Bakary KEITA
Ibrahim TOURE
Ousmane Moriké TRAORE
Ouniry Jean Ives BERTHE

PHYSIQUE

10e année

EDIM sa

Scanned by CamScanner

KEITA Bakary
TRAORE Ousmane Moriké

TOURE Ibrahim
BERTHE Ouniry Jean Ives

PHYSIQUE

10e année

M.E-D.N.E.F.C
3578
LE BIBLIOTHECAIRE
LYCEE MAMADOU SARR

EDIM sa

Scanned by CamScanner



© EDIM SA/2004
ISBN : 2-913213-27-8
Tous droits réservés
crédit photos : KEITA Bakary / TRAORE Ousmane Moriké
Impression Graphique Industrie SA / Bamako-Mali

Scanned by CamScanner

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage couvre entièrement les programmes de physique de la première année de l'enseignement secondaire des classes scientifiques, techniques et littéraires. Il s'appuie sur les connaissances acquises au cours du second cycle de l'enseignement fondamental, pour présenter les résultats d'expériences, les concepts et les développements logiques, toutes choses qui consolident les enseignements dont le caractère scientifique se trouve ainsi renforcé.
LA STATIQUE est présentée en mettant l'accent sur l'aspect théorique en vue de faciliter la liaison ultérieure avec les autres domaines de la mécanique, mais également en multipliant les exemples d'application.

En effet, le côté pratique de la discipline n'a cessé de se développer depuis l'antiquité qui avait déjà mis au point des systèmes pour faciliter les déplacements de lourds fardeaux et l'équilibre des masses importantes (édification des pyramides).
L'OPTIQUE joue un rôle important dans la recherche et l'industrie autant que l'électricité. Nous l'avons donc placée au milieu de l'ouvrage afin qu'elle ne soit plus considérée comme un simple appendice du programme dont l'exécution peut être aléatoire. L'optique géométrique est surtout connue pour être la théorie de la constitution et du fonctionnement des instruments d'optique et la formation des images. En réalité sa portée va au-delà de ces domaines qui ont permis ses premiers développements. De plus, ses fondements permettent aussi de faciliter et d'enrichir les exposés sur le Laser et les fibres optiques dont les applications se diversifient vertigineusement. Le contenu de ce cours élémentaire d'optique géométrique est une base sûre pour ceux qui vont poursuivre des études scientifiques dans l'enseignement supérieur.

La partie **ELECTRICITE** de l'ouvrage commence par un rappel (presque comme une introduction initiale) de toutes les notions fondamentales sur les charges, leur production et leur mouvement dans différents conducteurs (d'électricité) au sein de circuits classiques de courant continu. Cette démarche prudente facilitera l'assimilation des nouvelles notions. Le classement des éléments électriques en dipôles passifs et actifs et leur étude suivant cette nomenclature permettront aux élèves d'apprendre plus aisément et de retenir les principales lois sans gros efforts de mémorisation.
Les notions de **MAGNETISME et D'ELECTROMAGNETISME** développées ici sont relatives aux programmes des sections littéraires. Elles sont certes sommaires mais suffisamment précises pour que les élèves puissent avoir plus tard matière à réflexion dans leurs études artistiques et philosophiques.
Chaque chapitre de l'ouvrage est précédé par des **préalables** et des **objectifs** à atteindre et conclu par des mots clés.
À la fin de chaque chapitre sont placés :

a) une série de questions appelée **"Evaluation"** permettant au lecteur de vérifier ses connaissances.
b) un à deux **exercices résolus**, pour préparer les élèves aux méthodes de résolution des problèmes de physique.
c) les énoncés de problèmes plus ardus donnés lors des évaluations de fin de trimestre ou de fin d'année et dont les solutions complètes sont rejetées à la fin du livre.

Avec cet ouvrage, nous espérons simplement réussir dans la tâche de rendre l'apprentissage de la physique plus agréable.
Nous accueillerons avec intérêt toutes les suggestions qui pourraient être faites pour améliorer cet ouvrage.

Les Auteurs

Scanned by CamScanner

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 3

1- RAPPELS 5

2 - STATIQUE 15

Chap.1: Etude des forces 16
Chap.2: Applications 29
Chap.3: Forces s'exercant sur un corps capable de tourner autour d'un axe fixe 41
Chap.4: Notion de frottement 47

3 - OPTIQUE 58

Chap.1: Propagation rectiligne de la lumière 59
Chap.2: Réflexion de la lumière 74
Chap.3: Réfraction de la lumière 91
Chap.4: Prisme 108
Chap.5: Lentilles minces 118
Chap.6: Instruments d'optique 147

4 - ELECTRICITE 172

Chap.1 : Intensité loi des nœuds 173
Chap.2 : Notion de tension électrique ou D.D.P. 191
Chap.3 : Etude des dipôles passifs 200
Chap.4 : Etude des dipôles actifs 220
Chap.5 : Point de fonctionnement d'un circuit-loi de Pouillet 231
Chap.6 : Notion d'électronique 238

5 - MAGNETISME ET ELECTROMAGNETISME 256

Chap.1 : Champ magnétique 257
Chap.2 : Champ magnétique créé par un courant 264

6 - SOLUTIONS DES EXERCICES 274

I. Statique 274
II. Optique 280
III. Electricité 297
IV. Magnétisme et électromagnétisme 304

Scanned by CamScanner

RAPPELS DE MATHÉMATIQUES

PRÉALABLES

- Angles, angle aigu, angle droit, angle plat.
- Triangle, triangle rectangle, triangle isocèle, triangle équilatéral.
- Cercle, Arc, corde.
- Projection d'un point sur un axe, d'un segment sur un axe.
- Relations métriques dans le triangle rectangle.
- Vecteurs.

OBJECTIFS

- identifier les cas d'isométrie des angles, des triangles
- citer les unités d'angle
- convertir le degré en radian et inversement
- identifier les cas de similitude des triangles
- écrire les rapports de similitude
- écrire les relations trigonométriques dans le triangle rectangle
- définir un vecteur
- citer les caractéristiques d'un vecteur
- écrire les opérations sur les vecteurs (multiplication par un scalaire, addition de vecteurs)
- écrire la relation de Pythagore
- tracer le repère orthonormé à une dimension, à deux dimensions
- écrire les coordonnées d'un point, d'un vecteur dans un repère
- tracer les projections d'un point, d'un vecteur dans un repère
- définir le cercle, le cercle trigonométrique
- définir un angle inscrit, un angle au centre
- écrire les relations entre angles inscrits interceptant les mêmes arcs, entre angle inscrit et angle au centre interceptant les mêmes arcs
- écrire les lignes trigonométriques d'un angle dans le cercle trigonométrique
- calculer le diamètre apparent d'un objet.

Scanned by CamScanner

1. INTRODUCTION



Dans l'étude d'un phénomène physique, il intervient essentiellement deux activités :

- L'observation des faits, leur reproduction si possible dans la situation d'observation pour se convaincre de la constance des mêmes choses observées (activité d'expérimentation).
- L'interprétation, l'explication des faits observés et la déduction de lois mathématiques applicables à d'autres situations analogues à celle étudiée (activité de mathématisation).

La maîtrise de l'outil mathématique devient en ce moment indispensable dans cette phase de l'activité physique.

2. ARCS, ANGLES INSCRITS, ET ANGLES AU CENTRE

a) Définition

On appelle arc de cercle une portion de cercle.

b) Théorèmes

- Si des arcs sont égaux, leurs angles au centre sont égaux réciproquement dans un même cercle ou dans des cercles égaux, deux angles au centre interceptent des arcs égaux.
- L'angle au centre et l'arc intercepté ont même mesure.
- L'angle inscrit égal la moitié de l'angle au centre qui intercepte le même arc (Fig.1).
- L'angle inscrit a même mesure que la moitié de l'arc compris entre ses côtés.
- La bissectrice d'un angle inscrit passe par le milieu de l'arc intercepté par les côtés de l'angle (Fig.2).
- L'angle formé par une tangente et une corde issue du point de contact a même mesure que la moitié de l'arc sous-tendu par la corde (Fig.3).

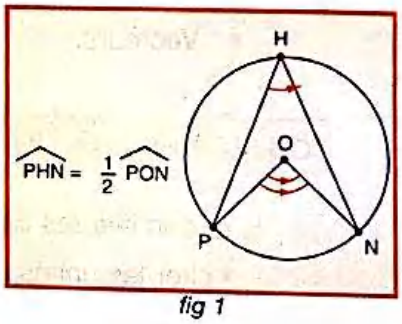


fig 1

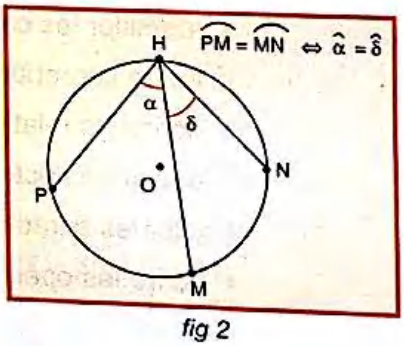


fig 2

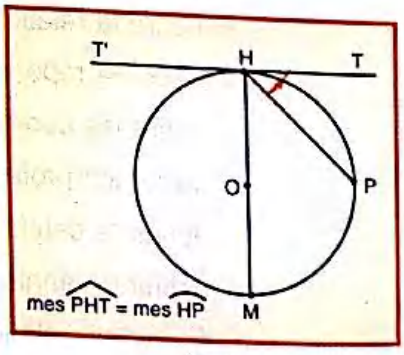


fig 3

3. ISOMÉTRIE

3-1 ISOMÉTRIE DES ANGLES

a) Théorème

- Deux angles sont égaux lorsqu'ils ont des côtés respectivement parallèles (Fig. 4a : b =d).

Scanned by CamScanner

- Deux angles qui ont des côtés respectivement perpendiculaires sont égaux (ou supplémentaires) (Fig. 4b : b =d).

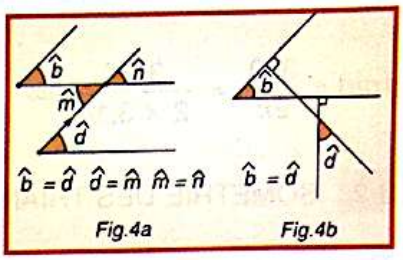


fig 4

b) Conséquences

- Deux angles alternes-internes ($\hat{m}$ et $\hat{d}$: Fig.4a et α et β' : Fig.5) sont égaux.

- Deux angles opposés par le sommet ($\hat{m}$ et $\hat{n}$: Fig.4a ; $\hat{\alpha}$ et $\hat{\alpha'}$: Fig.5) sont égaux.

- Deux angles correspondants ($\hat{d}$ et $\hat{n}$: Fig.4a ; $\hat{\alpha'}$ et $\hat{\beta'}$: Fig.5) sont égaux.

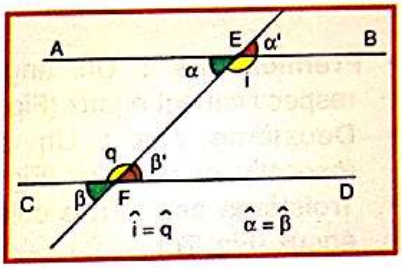


fig 5

Ces angles sont formés par deux parallèles et une sécante. (fig4a et 5)
α et β' sont alternes-internes ; α et α' sont opposés par le sommet. α et β (α' et β') sont des angles correspondants.

c) Mesures des angles

Les unités les plus employées en physique sont :

- **Le degré** (°) qui est la quatre vingt dixième partie de l'angle droit. Au degré se rattachent : **la minute** (') : 1° = 60' et **la seconde** (") : 1' = 60"

- **Le radian (rad)** qui est la mesure d'un angle au centre qui intercepte sur une circonférence un arc égal au rayon.

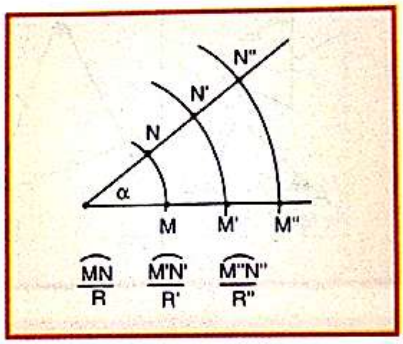


fig 6

On considère plusieurs circonférences concentriques de rayons R, R',R" ... et un angle au centre commun α (Fig.6).

