

$$U_{PN} = E - r \cdot \left(\frac{E}{r+R} \right) = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}}$$

L'indication du voltmètre ne donne donc pas la f.e.m de la pile.
 Le voltmètre ne donne la f.e.m de la pile que si $\frac{r}{R} \ll 1$.

• Utilisation d'un A.O
 Réalisons le montage suivant :



« L'ampli op » est alimenté par deux piles de $1,5\text{V}$. Branchons le voltmètre précédent entre S et M. Il mesure la tension de sortie et indique environ $1,08\text{V}$. Cette valeur correspond à la f.e.m de la pile. Nous venons de construire un voltmètre électronique.

Aucun courant n'entre par E^+ , nous avons donc
 $V_{E^+} - V_M = E$
 D'autre part
 $U_{SM} = V_{E^-} - V_M$
 Comme $V_{E^-} = V_{E^+}$ nous aurons
 $U_{SM} = V_{E^+} - V_M = E$.
 L'indication du voltmètre est bien la valeur de la force électromotrice E de la pile.

EXERCICES

1

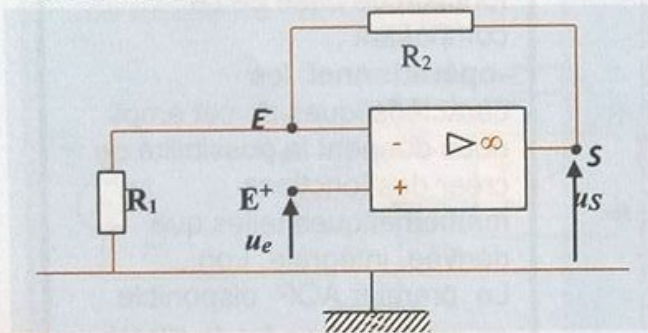
Montage suiveur

On applique une tension $u_e = 0,2 \sin(\omega t)$, de période 1 ms. Les valeurs des résistances R_1 et R_2 sont respectivement $4,7 \text{ k}\Omega$ et $47 \text{ k}\Omega$.

1)- Déterminer la relation entre u_s et u_e ; En déduire la valeur de l'amplification en tension du montage; Donner l'expression de $u_s(t)$ et représenter ses variations.

2) L'amplificateur est alimenté par l'alimentation symétrique $+15 \text{ V}$, -15 V .

Quelle est l'amplitude maximale de $u_e(t)$ qui permet encore au montage de fonctionner en régime linéaire?



2

Amplificateur inverseur.

Pour le montage ci-contre, on donne $R_1 = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$; $u_e(t) = 0,2 \sin(\omega t)$ de période 1 ms;

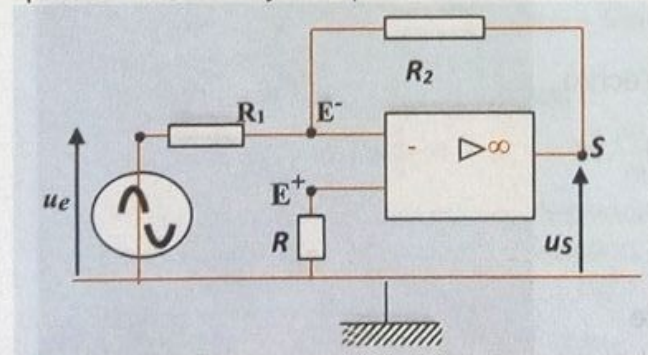
1)- Déterminer la relation entre u_s et u_e .

En déduire la valeur de l'amplification en tension du montage.

2)- Donner l'expression de $u_s(t)$ et représenter ses variations.

3) Quelles sont les valeurs extrêmes de u_e qui permettent encore un fonctionnement linéaire du montage?

Les tensions d'alimentation sont toujours délivrées par l'alimentation symétrique $+15 \text{ V}$; -15 V .



3

Montage sommateur inverseur

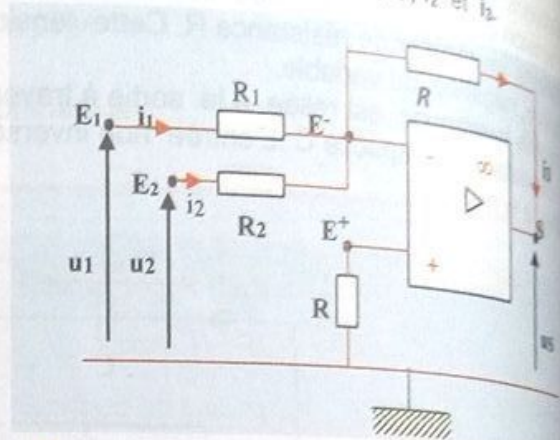
Le montage ci-contre fonctionne en régime linéaire.

1)- Etablir la relation entre i_1 , i_2 et i_3 , puis l'expression de u_s en fonction de u_1 et u_2 .

2)- Que devient cette expression si $R_1 = R_2 = R$?

Application numérique

$u_1 = 3 \text{ V}$; $u_2 = 1 \text{ V}$; $R_1 = R_2 = R = 10 \text{ k}\Omega$.
Calculer les valeurs de u_s , i_1 , i_2 et i_3 .



4

Montage amplificateur non inverseur.

Un amplificateur opérationnel est utilisé dans un montage amplificateur non inverseur. Il est supposé parfait. La pile maintient entre E^- et M la tension

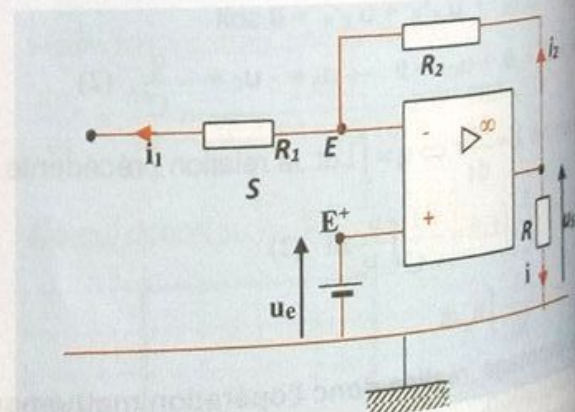
$u_e = 1,5 \text{ V}$. On donne $R = 1 \text{ k}\Omega$.

1)- Exprimer en fonction de u_e , u_s , R_1 et R_2 les intensités i_1 , i_2 des courants dans R_1 , R_2 .

2)- En déduire la relation $u_s = u_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$.

3) $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; on veut obtenir $u_s = 12 \text{ V}$. Quelle doit être la valeur de R_2 ?

4)- Calculer la puissance électrique fournie par la pile, la puissance électrique consommée par R_1 , R_2 et la puissance électrique minimale fournie par l'alimentation non représentée de l'A.O.

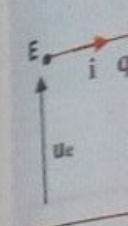


5

Montage dérivateur.

Dans le montage ci-après, on donne $C = 0,1 \mu\text{F}$; $R = 10 \text{ k}\Omega$. La tension appliquée à l'entrée u_e a la forme ci-dessous. Sa fréquence est de $N = 50 \text{ Hz}$ et la valeur maximale est de 1 V .

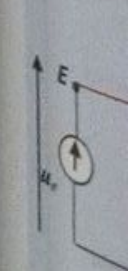
1)- Représenter la tension us
2)- On branche un résistor de valeur R en série avec l'entrée. Représenter le courant dans R. On précisera...

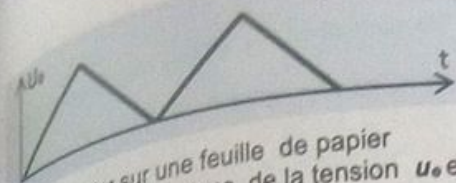


6 On applique une tension d'entrée ue(t) est exprimée par ue(t) = 1 sin(2000 pi t) (en V) par rapport à la terre.

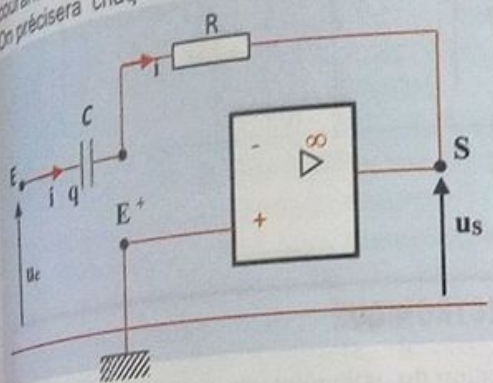
t(ms)	0
ue(V)	
us(V)	

2)- Sur une feuille millimétrée, représenter les variations de ue(t) et us(t). Echelle: 1 cm pour 1 ms; 1 cm pour 1 V. On donne





1)- Représenter sur une feuille de papier millimétrique les variations de la tension u_e et de la tension u_s à la sortie.
 2)- On branche à la sortie entre S et la masse un résistor de résistance $R_s = 10 \text{ k}\Omega$.
 Représenter les variations de l'intensité du courant dans ce résistor.
 On précisera chaque fois l'échelle choisie.



6 On applique à un montage dérivateur une tension d'entrée sinusoïdale : $u_e = 4 \cdot \sin(500\pi t)$
 t est exprimé en secondes, u_e en volts.

1)- Sachant que la dérivée de la fonction $y = a \cdot \sin(\omega t)$ par rapport à t est $\frac{dy}{dt} = a \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$,

compléter le tableau ci-dessous

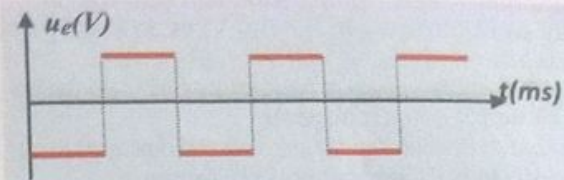
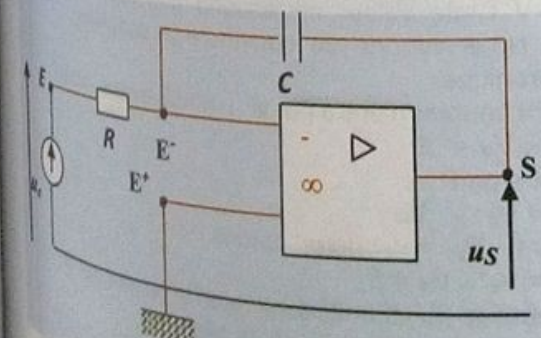
t(ms)	0	0,2	0,4	0,6	...	3,6	3,8	4
$u_e(V)$								
$u_s(V)$								

2)- Sur une feuille de papier millimétrique, représenter les variations de u_e et de u_s en fonction du temps t
 Echelle : 1 ms pour 5 cm ; 1 V pour 1 cm

On donne $R = 30 \text{ k}\Omega$; $C = 5 \text{ nF}$

7 Montage Intégrateur.

On réalise un montage comportant un amplificateur opérationnel. L'amplificateur opérationnel est supposé parfait et fonctionne en régime linéaire. A l'entrée du dispositif on applique la tension $u_e(t)$ en créneaux, de période 10 ms et d'amplitude 0,1 V (voir figure).



1)- Montrer que la tension de sortie a pour expression u_s telle que $u_s = -RC \cdot \frac{du_e}{dt}$

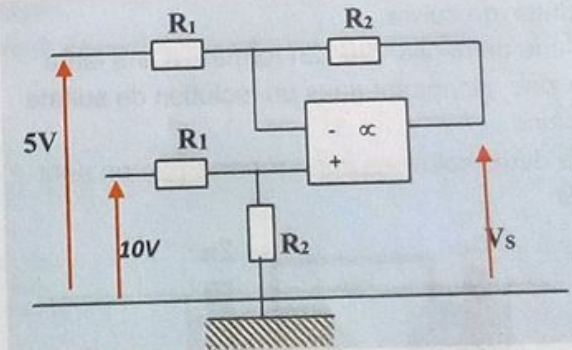
2)- Sachant que $R = 4,7 \text{ k}\Omega$, et que la tension de sortie a pour amplitude 2 V, calculer la capacité C du condensateur.

8

1)- Représenter montage intégrateur comprenant :
 - un amplificateur opérationnel,
 - un résistor de résistance $R = 20 \text{ k}\Omega$,
 - un condensateur de capacité $C = 10 \text{ nF}$.
 2)- On applique à l'entrée du montage la tension en créneaux périodique de période 4 ms et d'amplitude 6 V.
 Représenter graphiquement les variations de $u_s(t)$.

9

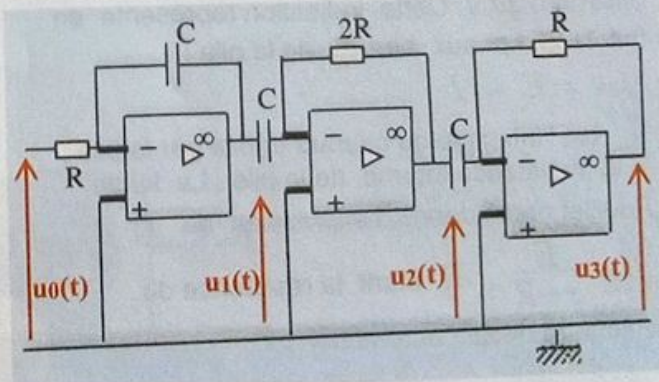
On considère le montage suivant. L'amplificateur opérationnel alimenté en (+15V ; -15 V) est supposé idéal $R_1 = 5000 \text{ ohms}$; $R_2 = 10000 \text{ ohms}$.



La tension de sortie est
 a) +15 V ; b) +10 V ; c) +5V ; d) -5 V ; e) -10 V.

10

On considère le circuit ci-dessous. $R = 5 \text{ k}\Omega$; $C = 1 \mu\text{F}$



1)- Reproduire ce montage en nommant les différentes parties.
 2)- Ecrire toutes les relations entre $u_0(t)$, $u_1(t)$, $u_2(t)$, $u_3(t)$

3-) Sachant que le signal de tension $u_0(t)$ est un signal carré d'amplitude $E = 1,0 \text{ V}$ et de fréquence $N = 200 \text{ Hz}$.

-Donner l'allure de tous les signaux sur un écran d'oscilloscope (en expliquant).

-Donner l'expression littérale exacte des tensions $u_0(t)$; $u_1(t)$ et $u_2(t)$ en fonction du temps.

(A $t = 0$: $u_0(0) = 0$; $u_1(0) = 0$)

-Comparer u_0 et u_2 . Comment pourrait-on appeler le montage qui les sépare ?

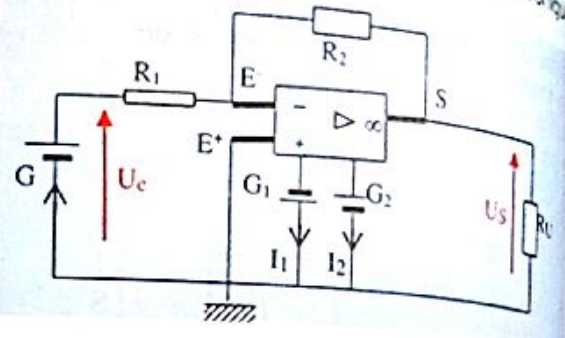
4-) Si le signal d'entrée u_0 est un signal sinusoïdal d'amplitude 1 V et de fréquence 1000 Hz , quel sera le signal $u_3(t)$? Quelles seront sa fréquence et son amplitude ?

11

On se propose le bilan de puissance du circuit électronique représenté ci-dessous. On donne $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$; $R_U = 1 \text{ k}\Omega$.

La mesure des tensions aux bornes des générateurs G , G_1 et G_2 et aux bornes de la résistance R_U donne respectivement $U = 15,13 \text{ V}$; $U_2 = 15,10 \text{ V}$; $U_S = -7 \text{ V}$.

- 1-) Trouver l'intensité du courant traversant R_U .
- 2-) Calculer
 - a) La puissance P_G fournie par le générateur G ;
 - b) la puissance utile P_S reçue par la charge R_U à la sortie de l'ampli op.
 - c) la puissance P_A fournie par l'alimentation (G_1, G_2) ;
 - d) le rendement de ce système électronique.



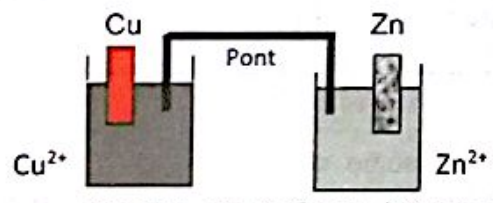
APPLICATION : LE VOLTMETRE ELECTRONIQUE

Réalisons une pile Daniell. Celle-ci est constituée

-d'une demi pile Cu^{2+}/Cu formée d'une lame de cuivre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre ,

-d'une demi-pile Zn^{2+}/Zn formée d'une lame de zinc plongeant dans un solution de sulfate de zinc .

Les deux solutions sont réunies par un pont salin.



- Mesure de la f.e.m à l'aide d'un voltmètre ordinaire .

Relions les deux pôles de la pile ainsi réalisée à un voltmètre, celui-ci indique environ $0,30 \text{ V}$. Cette indication représente en fait la d.d.p aux bornes de la pile ;

$$U_{PN} = E - rI$$

I est l'intensité du courant débité par la pile , r la résistance interne de la pile . La loi de Pouillet nous donne l'expression de I ;

$$I = \frac{E}{r+R} \text{ , } R \text{ étant la résistance du voltmètre . Nous aurons donc}$$

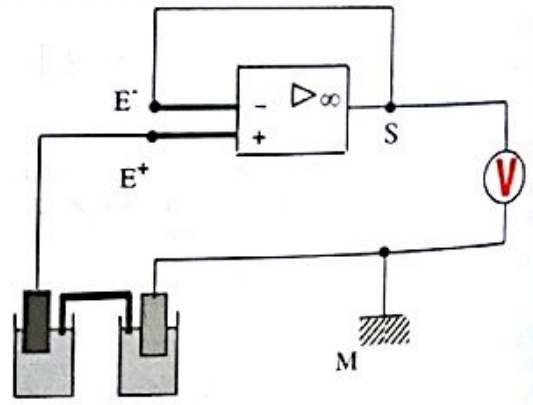
$$U_{PN} = E - r \cdot \left(\frac{E}{r+R} \right) = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}}$$

L'indication du voltmètre ne donne donc pas la f.e.m de la pile .

Le voltmètre ne donne la f.e.m de la pile que si $\frac{r}{R} \ll 1$.

- Utilisation d'un A.O

Réalisons le montage suivant :



« L'ampli op » est alimenté par deux piles de 9 V . Branchons le voltmètre précédent entre S et M. Il mesure la tension de sortie et indique environ $1,08 \text{ V}$. Cette valeur correspond à la f.e.m de la pile . Nous venons de construire un voltmètre électronique.

Aucun courant n'entre par E^- , nous avons donc

$$V_{E^+} - V_M = E$$

D'autre part

$$U_{SM} = V_{E^-} - V_M$$

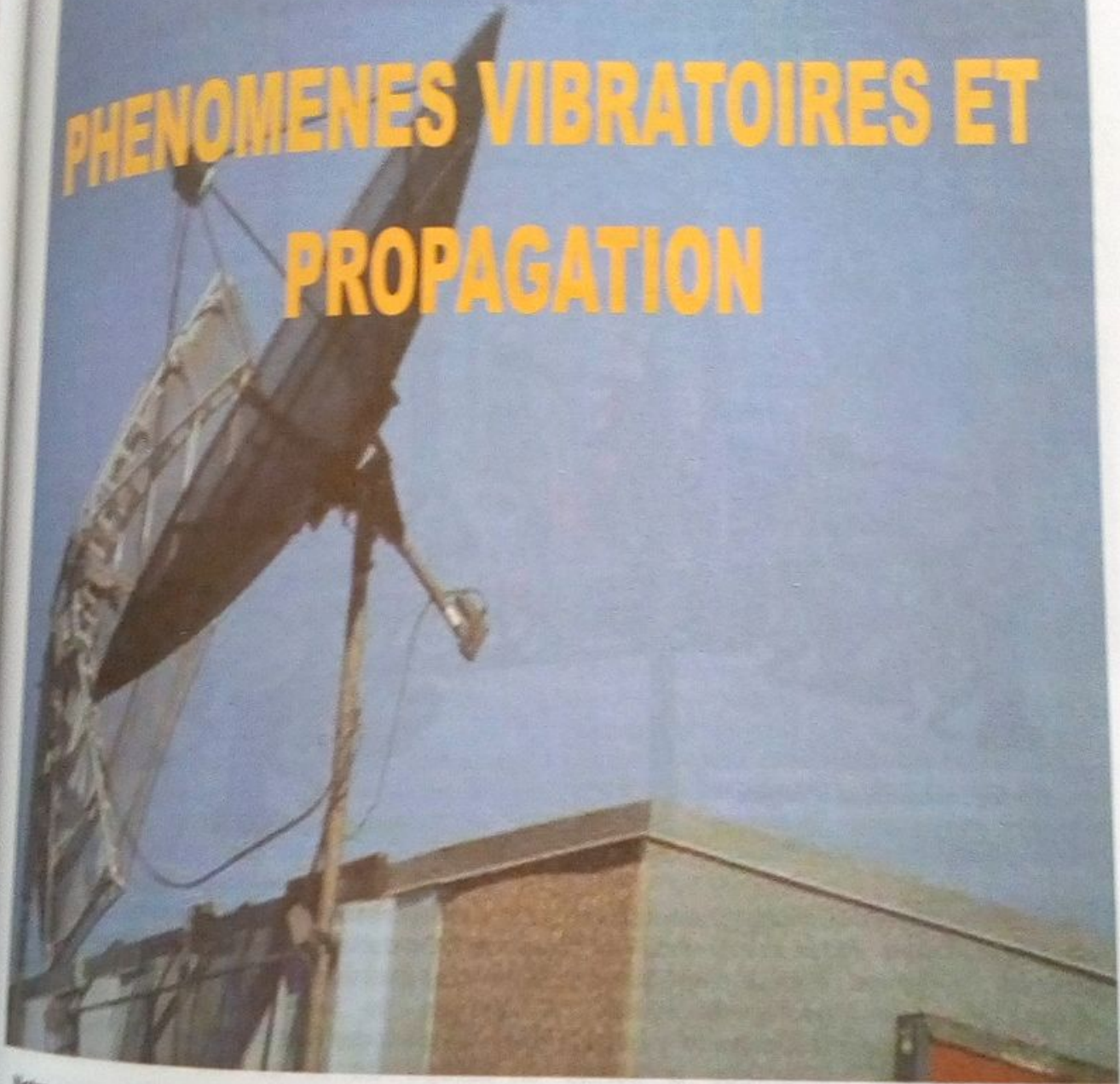
Comme $V_{E^-} = V_{E^+}$ nous aurons

$$U_{SM} = V_{E^+} - V_M = E$$

L'indication du voltmètre est bien la valeur de la force électromotrice E de la pile.