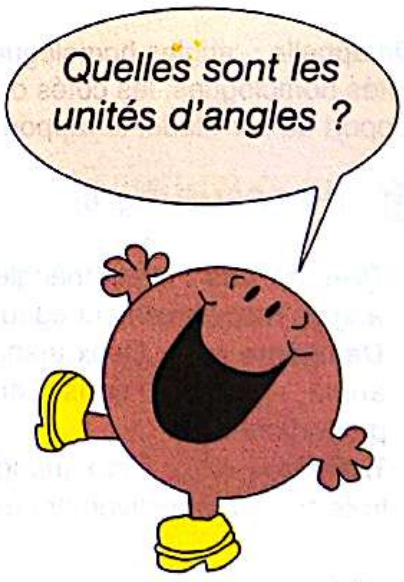
La mesure de α est donnée par les rapports :

$$\alpha \text{ (en radians)} = \frac{MN}{R} = \frac{M'N'}{R'} = \frac{M"N"}{R"}$$

D'une façon générale :

$\overset{\frown}{MN} = R.\alpha$ ← angle au centre (en radian)

arc (en mètre) — rayon



Scanned by CamScanner

d) Relation entre le degré et le radian :

$$1\text{rad} = \frac{360}{2\pi} \approx \frac{360°}{2 \times 3{,}14} \Rightarrow \mathbf{1\ rad \approx 57°\ 30'}$$

3-2 ISOMÉTRIE DES TRIANGLES

Théorèmes

Deux triangles sont égaux lorsqu'ils ont :

- **Premier cas :** Un angle égal compris entre deux côtés respectivement égaux (Fig. 7a)
- **Deuxième cas :** Un côté égal adjacent à deux angles respectivement égaux (Fig. 7b)
- **Troisième cas :** Trois côtés (ou les trois angles) respectivement égaux (Fig. 7c)

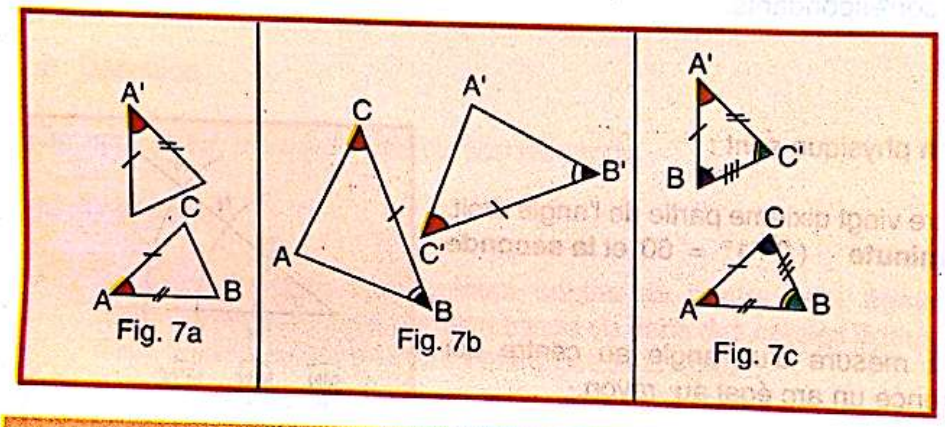


Fig. 7a Fig. 7b Fig. 7c

Fig. 7

4. SIMILITUDE DES TRIANGLES

Généralement, on dit que deux triangles sont semblables, quand leurs angles sont respectivement égaux et que leurs côtés sont proportionnels.

On appelle : angles homologues, les angles respectivement égaux ;
côtés homologues, les côtés opposés aux angles égaux ;
rapport de similitude, le rapport k de deux côtés homologues.

4-1 THÉORÈME (Fig. 8)

- **Premier cas :** Deux triangles sont semblables lorsqu'ils ont deux angles respectivement égaux.
- **Deuxième cas :** Deux triangles sont semblables, lorsqu'ils ont un angle égal compris entre deux côtés respectivement proportionnels.
- **Troisième cas :** Deux triangles sont semblables quand ils ont les trois côtés respectivement proportionnels.

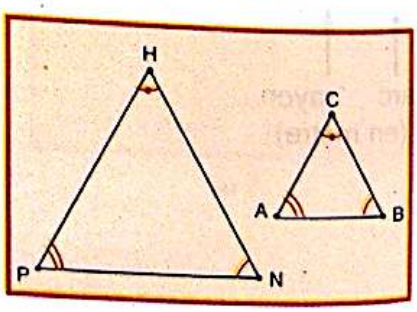


fig 8

Scanned by CamScanner

4-2 CONSÉQUENCES

- Les triangles HPN et CAB sont semblables $\Leftrightarrow \frac{HP}{CA} = \frac{PN}{AB} = \frac{NH}{BC}$

  (rapport de similitude ou rapport d'homothétie)
- Deux triangles rectangles sont semblables s'ils ont un angle aigu égal.
- Deux triangles isocèles qui ont un angle homologue égal sont semblables.
- Tous les triangles équilatéraux sont semblables.
- Deux triangles qui ont leurs côtés respectivement perpendiculaires sont semblables.
- Deux triangles rectangles sont semblables s'ils ont les côtés de l'angle droit respectivement proportionnels.

5. LES RELATIONS TRIGONOMETRIQUES DANS LE TRIANGLE RECTANGLE

Soit un triangle rectangle ABC rectangle en C et un angle aigu α de ce triangle (Fig. 9).

BC est le côté opposé à l'angle α ; AC est le côté adjacent à α ; et AB l'hypoténuse.

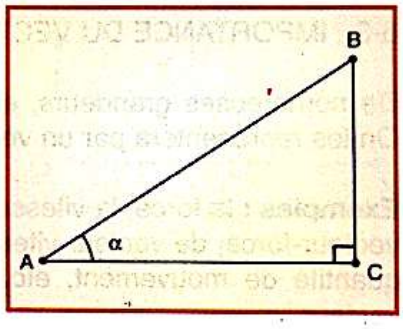


fig 9

- $\sin \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}} = \frac{BC}{AB}$
- $\cos \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}} = \frac{AC}{AB}$
- $\text{tg } \alpha = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{BC}{AC} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$
- $\text{cotg } \alpha = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}} = \frac{AC}{BC} = \frac{1}{\text{tg } \alpha}$



6. LES VECTEURS

6.1 DÉFINITION

Un vecteur est une « classe de bipoints », un bipoint étant tout simplement un couple de points. Un vecteur est un segment de droite orienté.

Scanned by CamScanner

Lorsqu'un bipoint (A, B) appartient à la classe qui définit le vecteur, celui-ci est noté $\overrightarrow{AB}$ et se lit « vecteur AB ». Le vecteur est un élément mathématique.

6-2 CARACTÉRISTIQUES D'UN VECTEUR

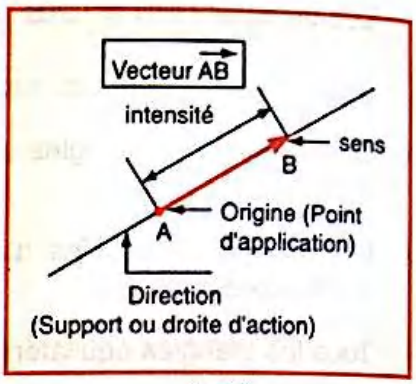


fig 10

Un vecteur est caractérisé par son origine, sa direction, son sens et sa norme.
Un vecteur $\overrightarrow{AB}$ présente les caractéristiques suivantes :

- A est l'**origine** du vecteur.
- La **direction** de la droite AB est la direction du vecteur $\overrightarrow{AB}$.
- Son **sens** est celui de A vers B.
- Sa **norme** notée $\|\overrightarrow{AB}\|$ est la longueur du segment AB.

Graphiquement un vecteur est représenté par une **flèche** (Fig. 10).

6-3 IMPORTANCE DU VECTEUR EN PHYSIQUE

De nombreuses grandeurs, en physique, sont de nature vectorielle. On les représentera par un vecteur.

Exemples : la force, la vitesse, l'accélération, etc. Ainsi on parlera de vecteur-force, de vecteur-vitesse, de vecteur-accélération, de vecteur quantité de mouvement, etc. pour spécifier la nature physique du vecteur.
Le vocabulaire de la physique préfère appeler l'origine du vecteur par le *point d'application* du vecteur ; la direction du vecteur par les expressions « *support ou droite d'action* » du vecteur ; la norme du vecteur par les termes « *module ou intensité* » du vecteur.

6-4 OPÉRATIONS SUR LES VECTEURS

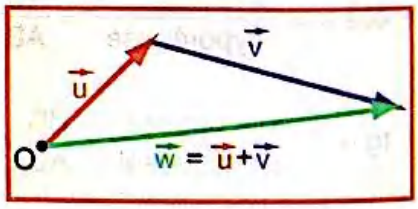


fig 11

a) Multiplication par un scalaire

La multiplication par un scalaire k d'un vecteur $\vec{u}$ est l'opération qui à tout couple $(k,\vec{u})$ fait correspondre le vecteur $k\times\vec{u}$.

b) Addition de deux vecteurs (Fig. 11)

L'addition de deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ est l'opération qui à tout couple $(\vec{u},\vec{v})$ fait correspondre le vecteur $(\vec{u}+\vec{v})$.
Le vecteur $\vec{w}$ tel que $\vec{w} = \vec{u} + \vec{v} = \vec{v} + \vec{u}$ est appelé la ***résultante*** des vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$.

Pour tracer le vecteur $\vec{w}$, on choisit un point origine O. De O on trace un représentant de $\vec{u}$ originé en O, ensuite de l'extrémité de $\vec{u}$ on trace

Scanned by CamScanner

le représentant de $\vec{v}$ tel que son origine soit l'extrémité de $\vec{u}$. La résultante $\vec{w}$ est le vecteur d'origine O et d'extrémité, l'extrémité de $\vec{v}$.

L'intensité w du vecteur $\vec{w}$ est donnée par la relation de Pythagore :
$\mathbf{w^2 = u^2 + v^2 - 2u.v \cos(\vec{u},\vec{v})}$

7. REPÈRES ORTHONORMÉS

7-1 REPÈRE ORTHONORMÉ À UNE DIMENSION : LA DROITE

Le repère orthonormé à une dimension est constitué par un point origine O et un axe orienté $\overrightarrow{Ox}$ et muni d'un vecteur unitaire d'origine O, noté généralement $\vec{i}$ et tel que $\|\vec{i}\| = 1$ (Fig.12). Le repère orthonormé à une dimension est noté $(O,\vec{i})$

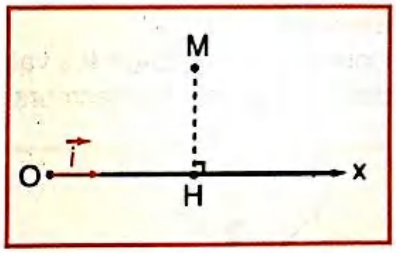


fig 12

7-2 REPÈRE ORTHONORMÉ À DEUX DIMENSIONS : LE PLAN

Le repère orthonormé à deux dimensions est constitué par un point origine O et deux axes rectangulaires orientés $\overrightarrow{Ox}$ et $\overrightarrow{Oy}$ munis respectivement des vecteurs unitaires d'origine O, noté généralement $\vec{i}$ et $\vec{j}$ tels que $\|\vec{i}\| = \|\vec{j}\| = 1$ (Fig. 13).
Le repère orthonormé à deux dimensions est noté $(O,\vec{i},\vec{j})$; $(\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{Oy})$ ou xOy.

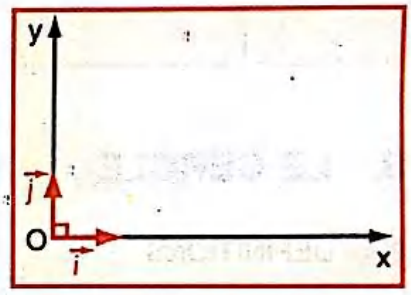


fig 13

7-3 IMPORTANCE DU REPÈRE EN PHYSIQUE

Un repère est une marque, un signe permettant de s'orienter dans l'espace, de retrouver une chose, etc.
Par exemple : la position d'un point M est connue par ses coordonnées dans ce repère.

a) Repère de dimension 1

La coordonnée est la position sur l'axe du point projeté H de M. On écrit ***Proj M/$\overrightarrow{Ox}$ = H*** et on lit « projection du point M sur (ou par rapport à l'axe) l'axe $\overrightarrow{Ox}$ est le point H (Fig.14).

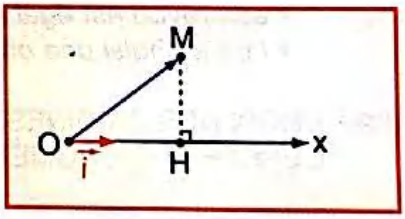


fig 14

La mesure algébrique de la distance $\overline{OH} = x_H$ est la coordonnée du point M dans le repère $(O, \vec{j})$.
Le vecteur s'écrit dans le repère à une dimension $\overline{OM} = x\vec{i}$.

b) Repère de dimension 2

Les points projetés de M dans le repère xOy sont respectivement H pour l'axe $\overrightarrow{Ox}$ avec $\overline{OH} = x_H$ et P pour l'axe $\overrightarrow{Oy}$ avec $\overline{OP} = y_P$ (Fig.15).
Les coordonnées de M sont x_H et y_P.

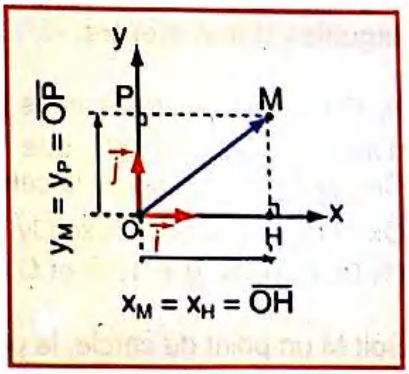


fig 15

Scanned by CamScanner

On écrit M (x, y) ou M $\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix}$ pour signifier que les scalaires x et y sont les coordonnées du point M dans le repère xOy. Le vecteur $\overrightarrow{OM}$ s'écrit alors $\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$.

On écrit également que : Proj $\overrightarrow{OM}/\overrightarrow{Ox} = \overrightarrow{OH}$ et Proj $\overrightarrow{OM}/\overrightarrow{Oy} = \overrightarrow{OP}$.

La projection d'un vecteur dans un repère est un scalaire.

Exercice :

Donner les signes (et les valeurs dans le cas où cela serait possible) des projections des vecteurs dans le plan xOy (Fig.16)

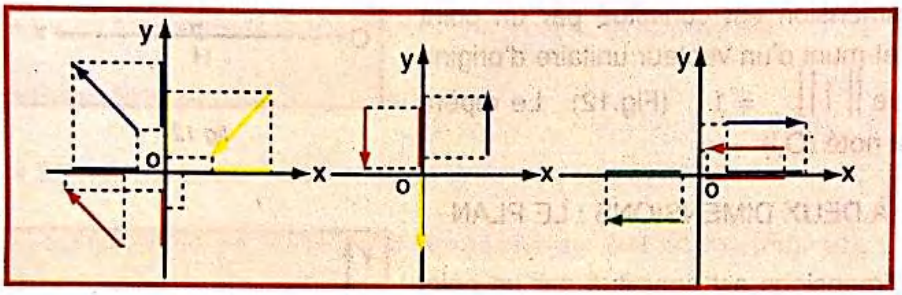


Fig. 16

8. LE CERCLE

8-1 DÉFINITIONS

On appelle cercle l'ensemble des points équidistants d'un point fixe O appelé centre du cercle.

La distance séparant un point du cercle du centre O est le rayon R du cercle.

Un arc est une portion de cercle (Fig.17).

Le cercle est dit trigonométrique lorsque :

- ***son rayon est égal à l'unité (R = 1) ;***
- ***l'on a choisi une origine et un sens de parcours.***

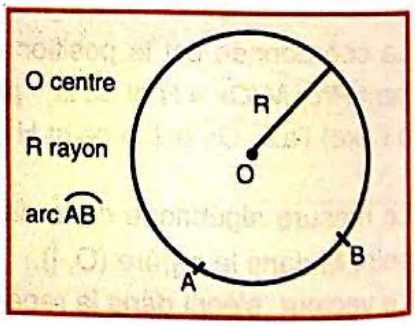


fig 17

8-2 CHOIX DES ORIGINES ET DU SENS DE PARCOURS SUR LE CERCLE TRIGONOMÉTRIQUE DE CENTRE O (Fig.18):

a) Sens de parcours : Par convention le sens de parcours du cercle trigonométrique est le sens contraire au **sens de déplacement des aiguilles d'une montre.**

b) Origines : On trace dans le cercle un repère à deux dimensions d'axes ($\overrightarrow{Ox}$, $\overrightarrow{Oy}$) tels que $\overrightarrow{Ox}$ horizontal et $\overrightarrow{Oy}$ vertical (Fig.18). Ces deux axes coupent le cercle respectivement en M_0 et B pour l'axe $\overrightarrow{Ox}$ et en A et C pour l'axe $\overrightarrow{Oy}$. Les coordonnées de ces points sont M_0 (1, 0), A (0, 1), B (- 1, 0) et C (0, - 1).

Soit M un point du cercle, la position du point M sur le cercle peut être

Scanned by CamScanner

donnée soit par l'arc orienté $\overset{\frown}{M_0M}$ ou l'angle orienté $(\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM})$. M_0 est l'origine des arcs et le segment OM_0 est l'origine des angles, orientés dans le sens trigonométrique.

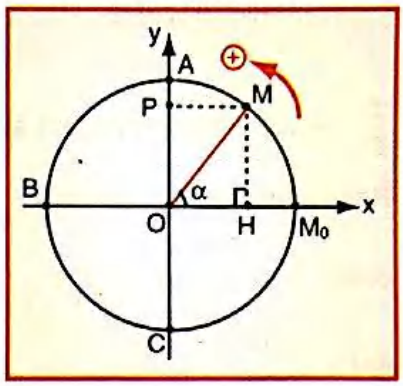


fig. 18

8-3 RELATIONS TRIGONOMÉTRIQUES DANS LE CERCLE TRIGONOMÉTRIQUE

On considère le cercle trigonométrique d'origine O, le repère d'axes $\overrightarrow{Ox}$ et $\overrightarrow{Oy}$ et un point M quelconque du cercle. Projetons le point M sur les axes $\overrightarrow{Ox}$ et $\overrightarrow{Oy}$ et notons respectivement H et P les points projetés de M sur les axes $\overrightarrow{Ox}$ et $\overrightarrow{Oy}$.

Traçons le segment OM et considérons le triangle rectangle OHM rectangle en H. Soit α l'angle HOM, on peut écrire que $\sin\alpha = \frac{\overline{HM}}{\overline{OM}} = \frac{\overline{OP}}{\overline{OM}}$. Sachant que $\overline{OM} = R = 1$ (cercle trigonométrique)

il vient $\sin\alpha = \overline{OP}$. De même $\cos\alpha = \overline{OH}$ et $\text{tg}\alpha = \frac{\overline{OP}}{\overline{OH}}$ (Fig.18).

Lorsque les points M et M_0 sont confondus (en M_0), l'angle $(\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM_0}) = 0$ (ou 2π dans le sens trigonométrique), le point P est confondu avec O ce qui veut dire que $\overline{OP} = 0$ et $\sin 0 = 0$.

Par contre le point H et M_0 sont confondus et $\overline{OH} = +1$.
On en déduit que $\cos 0 = +1$.
On a donc toujours $\overline{OH} \leq 1$ et $\overline{OP} \leq 1$,
c'est pourquoi **$\sin\alpha \leq 1$ et $\cos\alpha \leq 1$.**
On retiendra que **$-1 \leq \sin\alpha \leq +1$ et $-1 \leq \cos\alpha \leq +1$**
L'axe $\overrightarrow{Ox}$ est appelé axe des cosinus et $\overrightarrow{Oy}$ axe des sinus.
En appliquant le théorème de Pythagore au triangle rectangle OHM on a $\overline{OM}^2 = \overline{OH}^2 + \overline{OP}^2 \Leftrightarrow \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$.
Le tableau ci-dessous donne les valeurs des lignes trigonométriques des angles particuliers.



Quelques lignes trigonométriques particulières :

α	rad	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	π
	°	0	30°	45°	60°	90°	120°	135°	180°
$\sin\alpha$		0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	0
$\cos\alpha$		1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1
$\text{tg}\alpha$		0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	∞	$-\sqrt{3}$	-1	-1
$\text{cotg}\alpha$		∞	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	-1	∞

Scanned by CamScanner

On remarquera que si : $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$, alors $\sin\alpha$ et $\cos\alpha$ sont positifs.

$\frac{\pi}{2} < \alpha < \pi$, alors $\sin\alpha > 0$ et $\cos\alpha < 0$

Relations fondamentales

$\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$

$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$

$\operatorname{cotg}\alpha = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$

$1 + \operatorname{tg}^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha}$

Formulaire trigonométrique

$\cos(-\alpha) = \cos\alpha$ $\sin(-\alpha) = -\sin\alpha$	$\cos(\pi-\alpha) = -\cos\alpha$ $\sin(\pi-\alpha) = -\sin\alpha$	$\cos(\pi+\alpha) = -\cos\alpha$ $\sin(\pi+\alpha) = -\sin\alpha$
$\operatorname{tg}(-\alpha) = -\operatorname{tg}\alpha$ $\operatorname{cotg}(-\alpha) = \operatorname{cotg}(\alpha)$	$\operatorname{tg}(\pi-\alpha) = -\operatorname{tg}\alpha$ $\operatorname{cotg}(\pi-\alpha) = -\operatorname{cotg}(\alpha)$	$\operatorname{tg}(\pi+\alpha) = \operatorname{tg}\alpha$ $\operatorname{cotg}(\pi+\alpha) = \operatorname{cotg}(\alpha)$

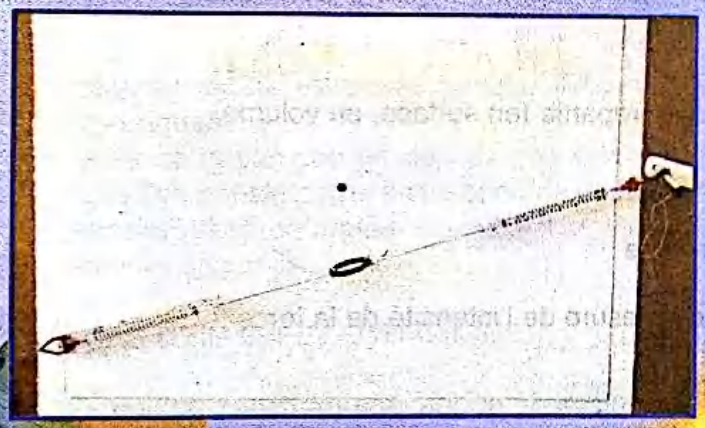
$\cos(\frac{\pi}{2}-\alpha) = \sin\alpha$	$\cos(\frac{\pi}{2}+\alpha) = -\sin\alpha$
$\sin(\frac{\pi}{2}-\alpha) = \cos\alpha$	$\sin(\frac{\pi}{2}+\alpha) = \cos\alpha$
$\operatorname{tg}(\frac{\pi}{2}-\alpha) = \operatorname{cotg}\alpha$	$\operatorname{tg}(\frac{\pi}{2}+\alpha) = -\operatorname{cotg}\alpha$
$\operatorname{cotg}(\frac{\pi}{2}-\alpha) = \operatorname{tg}(\alpha)$	$\operatorname{cotg}(\frac{\pi}{2}+\alpha) = -\operatorname{tg}(\alpha)$



Scanned by CamScanner

STATIQUE

LA STATIQUE EST LA PARTIE DE LA MÉCANIQUE QUI A POUR OBJET L'ÉTUDE DE L'ÉQUILIBRE DES SYSTÈMES DE FORCES





Scanned by CamScanner

1 ÉTUDES DES FORCES

PRÉALABLES

- Les vecteurs : définition, caractéristiques, représentation.
- Somme géométrique de deux vecteurs.
- Composantes d'un vecteur dans un repère orthonormé.

OBJECTIFS

- définir une force ou action mécanique
- citer l'auteur d'une action mécanique, le receveur d'une action mécanique
- représenter une force
- définir une action de contact, une action repartie (en surface, en volume)
- définir une action localisée
- citer les caractéristiques du vecteur-force
- citer l'unité de force et l'instrument de mesure de l'intensité de la force
- définir la résultante d'une action repartie
- schématiser une action mécanique
- énoncer le principe des actions réciproques
- définir un système, un milieu extérieur
- définir une force extérieure à un système
- inventorier les forces appliquées à un solide
- écrire les conditions d'équilibre d'un solide soumis à l'action de deux, de trois forces

Scanned by CamScanner

A. ACTION MÉCANIQUE OU FORCE

1. DEFINITION

On appelle action mécanique ou force toute cause capable d'engendrer soit un effet statique (déformation) soit un effet dynamique (mise en mouvement, modification d'un mouvement) sur un corps.

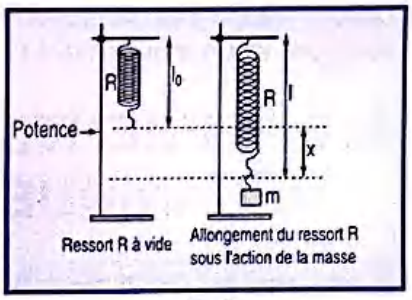


Fig.1

2. EXEMPLES

2-1 CAS D'UN EFFET STATIQUE

Exemple 1 : Allongement d'un ressort sous l'action d'une masse (Fig. 1) :
Un ressort R, à vide, est accroché par une extrémité à une potence.
La longueur du ressort à vide est l_0.
On accroche à l'extrémité libre du ressort une masse m et l'on constate un allongement du ressort.
La nouvelle longueur du ressort devient l supérieure à l_0.
La différence $l - l_0 = x$ est l'allongement du ressort.
Le ressort R a subi une déformation du fait de l'action mécanique ou force de la masse (cette action mécanique est le poids de la masse m).



le ressort a subi une déformation du fait de l'action mécanique.

Exemple 2 : Déformation subie par une planche sous l'action mécanique d'une brique (Fig. 2)

Une planche légère est posée horizontalement, ses deux extrémités sur des briques.
Au milieu de la planche on dépose une brique suffisamment lourde pour que l'on constate une incurvation de la planche.
La planche s'est déformée sous l'action mécanique de la brique déposée en son milieu.

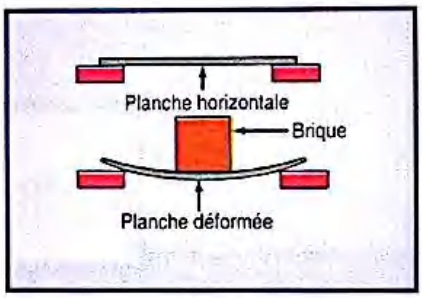


Fig.2

2-2 CAS D'UN EFFET DYNAMIQUE

Au cours d'un match au sommet du championnat malien l'équipe du Djoliba bénéficie d'un penalty. Le tireur du Djoliba immobilise le ballon au point de penalty, prend son élan et vient taper dans le ballon. Le gardien du Stade Malien plonge et dévie le ballon en corner. Le tireur a exercé une action mécanique qui a mis le ballon préalablement au repos, en mouvement ; le gardien par son action mécanique a modifié le mouvement imprimé au ballon par le tireur.



Force de contact

3.« AUTEUR » ET « RECEVEUR » D'UNE FORCE

Lorsqu'il intervient une action mécanique ou force il y'a toujours un auteur et un receveur. L'auteur exerce l'action mécanique, le receveur subit l'action mécanique. Il est donc important de préciser l'auteur et le receveur. Dans les exemples décrits ci-dessus les auteurs sont : la masse marquée, la brique, les joueurs ; les receveurs sont : le ressort, la planche, le ballon.

Scanned by CamScanner

Remarque

Une force cumule très souvent les effets statique et dynamique : le ballon, frappé par les joueurs, subit à la fois une déformation (effet statique) et un mouvement (effet dynamique).



B. DIFFÉRENTS TYPES D'ACTION MÉCANIQUE

1. ACTION REPARTIE

1-1 EXPÉRIENCES

Exemple (Fig. 3) : Posons sur du sable une brique parallélépipédique par sa grande base.
La brique s'enfonce légèrement et laisse une trace sur toute la surface de contact entre elle et le sable.
On dit que l'action de la brique sur le sable **est une action repartie en surface.**
L'action mécanique s'exerce sur tous les points de la surface de contact.