Deuxième partie

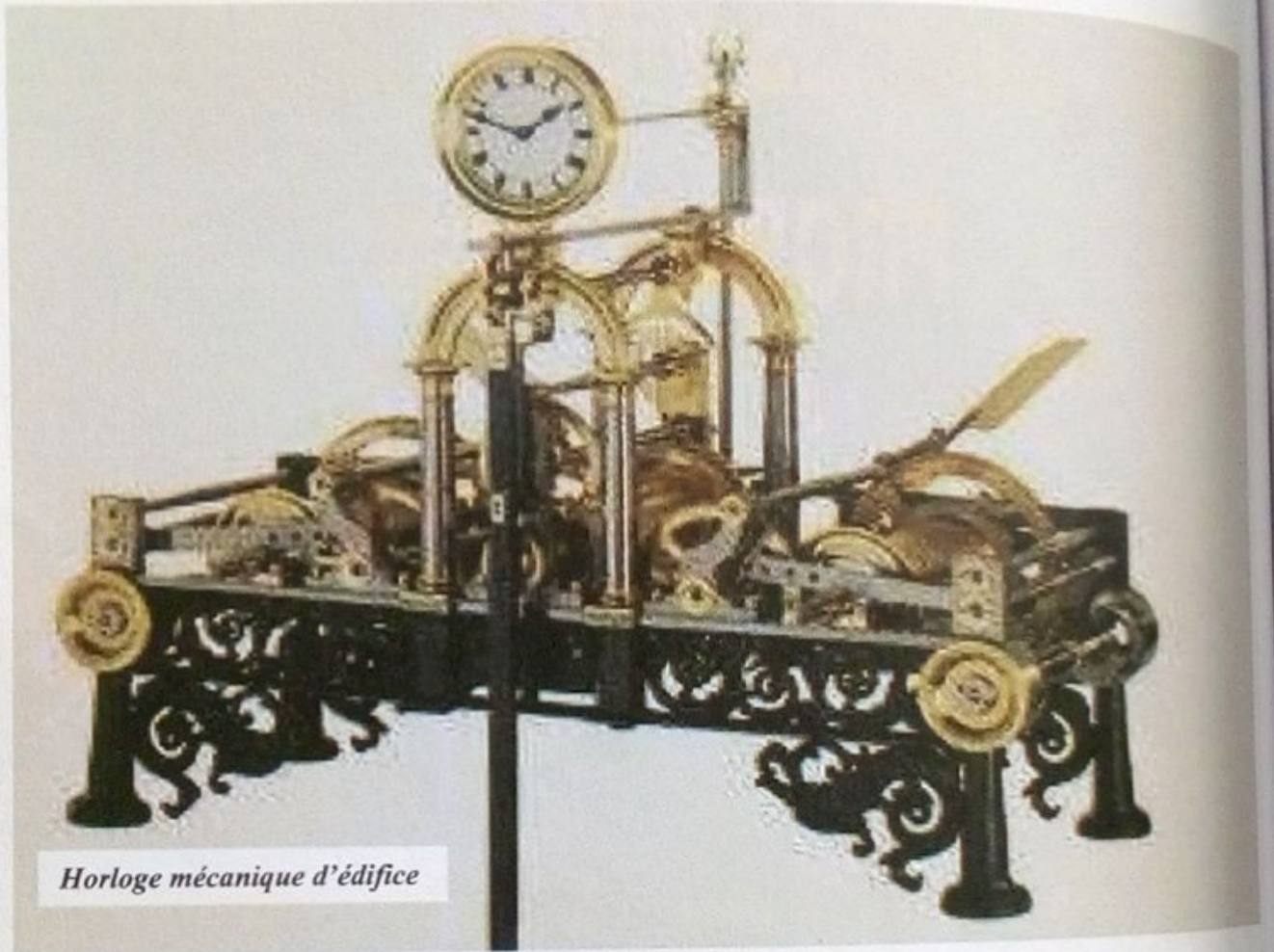
PHENOMENES VIBRATOIRES ET PROPAGATION



Notre monde et même notre univers sont baignés par les ondes. Il en existe une infinie variété, depuis les ondes cérébrales alpha et bêta, jusqu'au rayonnement fossile à 3K (dit du fond du ciel) en passant par les ondes radioélectriques, par les vagues géantes de l'océan, les ondes sonores, les rayons infrarouges et ultra-violet, la lumière visible. Les ondes voyagent à différentes vitesses.

Dans l'immensité de l'océan, les vagues se déplacent de 64 à environ 100 km/h. Les "tsunamis" (raz de marée de l'océan pacifique) traversent l'étendue océanique à presque 1000 km/h.

Les ondes sonores se déplacent dans l'air à 0°C avec une vitesse de l'ordre de 330 m/s. Les ondes radioélectriques, les ondes lumineuses se déplacent dans le vide à une vitesse légèrement inférieure à 300.000 km/s.



Horloge mécanique d'édifice

Le temps est-il un objet naturel, existant indépendamment de notre espèce, ou simplement une « idée » inventée par l'homme ? On estime que les égyptiens savaient mesurer le temps depuis l'époque des premiers pharaons. Ces mesures étaient faites surtout pour des raisons religieuses. A l'époque le jour et la nuit étaient divisés chacun en 12 périodes, chaque période étant placée sous la protection d'un dieu. L'idée d'horloge mécanique a germé en Europe du XI^e au XIII^e siècle mais n'a

conquis les cités et les murs des monastères qu'au XVII^e siècle. C'est en 1656 que le hollandais Christiaan Huygens invente la pendule, une horloge mécanique de précision satisfaisante. Il la perfectionne un peu plus tard en inventant le ressort spiral.

En 1884 sous l'égide des Etats Unis, une conférence Internationale est convoquée, à l'issue de laquelle la planète est découpée en 24 fuseaux horaires.

Vers le milieu du XIX^e siècle, on observe les premiers balbutiements des horloges à quartz mais le premier prototype ne voit le jour qu'en 1928 : il avait la taille d'une armoire. La montre à quartz ne revient au goût du jour que vers 1970.

Toutes les horloges, du sablier à l'horloge atomique, ont quelque chose de commun : elles utilisent des phénomènes périodiques.



FICHE METHODE

Sur un disque noir mobile autour de son axe de révolution, on a collé une pastille blanche. Le disque étant en rotation uniforme.

1)- La tache semble immobile lorsque le disque est éclairé par une lumière stroboscopique de fréquence $N_s = 60$ Hz.

Quelles sont les valeurs possibles de la fréquence N de rotation du disque ?

2) On augmente progressivement la valeur de N_s , on observe à nouveau l'immobilité apparente pour $N_s = 120$ Hz, puis on ne l'observe plus. Quelle est la valeur de N ?

3) Qu'observe-t-on si on règle la fréquence des éclairs à la valeur $N_s = 118$ Hz ?

Solution

1) La tache semble immobile lorsque entre deux éclairs successifs, elle effectue k tours (k entier).

$$T_s = k.T \text{ ou } N = k.N_s \rightarrow N = 60.k$$

2) - A l'immobilité apparente, on a $N_s = \frac{N}{k}$.

N étant fixe, N_s est maximal lorsque k est minimal

$$\text{On a donc } N_{s(\max)} = \frac{N}{1} = 120 \text{ Hz.}$$

On a donc $N = 120$ Hz.

3) - Evaluons le rapport $\frac{N}{N_s}$.

$$\frac{N}{N_s} = \frac{120}{118} = 1 + \frac{1}{59} \rightarrow T_s = \left(1 + \frac{1}{59}\right)T$$

Entre deux éclairs successifs la tache effectue réellement $\left(1 + \frac{1}{59}\right)$ de tour mais semble effectuer

$\frac{1}{59}$ de tour dans le sens réel de la rotation.

On observe ainsi un ralenti apparent direct.



LES
MOMENTS

• Un phénomène est périodique s'il se répète identique à lui-même à intervalles de temps successifs et égaux.

Le plus petit de ces intervalles de temps est appelé période T .
Le nombre de périodes par unité de temps est appelé fréquence $N = 1/T$.

• Dans presque tous les cas les phénomènes périodiques peuvent être associés à certaines grandeurs physiques mesurables.

Il est alors possible pour analyser le phénomène d'étudier les variations au cours du temps de ces grandeurs physiques.

Ces grandeurs peuvent être : une tension électrique u , une intensité de courant électrique i , une abscisse (linéaire x , angulaire α , curviligne s), une pression P , un vecteur champ électrique \vec{E} , etc ...

• L'étude expérimentale d'un phénomène périodique a pour objet

- de déterminer la fréquence du phénomène,
- de déterminer son amplitude (si nécessaire),
- de préciser la loi de variation au cours du temps d'une grandeur associée.

On utilise pour étudier ces phénomènes dans certains cas soit un oscilloscope soit un stroboscope.

• L'oscilloscope doit être associé au système par un transducteur (dispositif permettant de transformer le phénomène périodique en signal électrique).

Lorsque l'oscilloscope est utilisé en position balayage, il permet de visualiser la courbe représentative de la tension appliquée à la voie de déviation verticale en fonction du temps.

Un stroboscope est une source de lumière qui émet des éclairs très brefs et très intenses à intervalles de temps égaux. Son utilisation repose sur le fait que l'impression rétinienne ne disparaît pas en même temps que la cause.

1 Une masse l'extrémité B On abaisse la masse l'abandonne initiale, elle et d'autre d'équilibre... chronomètre 25 oscillatio 37,5 seconde 1-) Calcule et la fréq oscillations. 2-) Combien la masse en 10 secon

2 Calculer en périodiques a-) Mouve l'axe desp b-) Mouve d'une hori c-) Mouve soleil. d-) Mouve 10⁻¹⁴ s. e-) Vibratio période T = 33ns (1ns = 1 n

3 On obser une tach /min. La Quel est les cas s N' = 10Hz

4 On obser strobosc platine effectuar seconde La plati 2 secteu d'aspect Trouver éclairs F l'immobi platine. On en suivants Premier Deuxièm

EXERCICES

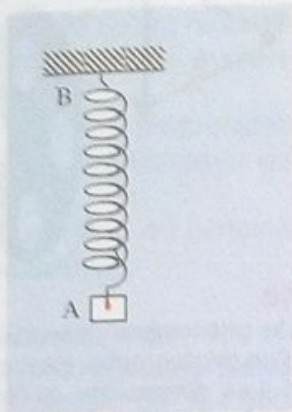
1 Une masse m supposée ponctuelle est fixée à l'extrémité A d'un ressort hélicoïdal. L'autre extrémité B est fixe. Le ressort est vertical.

On abaisse verticalement la masse m puis on l'abandonne sans vitesse initiale, elle oscille de part et d'autre de la position d'équilibre.

On chronomètre la durée de 25 oscillations, on trouve 37,5 secondes.

1-) Calculer la période T et la fréquence N des oscillations.

2-) Combien d'oscillations la masse effectue-t-elle en 10 secondes ?



2 Calculer en hertz les fréquences des phénomènes périodiques ci-dessous.

a-) Mouvement de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles.

b-) Mouvement de rotation de l'aiguille trotteuse d'une horloge.

c-) Mouvement de rotation de la Terre autour du soleil.

d-) Mouvement de vibration d'un atome de période 10^{-14} s.

e-) Vibrations électriques d'une antenne de période

$T = 33$ ns

(1 ns = 1 nanoseconde = 10^{-9} s)

3 On observe en stroboscopie un disque noir portant une tache blanche tournant à raison de 300 tours /min. La fréquence des éclairs est N' .

Quel est l'aspect du phénomène observé dans les cas suivants :

$N' = 10$ Hz ; $N' = 20$ Hz

4 On observe à l'aide d'un stroboscope électronique la platine d'un tourne-disque effectuant N tours par seconde.

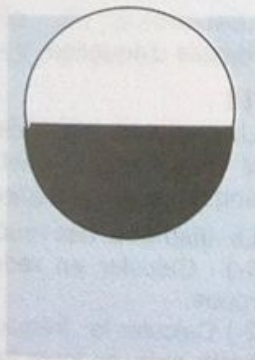
La platine est munie de 2 secteurs circulaires d'aspects différents.

Trouver la fréquence N' des éclairs permettant d'observer l'immobilité apparente de la platine.

On envisagera les cas suivants :

Premier cas : $N = 100/3$

Deuxième cas : $N = 45$



5 Une lame vibrante L vibre à raison de 100 oscillations par seconde.

Elle est observée à l'aide d'un stroboscope. La fréquence des éclairs est N' .

Pour quelle valeur de N' observe-t-on une lame immobile ?

On envisagera deux cas :

Premier cas : la lame paraît immobile dans sa position d'équilibre.

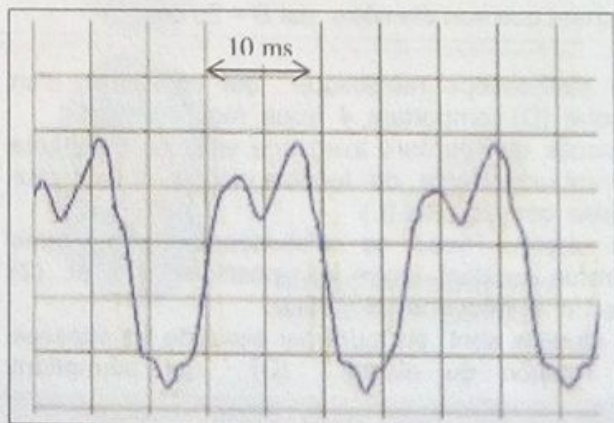
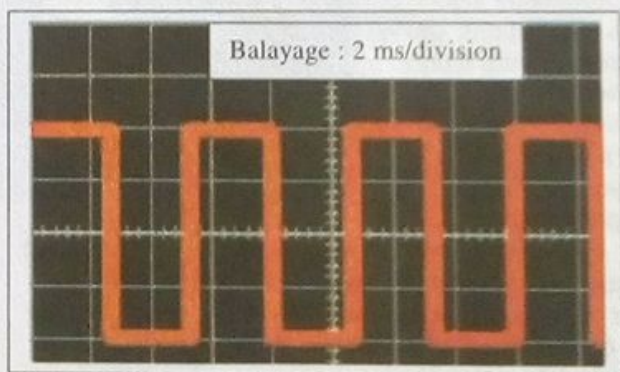
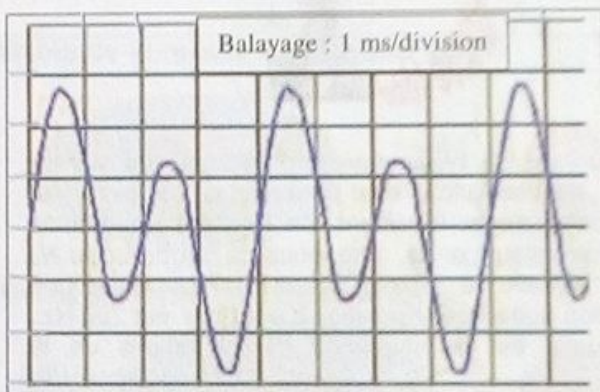
Deuxième cas : la lame paraît immobile dans une autre position.

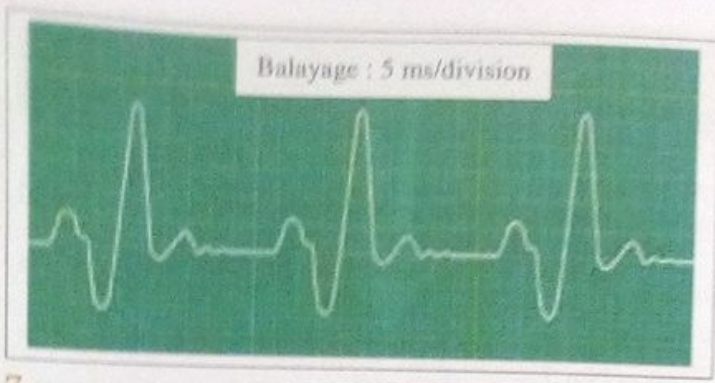
6 On étudie des phénomènes périodiques à l'aide d'un oscilloscope.

Le balayage est enclenché sur la position

1 ms/division.

On observe successivement les courbes suivantes. Trouver la fréquence de chacun des phénomènes.

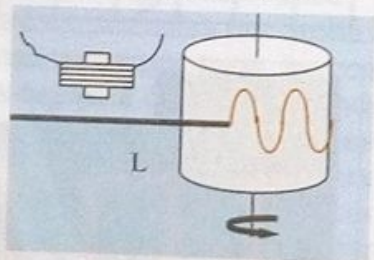




7
On observe une tension en voie Y d'un oscilloscope électronique. Cette tension est sinusoidale de valeur maximale 12 V, de fréquence $N = 50$ Hz.
Les dimensions de l'écran sont :
largeur : 10 divisions ; hauteur : 8 divisions.
Sensibilité utilisée : 5 V/division ;
vitesse de balayage : 5 ms/division.
Dessiner en vraie grandeur l'oscillogramme obtenu.



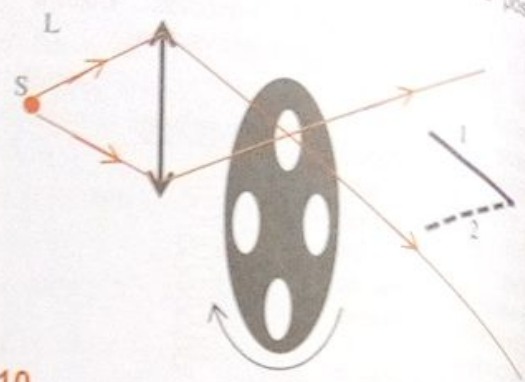
8
On éclaire à l'aide d'un stroboscope un vibreur dont les oscillations sont entretenues. La lame est disposée horizontalement. On constate que la plus grande valeur de la fréquence du stroboscope N_s pour laquelle le vibreur paraît immobile dans une position autre que la position d'équilibre est 200 Hz.
1-) Quelle est la fréquence des vibrations de la lame ?



2-) Cette lame inscrit ses oscillations par l'intermédiaire d'un stylet sur un cylindre d'axe vertical tournant avec une vitesse angulaire ω .
Le cylindre est recouvert d'un papier millimétré sur lequel s'inscrivent les oscillations du vibreur. Sur le papier enregistreur déroulé on constate que 25 oscillations s'étalent sur une distance de 6,25 cm. En déduire la vitesse angulaire ω du cylindre sachant que son diamètre est $D = 20$ cm.

9
Un stroboscope mécanique est constitué d'un disque (D) comportant 4 trous régulièrement espacés et tournant avec une vitesse constante devant une source de lumière placée devant une lentille convergente (L).
On observe avec ce stroboscope une lame vibrante oscillant entre les positions (1) et (2) avec une fréquence $N = 50$ Hz.
1-) Quelles sont en tours par seconde les vitesses de rotation du disque (D) qui permettent

d'observer la lame immobile dans la position (1) ou dans la position (2) ?
1-) Quelles sont en tours par seconde les vitesses de rotation du disque (D) qui permettent d'observer la lame immobile dans la position horizontale ?



10
Un phénomène périodique est étudié à l'aide d'un oscillographe électronique.
1-) Les dimensions de l'écran sont :
largeur : 8 divisions ; hauteur : 8 divisions.
Balayage : $T = 5$ ms/division
L'oscillographe fait apparaître deux périodes et demi. Quelle est la fréquence N du phénomène ?
2-) On règle maintenant la durée de balayage à 10 ms/division.
Combien de périodes observe-t-on sur l'écran ?
3-) Quelle valeur doit-on donner à T pour n'observer qu'une seule période sur l'écran ?

10
On donne la fonction $y = 5 \sin(10\pi t)$. Sa dérivée par rapport à la variable test $y' = 50\pi \cos(10\pi t)$. Compléter le tableau ci-dessous.

t	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
y'							
y							

1-) Tracer la courbe $y = 5 \sin(10\pi t)$ sur l'intervalle $t \in [0 ; 0,6]$.
2-) Essayez de construire sur le même système d'axes la courbe d'équation $y = 4 \sin\left(10\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ et celle d'équation $y = 4 \sin(10\pi t + \pi)$.