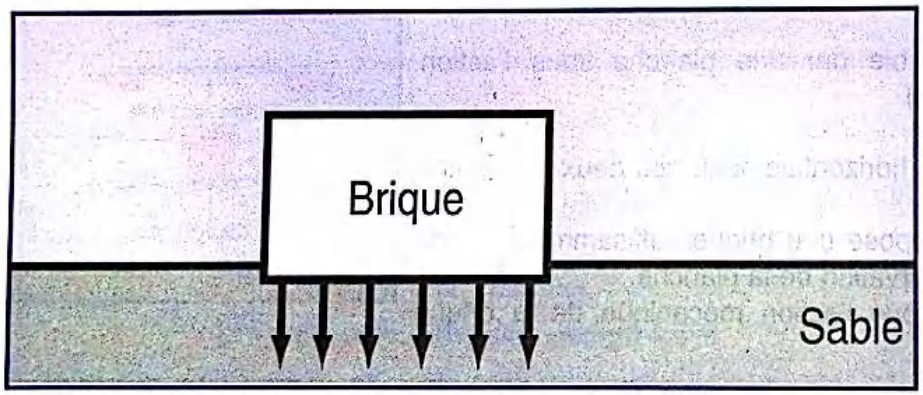


Fig.3 action mécanique répartie en surface

Exemple (Fig. 4) : On dispose d'un clou en fer déposé sur une table (Fig. 4a) et d'un aimant. On approche au-dessus du clou progressivement par la verticale, un pôle de l'aimant. On constate qu'à partir d'une certaine distance le clou commence à se redresser vers l'aimant (Fig. 4b). La distance diminuant, le clou finit par se déplacer pour venir s'accrocher à l'aimant (Fig. 4c et 4d). L'action subie par le clou est une **action repartie en volume** car l'action de l'aimant s'exerce sur tout le volume du clou.

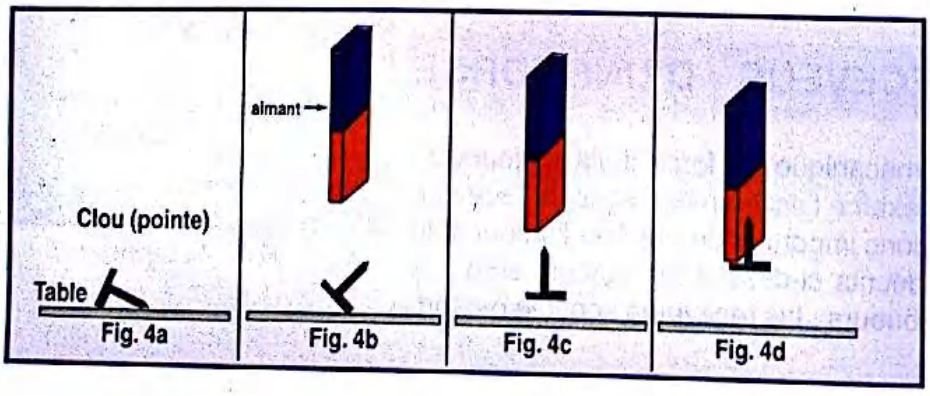


Fig.4 action mécanique répartie en volume

Scanned by CamScanner

1-2 DÉFINITION

L' action mécanique ou force est dite repartie, si elle s'exerce en tout point d'une surface ou d'un volume.

2. ACTION MECANIQUE LOCALISEE : LE POINT D'APPLICATION D'UNE FORCE

2-1 EXEMPLE

Dans l'exemple du ressort s'allongeant sous l'action mécanique de la masse marquée m, l'action mécanique de la masse m s'exerce sur la zone de contact entre les deux crochets.
Les dimensions de cette zone sont suffisamment petites devant celles du ressort et de la masse pour que l'on puisse l'assimiler à un point.
On dit que l'action de la masse m sur le ressort est **localisée** et que la petite zone sur laquelle elle s'exerce est le **point d'application de la force**.



Allongement du ressort sous l'action d'une masse

2-2 DÉFINITION

On appelle action mécanique ou force localisée, toute action qui s'exerce sur une zone de dimensions suffisamment petites pour être assimilable à un point ; cette zone est appelée le point d'application de la force.

2-3 REMARQUE

Une action mécanique repartie est la résultante des actions mécaniques localisées en chaque point de la surface ou du volume sur lequel elle s'exerce.

3. ACTION MECANIQUE OU FORCE DE CONTACT

3-1 DÉFINITION

On appelle action de contact toute action pour laquelle l'auteur et le receveur sont en contact.



3-2 EXEMPLES

Contact entre la brique et le sable (Fig. 3), entre les joueurs et le ballon, entre les crochets du ressort et de la masse (Fig. 1).

4. ACTION MECANIQUE OU FORCE A DISTANCE

4-1 DÉFINITION

On appelle action à distance, toute action pour laquelle l'auteur et le receveur ne sont pas en contact.

Scanned by CamScanner

4-2 EXEMPLES

Attraction, entre deux charges électriques, entre un aimant et une pointe en fer, deux aimants, deux courants, entre la Terre et un corps.

C. CARACTÈRES VECTORIELS D'UNE ACTION LOCALISÉE

1. CARACTERISTIQUES D'UNE ACTION LOCALISEE

1-1 EXPÉRIENCES

Expérience (Fig. 5) :
Reprenons l'expérience du ressort sous l'action de la masse marquée, mais cette fois ci en utilisant diverses masses marquées m_1, m_2, m_3 telles que : $m_1 < m_2 < m_3$.
On constate que :

- l'allongement du ressort se fait dans la direction de la verticale ;
- cet allongement est plus important lorsque la masse augmente.

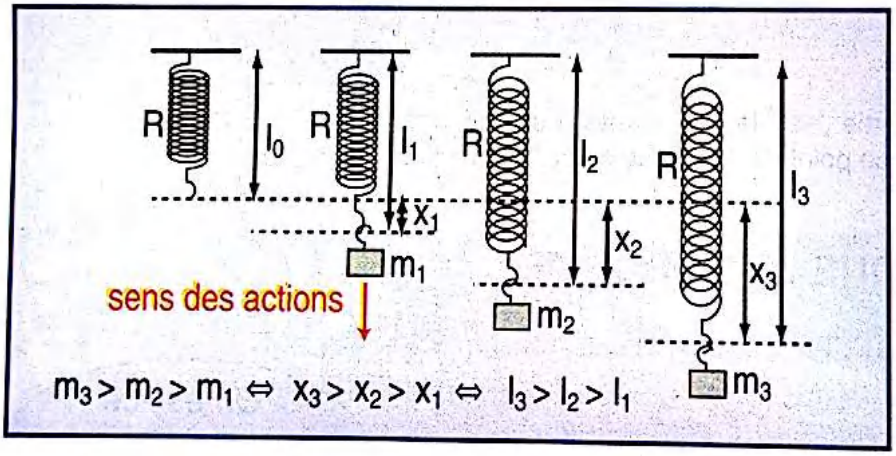


Fig.5 Allongement du ressort sous les actions des masses m_1, m_2 et m_3

Expérience (Fig. 6) :
Le ressort est placé dans un tube cylindrique dans lequel il peut coulisser sans frottement et dont une extrémité est fermée par une paroi. Une des extrémités du ressort est fixée à la paroi tandis que l'autre sera en contact avec les masses m_1, m_2, m_3. On réalise les manipulations suivantes :
a. (Fig. 6a) : Le tube est placé verticalement, son extrémité fermée dirigée vers le bas.
Lorsqu'on place successivement les masses marquées m_1, m_2, m_3 sur l'extrémité libre du ressort on constate que :

- le ressort se raccourci dans la direction de la verticale ;
- le raccourcissement est d'autant plus important que la masse marquée déposée est plus grande.



Le ressort à l'état initial

Scanned by CamScanner

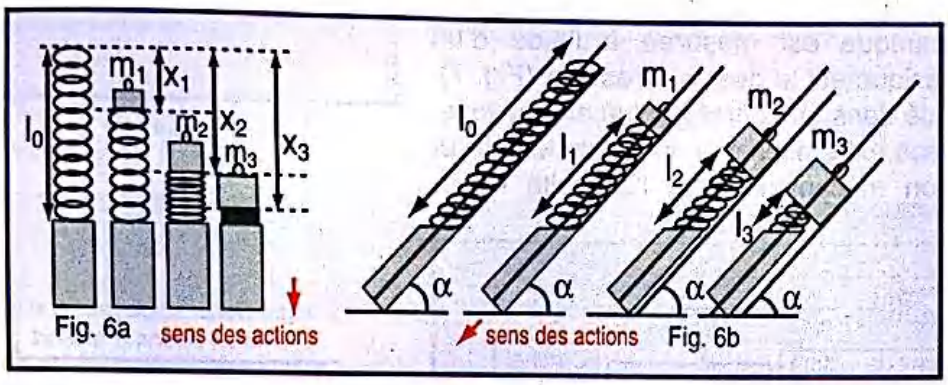
b. (Fig. 6b) : Le tube est maintenant placé, toujours son extrémité fermée vers le bas, de telle sorte que l'axe du tube (ou du ressort) soit incliné d'un angle α par rapport à l'horizontal. Le dépôt successif des masses m_1, m_2, m_3 sur l'extrémité libre du ressort montre que :

- le ressort se raccourci dans la direction de l'angle α ;
- le raccourcissement est d'autant plus important que la masse marquée déposée est plus grande.



Allongement du ressort sous l'actions de la masse m_1

Fig.6



1-2 CONCLUSIONS

- Le ressort dans toutes ces expériences est soumis à une action localisée au point de contact entre le ressort et la masse marquée.
- Cette action localisée a pour effet de :
  - provoquer une déformation du ressort dans un sens déterminé (allongement ou raccourcissement) ;
  - provoquer aussi bien des allongements et raccourcissements d'autant plus importants que l'action mécanique est plus grande.

On en déduit qu'une action localisée possède quatre caractéristiques fondamentales :

- *un point d'application*
- *une direction*
- *un sens*
- *une intensité*



Allongement du ressort sous l'actions de la masse m_2

2. LE VECTEUR-FORCE : MODELISATION D'UNE FORCE

2-1 MODÉLISATION D'UNE ACTION MÉCANIQUE LOCALISÉE

Des expériences précédentes on déduit qu'une action mécanique localisée ou force est **une grandeur physique modélisable**, c'est-à-dire **descriptible mathématiquement,** à l'aide d'un **vecteur**.

On dit qu'une force est une **grandeur physique à caractère vectoriel.**

Une action mécanique ou force peut être modélisée (représentée) par un couple $(A,\vec{F})$ où :

- A est le point d'application de la force ;
- $\vec{F}$ est un vecteur, appelé **vecteur-force,** possédant les caractéristiques suivantes :

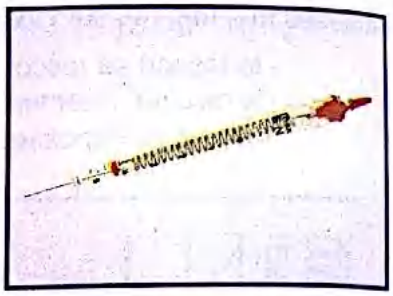


Scanned by CamScanner

- sa direction est la direction de l'action mécanique ou force ;
- son sens est le sens de la force ;
- sa norme $\|\vec{F}\|$ est égale à l'intensité F de la force.

2-2 INTENSITÉ D'UNE ACTION MÉCANIQUE

L'intensité d'une action mécanique est une grandeur mesurable dont l'unité dans le Système International est le **newton** (Symbole : **N**). L'intensité d'une action mécanique est mesurée à l'aide d'un **dynamomètre** dont le plus classique est le **peson à ressort** (Fig. 7). Il est constitué d'un ressort, placé dans un coffret gradué en newtons. Le ressort est muni à l'une de ses extrémités d'un index de lecture et d'un crochet supportant l'action mécanique dont l'intensité est à mesurer.



Un dynamomètre

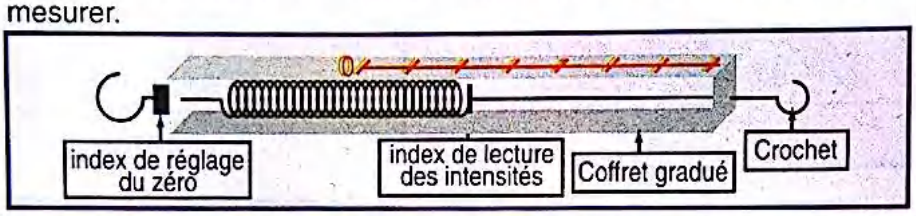


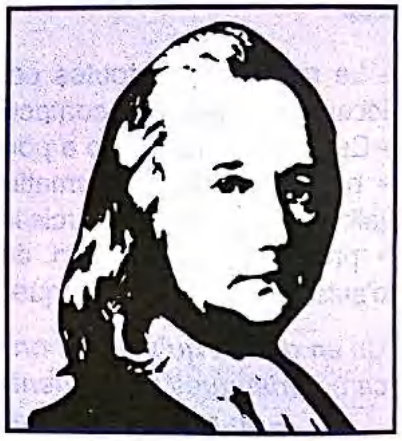
Fig.7 Schéma de principe d'un peson à ressort

3. MODELISATION D'UNE ACTION MECANIQUE REPARTIE

3-1 RÉSULTANTE D'UNE ACTION REPARTIE (Fig. 8).

a. Résultante d'une action repartie

Une action mécanique repartie est constituée par l'ensemble de toutes les actions qui s'exercent sur chaque point de la surface ou du volume sur lequel est exercée l'action.
Chacune de ces actions mécaniques ou forces est appelée **action mécanique ou force élémentaire.**
L'ensemble des actions élémentaires peut être remplacé par une action mécanique unique, localisée appelée **résultante** de l'action repartie.



Isaac Newton (1642-1727)
Physicien et mathématicien anglais

En posant $\vec{f}_1, \vec{f}_2 \ldots\ldots, \vec{f}_n$ les vecteurs-forces modélisant les actions mécaniques élémentaires sur chaque point de la surface ou du volume sur lequel s'exerce l'action mécanique repartie, la résultante de l'action mécanique repartie est modélisée mathématiquement par le vecteur-force somme géométrique des forces élémentaires.

$$\vec{F} = \vec{f}_1+\vec{f}_2+\ldots\ldots+\vec{f}_n = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{f}_i$$

b. Définition

On appelle résultante d'une action mécanique repartie, une force localisée qui aurait le même résultat que l'ensemble des forces élémentaires qui constituent l'action mécanique repartie.

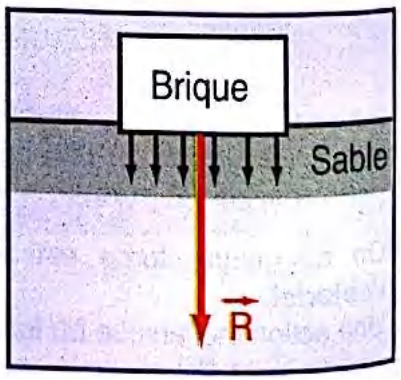


Fig.8 Résultante d'une action repartie

Scanned by CamScanner

3-2 CAS D'UNE RÉSULTANTE NON NULLE

Si la résultante des forces élémentaires d'une action repartie n'est pas nulle, elle est équivalente à une force unique qui peut être schématisée soit par :
- un ensemble de petites flèches représentant les forces élémentaires
- une flèche unique représentant la résultante $\vec{F}$.



3-3 CAS D'UNE RÉSULTANTE NULLE : COUPLE DE FORCES

Si $\vec{F} = \vec{f}_1+\vec{f}_2+.....+\vec{f}_n = \sum_{i=1}^{i=n} \vec{f}_i = \vec{0}$ On dit que l'action répartie est un couple de forces.

4. SCHEMATISATION D'UNE ACTION MECANIQUE

On schématisera désormais une action mécanique (localisée ou repartie) par un vecteur c'est-à-dire une flèche, accompagnée de la notation du vecteur-force.
- l'origine de la flèche est le point d'application de la force
- les direction et sens de la flèche sont ceux de la force
- la longueur de la flèche qui dépend de l'échelle imposée ou choisie permet de donner la valeur de l'intensité de la force.

La figure 9 schématise un exemple d'action mécanique modélisé par le couple $(A,\vec{F})$.

5. CONCLUSION

On retiendra :

- *l'action mécanique ou force est une grandeur physique ;*
- *le vecteur-force permet une modélisation mathématique de cette grandeur physique ;*
- *et enfin la schématisation de la grandeur physique par un graphisme explicite est une flèche ;*
- *les trois notions : action mécanique ou force, (grandeur physique), vecteur-force, (élément mathématique), la flèche, (élément graphique), se confondent dans le langage courant par souci de simplification.*

Ainsi, si $\overrightarrow{AB}$ et $\overrightarrow{MN}$ sont des vecteurs-force, leurs origines ou points d'application sont respectivement A et M, leurs extrémités B et N, leurs intensités $||\overrightarrow{AB}||$ et $||\overrightarrow{MN}||$.
On peut tout aussi simplement écrire : force $\vec{B}$ (au lieu de $\overrightarrow{AB}$) d'intensité B ; force $\vec{N}$ (au lieu de $\overrightarrow{MN}$) d'intensité N comme on avait écrit $\vec{F}$ au lieu de $(A,\vec{F})$ d'intensité F.

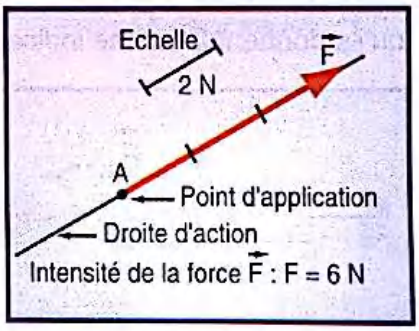


Fig.9 schematisation d'une action mécanique

Scanned by CamScanner

D. LE PRINCIPE DES ACTIONS RÉCIPROQUES

1. ACTIONS RECIPROQUES

Dans les exemples des déformations du ressort et du sable (receveurs) par action de la masse m et de la brique (auteurs), on constate que le ressort empêche la masse de tomber et que le sable empêche la brique de s'enfoncer indéfiniment.
Cela veut dire que les receveurs (le ressort et le sable) exercent également une action mécanique sur les auteurs (la masse m et la brique).
On dit qu'il y'a **interaction réciproque** entre les auteurs et les receveurs. L'action du receveur sur l'auteur est appelée la **réaction** du receveur.
L'action et la réaction sont simultanées.

2. ENONCE DU PRINCIPE

2-1 CAS D'UNE INTERACTION LOCALISÉE

Expérience

On étire deux dynamomètres D_1 et D_2 accrochés l'un à l'autre, leurs tiges étant dans le prolongement l'une de l'autre (Fig. 10). On constate qu'ils donnent la même indication.

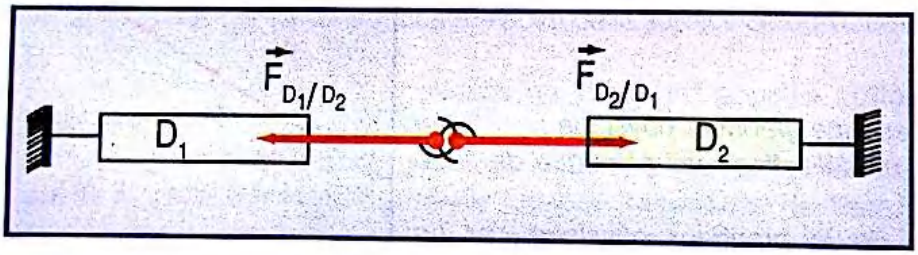


Fig.10

On pose $\vec{F}_{D_1/D_2}$ l'action mécanique du dynamomètre D_1 sur le dynamomètre D_2 et $\vec{F}_{D_2/D_1}$ l'action mécanique de D_2 sur D_1 (qu'on peut appeler aussi la réaction de D_2).

Les deux forces ont même droite d'action (la direction commune aux axes des dynamomètres) et ont même intensité.
On dit que ces forces **sont directement opposées** (Fig. 11).

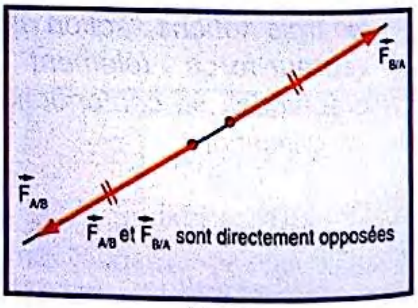


Fig.11

2-2 CAS D'UNE INTERACTION RÉPARTIE

Le principe s'énonce en disant que les actions mécaniques élémentaires constituants l'action mécanique répartie sont deux à deux directement opposées.
La figure 12 donne les deux façons de schématiser l'interaction répartie entre la brique et le sable.

Scanned by CamScanner

En posant $\vec{f}_{i_{B/S}}$ l'action mécanique élémentaire de la brique B sur le sable S et $\vec{f}_{i_{B/S}}$ la réaction élémentaire du sable sur la brique on a : $\vec{f}_{i_{B/S}} = -\vec{f}_{i_{B/S}}$ et que ces forces ont même droite d'action.

Généralement il est plus aisé de raisonner sur les résultantes.

En posant $\vec{F}_{B/S} = \sum \vec{f}_{i_{B/S}}$ et $\vec{F}_{S/B} = \sum \vec{f}_{i_{S/B}}$ respectivement les résultantes des actions élémentaires exercées par la brique sur le sable et par le sable sur la brique on a $\vec{F}_{B/S} = -\vec{F}_{S/B}$ et que ces actions ont même droite d'action.

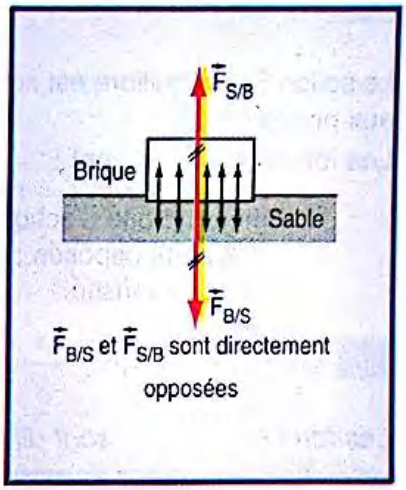
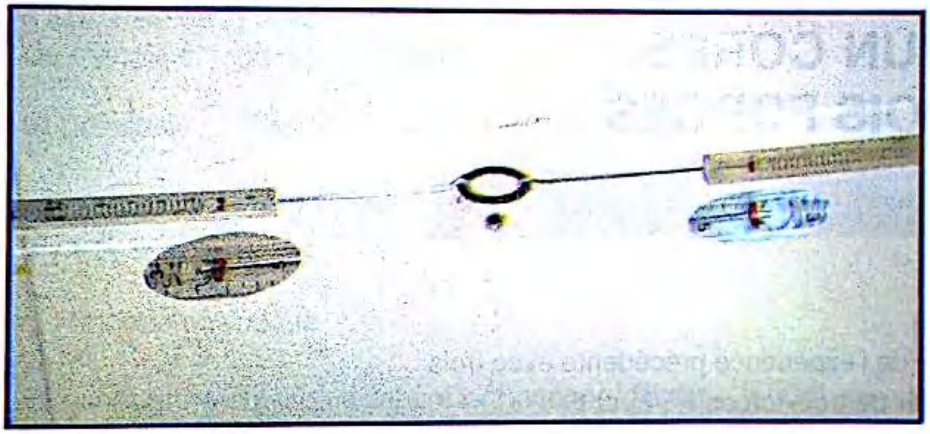


Fig.12 interaction répartie

E. ÉQUILIBRE D'UN CORPS SOUMIS À DEUX FORCES

1. EXPERIENCE



Equilibre d'un solide sous l'action de deux forces

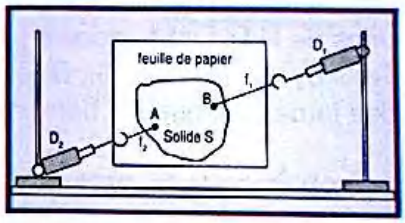


Fig.13 Equilibre d'un solide sous l'action de deux forces

1-1 DESCRIPTION

On exerce sur un solide S, constitué par un morceau de carton léger (de masse négligeable), deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ par l'intermédiaire de deux brins de fils inextensibles, de masses négligeables, accrochés par une de leurs extrémités en deux points A et B du solide et à deux dynamomètres D_1 et D_2 par l'autre (Fig. 13).

On étirera suffisamment les dynamomètres pour que les brins de fils soient bien tendus (sans quoi le poids du solide peut ne pas être négligeable devant les forces appliquées et le corps serait alors soumis à trois forces).

1-2 CONSTATATIONS

L'équilibre étant réalisé, on constate que :

- les deux brins de fils sont alignés ;
- les dynamomètres donnent la même indication.

M.E-D.N.E.S
LE BIEN
LYCEE MAMADOU SARR

Scanned by CamScanner

1-3 INTERPRÉTATION

Le solide S en équilibre est soumis aux deux forces localisées $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ aux points A et B.
Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont :

- même droite d'action ;
- des sens opposés ;
- même intensité.

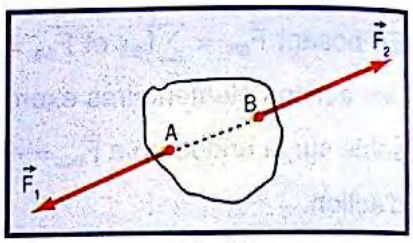


Fig.14

1-4 CONCLUSION

Les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ sont directement opposées (Fig. 14).

2. CONDITIONS D'EQUILIBRE D'UN CORPS SOUMIS A DEUX FORCES

Lorsqu'un solide est en équilibre sous l'action de deux forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ alors $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$ et $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ont même droite d'action.

F. ÉQUILIBRE D'UN CORPS SOUMIS À TROIS FORCES

1. EXPERIENCE

1-1 DESCRIPTION

On réalise l'équilibre du corps S de l'expérience précédente avec trois brins de fil f_1, f_2 et f_3, donc à partir de trois forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$.
Trois dynamomètres D_1, D_2 et D_3 permettent la mesure des intensités des forces lorsque les brins de fil sont suffisamment tendus (Fig. 15).

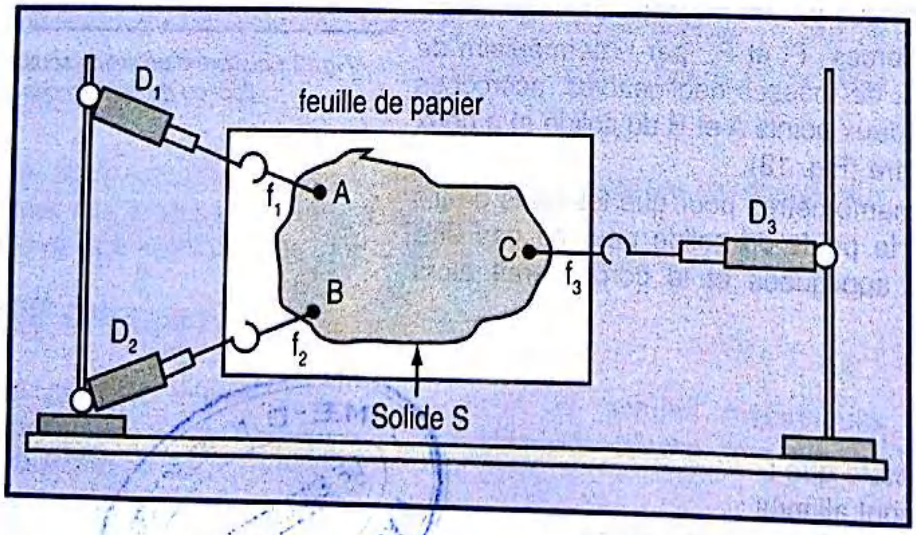
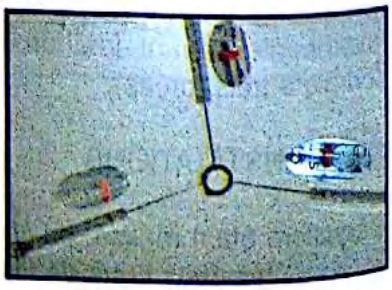


Fig.15 Equilibre d'un solide sous l'action de trois forces


Equilibre d'un solide sous l'action de trois forces

Scanned by CamScanner

1-2 CONSTATATIONS

L'équilibre étant réalisé, on constate que :
- les trois brins de fils sont dans le même plan : on dit que les forces, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$, sont coplanaires ;
- les droites d'action de ces forces sont concourantes.