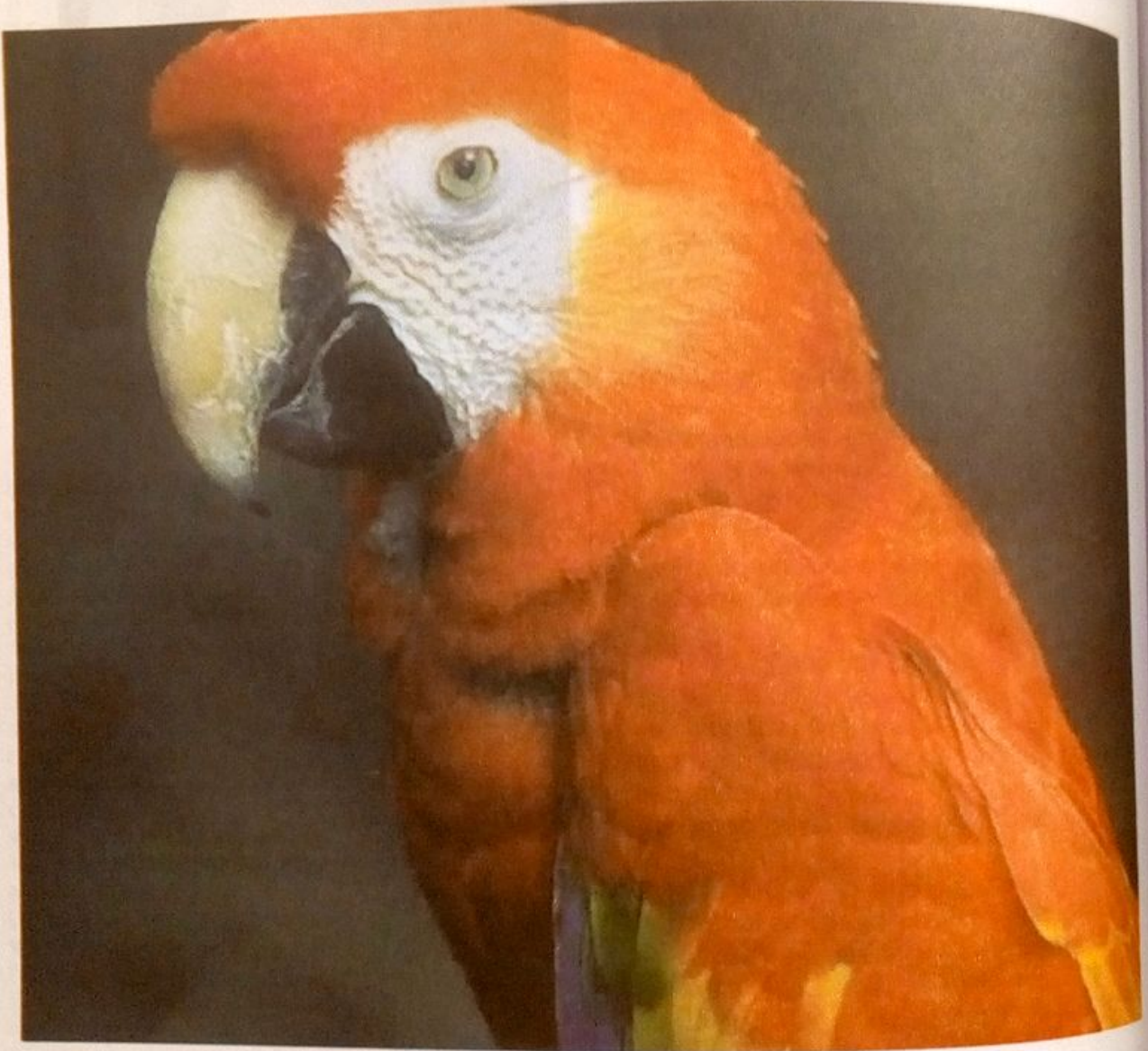
11
Une moto se déplace avec une vitesse constante $V = 150$ km/h. Le moteur tourne avec une vitesse angulaire $\omega = 1000$ tours/min.
Le diamètre des roues de la moto est $D = 50$ cm.
1-) Calculer en rad/s la vitesse angulaire des roues.
2-) Calculer la fréquence de rotation des roues en hertz puis en tours/min.
Calculer la fréquence du moteur.
3-) Calculer le rapport de « démultiplication » entre le moteur et les roues.

Les systèmes ou artificiels dans le temps. Certains proportionnels périodiques. Nous allons étudier un phénomène.

EXEMPLE
La lune est à 3476 km de la Terre à une vitesse constante. Une période de rotation est perpétuelle. L'autre est dans son état de rotation de la lune. Quelle est la fréquence de rotation de la lune ? Quelle est la vitesse de rotation autour de la lune ? Pourquoi se passe-t-il ainsi ?

« cachée » de la lune. Qu'est-ce que la marée ?

EXEMPLE 2
Les marées sont le résultat des interactions entre le Soleil, la Lune et les océans. Lorsque la Lune est alignée avec le Soleil, les marées sont dites « marées hautes ». Lorsque la Lune est perpendiculaire au Soleil, les marées sont dites « marées basses ». Quelle est la fréquence de rotation de la Lune ? Quelle est la fréquence de rotation de la Terre ?



Le chant des oiseaux a toujours fasciné les poètes : car les oiseaux sont avec l'homme, les seuls animaux capables à la fois de produire, d'apprendre, d'improviser et même d'imiter des sons. Les ornithologues estiment qu'il existe à travers le monde plus de 200 espèces d'oiseaux capables de chanter en duo. La coordination est quelques fois si parfaite qu'elle ne nous laisse entendre qu'un seul chanteur. Mais, comment les oiseaux chantent-ils ?

Chez l'homme, la voix est produite par les vibrations des cordes vocales dans le larynx. Mais l'oiseau n'en possède pas. Sa voix résulte d'une particularité anatomique : sa caisse de résonance est un élargissement de la trachée, à l'endroit même où le conduit respiratoire se divise pour former les bronches. C'est le syrinx, une fosse cartilagineuse renforcée de membranes élastiques, et munie de muscles qui contrôlent

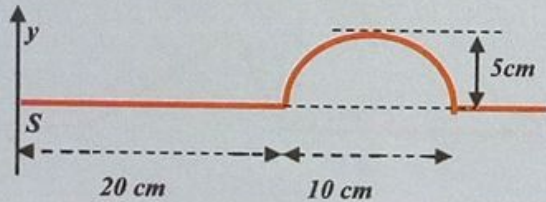
Le char
cloche
le tonnerre
La vitesse
fonction du
conditions
pression c
km/h. Dan
km/h, dans
18500 km/
notre appa
complexe e
Il existe
Certains s
musicaux),
désagréabl
sont à la li
L'oreille h
de sons.
fréquences
20.000 Hz.
Les ond
fréquences
des gran
trembleme
groses t
ondes trav
finissent p
vertiges, d
Les ultra-s
Hz et m
inaudibles
émises e
sur les fa
perpendicu
cristal). Les
et importan
- la détec
pétrole par
- pour l
marines,
- en méc
notamment
instrument
L'intensité
la valeur d
le tympan .
Pour mes
recours à u
Les bruits
des dégât
tympan.
dépasser
risques so
durée et
oreilles au
bloquant s

APPLICATION 2

On imprime à la date 0 à l'extrémité S d'une corde élastique un signal unique. On photographie la corde à la date 0,06 s. Le document obtenu est reproduit ci-dessous. (la déformation est équivalente à un demi-cercle).

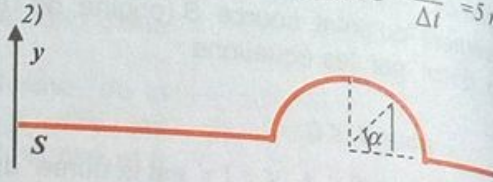
- 1)-Calculer la célérité du signal.
- 2)-A la date 0,06 s, on se propose de déterminer les élongations y de certains points de la corde. Compléter le tableau qui suit en calculant chaque fois y pour les valeurs marquées des abscisses x .

x(cm)	0	10	20	25	27,5	30	35	40	50
y(cm)									



Solution

1)-Le signal a parcouru $d = 0,30$ m en un temps $\Delta t = 0,06$ s. Sa célérité est $C = \frac{d}{\Delta t} = 5$ m/s.



x	0	10	20	25	27,5	30	40	50
y	0	0	0	5		0	0	0

Les points tels que $x \leq 20$ cm sont tous au repos (ils sont revenus à la position initiale, ils sont dépassés par la secousse).

Les points tels que $x > 30$ sont au repos (ils ne sont pas encore atteints par le signal). Le point d'abscisse 25 cm a pour élongation 5 cm (voir croquis : il est au sommet de sa trajectoire).

Le point d'abscisse 27,5 a pour élongation y tel

$$\text{que } y^2 = R^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2 \quad (\text{théorème de Pythagore})$$

$$\text{Les calculs donnent } y = \frac{R}{2}\sqrt{3}$$



FM-ZMOM.F

- Un signal résulte de la modification passagère d'une ou de plusieurs "propriétés" d'un milieu matériel ou non.
- La propagation d'un signal mécanique nécessite toujours un milieu matériel élastique.
- Pour faire naître un signal dans un milieu élastique, il faut fournir une certaine énergie à la source.
- Dans un milieu isotrope la célérité du signal est la même dans toutes les directions de propagation.
- Dans le cas général, si la grandeur physique liée au signal dépend à la fois de x et t par une combinaison de la forme $(t - \frac{x}{C})$, le phénomène se propage parallèlement à l'axe $x'x$ dans le sens positif avec une célérité C .
 - Un signal transporte de l'énergie et non de la matière. Lorsqu'un signal se propage, il abandonne une partie de l'énergie qu'il transporte : nous dirons qu'il y a amortissement.

1 La lumière se
300.000 km/s.
1)-Calculer le
Terre et le sole
Soleil est de 15
2) - L'étoile la
soleil) se trou
- Quel est le
étoile et la terr
- Calculer cette

2 Une sonde a
envoie des
terre.
Calculer le te
sonde et la ter
On consultera
connaître la
terre.

3 Les objets
univers, actu
quasars. Le c
de nous.
Calculer cette
Sachant que
20.10⁹ année
observons
de la lumière
Expliquer l'ex
loin,
c'est regard

4 La foudre
distance d d
Soit Δt l'in
le tonnerre.
- Exprimer le
l'éclair et
l'observateu
En déduire
Exprimer l
déterminer l

5 Une station
sonore aé
330 m/s) et
(célérité d
Sur un nav
cette statio
s'écoule ur
sons.

Exprimer d
Calculer d

6 Pour les p
son, on u
montagne.

EXERCICES

Le son se propage dans le vide à la vitesse de 330 m/s.

Calculer le temps mis par la lumière entre la Terre et le soleil (La distance entre la Terre et le soleil est de 150 000 000 km)

Quelle étoile la plus proche de la terre (à part le soleil) se trouve à 4,3 a.l. de nous.

Quelle est le temps que met la lumière entre cette étoile et la terre ?

Calculer cette distance en km.

2. Une sonde au voisinage de la planète Saturne envoie des signaux électromagnétiques vers la terre.

Calculer le temps mis par ces signaux entre la sonde et la terre.

On consultera le tableau placé à la fin du livre pour connaître la distance moyenne entre Saturne à la terre.

3. Les objets les plus éloignés de nous de notre univers, actuellement connus sont appelés quasars. Le quasar OQ172 est situé à $1,4 \cdot 10^{23}$ km de nous.

Calculer cette distance en années-lumière (a.l.).

Sachant que l'univers est « née » il y a environ $20 \cdot 10^9$ années, quel est l'âge de ce que nous observons sur OQ172 quand nous en recevons de la lumière ?

Expliquer l'expression : « En Astronomie, regarder loin, c'est regarder tôt » (HUBERT REEVES)

4. La foudre éclate dans un nuage situé à une distance d d'un observateur.

Soit Δt l'intervalle de temps qui sépare l'éclair et le tonnerre.

-Exprimer les temps t_1 et t_2 mis respectivement par l'éclair et le tonnerre pour parvenir à l'observateur.

En déduire Δt . Conclure.

Exprimer la relation pratique qui permet de déterminer la distance d .

5. Une station côtière émet simultanément un signal sonore aérien (célérité du son dans l'air $C = 330$ m/s) et un signal sonore transmis par l'eau. (célérité du son dans l'eau $C' = 1440$ m/s).

Sur un navire qui se trouve à une distance d de cette station, les deux signaux sont détectés et il s'écoule un temps Δt entre les auditions de deux sons.

Exprimer d en fonction de C , C' et Δt .

Calculer d pour $\Delta t = 20$ s.

6. Pour les premières expériences sur la vitesse du son, on utilisait un canon au sommet d'une montagne. Un observateur muni d'une montre se

tenait à la cime d'une autre montagne à plusieurs kilomètres de là. Dès qu'il voyait la lueur du canon, il mettait en route son chronomètre, l'arrêtant quand il entendait le bruit du tir.

La première expérience avait duré 36s pour une distance de 12 km.

Calculer la vitesse du son d'après cette expérience.

7. La vitesse du son dans l'air est proportionnelle à la racine carrée de la température T de l'air. (T est exprimée en Kelvin).

La vitesse du son dans l'air à 0°C est de 331 m/s, calculer cette vitesse aux températures ci-dessous :

- 1) 37°C
- 2) -27°C

8. On provoque un ébranlement à l'extrémité d'une corde élastique de longueur $\ell = 10$ m.

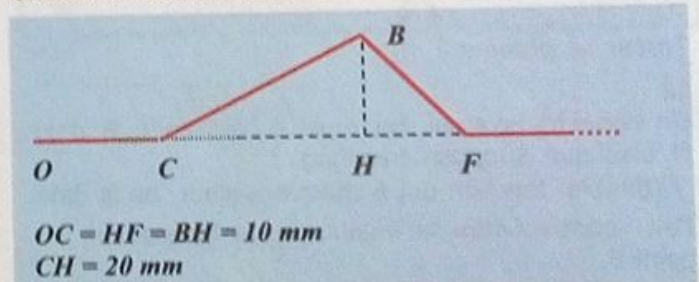
La durée du signal est 0,30 s.

La célérité le long de la corde est $C = 1$ m/s.

-Calculer le temps mis par le signal pour arriver à l'autre extrémité de la corde.

-Calculer la longueur du signal.

9. A la date $t = 0$, on produit une secousse unique à l'extrémité O d'une corde élastique horizontale. On photographie la corde 0,04 s plus tard, on obtient le document suivant.

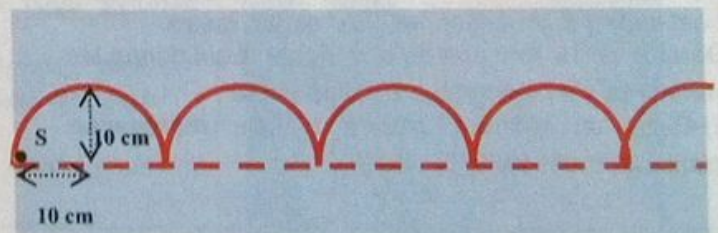


- 1)- Calculer la célérité du signal.
- 2)- Calculer la durée du signal.
- 3)- Représenter la corde à la date 0,06 s.

10. On dispose d'une corde élastique horizontale. On imprime à l'extrémité S de la corde une secousse unique et on photographie sur la même plaque la corde à intervalles de temps successifs et égaux $\tau = 1/30$ s.

Le document obtenu est reproduit ci-dessous.

La déformation qui se propage a la forme d'un demi-cercle de rayon $R = 10$ cm.



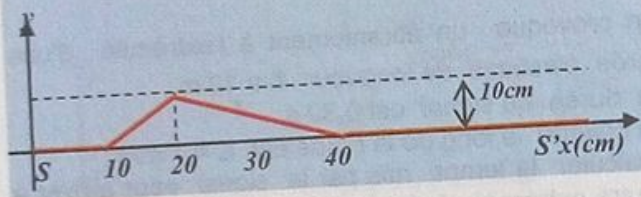
- Déterminer la célérité du signal.
- Calculer la durée du signal.
- Représenter la corde aux dates $t_1 = \frac{1}{10}$ s et

$$t_2 = \frac{1}{15} \text{ s.}$$

Déterminer à la date t_1 l'élongation du point M de la corde situé initialement à 47,5 cm de la source S et celle d'un point N situé à 27,5 cm de la source..

11

Le document ci-dessous représente une photographie instantanée d'une corde horizontale SS' parcourue par un ébranlement transversal. La longueur de la déformation est 30 cm. La photographie est réalisée 0,04 s après le début de l'émission à la date 0 de la déformation à partir de S.



- Calculer la vitesse du signal.
- Calculer la durée du signal.
- Compléter le tableau ci-dessous en calculant les valeurs de l'élongation y_s du point S aux dates marquées.

t(s)	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
y_s						

Tracer le graphe $y_s(t)$

12

Un signal transversal est émis à l'extrémité S d'un fil élastique supposé très long.

$f(t)$ est la fonction qui à chaque valeur de la date t fait correspondre la valeur u_s de l'élongation du point S.

La position au repos de chaque point du fil SS' est donnée par son abscisse x sur l'axe $x'x$ orienté positivement de S vers S'.

La célérité du signal est $C = 5$ m/s.

1)- Déterminer le retard horaire θ des élongations du point M du fil d'abscisse $x = 2$ m par rapport aux élongations de la source S.

2)- Pour la source S la fonction $f(t)$ est définie comme suit :

$$u_s = 0,1t \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 0,2$$

$$u_s = -0,2t + 0,06 \quad \text{pour } 0,2 \leq t \leq 0,3$$

$$u_s = 0 \quad \text{pour } t \leq 0 \text{ ou } t \geq 0,3$$

t est exprimé en secondes ; u_s est en mètre.

Déterminer la fonction de la variable t qui donne les variations de l'élongation u_M du point M.

3)- Dans un même système d'axes, représenter graphiquement $u_s(t)$ et $u_M(t)$.

13

Le mouvement d'un point S extrémité d'une corde élastique SS' est défini par :

$$y_s = 0 \quad \text{pour } t < 0$$

$$y_s = 0,2 \cdot \sin(20\pi t) \quad \text{pour } 0 \leq t \leq 0,10 \text{ s}$$

$$y_s = 0 \quad \text{pour } t > 0,10 \text{ s.}$$

y_s est en mètre, t est en seconde.

La célérité du signal le long de la corde est $C = 4$ m/s.

1)- Calculer la longueur du signal.

2)- Compléter le tableau de valeurs ci-dessous :

t	0	0,025	0,05	0,075	0,10
y_s					

Tracer la courbe $y_s(t)$.

3) Donner les équations qui traduisent le mouvement du point M situé à 30 cm de la source S. Représenter le graphe $y_M(t)$.

4)- Préciser la position du front F de l'ébranlement à la date $t = 0,4$ s.

Représenter à l'échelle la corde à la date $t = 0,4$ s.

14

Deux microphones M_1 et M_2 distants de $d = 18$ cm sont reliés à des dispositifs d'enregistrement et de comptage.

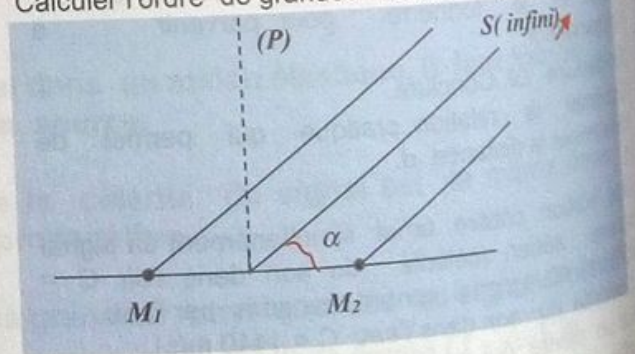
Des signaux sonores leur parviennent d'une source très éloignée S (supposée à l'infini) située dans une direction (Δ) qui fait avec la médiatrice de M_1M_2 un angle α . La célérité du son est $C = 340$ m/s dans les conditions expérimentales.

1)- Calculer l'intervalle de temps très faible θ qui sépare les détections du signal par M_1 et M_2 en fonction de d , α et de C .

2) Le retard θ permet de définir la direction de la source. Le système de détection ne peut déceler un retard inférieur à 10^{-3} s.

Montrer que cela limite de part et d'autre du plan (P) à égale distance des deux microphones, un angle minimal α_{min} à l'intérieur duquel la localisation directionnelle de la source reste possible.

Calculer l'ordre de grandeur de cet angle minimal.



Hertz



Grosse tête

15

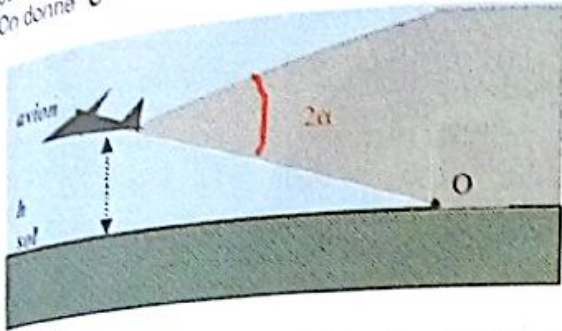
Un avion supersonique vole horizontalement à la vitesse $V = \text{mach } 2,5$ et à l'altitude h . Il produit un

silage dont les bords sont formés par la perturbation qui se propage à partir de l'avion. Ce silage est un cône d'angle au sommet 2α .

1) Exprimer α en fonction de V et de la célérité C de la perturbation dans l'air.

2) Lorsque le son est perçu par un observateur O au sol, exprimer la distance qui sépare le point O de la verticale de l'avion.

On donne $C = 330$ m/s.



16 Pour mesurer la vitesse de la lumière, on produit pendant la nuit de très brefs signaux lumineux à l'aide du dispositif représenté ci-dessous dont le principe est dû au physicien Fizeau.

La roue dentée (R) porte à sa périphérie $N = 100$ dents carrées séparées par des intervalles vides égaux aux dents. Cette roue est entraînée par un moteur dont on peut régler et stabiliser la vitesse à la valeur désirée. La roue entraîne un compte-tours que l'on peut embrayer ou débrayer en même temps que l'on met en marche, ou que l'on arrête, une horloge mesurant le temps au $1/1000$ de seconde.

Un arc électrique muni d'un condensateur est placé à la périphérie de la roue, de telle manière que sa lumière soit occultée lorsqu'une dent passe devant l'axe du condensateur, et puisse passer librement lorsqu'un intervalle se trouve devant cet axe. On obtient ainsi de brefs éclairs qui se propagent jusqu'au miroir M , qui les renvoie sur la roue. La distance séparant la roue du miroir est $D = 11,50$ km. L'observateur O vise le miroir à l'aide d'une lunette L placée à la périphérie de la roue, de telle manière que son objectif puisse être alternativement occulté et découvert par les dents et les intervalles.

A l'instant $t = 0$ l'arc et la lunette commencent simultanément à se découvrir, un interval s'engageant devant chacun d'eux. La vitesse de rotation de la roue est n tours/s et l'on désigne par C la vitesse de la lumière dans l'air.