1-3 RELATION ENTRE LES FORCES $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$.

a) Méthode géométrique (Fig. 16)

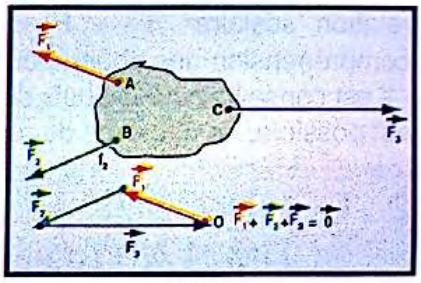


Fig.16

Le solide S en équilibre est soumis à trois forces localisées $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ et aux points A, B et C. On construit à partir d'un point O quelconque pris comme origine, la somme vectorielle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ des actions appliquées sur S. Pour cela on placera les vecteurs, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$, bout à bout en construisant d'abord un représentant de $\vec{F}_1$ d'origine O, puis un représentant de $\vec{F}_2$ d'origine l'extrémité de $\vec{F}_1$ et enfin un représentant de $\vec{F}_3$ d'origine l'extrémité de $\vec{F}_2$.
On constate que la figure obtenue est un triangle vectoriel fermé (l'extrémité de la force $\vec{F}_3$ est confondu avec le point origine O).
Ce triangle est appelé un « **polygone de forces** ».

b) Conclusion

Les forces , $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ sont telles que leur résultante est nulle :
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$.

c) Méthode analytique

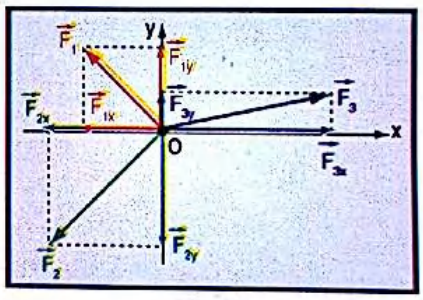


Fig.17

Elle consiste à choisir un repère orthonormé d'axes $(\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{Oy})$ dans le plan des forces.

On effectue les projections de tous les vecteurs-force dans ce repère et on écrit la condition vectorielle d'équilibre selon chaque axe du repère. On obtient alors des équations scalaires dans lesquelles on retrouve les inconnues de la question à résoudre.

• Exemple : Le solide S est en équilibre sous l'action de trois forces quelconques, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$, (Fig. 17).

La condition vectorielle s'écrit dans le repère $(\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{Oy})$

$$\vec{F}_1 \begin{vmatrix} -F_{1x} \\ F_{1y} \end{vmatrix} + \vec{F}_2 \begin{vmatrix} -F_{2x} \\ -F_{2y} \end{vmatrix} + \vec{F}_3 \begin{vmatrix} F_{3x} \\ F_{3y} \end{vmatrix} = \vec{0} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

On en déduit le système d'équations traduisant l'équilibre du système :

$$\begin{cases} -F_{1x} - F_{2x} + F_{3x} = 0 \\ F_{1y} - F_{2y} + F_{3y} = 0 \end{cases}$$

Scanned by CamScanner

D'autres relations telles que le théorème de Pythagore (par exemple $F_1^2 = F_{1_x}^2 + F_{1_y}^2$) et les relations trigonométriques dans le triangle rectangle (par exemple $F_{1_x} = F_1 \sin(\overrightarrow{Oy}, \vec{F}_1)$) permettent de compléter ces relations en fonction du nombre d'inconnues.

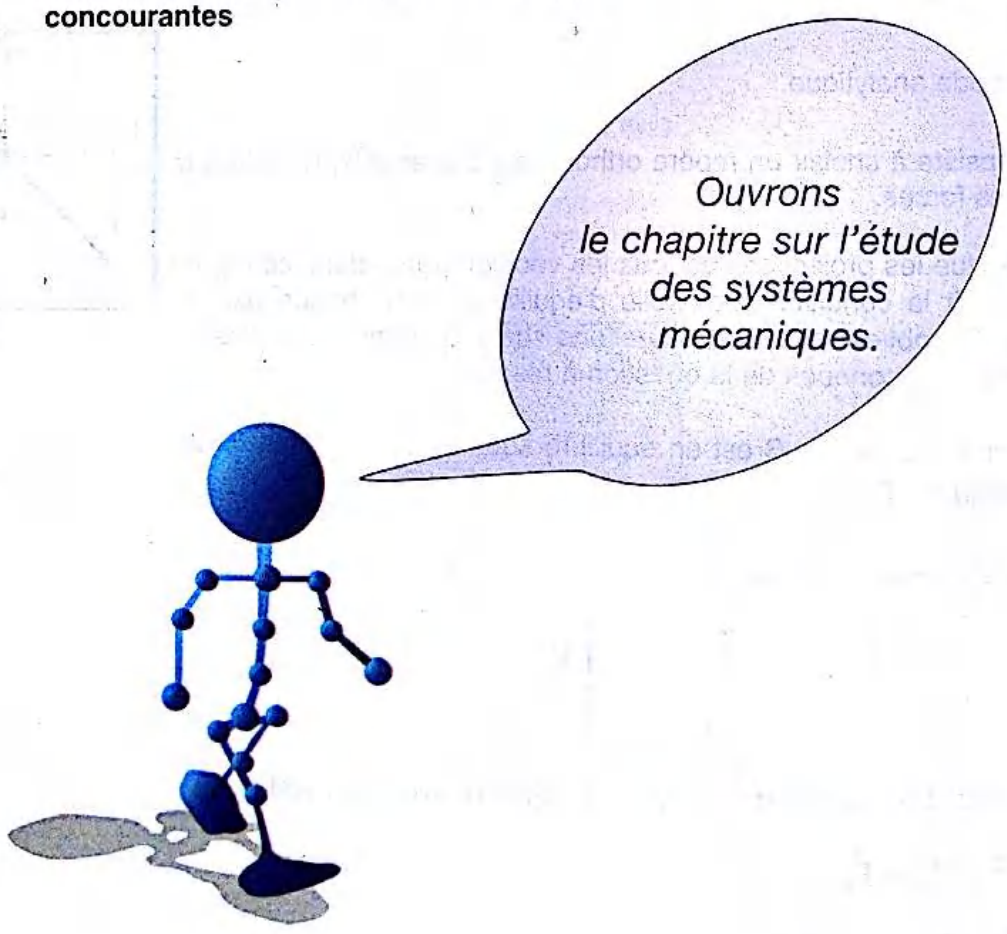
• **Remarque :** Les difficultés que présente la méthode analytique, résident dans :
- le choix judicieux du repère (surtout lorsque celui-ci n'est pas imposé par l'énoncé) ;
- la tendance à traduire la relation vectorielle $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ par la relation scalaire $F_1 + F_2 + F_3 = 0$ (ce qui dénote d'une non compréhension des phénomènes étudiés) ;
- Il est conseillé pour le choix du repère de faire coïncider, tant que cela est possible, un des axes du repère avec la direction d'une des forces.



2 . CONDITIONS D'EQUILIBRE D'UN CORPS SOUMIS A TROIS FORCES

Lorsqu'un solide est en équilibre sous l'action de trois forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{F}_3$ non parallèles

alors
- **$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$ (les forces sont coplanaires)**
- **et**
- **Les droites d'action de trois forces sont concourantes**



Scanned by CamScanner

2 APPLICATIONS

PRÉALABLES

- La définition d'une action mécanique localisée, d'une action mécanique repartie.
- La représentation d'une force.
- Des exemples d'actions de contact et à distance.
- Le principe des actions réciproques (action et réaction).
- La condition d'équilibre d'un corps soumis à deux forces.

OBJECTIFS

- définir un système mécanique
- définir un milieu extérieur
- citer les forces appliquées ou forces extérieures à un système mécanique
- définir le poids d'un corps
- citer les caractéristiques du vecteur-poids d'un corps
- représenter le vecteur poids d'un corps
- définir le centre d'inertie d'un corps
- définir la masse d'un corps
- écrire la relation entre la masse et le poids
- donner l'unité internationale de poids
- citer l'appareil de mesure du poids
- donner l'unité internationale de masse
- citer l'appareil de mesure de la masse
- définir la tension d'un fil, d'un ressort
- représenter la tension du fil et du ressort
- définir la réaction d'un plan
- représenter la réaction d'un plan
- définir un équilibre stable, instable
- écrire les conditions d'équilibre d'un solide suspendu à un fil, à un ressort
- écrire les conditions d'équilibre d'un solide en contact avec un plan (horizontal et incliné)

Scanned by CamScanner

1. SYSTEME MECANIQUE

1-1 DÉFINITION

On appelle système mécanique un corps ou un ensemble de corps déformable ou non. Tout ce qui ne fait pas partie du système est appelé milieu extérieur.

1-2 EXEMPLE

Le montage de la figure 1 représente un crochet C, accroché à un support S, et supportant une masse M par l'intermédiaire d'un fil inextensible f.
On se propose d'indiquer les systèmes que l'on peut constituer à l'aide des corps C, f et M et de préciser le ou les milieux extérieurs pour chacun des systèmes.

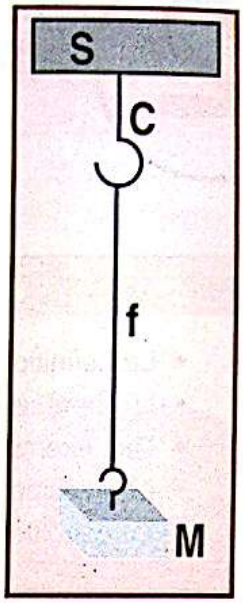


Fig.1

Réponse : Le système est coloré en rouge, le milieu extérieur porte la marque bleue (Fig. 2).

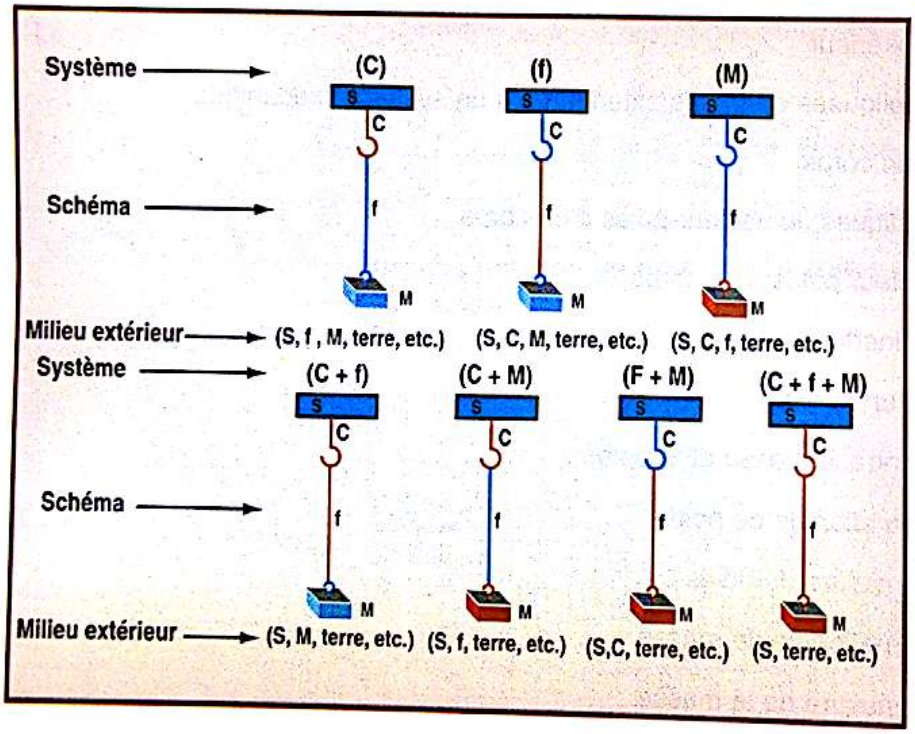
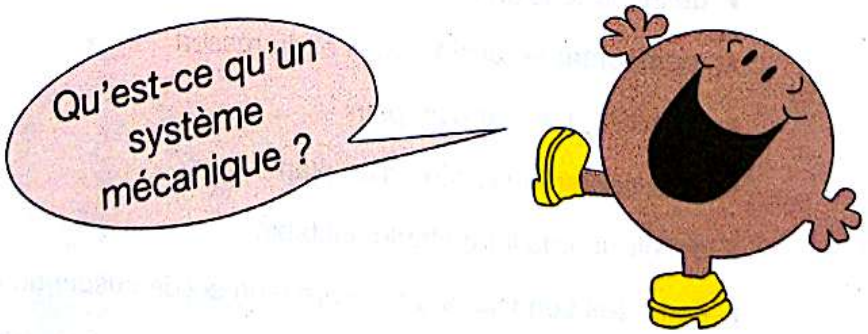


Fig.2

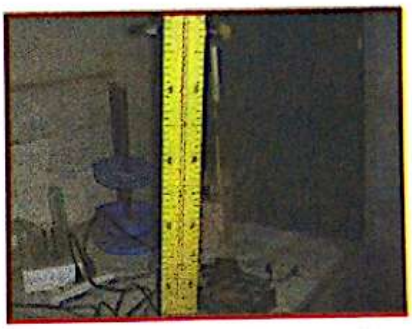


Scanned by CamScanner

2. FORCES EXTERIEURES (OU FORCES APPLIQUEES) A UN SYSTEME

2-1 DÉFINITION

*On appelle **force extérieure** à un système, toute force exercée par le milieu extérieur sur le système. Elle est soit une force de contact soit une force à distance.*



Forces extérieures (ou forces appliquées) à un système

2-2 EXEMPLES

Les forces appliquées sur le système (f, M) précédent sont : les forces de contact exercées par le crochet sur le fil, par l'air en contact avec le système (poussée d'Archimède), la force à distance exercée par la terre et qui est le poids du fil et de la masse M. Par contre si le système est constitué par la masse, les forces exterieures exercées sur la masse M sont la force de contact du fil f, la pousée d'Archimède et le poids de M.