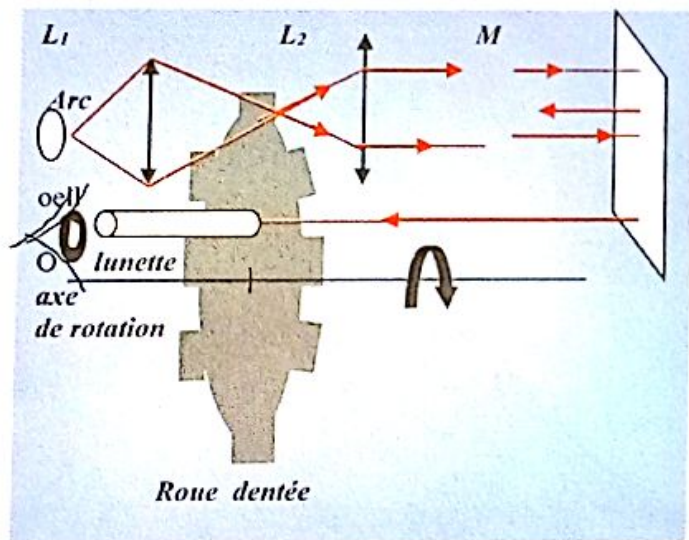
1) Exprimer en fonction d , n , N et d'un entier k , les intervalles de temps où l'arc électrique et la lunette sont simultanément démasqués, et les intervalles de temps où ils sont occultés par les dents de la roue.

2) Montrer que, si la roue tourne à une vitesse convenable, le miroir peut paraître constamment obscur à l'observateur qui l'examine dans la lunette.

Etablir la relation qui existe entre n , N , C et l lorsque cette circonstance est réalisée.

La plus petite vitesse de rotation permettant d'obtenir l'obscurité étant stabilisée, l'observateur déclenche simultanément le compte-tours de l'horloge, puis les arrête au bout d'une durée $T = 30$ s (mesurée à l'horloge).

Le compte-tours indique entre 1956 et 1957 tours. Déduire de cette mesure la célérité de la lumière.



Fabrication d'une mini-échelle de perroquet.

Coupez un bracelet de caoutchouc et piquez dans ce bracelet des épingles équidistantes d'environ 1 cm sur toute la longueur. En tenant les extrémités entre vos pouces et index, vous pourrez exercer une extrémité avec le majeur. Observer les modifications de célérité lorsque vous tendez plus ou moins le caoutchouc ou lorsque vous surchargez les épingles (pâte à modeler, mie de pain ...).

La tension du caoutchouc modifie-t-elle la durée d'un aller-retour ?





Le nom de Rossignol est porté par plusieurs espèces d'oiseaux de la famille des *Muscicapidae*. Le rossignol est un oiseau qui possède un répertoire étonnamment varié et agréable, surtout la nuit (il est un des rares oiseaux à chanter la nuit. Il est réputé pour son chant, aux sonorités variées et harmonieuses.

Pourquoi les chansons du rossignol sont-elles flûtées et mélodiques ?

Pourquoi est-il désagréable d'écouter chanter certains alors qu'il est très agréable d'écouter chanter d'autres ?

Pourquoi les signaux sonores émis par les cordes vocales de certains chanteurs sont-ils plus harmonieux que les signaux émis par vos cordes vocales ? Les grands chanteurs peuvent chanter plus fort que les profanes, sans compter qu'ils peuvent émettre un registre plus étendu de notes musicales, allant de la basse au soprano.

L'analyse du son émis par une voix humaine est réalisée à l'aide d'un appareil électronique appelé analyseur harmonique. Il permet de tracer le spectre harmonique du son. D'autres appareils appelés synthétiseurs permettent de reconstituer un son complexe en mélangeant les divers harmoniques.

Vous comprenez maintenant pourquoi certains chanteurs ne chantent qu'en studio.

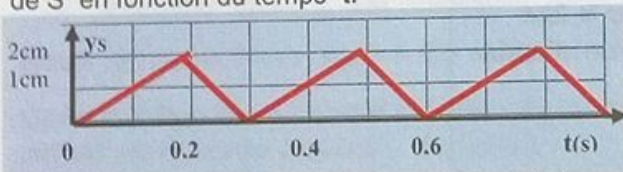
EXERCICES

1
Les sons audibles ont des fréquences comprises entre 20 et 20000 Hz. Quelles sont les longueurs d'ondes des ondes sonores qui leur correspondent.
- dans l'air ($C_{\text{air}} = 340 \text{ m/s}$) ?
- dans un métal M ($C_{\text{métal}} = 5000 \text{ m/s}$) ?

2
Une vibration entretenue se propage dans un milieu élastique plan. L'équation horaire du mouvement de la source ponctuelle S est $y_S(t) = 10^{-2} \cdot \sin(10\pi t)$.

test en seconde, $y_S(t)$ est en mètre. La longueur d'onde correspondant à la vibration est $\lambda = 10 \text{ cm}$.
1)- Ecrire l'équation du mouvement d'un point M du milieu tel que $SM = 15 \text{ cm}$.
2)- Trouver l'élongation du point M aux dates $t_1 = 0,35 \text{ s}$ et $t_2 = 0,50 \text{ s}$.

3
L'extrémité S d'un vibreur est animée d'un mouvement vibratoire entretenu.
Le croquis ci-dessous représente l'élongation $y_S(t)$ de S en fonction du temps t.



1)- Déterminer l'amplitude et la période du mouvement de S.
2)- Le point S est relié à l'extrémité d'une corde élastique rectiligne horizontale.
a)- Calculer la longueur d'onde de l'onde qui se propage. On donne : célérité des ondes $C = 2 \text{ m/s}$.
b)- Représenter l'aspect de la corde à la date 0,6 s.
échelle : abscisses : 1 cm pour 10 cm de corde
ordonnées : 2 cm pour 1 cm d'élongation.

4
Une échelle de perroquet comprend 40 barreaux. La distance entre 2 barreaux consécutifs est de 4 cm.
1)- On mesure le temps mis par un signal entre le barreau n°5 et le barreau n°30, on trouve 2,5 s. Calculer la célérité C du signal.
2)- Une onde de période 0,5 s se propage maintenant le long de l'échelle.
- Préciser les position des barreaux qui vibrent en phase avec le barreau n°5.
On suppose qu'à la date t_1 tous les barreaux sont entrés en vibration.

5
L'extrémité S d'une corde élastique est animée d'un mouvement vibratoire transversal d'équation $y_S(t) = 2 \cdot \sin(200\pi t + \pi)$.

$y_S(t)$ est en cm et t en seconde
Les ondes se propagent le long de la corde sans

amortissement et sans réflexion. La célérité des ondes le long de la corde est $C = 4 \text{ m/s}$.

1)- Comparer les mouvements des points M_1 et M_2 de la corde. On donne $SM_1 = 22 \text{ cm}$; $SM_2 = 30 \text{ cm}$.
2)- Déterminer les élongations y_1 et y_2 des points M_1 et M_2 à l'instant où le point S passe par l'élongation $y = -1 \text{ cm}$.

6
Une lame vibrante est munie d'un stylet dont la pointe S est animée d'un mouvement rectiligne sinusoïdal de fréquence N. Elle frappe verticalement en un point S de la surface d'un liquide au repos et produit des perturbations sinusoïdales de fréquence $N = 50 \text{ Hz}$ et d'amplitude 2 mm.
1)- Ecrire l'équation du mouvement de la source S sachant qu'elle est de la forme

$y_S(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ et qu'à la date $t = 0$, le point S passe par l'élongation 0,5 mm.

On vérifiera qu'il existe deux valeurs possibles de φ et on prendra celle qui correspond à $\cos\varphi > 0$.
2)- On observe la surface du liquide à l'aide d'un stroboscope. Lorsque la lame paraît immobile dans une position autre que la position d'équilibre, il apparaît à la surface du liquide des rides immobiles distantes de 4 mm.

- Trouver les valeurs possibles de la fréquence des éclairs du stroboscope.
- Trouver la célérité des ondes à la surface du liquide.

7
A la date $t = 0$, une corde est mise en mouvement par une lame vibrante. Les positions successives de l'extrémité S de la lame sont les suivantes, avec $T = 10^{-2} \text{ s}$.

Date t	0	T/4	T/2	3T/4	T
Position y	0	+ a	0	- a	0

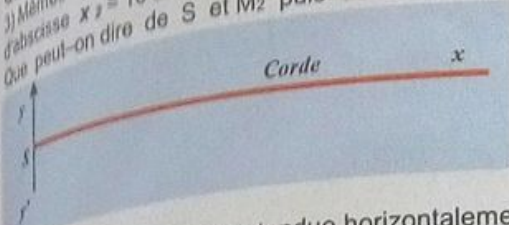
1)- Tracer le graphe $y_S = f(t)$ du mouvement de S supposé harmonique.
2)- L'onde progressive issue de S se propage le long de la corde avec une célérité $C = 10 \text{ m/s}$.
Donner le tableau des positions $y_M(t)$ d'un point M de la corde placé à 10 cm de S. Tracer sur le même système d'axes que précédemment la courbe $y_M(t)$.
3)- Même question pour le point M' placé à 25 cm de S.
4)- Représenter l'aspect de la corde $y = f(x)$ à la date $t = 0$ puis à la date $t = 1,5T$.

8
La source S des vibrations transversales sur une corde tendue, sans réflexion, a pour fréquence $N = 100 \text{ Hz}$ et pour amplitude 4 mm. La célérité de propagation est de 10 m/s.

1) Représenter la sinusoïde des temps $y_S = f(t)$

en supposant que, pour $t = 0$, S est au repos en O et démarre son mouvement dans le sens positif sur l'axe $y'y$.

- échelle: 2 cm pour 10^{-2} s ; 1 cm pour 1 cm.
 2) Calculer le décalage horaire entre la source S et un point M_1 de la corde d'abscisse $x_1 = 5$ cm sur l'axe $X'X$ coïncidant avec la corde au repos.
 Représenter la sinusoïde des temps $y_{M_1}(t)$. Que peut-on dire des points S et M_1 ?
 3) Mêmes questions concernant un point M_2 d'abscisse $x_2 = 10$ cm.
 Que peut-on dire de S et M_2 puis de M_1 et M_2 ?



9) Une corde élastique AB est tendue horizontalement. Elle est fixée en A à l'extrémité d'un vibreur de fréquence $N = 100$ Hz. Le vibreur imprime au point A une vibration transversale sinusoïdale.
 1) La plus petite distance entre deux points vibrant en opposition de phase est $d = 6$ cm.
 - Calculer la longueur d'onde λ de la vibration.
 - Calculer la célérité des ondes le long de la corde.
 2) L'équation du mouvement du point A est

$$y_A = 4 \cdot 10^{-3} \sin(200 \pi t)$$

t est en seconde et y_A en mètre.
 La longueur utile de la corde est $L = 48$ cm.
 Trouver à la date $t = 0,040$ s le nombre et la position des points de la corde qui passent par l'élongation

10) Un vibreur V entretenu électriquement est animé d'un mouvement vibratoire de fréquence $N = 50$ Hz. A la lame du vibreur est fixée l'extrémité O d'une corde élastique tendue horizontalement. L'autre extrémité est munie d'un dispositif qui empêche toute réflexion. Le mouvement du point O a pour équation $y_O = 5 \cdot 10^{-3} \sin(\omega t)$
 y_O est exprimé en mètre et t en seconde.

- Calculer la valeur de la pulsation ω
- Définir la longueur d'onde de la vibration, calculer sa valeur sachant que la célérité des ondes le long de la corde est $C = 10$ m/s.
- Ecrire l'équation du mouvement d'un point A de la corde tel que $OA = 15$ cm.
- Comparer le mouvement de A à celui du point O.
- Préciser les abscisses des points de la corde qui vibrent en phase avec le point O.
- Représenter la corde à la date $t = 0,04$ s puis à une date très rapprochée $0,04 + \delta t$.
- Préciser sur la courbe les points de la corde qui à la date $0,04$ s se déplacent dans le sens positif et ceux qui se déplacent dans le sens négatif.

11) Une onde progressive se propage dans un milieu élastique à partir d'un point S. L'équation du mouvement de la source S est $y_S = 4 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.

t est en seconde ; y en cm ; $\omega = 2\pi/6$ rad/s ;

- Calculer la célérité des ondes sachant que la longueur d'onde est de 40 cm.
- Calculer la différence de phase correspondant à deux positions occupées par la même particule à une seconde d'intervalle.
- Calculer à un instant t donné la différence de phase correspondant à deux particules séparées par une distance $d = 210$ cm sur le même rayon d'onde.
- L'élongation d'une certaine particule du milieu à une date t est de 3 cm. Quelle est l'élongation de la même particule 2 s plus tard?

12

Un hautparleur S émet des vibrations sonores sinusoïdales de fréquence $N = 247$ Hz. Un microphone placé devant S est relié à un oscilloscope qui donne la courbe représentative de l'onde sonore.

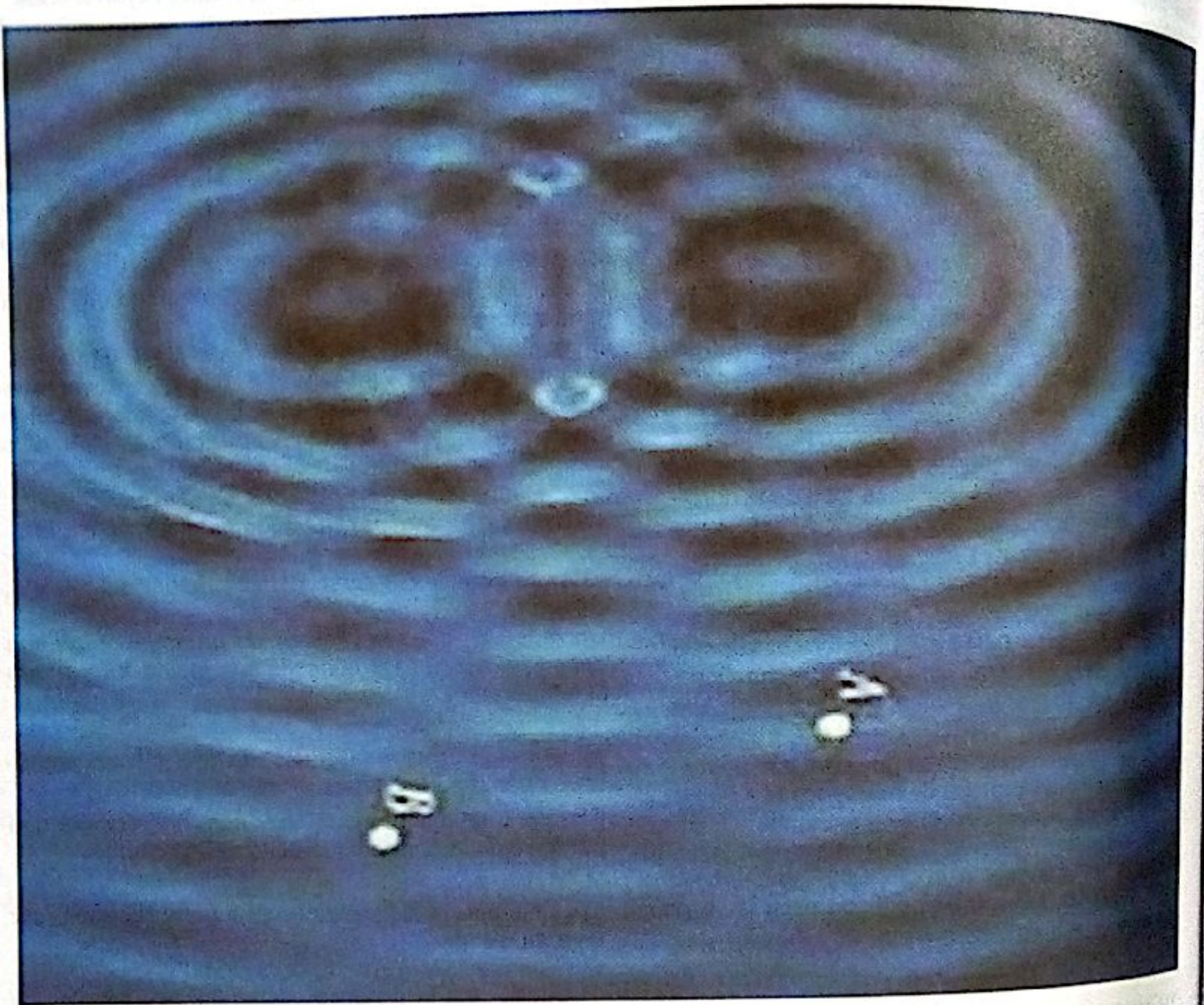
- Calculer la longueur d'onde correspondante à la température de 15°C .
 On donne : célérité du son l'air à $15^\circ\text{C} = 340$ m/s
- Les différentes vitesses de balayage possibles de l'oscilloscope sont : 0,5 ; 1 ; 2 ; 5 ; 10 (ms/division)
 On désire obtenir le plus petit nombre de motifs complets de la courbe représentative.
 Quelle vitesse de balayage doit-on utiliser?
- La température de l'air augmente de 15 à 35°C .
 - Calculer la nouvelle longueur d'onde.
 - La courbe sur l'écran est-elle modifiée ? Si oui, comment ?

On rappelle que la vitesse de propagation du son dans l'air est proportionnelle à la racine carrée de la température en K.

13

1) Un radar émet 5000 trains d'onde électromagnétiques par seconde, chacun de durée $0,10 \mu\text{s}$.
 Chaque train d'onde peut être considéré comme une portion d'onde harmonique de longueur d'onde $\lambda = 1,5$ m.

- Quelle est la distance occupée dans l'espace par un train d'onde ?
 Combien de crêtes d'onde comporte-t-il ?
 1) Quelle est la distance séparant les débuts de deux trains d'onde successifs dans l'espace ?
 2) Ce radar recueille des signaux réfléchis par un obstacle métallique pendant qu'il n'émet pas. Si l'obstacle est trop loin, le signal réfléchi est trop affaibli pour être détecté.
 Les seuls échos intéressants ne sont décelés qu'entre deux émissions consécutives.
 A quelles distances du radar l'obstacle peut-il se trouver pour être détecté ?
- Un obstacle est situé à 750 m du radar précédent.
 a) Quelle est l'intervalle de temps séparant l'émission de la réception ?
 b) Le radar est relié à un oscilloscope dont le balayage horizontal, déclenché lors de l'émission est réglé à $0,5 \mu\text{s/cm}$. L'oscilloscope visualise sur la voie (A) le signal émis et sur la voie (B) l'écho amplifié. Quelle est la largeur occupée par le signal sur l'écran ? Quelle distance les sépare sur l'écran.



En Novembre 1801, Thomas Young présente devant la Royal Society un article intitulé « Sur la théorie de la lumière et des couleurs ». Il tente de combiner la version Eulérienne de la théorie ondulatoire et la théorie newtonienne de l'éther. Sa conclusion est que « la lumière peut être considérée comme une ondulation du milieu s'étendant dans l'espace à partir d'une source lumineuse, mais sous l'effet d'une variation de la densité de l'éther ». Cet article contient une autre innovation. Dans ses recherches d'acoustique Young s'était attaqué entre autres au problème suivant : « Comment deux sons se combinent-ils ? Par exemple deux sons différents légèrement en hauteur produisent des battements. Pour l'expliquer, Young analyse le mouvement d'une particule d'air soumise à deux modes d'oscillation. Le mouvement résultant de la particule est la somme vectorielle des deux vibrations.

La lumière, le son, les ondes se propageant à la surface de l'eau obéissent-ils tous aux mêmes lois mécaniques ?

EXERCICES

Deux haut-parleurs S_1 et S_2 identiques sont placés l'un au-dessus de l'autre le long d'une corde horizontale. $C = 10$ m/s. La figure représente la corde à $t = 0$ s. La corde est à 1 mètre au-dessus de l'axe des x . L'onde se propage pour 2 cm suivant l'axe des y . Quelle est la célérité de l'onde ? Quelle est la célérité de la superposition des deux ondes ?

On réalise la même expérience, mais avec les haut-parleurs S_1 et S_2 qui vibrent en phase. À un instant t , sont représentés la valeur pour les points de la corde et les hauteurs transmises nulle.



On réalise à la surface d'un liquide une expérience d'interférences. Les deux sources sonores S_1 et S_2 sont cohérentes et vibrent en phase à la fréquence N .

Les sources S_1 et S_2 sont distantes de $d = 10$ cm. Un point P situé sur le segment S_1S_2 et à 4 cm de S_1 appartient à une frange d'amplitude maximale. On s'éloigne lentement de S_1 d'une longueur de 1 m le long de l'axe S_1P . Au cours de ce déplacement, on voit défiler en P une frange d'amplitude nulle, puis une frange d'amplitude maximale, puis à nouveau une frange d'amplitude nulle. Trouver la longueur d'onde λ et la célérité C des ondes.

Un haut-parleur S_1 de petite dimension émet un son de fréquence $N = 1210$ Hz. La célérité du son dans l'air est $C = 340$ m/s.

Calculer la longueur d'onde des vibrations.
Un second haut-parleur S_2 , situé à 1 mètre de S_1 , émet le même son avec la même amplitude. Les deux haut-parleurs vibrent en phase. Dans l'espace environnant, on détecte le son à l'aide d'un petit microphone M . Décrire ce que peut détecter le microphone en se déplaçant dans le plan médiateur du segment S_1S_2 . Sur ce segment S_1S_2 , déterminer la position des points où l'amplitude du son capté est maximale.

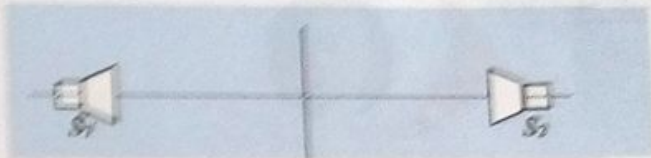
1) Déterminer de même la position des points du segment S_1S_2 où l'amplitude du son est nulle. Dessiner le lieu des points du plan présentant cette particularité.