2-3 REMARQUE

La notion de système est capitale. La délimitation du contour du système permet la détermination des forces appliquées sur le système.

3. POIDS D'UN CORPS

3-1 DÉFINITION

On appelle poids d'un corps l'action à distance, répartie en volume, équivalente à une force unique, notée $\vec{P}$ ou $\vec{p}$, et exercée par la terre sur le corps.

3-2 MODÉLISATION DU POIDS

Le vecteur poids d'un corps : Comme toute action mécanique, le poids d'un corps est modélisable et est schématisé par un vecteur appelé vecteur poids.

3-3 LES CARACTÉRISTIQUES DU VECTEUR POIDS

Le fil à plomb utilisé par les maçons matérialise la verticale du lieu. Il est formé d'une masse de plomb de forme cylindro-conique fixée à un fil passant par le centre de la base circulaire de la masse de plomb. La masse de plomb du fait de sa lourdeur maintient le fil tendu verticalement.

Scanned by CamScanner

Le fil à plomb est accroché à une potence par l'intermédiaire du fil de telle manière que la pointe de la masse effleure le socle métallique de la potence (Fig. 3a, 3b, 3c). Au point où la pointe effleure le socle métallique on dispose un morceau de craie, puis on fait remonter la masse de plomb jusqu'à une hauteur H. On attend que la masse s'immobilise à la hauteur H, puis on brûle le fil. On constate que la masse de plomb tombe et écrase le morceau de craie.
On en déduit que :

- la direction (la droite d'action) du vecteur poids est la verticale du lieu ;
- le sens du vecteur poids est descendant (de haut vers le bas) ;
- l'intensité, P ou p, en newtons du vecteur poids est mesurée à l'aide d'un dynamomètre ;
- le point d'application du vecteur poids est le centre de gravité du corps.

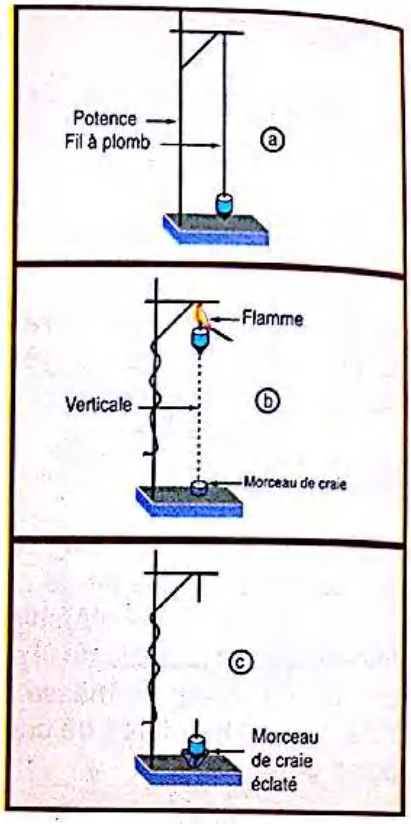


Fig.3

3-4 REPRÉSENTATION DU VECTEUR POIDS DE CERTAINS CORPS (Fig. 4)

Pour des corps solides homogènes de formes géométriques régulières le centre de gravité est le point de rencontre des diagonales pour une forme rectangulaire, carrée ; le point de rencontre des médianes pour une forme triangulaire ; le centre du cercle ou de la sphère pour des formes circulaire et sphérique.

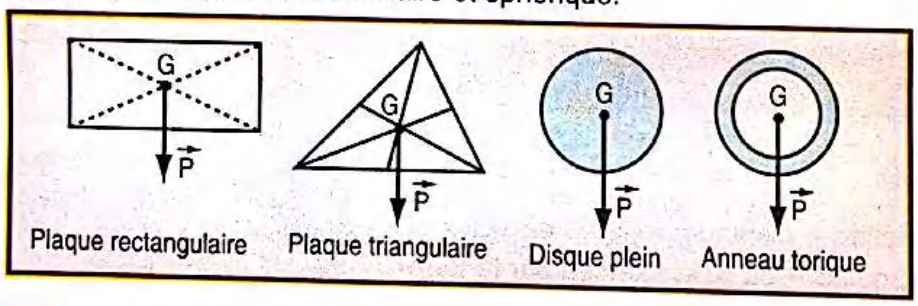


Fig.4

3-5 VARIATION DU POIDS D'UN CORPS AVEC LE LIEU

Le poids d'un corps varie avec l'altitude et la latitude du lieu.

4. LA MASSE D'UN CORPS

4-1 DÉFINITION

La masse d'un corps est une grandeur scalaire, c'est la quantité de matière contenue dans un corps.

4-2 UNITÉ DE MASSE

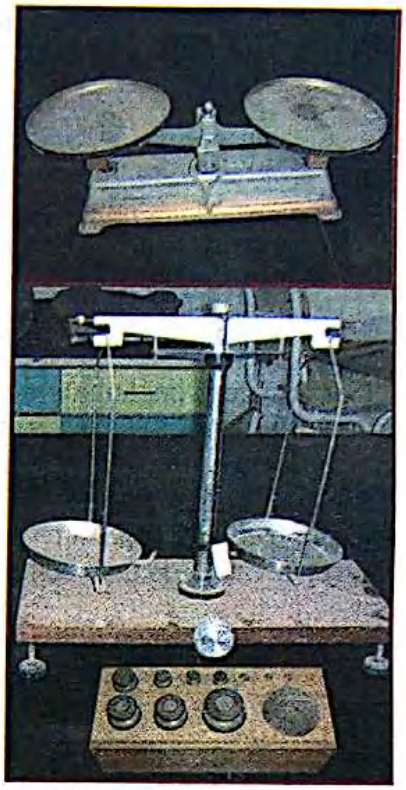
L'unité internationale de masse est le kilogramme (Kg).



Scanned by CamScanner

4-3 INSTRUMENT DE MESURE DE LA MASSE :

La masse d'un corps se mesure avec la balance.
Cette masse reste invariable quel que soit le lieu où on effectue la pesée. La masse d'un corps se conserve lors des transformations physiques et chimiques.



Différents types de balance

5. LE CENTRE DE MASSE

Soit un ensemble de masses ponctuelles (masses de dimensions très petites pour qu'elles puissent être assimilées à des points géométriques) $m_1, m_2, \ldots, m_n$, placées respectivement en des points $G_1, G_2, \ldots, G_n$.

On appelle centre de masse des masses ponctuelles $m_1, m_2, \ldots, m_n$ le barycentre G des points $G_1, G_2, \ldots, G_n$ affectés respectivement des coefficients $m_1, m_2, \ldots, m_n$.

Il est défini par la relation vectorielle :

$$m_1\overrightarrow{GG_1} + m_2\overrightarrow{GG_2} + \ldots\ldots\ldots\ldots + m_n\overrightarrow{GG_n} = \vec{0}$$

Dans un repère d'origine O, la relation devient :

$$\overrightarrow{OG} = \frac{m_1\overrightarrow{OG_1} + m_2\overrightarrow{OG_2} + \ldots + m_n\overrightarrow{OG_n}}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

Le centre de masse d'un système est confondu avec son ***centre de gravité.***

6. RELATION ENTRE MASSE ET POIDS D'UN CORPS



A l'aide d'un dynamomètre, on mesure en un même lieu les poids $p_1, p_2, \ldots, p_n$ de différents corps de masses respectives $m_1, m_2, \ldots, m_n$.

Lorsqu'on calcule les rapports $\frac{p_1}{m_1}, \frac{p_2}{m_2}, \ldots\ldots, \frac{p_n}{m_n}$

on constate (aux erreurs de mesures près) que :

$$\frac{p_1}{m_1} = \frac{p_2}{m_2} = \ldots\ldots = \frac{p_n}{m_n} = \text{constante.}$$

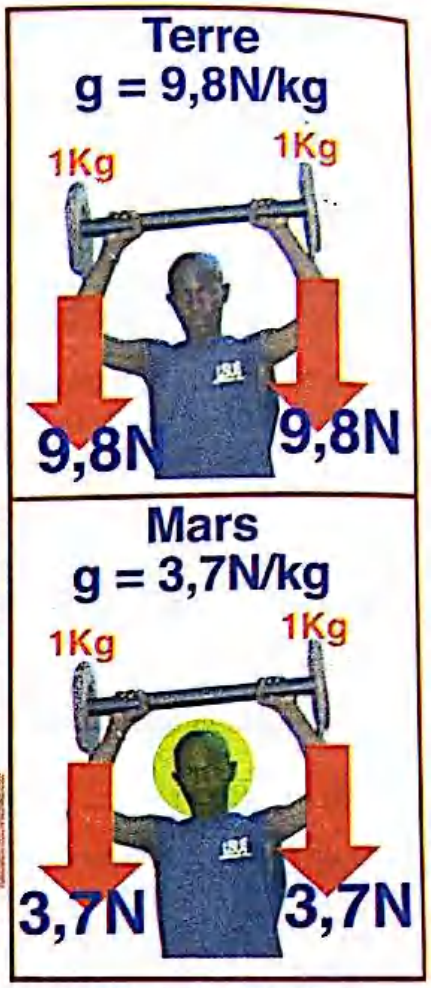
La constante de proportionnalité, notée g ne dépend que du lieu d'expérience.

Scanned by CamScanner

Le poids d'un corps est proportionnel à sa masse et on a P = mg.
Le poids est une grandeur vectorielle, la masse est une grandeur scalaire alors la constante g est une grandeur vectorielle notée $\vec{g}$ et appelée **vecteur champ de pesanteur** au lieu considéré.
La relation vectorielle entre le vecteur poids et la masse est $\vec{P} = m\vec{g}$.

Le vecteur poids $\vec{P}$ qui s'exerce en tout point du champ de pesanteur sur une masse quelconque m est proportionnel à la masse m et au vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ au point considéré. Le champ de pesanteur est caractéristique du lieu, il varie avec le lieu (c'est pourquoi le poids du corps varie avec la latitude et l'altitude du lieu), tandis que la masse caractérise le corps.

L'intensité de la pesanteur et par conséquent le poids, varie faiblement à la surface de la Terre (la latitude) mais diminue de façon notable avec l'altitude. Par exemple : g passe de la valeur de 9,78 NKg^{-1} à l'Équateur, à la valeur de 9,83 NKg^{-1} aux Pôles et une élévation de hauteur d'environ 6400 km (rayon de la Terre) à partir de l'Équateur fait passer la valeur de g au sol, soit 9,78 NKg^{-1} à la valeur de 2,44 NKg^{-1}.



Le champ de pesanteur est caractéristique du lieu. Il varie avec le lieu.

7. LA TENSION MÉCANIQUE D'UN FIL OU D'UN RESSORT

7-1 DÉFINITION :

On appelle tension d'un fil ou d'un ressort en l'une de ses extrémités, la force exercée par le fil ou le ressort sous l'action du corps.
C'est la réaction du fil ou du ressort à l'action du corps.
La tension est notée généralement $\vec{T}$ ou $\vec{t}$. ***C'est la force qu'il faudrait appliquer au point de contact pour que l'état d'équilibre ou de mouvement du corps agissant sur le fil ou le ressort soit conservé en leur absence.***

7-2 REMARQUES



- La tension est la même en tout point d'un fil inextensible, on dit que le fil inextensible transmet la tension.
- Si le fil n'est pas tendu ou si le ressort est à vide (c'est-à-dire qu'il ne subit aucune action en son extrémité libre) la tension est nulle.
- Pour un fil inextensible tendu, la tension est grande devant le poids du fil (par conséquent on peut négliger le poids du fil inextensible devant la tension).
- Pour un ressort à spires non jointives (spires qui ne se touchent pas), travaillant dans ses limites d'élasticité, l'intensité de la tension du ressort est proportionnelle à l'allongement x du ressort :
  T = kx avec $x = l - l_0$ (l_0 est la longueur du ressort à vide, l la longueur prise sous l'action du corps en contact avec l'extrémité libre du ressort) et k la raideur du ressort.

Scanned by CamScanner

Exemple : Équilibre d'un solide suspendu à un fil inextensible ou à un ressort.
Un solide S, de masse M, est suspendu à un fil inextensible f de masse négligeable, lui-même lié à un crochet C fixé au support D. (Fig. 5).
On décompose le montage en trois systèmes (Fig. 6) : le système solide (S) (Fig. 6a), le système fil (f) (Fig. 6b) et le système crochet (C) (Fig. 6c) et on fait l'inventaire des forces appliquées sur chacun des systèmes.