2) Le second haut-parleur S_2 émet toujours le même son mais cette fois avec un retard

$$\tau = \frac{1}{2N}$$

par rapport à l'émission de S_1 .

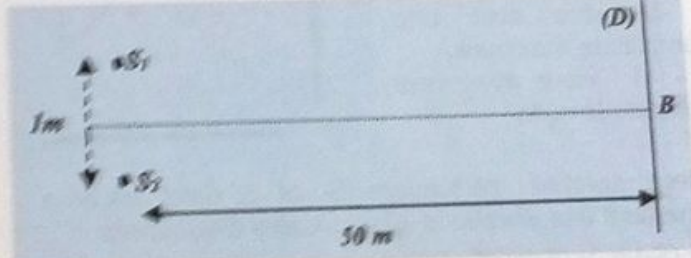
Décrire ce que peut détecter M lorsqu'on le déplace sur le segment S_1S_2 .



4. Deux haut-parleurs S_1 et S_2 émettent simultanément deux vibrations sonores de même amplitude, en phase et de fréquence N . Ils sont placés à 1 mètre l'un de l'autre et supposés ponctuels.

Un observateur A se déplace le long de la droite (D) parallèle à celle qui joint S_1 et S_2 et à 50 mètres de cette dernière. Il part du point B situé sur la médiatrice de S_1S_2 et observe un minimum sonore lorsqu'il s'est déplacé de 2,4 m.

Calculer la longueur d'onde des signaux. Calculer la fréquence N sachant que la célérité C des signaux sonores dans l'air est de 330 m/s.



5. Deux points S_1 et S_2 reliés à un vibreur, provoquent la propagation d'ondes circulaires à la surface de l'eau avec une célérité $C = 0,60$ m/s. Ces deux points sont distants de $d = 10$ cm. La fréquence des ondes est inconnue. Les deux points vibrent avec la même amplitude et en concordance de phase.

1) Décrire et interpréter le phénomène observé.
2) On repère un point P sur la troisième frange de repos à partir de la médiatrice OH de S_1S_2 et dans une région éloignée des deux points S_1 et S_2 .

a) Déterminer l'expression de la différence de marche $\delta = S_2P - S_1P$ des ondes issues des points sources et interférant en P en fonction de a , $d = OP$ et x (distance de P à la médiatrice de S_1S_2).

NB: Comme $a \ll OP$ on pourra faire l'approximation $S_1P + S_2P \approx 2d$; $a = S_1S_2$
 $O =$ milieu de S_1S_2 .
 En déduire la longueur d'onde et la fréquence N des sources. On donne $d = 80 \text{ cm}$; $PH = \lambda = 48 \text{ cm}$.
 3) Déterminer le nombre de points immobiles sur le segment S_1S_2 et les positions correspondantes.

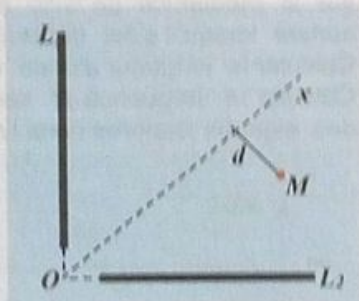


6
 Deux lames vibrantes L_1 et L_2 sont animées de mouvements vibratoires synchrones et en phase. L'amplitude est 3 mm , la fréquence $N = 50 \text{ Hz}$. Elles émettent des ondes transversales à la surface d'un liquide. Leurs directions sont perpendiculaires. La célérité des ondes à la surface du liquide est $C = 0,80 \text{ m/s}$.

On considère un point M de la surface situé à une distance d de la bissectrice Ox de l'angle L_1OL_2 .
 1)- Exprimer la différence de marche des deux ondes en M .

2)- Trouver la relation qui doit exister entre d et la longueur d'onde λ pour que :

- M vibre avec une amplitude maximale,
- M vibre avec une amplitude nulle.



7
 Deux sources de lumière S_1 et S_2 distantes de a émettent des vibrations sinusoïdales d'équations

$$y(S_1) = y(S_2) = A \cdot \sin(\omega t)$$

La célérité de la lumière dans l'air est C .

1) Ecrire l'équation de la vibration résultante $y(M)$ en un point M d'un écran. (Voir croquis).

On pose $S_1M = d_1$; $S_2M = d_2$.

2) Mettre l'équation sous la forme

$$y(M) = Y_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi).$$

3) L'intensité lumineuse est définie par

$$I = k (Y_{\max})^2,$$

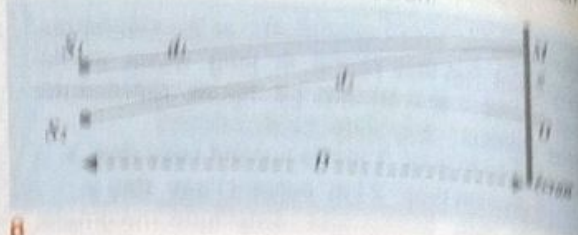
k étant une constante positive.

Exprimer l'intensité lumineuse I en fonction de d_1 , d_2 et de la longueur d'onde λ de la radiation émise par les deux sources.

Préciser sur l'écran la position des points où l'intensité lumineuse est maximale et celle des points où l'intensité lumineuse est nulle. On

admettra la relation $d_2 - d_1 = \frac{a \cdot x}{D}$.

$D =$ distance des sources à l'écran
 $x =$ abscisse du point considéré sur un axe x' orienté vers le haut et d'origine O , l'intersection de la médiatrice de S_1S_2 avec l'écran.



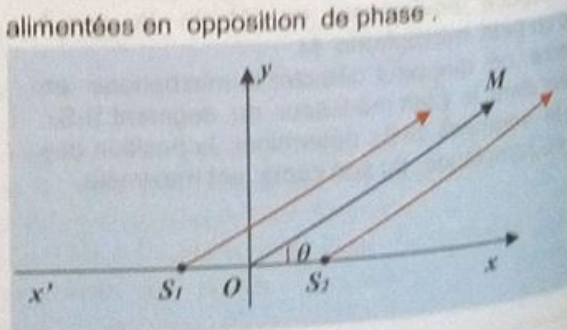
8
 Deux antennes verticales A_1 et A_2 sont distantes de 100 m . Elles sont alimentées avec la même amplitude, et en phase, par le même oscillateur électrique de fréquence $1,5 \text{ MHz}$.

- a) Quelle est la longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises ?
- b) On obtient ainsi des interférences dans l'espace. Quel est l'état vibratoire en A_1 ? et en A_2 ?
- c) Quelles sortes de franges rencontre-t-on quand on va de A_1 à A_2 sur le segment A_1A_2 ? Placez-les par rapport à A_1 et A_2 .
- d) Un avion est muni d'un dispositif de réception lui permettant de rester sur une frange de silence sans s'en écarter de plus de 10 mètres . Montrer que l'ensemble de cette installation radioélectrique permet de guider l'avion à l'approche d'un aéroport : préciser comment doivent être placées les antennes A_1 et A_2 par rapport à la piste d'atterrissage.

9
 Deux antennes verticales de milieu S_1 et S_2 et distantes de d sont alimentées en phase par le même générateur électrique et émettent des champs électriques verticaux et de même amplitude.

Le champ électrique résultant est donc lui-même vertical. On étudie à une distance OM très grande devant la longueur d'onde λ de l'émission; ainsi on peut considérer que, O étant le milieu de S_1S_2 , les directions S_1M , S_2M et OM sont confondues et on pose l'angle $(Ox, OM) = \theta$. De plus $d = \lambda$.

- 1) Obtient-on un maximum ou un minimum d'émission dans la direction $\theta = 0$?
- 2) Même question pour $\theta = \frac{\pi}{2}$?
- 3) Etablir l'équation trigonométrique donnant la direction des maxima et des minima.
- 4) Mêmes questions si $d = \frac{\lambda}{2}$, les antennes étant alimentées en opposition de phase.



Troisième partie

OPTIQUE

MCG 253, galaxie dans le "sculpteur" : 400 milliards d'étoiles à 12 millions d'années-lumière du Soleil.

L'optique est la partie de la physique qui étudie les lois de la lumière et de la vision.

L'optique dite géométrique propose une analyse de la propagation de la lumière basée sur des principes simples : la propagation rectiligne et le retour inverse. Elle a pu expliquer les phénomènes de la réflexion et de la réfraction de la lumière.

L'optique dite ondulatoire considère la lumière comme une onde ; elle prend en compte les phénomènes d'interférence, de diffraction et de polarisation.

La lumière peut provenir de nos sources telles que les flammes des bougies, les filaments des lampes à incandescence mais elle provient surtout des étoiles. Le soleil en est une.

Des un rayon de plusieurs milliards d'années-lumière autour de nous s'étendent des milliards de milliards d'étoiles constituant ainsi un univers immense qui semble sans limites.



Un bel arc-en-ciel . La formation d'un arc-en-ciel ne signifie pas l'apaisement des dieux, comme on le pensait avant Aristote, mais découle d'un phénomène naturel . Au fait, c'est quoi un arc-en-ciel ? Pourquoi a-t-il toujours la même forme ? Pourquoi a-t-il toujours la même taille ? Pourquoi les arcs-en-ciel vont-ils toujours par deux ? (l'arc-en-ciel secondaire n'est pas toujours facile à distinguer). Cela fait plus de 2000 ans que les hommes essaient d'expliquer ce phénomène de manière rationnelle sans parler de la colère des dieux . Le premier savant qui essaya d'expliquer l'arc-en-ciel de façon plus ou moins rationnelle fut Aristote . Pour expliquer l'origine de l'arc-en-ciel, il faut connaître nécessairement la nature de la lumière. Nous ne sommes pas encore aujourd'hui sûrs de connaître la nature de la lumière malgré les théories de Young, d'Einstein, de Planck...et l'apparition d'ordinateurs très puissants.

D'où vien
- de la lu
- des ch
- des not
- de cet
- de notre
Les physicien
question en pa
physiologistes
molécules.
Les daltonien
question.

• Qu'est-
les cor
Là, les scient
presque. C'es
couleurs.



Le « V4 » co
de la couleu

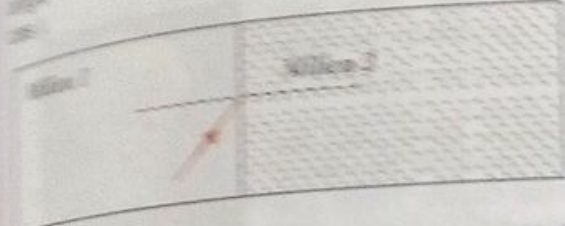
Placez votre
hauteur des
boîte crânie
repli du c
vision) et qu
de la cou
On y trouve
plusieurs
générés par
Lorsque l'ai
détruite, cell
des cou
d'ACHROMA
au cerve
bleuisme
l'achromatop

• Comb
Une infinité
Un cil no
jusqu'à 150
On raconte
de laine

LES EXERCICES

1) Quelle est une lumière polychromatique ?
 2) Quelle est une lumière monochromatique ?
 3) Quelle est la dispersion de la lumière ?
 4) Quel est l'indice de réfraction d'un milieu par rapport au vide ?
 5) Quelle est la différence entre un spectre continu et un spectre d'absorption ?

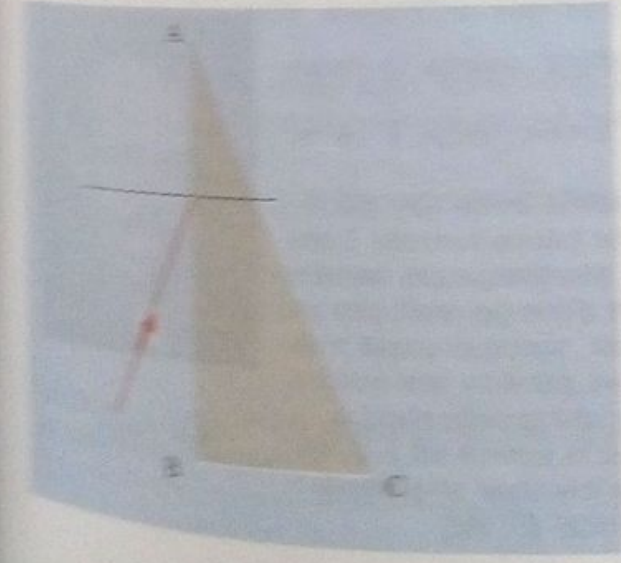
2) Les milieux transparents ont pour indices de réfraction $n_1 = 1,2$ et $n_2 = 1,5$.
 Un rayon lumineux se propage d'un milieu à l'autre.
 Calculer l'angle de réfraction correspondant à un angle d'incidence de 60° (On envisagera les deux cas).



3) Un rayon lumineux passe d'un milieu (1) constitué par un verre d'indice 1,50 à un milieu (2) constitué par le vide.
 Calculer l'angle d'incidence i qui correspond à un angle de réfraction de 90° .
 Observons si l'angle d'incidence devient supérieur à la valeur i ?

4) On dispose d'un prisme ABC d'angle $A = 40^\circ$, d'indice de réfraction $n = 1,33$.
 L'angle en B est droit.

- Un rayon lumineux arrive sur la face d'entrée du prisme sous une incidence de 40° .
- Quel est l'angle de réfraction sur cette face ?
- Quelle est la valeur de l'angle d'incidence sur cette face ?
- Quelle est la valeur de l'angle de réfraction sur cette face ?
- Calculer la déviation du rayon lumineux.

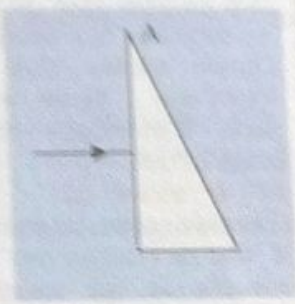


5) Un prisme de verre a pour indice $n_1 = 1,65$ pour la lumière rouge et un indice $n_2 = 1,73$ pour la lumière bleue.

Un rayon lumineux composé d'un mélange de rouge et de bleu arrive normalement sur l'une des faces du prisme (Voir croquis).

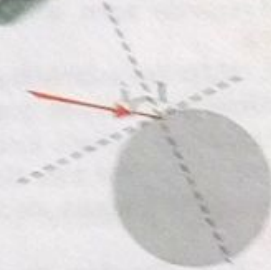
L'angle du prisme est $A = 20^\circ$.

- 1) Montrer qu'à la sortie les rayons bleu et rouge sont séparés. Préciser le rayon le plus dévié.
- 2) Trouver la valeur de l'angle formé par les rayons rouge et bleu à la sortie du prisme.



6) Une goutte d'eau supposée sphérique reçoit un rayon lumineux Si en un point I.
 L'angle d'incidence est $i = 45^\circ$.

Préciser la marche du rayon à travers la goutte.
 On donne : indice de l'eau $n = 4/3$.

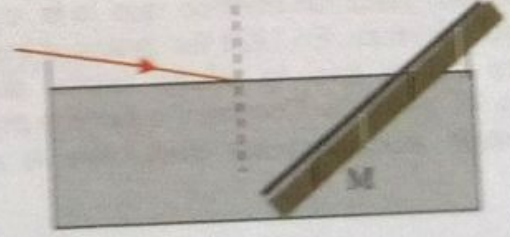


7) Un miroir (M) est introduit au fond d'une cuve remplie d'eau. L'indice de l'eau est $n = 1,33$. (Voir croquis).

Le miroir est incliné par rapport au plan horizontal d'un angle $\alpha = 25^\circ$.

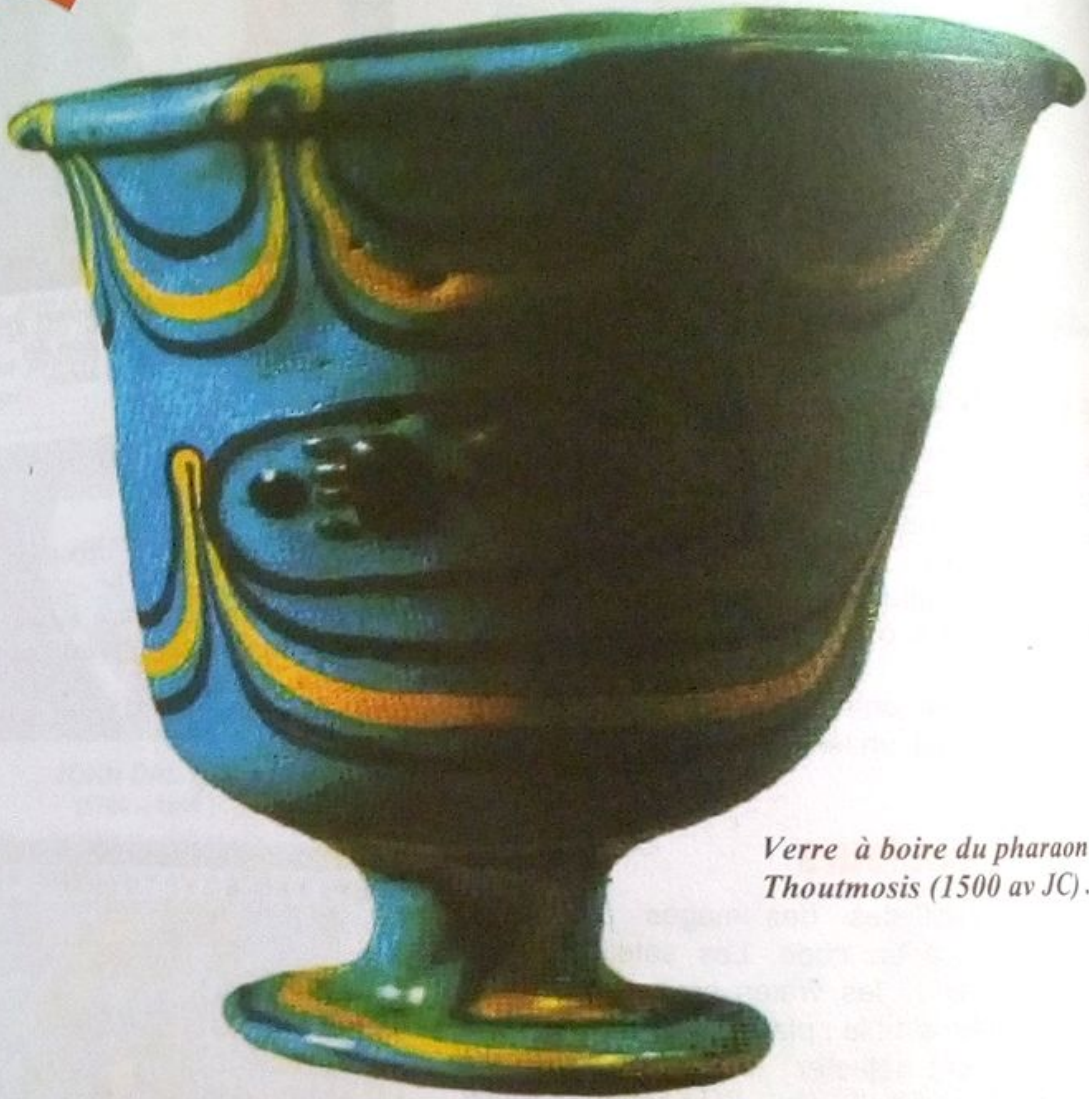
Un rayon lumineux arrive à la surface de l'eau sous une incidence de 85° .

- 1) Calculer l'angle de réfraction au niveau de la surface de l'eau.
- 2) Calculer l'angle d'incidence du rayon réfracté sur le miroir.
- 3) Le rayon réfléchi par le miroir peut-il sortir de l'eau ? Si oui sous quel angle ?



GENERALITES SUR LES LENTILLES

17



*Verre à boire du pharaon
Thoutmosis (1500 av JC).*

Les plus anciens objets en verre sont des perles âgées de 5000 ans. Ils ont été trouvés en Mésopotamie.

Sur une tablette de la bibliothèque de Ninive (VII^e av. J.C), une composition ancestrale est consignée : une poignée de sable, des cendres de salicorne (une plante renfermant du bicarbonate de sodium) pour le faire fondre plus facilement, des colorants naturels. Le tout passé au four jusqu'à atteindre l'état de fusion.

La recette n'a presque pas changé de nos jours : du sable, du bicarbonate de sodium, de la chaux. Chauffer le tout jusqu'à la fusion.

Le matériau s'est affiné au grès des techniques, gagnant en volume, en solidité et en transparence. Lorsque ces verres sont taillés suivant certaines formes, nous obtenons des lentilles convergentes ou divergentes utilisées pour les verres correcteurs, les microscopes, les lunettes astronomiques....

VERRE :
resserment
normal
La nature
certaines pro
- mécanique
- thermique
- optique
On distingue
a) le ve
b) le ve
c) le cr
d) les v
therm
e) les v
f) les
g) les
Les verre
composi

Types

Flint

Boro

Flint

Boro

Pho

cro

Ph

lég

Les

Les

- lu

- lo

- o

- o

La

L'

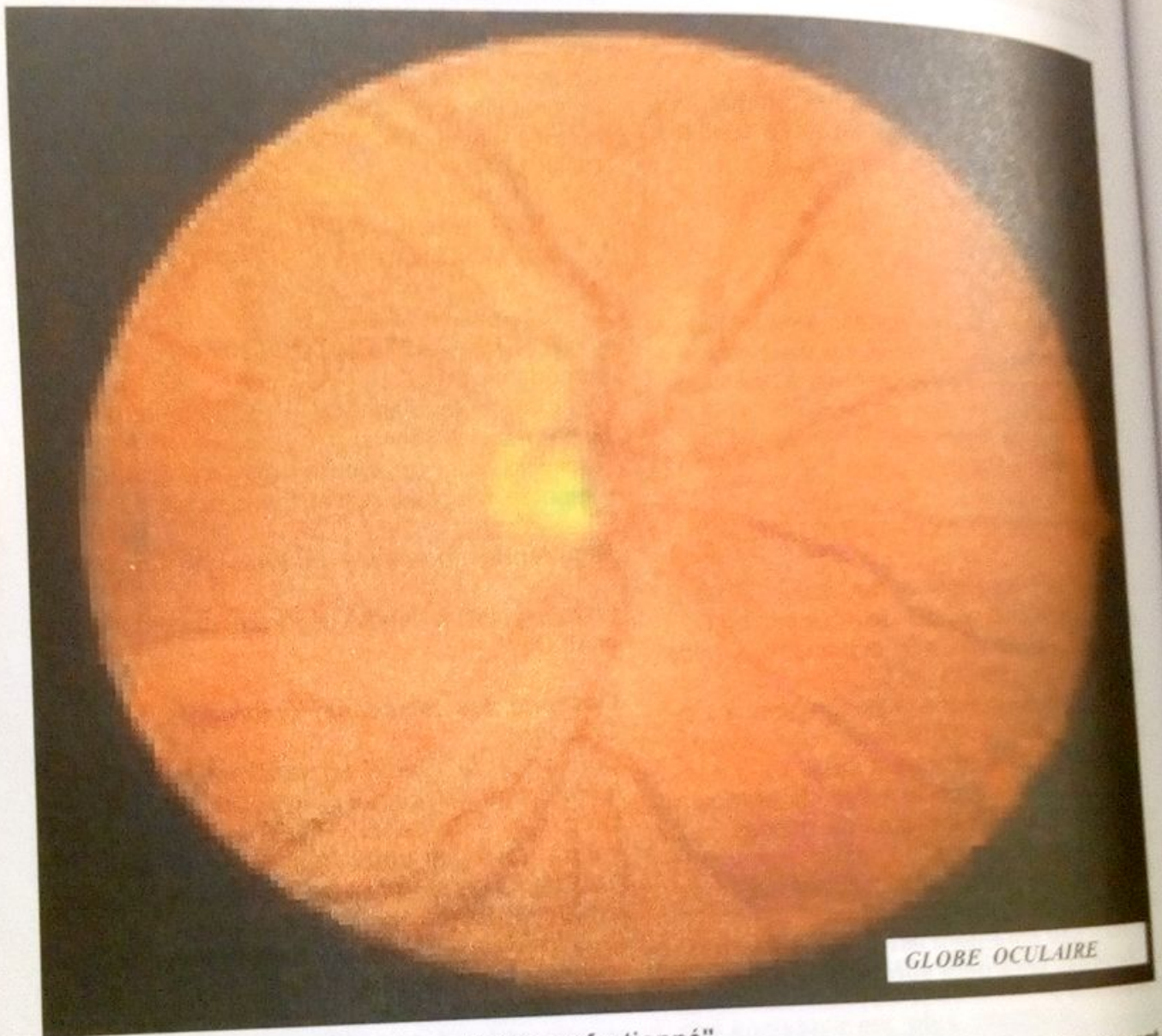
D

P

p

L

c



GLOBE OCULAIRE

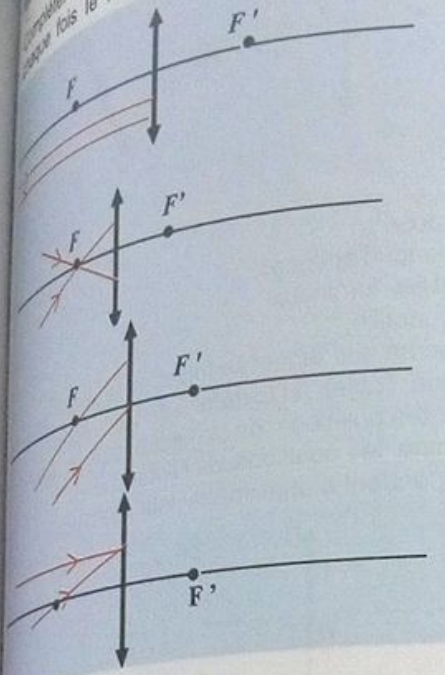
L'œil : un système optique "ultra-perfectionné".
 Les organes de sens détectent les variations des différents facteurs de l'environnement (lumière, température, vibrations sonores...) et transmettent les informations collectées au cerveau. Chez l'espèce humaine, 40% des informations reçues par les organes des sens le sont par l'œil.

La lumière est reçue par l'œil comme par une caméra : un diaphragme, l'iris permet de régler la quantité de lumière passant à travers la pupille. Les rayons sont ensuite déviés par réfraction lors de la traversée de milieux transparents (cornée et cristallin principalement) comme ils le sont par les lentilles d'un objectif. L'image se forme sur la surface photosensible (la rétine pour l'œil, le capteur photosensible pour une caméra vidéo).

L'œil contient environ 125 000 000 de capteurs, chacun d'entre eux correspondant à un point de l'image. Dans les films photographiques, le nombre de points élémentaires est de 25 000 000 mais l'image est fixe; dans les capteurs des caméscopes, il est de 300 000 à 400 000. Le traitement du signal par les cellules nerveuses de la rétine et les différents étages du cerveau permet d'extraire de l'image reconstituée sur la rétine une quantité considérable d'informations.

lentille à
 ssant par
 t appelé
 donnant
 erge en
 ec (Δ').
 $= \frac{1}{f}$

compléter les schémas ci-dessous en traçant
 chaque fois le faisceau émergent



Un objet lumineux rectiligne AB de longueur 3 mm est placé perpendiculairement à l'axe principal d'une lentille convergente de distance focale image $f' = 30$ cm. Le point A se trouve sur l'axe principal à 40 cm de la lentille. Préciser la position, la nature, le sens et la taille de l'image A'B'.

Un objet lumineux de 2 cm de hauteur est placé dans le focal objet d'une lentille convergente (L) de distance focale image $f' = 50$ cm. Quel est le diamètre apparent de l'image ?

On utilise une lentille mince convergente L. Proposer une expérience simple permettant de vérifier que la lentille est convergente.

Cette lentille de centre optique O donne d'un objet AB haut de 1 cm et situé à 12 cm en avant de la lentille une image réelle A'B' située à 6 cm après la lentille.

AB est perpendiculaire à l'axe principal de la lentille et A est situé sur cet axe.

Énoncer les conditions de Gauss. Comment réaliser ces conditions ?

Déterminer par le calcul la distance focale f' de cette lentille ainsi que sa vergence.

En choisissant 3 rayons lumineux construire l'image à l'échelle 1 sur une feuille de papier millimétré. Retrouver la valeur de f' .

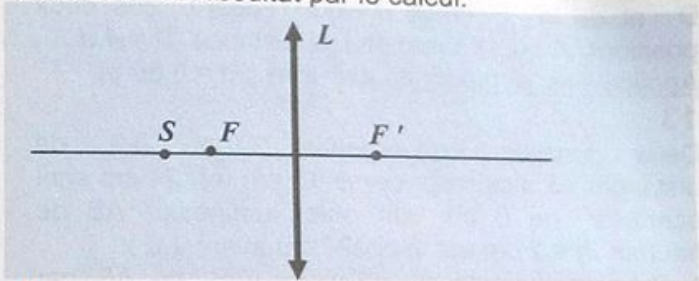
Une loupe est constituée d'une lentille de distance focale image 2,5 cm. Un objet est placé à 2 cm de la lentille sur l'axe principal.

Quelles sont les caractéristiques de l'image ? Retrouver ces résultats graphiquement.

6
 Un objet est placé devant une lentille convergente de distance focale image $f' = 40$ cm. L'image obtenue est réelle, 4 fois plus grande que l'objet. Trouver la distance de la lentille à l'objet.

7
 Un objet AB est placé à 54 cm d'un écran parallèlement à celui-ci. Une lentille est placée entre l'objet et l'écran. L'image A'B' de AB sur l'écran est deux fois plus grande que l'objet. Calculer la distance de la lentille à l'objet. Calculer la distance focale de la lentille.

8
 Un point lumineux S est situé sur l'axe principal d'une lentille convergente de distance focale image $f' = 60$ cm. La distance du point S à la lentille est 1 mètre. Déterminer graphiquement la position de l'image. Retrouver ce résultat par le calcul.



9
 Une lentille convergente de centre optique O a pour distance focale image $f' = 1$ mètre. L'image d'un point S situé sur l'axe principal est S'. L'axe principal est orienté dans le sens de propagation de la lumière. Les points S et S' sont repérés par leurs abscisses.

- On pose $\overline{OS} = x$ et $\overline{OS'} = y$.
- Exprimer y en fonction de x .
 - Tracer le graphe $y = f(x)$.
 - Exprimer le grandissement γ en fonction de x .
 - Tracer le graphe $\gamma = g(x)$.

10
 Un objet virtuel A'B' se trouve dans le plan focal image d'une lentille convergente L de distance focale $f' = 20$ cm. Déterminer les caractéristiques de son image.

11
 L'objectif d'un appareil photographique est assimilable à une lentille convergente mince de distance focale $f' = 50$ mm, d'axe optique $x'x$ et de centre optique O. La pellicule représente l'écran de ce système optique. La distance pellicule-objectif peut varier entre 50 et 55 mm.

1)- Un objet ponctuel A est placé sur l'axe $x'x$ à 2,25m de O.

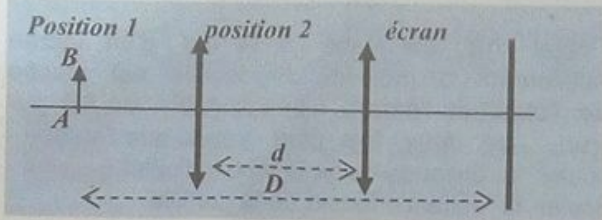
A quelle distance de l'objectif doit-on placer la pellicule pour que l'image A' de A soit nette ?

2-) L'objet à photographier est maintenant un tableau. La pellicule a pour dimensions 24x36 mm. Dans les conditions de la première question, quelles doivent être les dimensions maximales du tableau ?

12

Méthode de BESSEL

Un objet réel AB est placé à une distance D d'un écran (E). Une lentille convergente (L) de distance focale image f' est placée entre l'objet et l'écran.



1) Montrer que si D est supérieure à 4 fois la distance focale, on peut obtenir une image nette de l'objet sur l'écran pour deux positions de la lentille à égales distances du milieu de l'intervalle objet - écran.

2) Exprimer la distance focale f' en fonction de D et de la distance d qui sépare ces deux positions. A quoi correspond la distance $D = 4.d$.

Applications numériques: $D = 2 \text{ m}$; $d = 0,80 \text{ m}$.

13

Deux lentilles convergentes (L) et (L') de distances focales respectives 12 cm et 24 cm sont écartées de 6 cm. Un objet lumineux AB de hauteur $h = 2 \text{ cm}$ est placé 20 cm avant (L).

1) Préciser la position de l'image A''B'' de AB par rapport au système constitué par les deux lentilles.

2) Préciser la nature de l'image et sa taille.

3) Construire l'image.

14

Deux lentilles (L) et (L') de même distance focale $f' = 20 \text{ cm}$ sont placées à 20 cm l'une de l'autre.

On place un objet AB devant (L) et un écran (E) après (L'). On obtient sur l'écran une image 3 fois plus grande que l'objet.

Faire une construction très soignée de l'image en traçant la marche de rayons judicieusement choisis.

15

Deux lentilles (L) et (L') de distances focales respectives 20cm et 30 cm sont écartées de 10 cm.

1) Où se trouve l'image d'un objet situé à l'infini dans le prolongement de l'axe principal ?

2) Où faut-il placer un objet réel pour que son image soit rejeté à l'infini ?

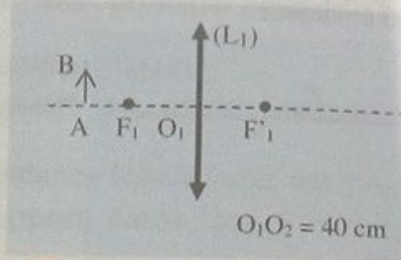
16

On dispose de deux lentilles (L1) et (L2) de distances focales respectives 10cm et 20 cm. Elles sont placées à 40 cm l'une de l'autre les axes principaux étant confondus. Un objet $AB = 2 \text{ cm}$ est placé à 15 cm de (L1), le point A se trouvant sur l'axe principal.

1-) Précisez la position et la taille de l'image A'B' de AB par rapport au système des deux lentilles

2-) On replace la lentille (L2) (M) incliné de 45° par rapport (voir croquis).

Construire l'image A'B' de AB système (lentille L1, miroir)

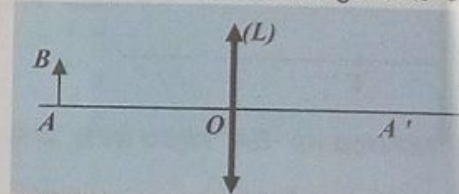


17

On dispose :

- d'un banc d'optique,
- d'un objet lumineux,
- d'une lentille,

-d'un écran sur lequel se forme l'image. On place l'objet à l'extrémité du banc. On détermine les positions de l'écran qui correspondent à une image nette de l'objet.



On obtient les résultats expérimentaux suivants :

\overline{OA} (m)	-0,15	-0,20	-0,25	-0,30
$\overline{OA'}$ (m)	0,75	0,33	0,25	0,215

1)-Quelle est la nature de la lentille ? (convergente ou divergente ?)

2) Tracer le graphe de la fonction de conjugaison en fonction de $\frac{1}{OA}$. Echelle: 2 cm pour 0,01 m.

3) Montrer que la courbe obtenue est en concordance avec la formule de conjugaison des lentilles.

4) Dédurre du graphe la distance focale de la lentille.

Montrer que le résultat obtenu est en concordance avec l'indication (+8) portée sur la lentille.

5) Pourquoi l'expérimentateur n'a-t-il pu obtenir des valeurs de \overline{OA} telles que 0,05 m ?



Galilée

18

On considère un agrandisseur dont l'objet peut être assimilé à une lentille mince convergente corrigée de toute aberration de distance focale $f' = 12 \text{ cm}$.

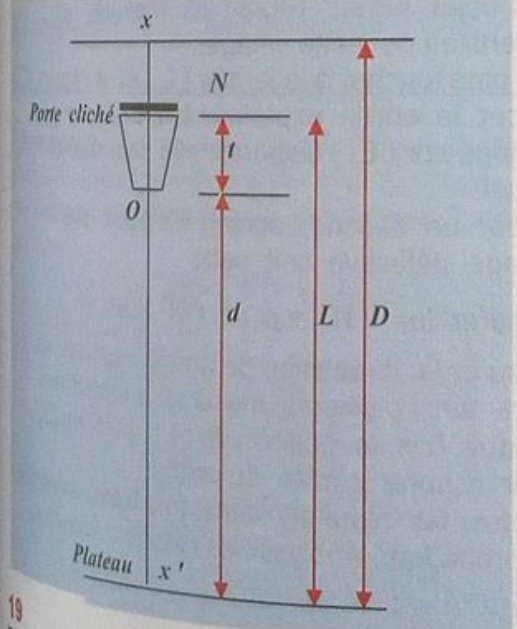
un négatif (N) étant placé sur le plateau limite supérieure jusqu'à une position limite supérieure à la distance $D = 100$ cm du plateau.

On appelle :

- 1) la distance de la chambre (c'est-à-dire la distance entre l'objectif et le plateau).
- 2) la distance entre le porte-cliché et le plateau, c'est-à-dire la distance de reproduction, c'est-à-dire le grandissement de l'image.
- 3) l'échelle de reproduction, c'est-à-dire le rapport $\frac{L}{e}$ lorsque la longueur de la chambre est de 30 cm.
- 4) Calculer L et e lorsque la longueur de la chambre est de 30 cm.
- 5) Exprimer L et t en fonction de l'échelle de reproduction.
- 6) Montrer que pour une certaine valeur de e la distance entre le porte-cliché et le plateau prend une valeur minimale et calculer les valeurs correspondantes d et L .
- 7) Exprimer t en fonction de L et montrer que si on fixe L , il y a deux réglages possibles qui correspondent à deux valeurs de l'échelle de reproduction.
- 8) Quelles sont ces deux valeurs si $L = 80$ cm ?
- 9) On fixe $t = 24$ cm et on ajoute devant l'objectif une deuxième lentille identique à la précédente, de même axe optique $x'x$, de centre optique O' tel que $OO' = 12$ cm.

a) Déterminer par le calcul la distance L à laquelle on doit placer le plateau pour que l'image du négatif soit nette.

b) Construire géométriquement le faisceau issu d'un point du négatif situé en dehors de l'axe optique et retrouver la valeur de L obtenue précédemment.



19 RETROPROJECTEUR

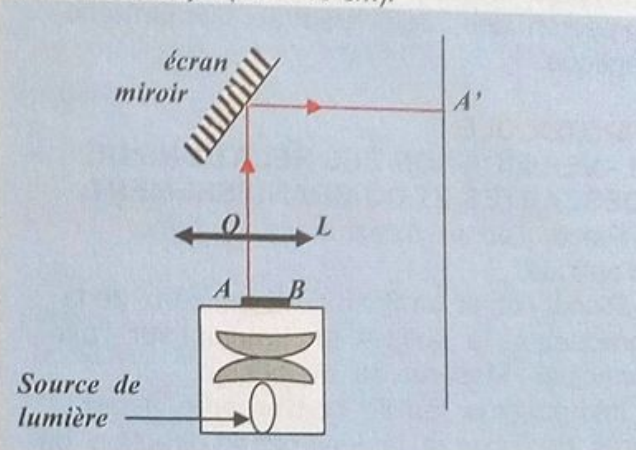
La lentille (L) d'un rétroprojecteur est assimilable à une lentille convergente de distance focale $f' = 30$ cm. L'ensemble lentille - miroir donne d'un objet AB situé dans un plan horizontal une image AB' sur un écran vertical (E). Le miroir-plan est incliné de 45° sur l'axe principal AM de la lentille. La distance AM est égale à 60 cm ; la lentille (L)

est placée à l'aide d'une crémaillère. L'écran est à 1,85 m du point M situé sur le miroir ($MA' = 1,85$ m).

1)- Si on enlève le miroir, à quelle distance de A l'image A'' de A va-t-elle se former ?

On oriente alors l'axe principal dans le sens de la propagation de la lumière. On pose $OA = X$; et $AA'' = D$.

- Trouver la relation qui existe entre X , D et f'
 - Calculer la valeur de OA qui donne une image nette sur l'écran.
 - Calculer le grandissement $\gamma = \frac{A'B'}{AB}$ de l'image.
- 2)- Schématiser le rétroprojecteur à l'échelle 1/10. Tracer la marche d'un faisceau lumineux issu du point B de l'objet ($AB = 10$ cm).



20

1)- On dispose d'une lentille mince L de centre optique O, de vergence $+8$ dioptries, d'un objet lumineux AB perpendiculaire en A à l'axe principal et d'un écran E.

La lentille est disposée suffisamment loin de l'objet AB pour qu'on obtienne sur l'écran E une image A'B' notablement plus petite que l'objet. On mesure AO et la distance $D = AA'$ entre l'objet et son image. On rapproche ensuite progressivement la lentille de l'objet, et après chaque mise au point de l'image, on répète les mesures. On a le tableau des résultats suivants :

AO (m)	1,50	1,30	1,10	0,90	0,70	0,50
D(m)	1,64	1,44	1,24	1,05	0,85	0,66

AO(m)	0,40	0,30	0,25	0,20	0,15	0,14
D(m)	0,57	0,51	0,50	0,54	0,85	1,41

a)- Montrer que la lentille L est convergente. Quelle est sa distance focale f' ?

b)- Construire la courbe $D = f(AO)$
 Echelles : abscisse : 1 cm pour 0,10 m
 ordonnée : 1 cm pour 0,10 m

2)- Comparer la distance focale f' de (L) à la valeur minimale D_m de D. Retrouver ce résultat mathématiquement.

Que peut-on dire des positions de l'objet, de la lentille, et de l'écran quand D est minimale. Construire, dans ce cas, l'image A'B' de AB. Quel est le grandissement ?

En déduire une méthode simple pour déterminer la distance focale d'une lentille convergente.

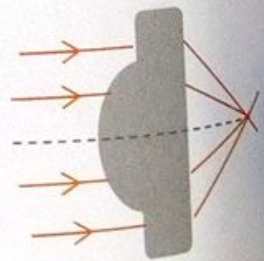


« La guerre des étoiles » : l'œuvre audiovisuelle la plus rentable de tous les temps.

On appelle « lentille asphérique » une lentille dont le profil est autre que circulaire et qui possède un axe de symétrie et « lentille non sphérique » une lentille dont les faces n'ont pas d'axe de symétrie – C'est le cas des lentilles toriques utilisées pour corriger la vue .

Les lentilles asphériques ont en général un profil typique qui est celui mis au point par l'astronome norvégien Bernhard Schmidt pour corriger les défauts des miroirs circulaires : la lentille est bombée au centre, mais sa courbure s'infléchit à mi-parcours pour remonter vers les bords ; ceux-ci sont épais et non pas minces comme une lentille convergente sphérique .

Les lentilles asphériques sont restées pendant très longtemps des éléments très coûteux réservés à des applications limitées: télescopes ,microscopes et , en photographie , objectifs spéciaux pour filmer les écrans cathodiques ou pour cartographier le terrain .



L'anamorphose
l'anamorphose en
Vous certainement
Demandez à votre
Demandez vous
Demandez de vous
minutes.
minutes puis re
Les images que
Les lentilles diver
dimension
semblables à
Demandez à votr
Demandez à votr
ses lunettes pour
ses lunettes pour
certains pr
regardez autour
vous observez
convergentes n
dimensions que
semblables à ces
Cherchez autour
porte des lunet
d'astigmatisme. E
pour deux minut
autour de vous.
Les images que
ces lentilles ne
objets : elles par
Elles paraissent
directions, rétréc
qu'il y a anamor
Tâchez ensuite c
des formes biza
passer ni parm
minces, ni parm
Une anamorphos
qui retrouve ses
quand on la reg
ou réfléchi dan
On appelle an
optique déform
différence entr
deux plans or
système transf
en rectangle, ur

EXERCICES

1) Une lentille divergente reçoit parallèlement à son axe principal un faisceau cylindrique de 4 cm de diamètre. Sur un écran placé à 1 mètre derrière la lentille, on observe une tache circulaire de 20 cm de diamètre. Calculer la vergence de la lentille.

2) Un objet lumineux AB de 9 cm de hauteur est placé à 50 cm devant une lentille de vergence - 4 dioptries. Déterminer géométriquement et par les calculs la position, la nature, le sens et la taille de l'image.

3) On regarde à travers une lentille divergente de vergence $\delta = -5$ dioptries un objet situé à 1 mètre derrière la lentille. A quelle distance voit-on son image ? Quelle est la taille de l'image sachant que l'objet a une longueur de 5 cm ?

4) On accole à une lentille convergente de distance focale 16 cm une seconde lentille de distance focale image - 20 cm. Calculer la vergence de l'association. Donner les caractéristiques de l'image d'un objet réel de hauteur 1 cm placé à 10 cm de l'ensemble sur l'axe principal.

5) Un système optique comprend une lentille divergente de 40 cm de distance focale derrière laquelle, à 10 cm, on a placé un miroir plan, normalement à l'axe principal. Déterminer l'image d'un point A situé sur l'axe à 40 cm devant la lentille.

6) Un système optique est formé de deux lentilles L_1 et L_2 ayant même axe principal et situées à 50 cm l'une de l'autre. La lentille L_1 est convergente, sa distance focale est 50 cm ; la lentille L_2 est divergente et a même distance focale (en valeur absolue). Déterminer l'image d'un objet AB, de 10 cm de hauteur, placé à 1,5 m en avant de L_1 .

7) Construire géométriquement l'image d'un objet virtuel AB situé à 60 cm derrière une lentille divergente de 30 cm de distance focale. Tracer la marche d'un pinceau lumineux tombant sur la lentille et qui convergerait en B.

8) 1)-On utilise une lentille L_1 de vergence +20 dioptries pour photographier un objet lointain, placé perpendiculairement à l'axe principal. L'objet à photographier est une tour située à 500 m du centre optique O_1 de la lentille, sa hauteur est $H = 50$ m. Calculer la hauteur h_1 de l'image sur le cliché.

2) Une seconde lentille L_2 de vergence - 50 dioptries de centre optique O_2 est placée de l'autre côté de L_1 par rapport à l'objet. Les axes optiques des deux lentilles sont confondus. On donne: distance $O_1O_2 = 3,5$ cm. L'ensemble des deux lentilles constitue l'objectif avec lequel on veut photographier la tour.

a) L'image donnée par cet objectif d'un point A situé à 500 m en avant L_1 est A_2 . Calculer la distance O_2A_2 .

b) Quelle est la hauteur h_2 de l'image de la tour sur le cliché ?

3) On souhaite obtenir la même image de la tour avec une seule lentille L_3 dont le centre optique O_3 se trouve à 500 m de la tour.

a) Quelle doit être la nature de la lentille ?
 b) Calculer sa vergence et la distance entre son centre optique et le plan de l'image.
 c) Quel intérêt l'ensemble des deux lentilles L_1 et L_2 présente-t-il par rapport à l'utilisation de la lentille unique L_3 ?

9) Un photocopieur permet la reproduction d'un document original de surface S. Le système optique comporte entre autre un objectif constitué de plusieurs lentilles. L'image de l'original est recueillie sur un tambour photosensible. Si γ est le grandissement du système optique, la surface S' de la photocopie est $S' = \gamma^2 S$.

L'objectif du système optique est modélisé à l'aide du matériel d'optique d'un lycée. On place sur un banc d'optique :

- à une extrémité, un objet lumineux AB représentant le document original,
- à une distance fixe (128,6 cm) de AB un écran qui représente le tambour photosensible, et sur lequel doit se former l'image A'B'.

1) AGRANDISSEMENT D'UN DOCUMENT.

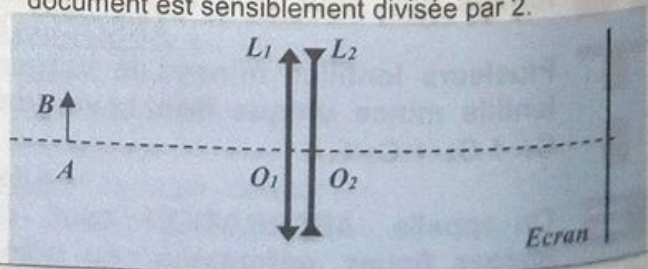
L'objectif du système optique est modélisé dans ce cas par deux lentilles L_1 et L_2 de vergences respectives $C_1 = 5,0$ dioptrie et $C_2 = -3,0$ dioptries. Le centre optique O_1 de L_1 est placé à 60 cm de A. L_1 donne de AB une image A_1B_1 . L_2 est placée à droite de L_1 . Son centre optique O_2 est tel que $O_1O_2 = 8,6$ cm. L_2 donne de A_1B_1 l'image définitive A'B' sur l'écran.

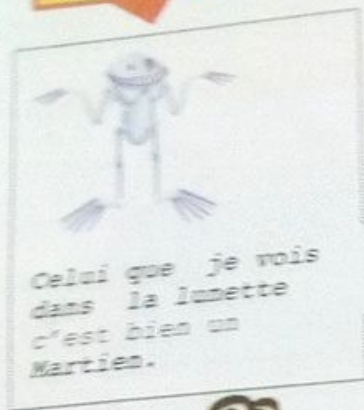
- a) Construire l'image A_1B_1 sur un croquis (aucun calcul n'est demandé). - Echelle : 5 mm pour 10 cm.
 b) Représenter sur le même croquis l'image définitive A'B' sachant qu'elle se forme sur l'écran. En déduire le grandissement $\gamma_{1,2}$ de l'association.

2) REDUCTION D'UN DOCUMENT.

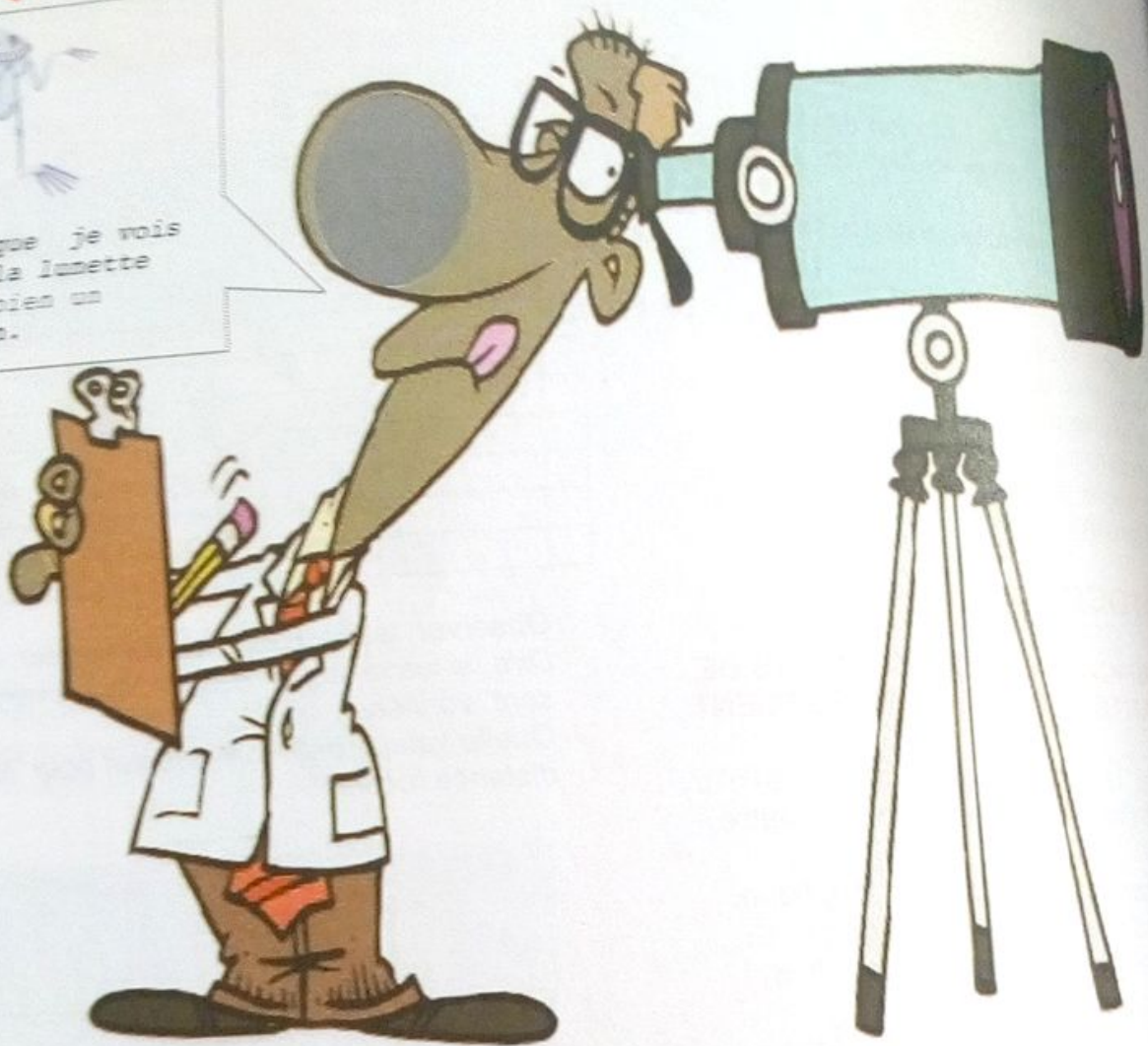
Dans ce cas, pour modéliser l'objectif on permute les 2 lentilles précédentes. La lentille L_2 donne de AB une image A_2B_2 . La lentille L_1 donne de A_2B_2 l'image définitive A'B' sur l'écran.

- a) A l'aide des formules de conjugaison, déterminer la position de l'image A_2B_2 , puis celle de A'B'.
 b) En déduire le grandissement de la lentille L_2 puis celui de la lentille L_1 . Trouver ensuite le grandissement de l'appareil. En déduire que la surface du document est sensiblement divisée par 2.





Celui que je vois dans la lunette c'est bien un Martien.



L'exobiologie est une science dont l'objet est l'étude de la vie sous toutes ses formes dans l'univers. Elle fait appel à des spécialistes d'horizons très divers : astrophysiciens, physiciens, chimistes, sociologues

Mais qu'est-ce donc la vie ?

Quels sont les processus qui permettent dans un milieu donné le passage de « l'inerte au vivant » ?

Tous les êtres qui existeraient à travers l'univers seraient-ils formés à partir des mêmes « briques » (vingt acides α -aminés et cinq nucléotides) ou bien existeraient-ils d'autres formes de vie fondées par exemple sur la chimie du silicium et non sur la chimie du carbone ?

L'homme dispose aujourd'hui de télescopes de grands diamètres pour scruter l'univers. Il essaie aussi par d'autres moyens d'entrer en contact avec des civilisations extraterrestres (E.T) « technologiquement » avancées.

Pour l'instant, on ne peut que reprendre ces mots d'Enrico Fermi : « Mais, où sont-ils donc ces E.T ? ». Mais n'oublions pas comme le dit si bien Martin Rees que « l'absence de preuve n'est pas la preuve de l'absence ».

EXERCICES

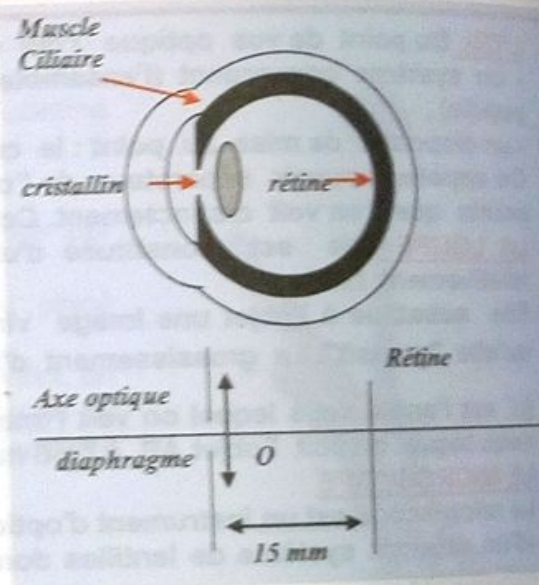
- La limite de résolution d'un œil est égale à 1 minute.
Quelle est la distance minimale entre deux points qu'il peut séparer à 25 cm, à 150 cm, à 50 m ?
- Un œil myope a son punctum remotum à 50 cm.
Quelle est la distance focale d'une lentille lui permettant de lire sans accommoder un livre placé à 20 cm de l'œil ?
Réponse : 33,3 cm
- Un œil myope a son punctum remotum à 50 cm et son punctum proximum à 10 cm.
Calculer la convergence du verre qu'il doit utiliser pour voir nettement à l'infini sans accommoder.
Quelle est sa distance minimale de vision distincte quand il porte ce verre ?
Réponses : -50 m ; 12,5 cm
- Un œil myope a son punctum remotum à 50 cm et son punctum proximum à 12,5 cm.
Quelles sont les limites du champ de vision :
a) quand il porte des verres divergents de 2 dioptries ?
b) quand il porte des verres convergents de 4 dioptries ?
- Un œil myope voit sans accommoder des objets situés à 1 mètre.
La rétine est à 15 mm de la lentille de l'œil réduit.
Calculer la distance du foyer de lentille à la rétine.
Réponse : 0,22 mm.
- Un œil hypermétrope au repos, assimilable à une lentille convergente de 15 mm de distance focale, a son foyer image à 1 mm de la rétine.
Calculer la distance focale du verre correcteur lui permettant de voir nettement à l'infini.
Réponse : 210 mm
- Un œil presbyte a une distance minimale de vision distincte de 2 m. Calculer la distance focale de la lentille (verre correcteur) qui lui permettrait de lire à 16 cm sans accommoder.
Réponse : 17,3 cm
- La lentille d'un œil réduit est à 15 mm de la rétine. Entre quelles limites varie la distance focale de cette lentille sachant que cet œil peut voir entre 20 et 2 m ?
Réponse : 13,95 mm - 14,89 mm.
- Un œil complètement presbyte ne peut voir nettement les objets qu'au-delà de 4 m.
Quelle est la distance focale des verres qu'il doit utiliser pour voir à 25 cm ?
Réponse : 26,7 cm.
- Un œil est myope et presbyte. Son punctum

remotum est à 1 mètre de l'œil et sa distance minimale de vision distincte est 35 cm.

- Calculer la convergence de la lentille correctrice lui permettant de voir sans accommoder les objets très éloignés.
- Calculer la convergence de la lentille correctrice lui permettant de lire à 20 cm avec l'accommodation maximale. Quel est le champ de vision en profondeur de l'œil muni de cette lentille ?
- Une personne à la fois myope et presbyte doit porter des verres bifocaux.
Qu'entendez-vous par verres bifocaux ?

11
Un myope ne voit nettement que les objets situés entre 12 cm et 80 cm. Il achète des verres divergents de 1,25 dioptries. Entre quelles limites verra-t-il en portant ces lunettes ?

12
On assimile l'œil à une lentille convergente. On comparera pour cela les deux croquis qui suivent



Le cristallin est assimilable à une lentille convergente L. Un objet n'est vu nettement par l'œil que si son image se forme sur la rétine, située à 15 mm de L. Par contraction du muscle ciliaire la courbure du cristallin peut être modifiée. La vergence de la lentille est donc variable.

- Un œil normal voit nettement, sans efforts, les objets situés à l'infini. Quelle est alors la distance focale de L ? En déduire sa vergence.
- Pour lire son journal, situé à 25 cm du centre optique O, Monsieur Ndiaye doit faire un "effort d'accommodation". Son cristallin devient plus bombé.
 - Calculer la vergence de L lors de cet effort d'accommodation et la nouvelle distance focale image.
 - Un caractère d'imprimerie a 4 mm de hauteur. Quels sont la dimension et le sens de son image formée sur la rétine ?
- Monsieur Diop a un défaut de vision l'hypermétropie. Son cristallin n'est pas assez

... Au repos, sa vergence est de 62 dioptries. On admettra que la distance cristallin - rétine reste égale à 15 mm.

1) Déterminer dans ces conditions la position de l'image d'un objet situé à l'infini.

2) En déduire la nature de la lentille de contact L' que Monsieur Diop devra utiliser pour voir nettement.

13 On modélise un œil en l'assimilant à une lentille convergente de distance focale f' variable et de centre optique O. La rétine où se forme l'image est assimilée à un plan situé à une distance constante OA' = 15 mm et perpendiculaire à OA.

1) L'œil n'accommodé pas. Quelle doit être la distance focale f' pour que l'image d'un objet situé à l'infini se forme sur la rétine ?

2) En accommodant au maximum, l'œil peut voir avec netteté un objet situé à 25 cm de O. Cette distance est appelée « distance minimale de vision distincte ». Calculer la nouvelle valeur f'' de la distance focale.

3) On définit l'amplitude d'accommodation par $\Delta = \frac{1}{f''} - \frac{1}{f'}$. Calculer Δ , préciser son unité.

4) Avec l'âge la faculté d'accommodation diminue. Pour une personne âgée de 60 ans par exemple qui continue toujours à voir à l'infini, elle vaut $\Delta' = \frac{\Delta}{4}$

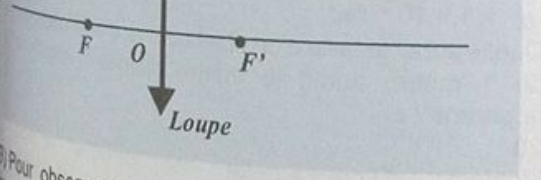
Calculer alors la nouvelle distance minimale de vision distincte. Quelle est l'influence de l'âge seul sur la distance minimale de vision distincte ?

LOUPE

14 On dispose d'une loupe assimilable à une lentille convergente de distance focale 2,5 cm.

1) Où doit-on placer l'objet AB pour que l'image soit à l'infini ?

2) Représenter sur un schéma à l'échelle 2 la marche des rayons issus de B.



3) Pour observer l'image, où doit-on placer l'œil ?

4) Exprimer le diamètre apparent α' de cette image vue du foyer image de la lentille.

Exprimer le diamètre α apparent de l'objet AB vu d'un point situé à 25 cm et dans une direction perpendiculaire à l'objet.

En déduire le grossissement G de cette loupe.

15 Un observateur dont l'œil placé en P est normal, regarde un objet AB de 10 mm de hauteur. Pour en distinguer les détails, il utilise une lentille de centre

optique O et de vergence C = + 10 dioptries qu'il utilise comme loupe.

Dans tout l'exercice l'axe principal de la lentille est confondu avec le droite AP et l'objet est perpendiculaire à cette droite.

1) Calculer la distance focale f de la lentille.

2) L'observateur place la lentille à 5 cm de l'objet AB entre A et P.

a) Déterminer la position de l'image A'B' de AB. On calculera pour cela OA'.

b) Calculer le grandissement et la dimension de l'image ; cette dernière est -elle réelle ou virtuelle ?

c) Tracer à l'échelle 1, la marche de 2 rayons lumineux issus de B permettant de retrouver les résultats obtenus précédemment.

3) Où l'observateur doit-il placer le centre optique O de la lentille pour que l'image A'B' de AB soit rejetée à l'infini ? Quel est, pour l'observateur l'intérêt de cette station ?

MICROSCOPE

16 Un microscope est constitué d'un objectif de distance focale f1 = 2,00 mm, d'un oculaire de distance focale f2 = 2,00 cm. La distance entre les centres optiques des deux lentilles est O1O2 = 12 cm.

L'objet AB de hauteur 1 micromètre est placé perpendiculairement à l'axe principal à la distance de 2,04 mm de l'objectif.

1)-Déterminer la position, la taille et la nature de l'image A'B' de AB à travers ce microscope.

2)-L'observateur a un œil normal : il peut voir nettement les objets situés à une distance du centre optique de son œil comprise entre 20 cm (position du punctum proximum) et l'infini (punctum remotum).

-Quelle est la faculté de l'œil qui lui permet d'observer un objet situé entre ces deux points ?

On suppose que le centre optique de l'œil est placé au foyer image F'2 de l'oculaire

-A quelle distance de F'2 l'image A'B' de AB se trouve-t-elle ?

L'œil peut-il regarder longtemps l'image sans se fatiguer ? Pourquoi ?

Où devrait être l'image pour pouvoir être observée sans fatigue ?

Pour obtenir cela, il faut modifier la distance objet-microscope de 0,82 μm. Dans quel sens doit-on effectuer ce déplacement relatif ?

Quelles réflexions concernant la construction du microscope l'ordre de grandeur de ce déplacement vous inspire-t-il ?

17

Un microscope est constitué par un objectif et un oculaire, que l'on assimilera à deux lentilles simples. La distance focale de l'objectif est 3 m. La convergence de l'oculaire est 50 dioptries. La distance entre l'oculaire et l'objectif est 170 mm.

1-) A quelle distance de l'objectif devra se trouver l'objet à examiner pour que son image à travers l'instrument soit vue par un œil normal sans accommodation ?

2-) Quel sera dans ces conditions le rapport de la grandeur de l'image intermédiaire donnée par l'objectif, à celle de l'objet ?

3-) Quel sera dans ces conditions la puissance du microscope ?

4-) Quel sera le grandissement commercial ?

5-) Sous quel diamètre apparent, exprimé en minutes, verra-t-on à travers l'instrument un objet de 0,001 mm ?

6-) On interpose entre l'objet et l'objectif une lame transparente à faces parallèles de 1 mm d'épaisseur et l'on constate que pour rétablir la mise au point, le microscope de 1/3 de mm au moyen d'une vis micrométrique.

Dans quel sens doit-on faire ce déplacement ? Dédurre de cette expérience l'indice de réfraction n de la lame.

NB : pour simplifier les calculs on prendra $\pi = 3$

JUMELLES

18

Certaines jumelles que l'on utilise pour observer un objet éloigné dans la nature utilisent le principe d'une double lunette de Galilée. Nous étudierons tout d'abord chaque composant du système puis nous considérerons le dispositif dans son ensemble.

1. Étude de l'objectif assimilé à une lentille convergente L_1

On utilise un banc d'optique sur lequel la lentille L_1 donne d'un objet lumineux placé à 40,0 cm de la lentille, une image nette sur un écran situé à 66,7 cm de la lentille. Déterminer la valeur de la distance focale f_1 à partir de ces mesures.

Déterminer la valeur de la vergence C_1 de cette lentille et préciser son unité.

2. Étude du dispositif oculaire

Ce dispositif est assimilé à une lentille L_2 qui donnerait d'un objet lumineux à l'infini une image virtuelle ponctuelle située à 5,0 cm avant la lentille

a) Quelle est la nature de L_2 ? Faire un schéma en indiquant la marche des rayons lumineux correspondant à l'éventualité précédente.

b) En quel point particulier pour L_2 l'image précédente s'est-elle formée ?

c) Dédurre de cette construction la vergence C_2 de L_2 et comparer son signe à celui de la vergence C_1 de L_1 .

3. Association des deux lentilles

On constitue un système optique, en associant L_1 et

L_2 de façon que $\overline{O_1O_2} = +20,20\text{cm}$; le dispositif

($L_1 + L_2$) ainsi constitué donne d'un objet AB situé avant O_1 , une image virtuelle A'B' droite par rapport

à AB et telle que $\overline{O_2A'} = -88,3\text{cm}$

a) Déterminer la position de l'image intermédiaire A_1B_1 que donne L_1 et qui sert d'objet pour L_2 . La réponse à cette question se fera par le calcul en utilisant une formule de conjugaison convenable et ne nécessite pas de schéma.

b) En tenant compte de la position trouvée pour

A_1B_1 par rapport à L_1 , trouver sans calcul parmi les valeurs proposées, la position par rapport à L_1 de l'objet observé :

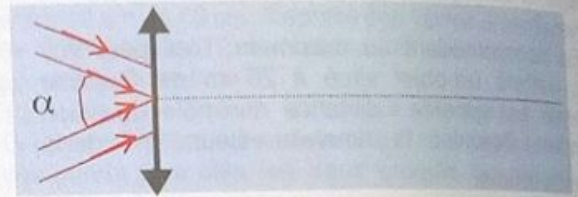
$$\overline{O_1A} = -10\text{cm} ; \overline{O_1A} = -20\text{cm} ; \overline{O_1A} = -30\text{cm},$$

$$\overline{O_1A} = +50\text{cm}$$

LUNETTE ASTRONOMIQUE

19

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles mince convergentes L_1 et L_2 de distances focales respectives f_1 et f_2 . On observe un astre de diamètre AB. L'axe optique de la lunette passe par le centre de l'astre. Les rayons issus des bords de l'astre forment entre eux un angle α appelé diamètre angulaire apparent de l'astre.



1) L'objectif donne de l'astre observé une image de diamètre A_1B_1 .

Où se trouve-t-elle ? Quelle est sa nature ?

2) En utilisation normale, le foyer objet F_2 de l'oculaire coïncide avec le foyer image F_1 de l'objectif. Dans ces conditions, où se forme l'image définitive ? Compléter le schéma de la figure en traçant les rayons à travers la lunette sachant que $f_1 = 10\text{ cm}$ et $f_2 = 1\text{ cm}$.

On prendra une échelle égale à 1 sur l'axe optique

3) On appelle β le diamètre angulaire apparent de l'astre vu à travers l'appareil (angle sous lequel l'image de l'astre est observée). A l'aide du schéma précédent trouver une relation entre α , β , f_1 et f_2 . Calculer dans ces conditions le grossissement de la lunette définie par $G = \frac{\beta}{\alpha}$.

On admettra que ces angles sont petits.

4) Pour la grande lunette de l'observatoire de Meudon en France, $f_1 = 16,2\text{ cm}$ et $f_2 = 2\text{ cm}$. Calculer le diamètre angulaire apparent sous lequel est vu Jupiter dans cette lunette sachant qu'à l'œil nu $\alpha = 1,9 \cdot 10^{-4}\text{ rad}$.

Quelle serait la taille d'un objet qui, vu d'une distance de 1 mètre, aurait le même diamètre angulaire apparent ?

20

L'objectif d'une lunette astronomique a une distance focale de 2 mètres, son oculaire 10 cm. Le diamètre de l'objectif est 10 cm. Un observateur à vue normale vise à l'infini et examine la lune, de diamètre apparent $30'$. Déterminer :

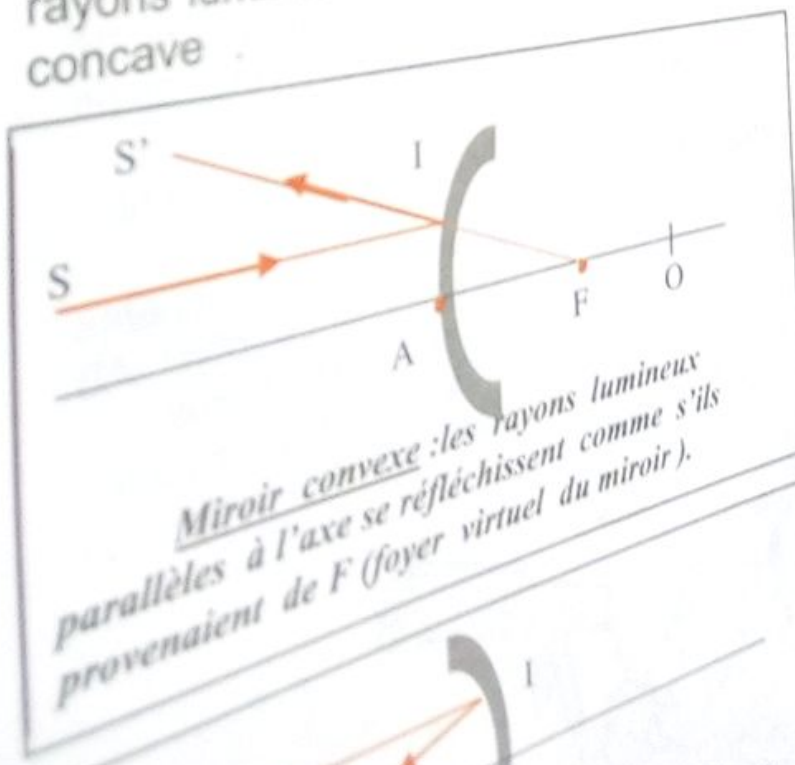
- 1)- La position et la dimension de l'image objective.
- 2)- Le diamètre apparent de l'image définitive.
- 3)- Le grossissement.
- 4)- La distance de deux points de la lune les plus rapprochés l'un de l'autre que l'observateur puisse distinguer sachant que la limite angulaire de résolution de la lunette est de $0,6''$.

... à l'œil... distances...
 astronomes que sont Hipparque, Copernic, Tycho Brahé se sont contentés d'observer le ciel à l'œil nu.
 La découverte par hasard du principe de la lunette astronomique par le lunetier hollandais Lippershey et la construction de la première lunette par Galilée permirent à l'astronomie de faire de grands bonds.
 Les lunettes astronomiques et plus tard les télescopes permirent :
 - d'accroître le pouvoir séparateur de l'œil (d'où la possibilité de distinguer des détails que l'œil nu confondait),
 - d'augmenter la quantité de lumière reçue d'un astre (d'où la possibilité d'apercevoir des étoiles que l'œil nu ne pouvait déceler).

MIROIRS ET LENTILLES

Nous avons étudié dans les chapitres précédents la marche des rayons lumineux à travers les lentilles. Les télescopes utilisent aussi bien des lentilles que des miroirs.

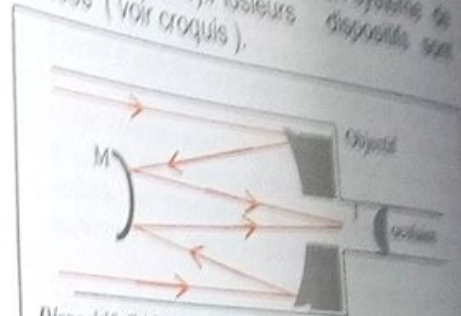
Ci-dessous sont indiquées les réflexions de rayons lumineux sur des miroirs convexe et concave.



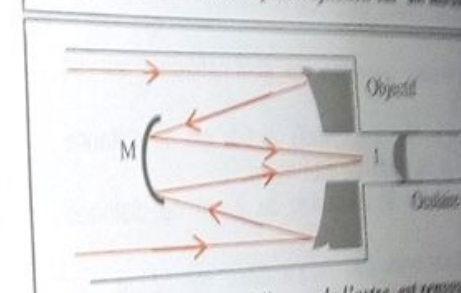
SCOPE

PRINCIPE DU TELESCOPE

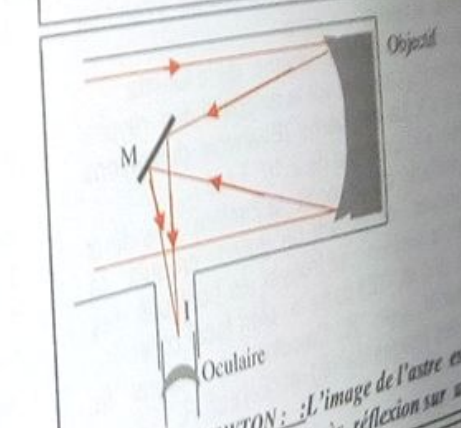
La lumière issue d'un astre lointain sur la surface concave d'un miroir. Celui-ci renvoie les rayons qui se condensent en son foyer F.
 Un second miroir renvoie l'image formée dans la direction de l'œil de l'observateur.
 L'image de l'astre, au lieu de se former au niveau du foyer F du miroir se forme en I. Cette image est observée grâce à un système de lentilles (oculaire). Plusieurs dispositifs sont utilisés (voir croquis).



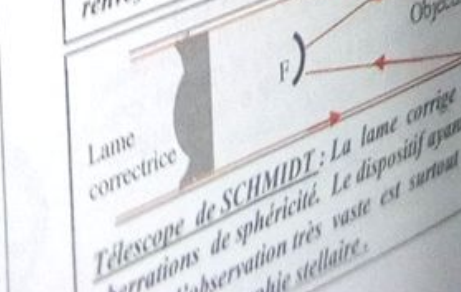
Dispositif CASSEGRAIN : L'image de l'astre est renvoyée sur l'oculaire après réflexion sur un miroir.



Dispositif GREGORY : L'image de l'astre est renvoyée sur l'oculaire après réflexion sur un miroir.



Télescope de NEWTON : L'image de l'astre est renvoyée sur l'oculaire après réflexion sur un miroir.



Télescope de SCHMIDT : La lame corrige les aberrations de sphéricité. Le dispositif ayant un champ de vision très vaste est surtout utilisé pour l'observation de la nébuleuse stellaire.

2-) Quel sera dans ces conditions le rapport de la grandeur de l'image intermédiaire donnée par l'objectif, à celle de l'objet ?

3-) Quel sera dans ces conditions la puissance du microscope ?

4-) Quel sera le grandissement commercial ?

5-) Sous quel diamètre apparent, exprimé en minutes, verra-t-on à travers l'instrument un objet de $0,001 \text{ mm}$?

6-) On interpose entre l'objet et l'objectif une lame transparente à faces parallèles de 1 mm d'épaisseur et l'on constate que pour rétablir la mise au point, le microscope de $1/3$ de mm au moyen d'une vis micrométrique.

Dans quel sens doit-on faire ce déplacement ? Dédurre de cette expérience l'indice de réfraction n de la lame.

NB : pour simplifier les calculs on prendra $\pi = 3$

JUMELLES

18

Certaines jumelles que l'on utilise pour observer un objet éloigné dans la nature utilisent le principe d'une double lunette de Galilée. Nous étudierons tout d'abord chaque composant du système puis nous considérerons le dispositif dans son ensemble.

1. Étude de l'objectif assimilé à une lentille convergente L_1

On utilise un banc d'optique sur lequel la lentille L_1 donne d'un objet lumineux placé à $40,0 \text{ cm}$ de la lentille, une image nette sur un écran situé à $66,7 \text{ cm}$ de la lentille. Déterminer la valeur de la distance focale f_1 à partir de ces mesures.

Déterminer la valeur de la vergence C_1 de cette lentille et préciser son unité.

2. Étude du dispositif oculaire

Ce dispositif est assimilé à une lentille L_2 qui donnerait d'un objet lumineux à l'infini une image virtuelle ponctuelle située à $5,0 \text{ cm}$ avant la lentille

a) Quelle est la nature de L_2 ? Faire un schéma en indiquant la marche des rayons lumineux correspondant à l'éventualité précédente.

b) En quel point particulier pour L_2 l'image précédente s'est-elle formée ?

c) Dédurre de cette construction la vergence C_2 de L_2 et comparer son signe à celui de la vergence C_1 de L_1 .

3. Association des deux lentilles

On constitue un système optique, en associant L_1 et L_2 de façon que $\overline{O_1O_2} = +20,20 \text{ cm}$; le dispositif

($L_1 + L_2$) ainsi constitué donne d'un objet AB situé avant O_1 , une image virtuelle $A'B'$ droite par rapport à AB et telle que $\overline{O_2A'} = -88,3 \text{ cm}$

a) Déterminer la position de l'image intermédiaire A_1B_1 que donne L_1 et qui sert d'objet pour L_2 . La réponse à cette question se fera par le calcul en utilisant une formule de conjugaison convenable et ne nécessite pas de schéma.

b) En tenant compte de la position trouvée pour

A_1B_1 par rapport à L_1 , trouver sans calcul parmi les valeurs proposées, la position par rapport à L_1 de l'objet observé :

$$\overline{O_1A} = -10 \text{ cm} ; \overline{O_1A} = -20 \text{ cm} ; \overline{O_1A} = -30 \text{ cm},$$

$$\overline{O_1A} = +50 \text{ cm}$$

LUNETTE ASTRONOMIQUE

19

Une lunette astronomique est constituée de deux lentilles mince convergentes L_1 et L_2 de distances focales respectives f_1 et f_2 . On observe un astre de diamètre AB . L'axe optique de la lunette passe par le centre de l'astre. Les rayons issus des bords de l'astre forment entre eux un angle α appelé diamètre angulaire apparent de l'astre.



1) L'objectif donne de l'astre observé une image de diamètre A_1B_1 .

Où se trouve-t-elle ? Quelle est sa nature ?

2) En utilisation normale, le foyer objet F_2 de l'oculaire coïncide avec le foyer image F_1 de l'objectif. Dans ces conditions, où se forme l'image définitive ? Compléter le schéma de la figure en traçant les rayons à travers la lunette sachant que $f_1 = 10 \text{ cm}$ et $f_2 = 1 \text{ cm}$.

On prendra une échelle égale à 1 sur l'axe optique

3) On appelle β le diamètre angulaire apparent de l'astre vu à travers l'appareil (angle sous lequel l'image de l'astre est observée) A l'aide du schéma précédent trouver une relation entre α , β , f_1 et f_2

Calculer dans ces conditions le grossissement de la lunette définie par $G = \frac{\beta}{\alpha}$.

On admettra que ces angles sont petits.

4) Pour la grande lunette de l'observatoire de Meudon en France, $f_1 = 16,2 \text{ cm}$ et $f_2 = 2 \text{ cm}$. Calculer le diamètre angulaire apparent sous lequel est vu Jupiter dans cette lunette sachant qu'à l'œil nu $\alpha = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$.

Quelle serait la taille d'un objet qui, vu d'une distance de 1 mètre, aurait le même diamètre angulaire apparent ?

20

L'objectif d'une lunette astronomique a une distance focale de 2 mètres, son oculaire 10 cm . Le diamètre de l'objectif est 10 cm . Un observateur à vue normale vise à l'infini et examine la lune, de diamètre apparent $30'$. Déterminer :

- 1-) La position et la dimension de l'image objective.
- 2-) Le diamètre apparent de l'image définitive.
- 3-) Le grossissement.
- 4-) La distance de deux points de la lune les plus rapprochés l'un de l'autre que l'observateur puisse distinguer sachant que la limite angulaire de résolution de la lunette est de $0,6''$.

La distance de la terre à la lune est de 384 000 km.

Une lunette astronomique est composée :

- d'un objectif : lentille mince convergente de distance focale 100 cm et de rayon 5 cm.

- d'un oculaire : lentille mince convergente de distance focale 5 cm et de rayon 1 cm.

1) Déterminer la position et la grandeur du cercle oculaire lorsque la lunette est réglée à l'infini.

Faire une figure à l'échelle 1/5 pour les abscisses et en vraie grandeur pour les rayons des lentilles.

Représenter la marche d'un faisceau lumineux venant de l'infini et parallèle à l'axe de la lunette.

2) On pointe avec cette lunette une étoile double, la distance angulaire de ces deux étoiles étant $0,5'$.

L'axe optique de la lunette est dirigée vers une étoile, faire la figure représentant le trajet des rayons issus de l'autre étoile, la lunette étant réglée pour la vision à l'infini. (pas à l'échelle).

Sous quel angle voit-on ces deux étoiles à travers la lunette ? Quel est le grossissement ?

3) Un myope qui examine ces deux étoiles fait la mise au point en modifiant la position de l'oculaire par rapport à l'objectif. Il voit nettement les étoiles quand la distance objectif-oculaire est comprise entre 104,5 cm et 102,5 cm.

Trouver les distances du punctum remotum et du punctum proximum de ce myope, son oeil étant placé au niveau du cercle oculaire.

22

Trois lentilles convergentes sont centrées sur un axe $x'x$.

a) Une lentille L (objectif) de 50 cm de distance focale et de 4 cm de diamètre.

b) Une lentille M (oculaire) de 2 cm de distance focale.

La distance entre ces deux lentilles est 52 cm.

c) Une lentille N dont le plan focal image est R ; elle représente l'œil, on lui donne une distance focale de 15 mm. La lentille N est placée à l'endroit où se forme le cercle oculaire.

Deux étoiles sont dans le champ de la lunette.

La première (E_0) envoie sur le dispositif des rayons parallèles à $x'x$. La deuxième (E) envoie des rayons faisant avec $x'x$ un angle de $2 \cdot 10^{-3}$ rad.

Toute la surface de L reçoit la lumière des deux étoiles. Indiquer en faisant un grand croquis la marche de la lumière et trouver les positions des images de (E_0) et (E) dans le plan focal objet de L, puis sur le plan R. Calculer en microns la distance h des images de (E) et (E_0) sur R.

1) Quand les lentilles L et M sont en place.

2) Quand les lentilles sont enlevées, N recevant directement des rayons venant de E) et (E_0)

Déterminer le rapport des valeurs de h observées dans les deux cas. Comparer avec le rapport des distances focales de L et M et aussi avec le rapport des diamètres de L et du cercle oculaire.

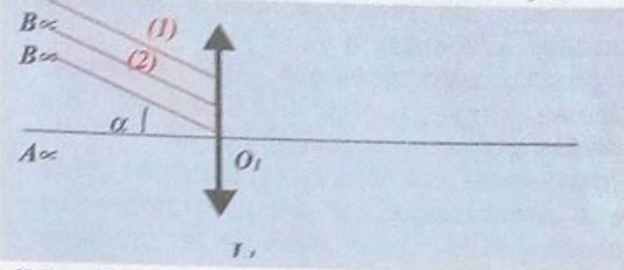
23

Une lunette de Galilée est constituée d'un objectif équivalent à une lentille convergente de distance

focale $f'_1 = 40$ cm et d'un oculaire assimilable à une lentille mince divergente de distance focale $f'_2 = -5$ cm.

La lunette est réglée de telle manière que le plan focal image de l'objectif coïncide avec le plan focal objet de l'oculaire.

On observe à travers cette lunette un objet AB situé à l'infini et vu sous un angle $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$ rad. Cet angle est appelé diamètre apparent de l'objet.



1) Lentille L1

a) Compléter le schéma ci-avant en plaçant le foyer principal image F'_1 de la lentille L_1 (objectif), la lentille L_2 (oculaire) de centre optique O_2 et ses foyers objet et image F_2 et F'_2 .

On rappelle que F'_1 et F_2 sont confondus.

Le schéma sera fait à l'échelle 1/4 :

1 cm sur le dessin représente 4 cm réels sur l'axe horizontal.

b) Où se trouve l'image A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille L_1 ? Construire cette image sur le schéma ci-avant.

c) Calculer la grandeur de cette image.

2) Lentille L2

a) Quel rôle joue A_1B_1 pour l'oculaire L_2 ? Préciser sa nature.

b) Où se trouve l'image $A'B'$ de A_1B_1 donnée par L_2 ? Dessiner la marche d'un rayon passant par B' et le centre optique O_2 de l'oculaire.

c) On admettra que le diamètre apparent α' de l'image $A'B'$ de AB à travers la lunette est l'angle formé par le rayon O_2A_1 et O_2B_1 .

Calculer α' en radian.. Calculer le grossissement.

3) L'image de l'objet.

a) Les rayons (1) et (2) représentés sur le schéma ci-avant proviennent de l'extrémité B de l'objet AB situé à l'infini. Ils délimitent un pinceau lumineux.

Tracer la marche de ce pinceau à travers la lunette

b) L'image $A'B'$ observée est-elle droite ou renversée ? Justifier.



Li lanla ?
Ko ndoum woni ?
Oudo wakhom ?
Gning hounemou ?
Kéné kharo ?
Kéni manné ?

LUNETTE DE GALILEE

Une lunette de Galilée est constituée d'un objectif équivalent à une lentille convergente de distance

A A

COLLECTION KANDIA

PHYSIQUE-CHIMIE : 2^{de}S

PHYSIQUE : 1^{re}S

CHIMIE : 1^{re}S

PHYSIQUE : TS

CHIMIE : TS