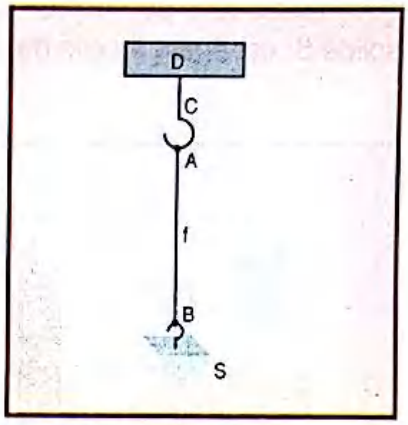


fig. 5

• ***Système solide (S) :*** Les systèmes extérieurs à (S) sont le fil (f) et la Terre. Le solide (S) est soumis à la force exercée par (f) appliquée en B et notée $\vec{T}_{f/s}$, le poids $\vec{P}$ exercé par la Terre et appliquée au centre de gravité G de S. (S) est en équilibre par conséquent :

$\vec{T}_{f/s} + \vec{P} = \vec{0}$ *et,* $\vec{T}_{f/s}$ *et* $\vec{P}$ *ont même droite d'action*

• ***Système fil (f) :*** Les systèmes extérieurs à (f) sont le solide (S) et le crochet (C). Le fil (f) est soumis à la force exercée par le solide (S) appliquée en B et notée $\vec{T}_{S/f}$ et la force exercée $\vec{T}_{C/f}$ par le crochet en A. Le système (f) est en équilibre : alors

$\vec{T}_{f/S} + \vec{R}_{C/f} = \vec{0}$ *et ,* $\vec{T}_{f/S}$ *et* $\vec{T}_{C/f}$ *ont même droite d'action*

La valeur commune $T_{S/f}$ *et* $T_{C/f}$ *est la tension du fil f.*

• ***Système crochet (C) :*** Les systèmes extérieurs à (C) sont le fil (f) et le support (D). Le crochet (C) est soumis à la force exercée par (f) appliquée en A, notée $\vec{T}_{f/C}$ et la force $\vec{R}_{D/C}$ exercée par le crochet en D. (la masse du fil étant négligeable, son poids est négligeable). Le système (C) est en équilibre par conséquent :

$\vec{T}_{f/C} + \vec{R}_{C/D} = \vec{0}$ *et ,* $\vec{T}_{f/C}$ *et* $\vec{T}_{C/D}$ *ont même droite d'action.*

Le principe de l'action et de la réaction permet d'écrire les relations suivantes :
$T_{S/f} = -T_{S/f}$ et $T_{C/f} = -T_{f/C}$ et comme
$P = T_{f/C} = T_{S/f} = T_{C/f} = T_{f/C} = R_{C/D}$ donc que :

la tension est la même en tout point d'un fil de masse négligeable. Le fil et le crochet transmettent au support D une force appliquée qui est à l'équilibre, égale au poids du solide.

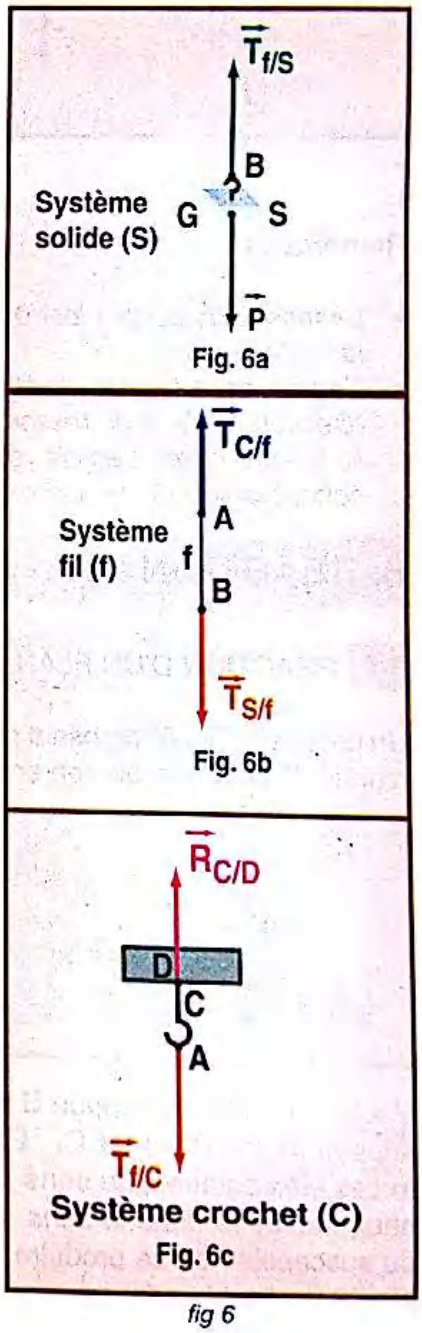


fig 6

Exemple : Équilibre d'un solide accroché à l'extrémité d'un ressort.
Le solide S, de masse m, est suspendu à un ressort à spires non jointives, de masse négligeable. (Fig 7).
Le ressort se déforme et s'allonge de $x_0 = l - l_0$. Le solide se trouve dans sa position d'équilibre. On peut montrer, comme précédemment,

Scanned by CamScanner

que l'intensité T du vecteur tension $\vec{T}$, exercée par le ressort sur le solide S, est égale à celle du vecteur poids $\vec{P}$ du solide.

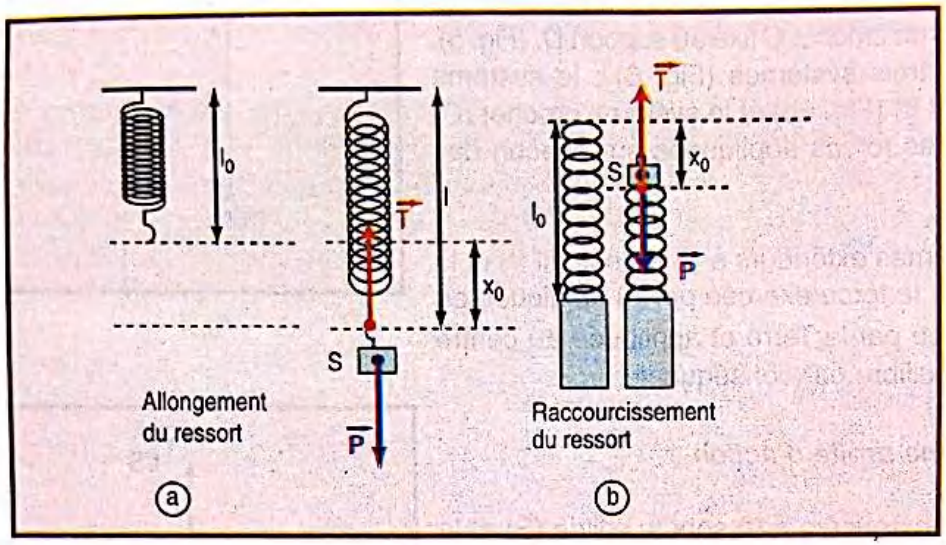


Fig.7

Remarques :

- *L'intensité du poids n'est égale à l'intensité de la tension que parce qu'il y'a équilibre ;*
- *L'action de la tension du fil ou du ressort est la direction du fil ou la direction de l'axe du ressort. Son sens est toujours rentrant dans le fil. Il est rentrant dans le ressort lorsque celui-ci s'allonge (Fig. 7a), sortant lorsque le ressort est comprimé (Fig. 7b).*



8. RÉACTION D'UN PLAN

8-1 RÉACTION D'UN PLAN

Un corps C, (Fig. 8) reposant sur un support rugueux S, est tiré à l'aide d'un fil (C peut être ou non en mouvement).

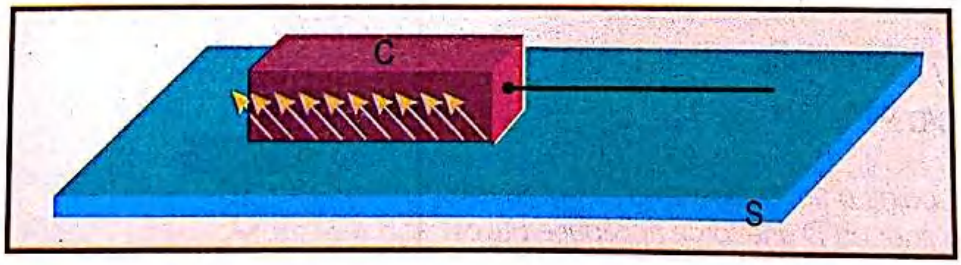


Fig.8

L'action répartie du support S sur le corps C est appelée la réaction du support S sur le corps C. Elle est constituée par un ensemble de forces élémentaires, de **sens sortant** du support S c'est-à-dire vers le haut, ***inclinées*** dans le ***sens opposé*** au sens du mouvement effectif ou susceptible de se produire. Ceci est du au fait que la présence du plan a un double effet :

Scanned by CamScanner

- effet s'opposant à l'enfoncement du corps C d'où le sens de son action vers le haut ;
- effet s'opposant au glissement effectif ou susceptible de se produire au contact du corps C, à cause des frottements.

8-2 MODÉLISATION DE LA RÉACTION D'UN PLAN

On peut ramener l'ensemble des forces élémentaires constituant la réaction du support S sur le corps C à la résultante $\vec{R}$ qui est modélisable de deux manières équivalentes (Fig 9).

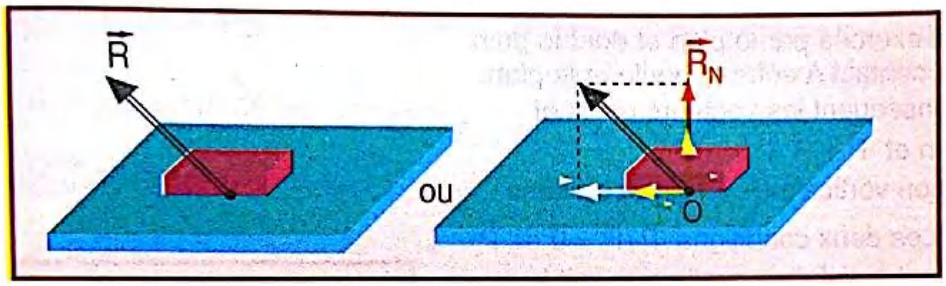


Fig.9

Les deux modélisations $\vec{R}$ ou $(\vec{R}_T, \vec{R}_N)$ sont reliées par la relation $\vec{R} = (\vec{R}_T + \vec{R}_N)$.

• Le vecteur $\vec{R}_T$ est appelée la ***composante tangentielle*** de la réaction $\vec{R}$ ou ***force de frottement.*** Dans le repère orthonormé choisi $(O, \vec{i}, \vec{j})$ de vecteurs $\vec{i}$ et $\vec{j}$ respectivement parallèle et normal au plan, la force de frottement s'oppose au mouvement de glissement du corps sur le support. Son intensité est d'autant plus grande que les surfaces en contact sont plus rugueuses.

• Le vecteur $\vec{R}_N$ est la composante normale de la réaction $\vec{R}$ du support. Elle empêche le corps C de s'enfoncer dans le support.

Remarques

- Cas idéal : il faut signaler que l'absence de frottements dans un contact est un cas idéal $R_T = 0$ et $R = R_N$. Dans la pratique on peut diminuer suffisamment l'action des forces de frottements par un polissage soigneux des surfaces pour les considérer comme négligeables faces aux autres forces agissant sur le système.
- Cas d'un glissement effectif : on a la relation $R_T = h_c R_N$ avec h_c coefficient de frottement cinétique dépendant des surfaces en contact et de la vitesse.
- Cas d'un équilibre : $R_T \leq h_s R_N$ où h_s est le coefficient de frottement statique. Si $R_T = R_N$ alors le corps est à la limite de rupture de son état d'équilibre.
- L'expérience montre que $h_c < h_s$. (Page 46 - 47)



Scanned by CamScanner

9. EQUILIBRE D'UN SOLIDE POSE SUR UN PLAN

9-1 PLAN HORIZONTAL

a) Cas d'une boule

Une boule parfaitement sphérique est posée sur un plan horizontal. La boule est soumise à deux forces :

• Son poids $\vec{P}$, force à distance de direction verticale, exercée par la Terre et dont le point d'application est le centre de gravité G de la boule ;

• La réaction $\vec{R}$, force de contact exercée par le plan et dont le point d'application est le seul point de contact A entre la boule et le plan.

La boule est en équilibre, par conséquent les vecteurs poids et réaction ont même droite d'action et $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

La réaction $\vec{R}$ est donc de direction verticale ($\vec{R} = \vec{R}_N$) et de sens ascendant (ou sortant du plan). Les deux conditions $\vec{P}+\vec{R} = \vec{0}$ et $\vec{P}$ et $\vec{R}$ ont même droite d'action, sont satisfaites quelle que soit la position de la boule sur le plan.

On dit que la boule est ***en équilibre stable*** ou ***indifférent.***

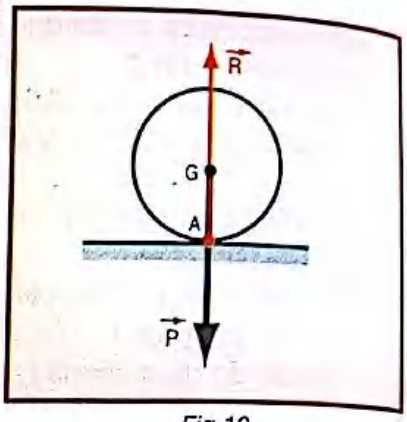


Fig.10

b) Cas d'une brique sur un plan horizontal

La brique est posée sur le plan horizontal par sa base de plus grande surface. Elle est soumise à son poids $\vec{P}$ force à distance de direction verticale, exercée par la Terre et dont le point d'application est le centre de gravité G de la brique et la réaction du plan qui est une action répartie sur toute la surface de contact mais qui est équivalente à une force $\vec{R}$ unique appliquée en B centre de masse des points de la surface de contact de la brique et du plan. La brique est en équilibre, par conséquent les vecteurs poids et réaction ont même droite d'action et $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$. La réaction $\vec{R}$ est donc de direction verticale ($\vec{R} = \vec{R}_N$) et de sens ascendant (ou sortant du plan).

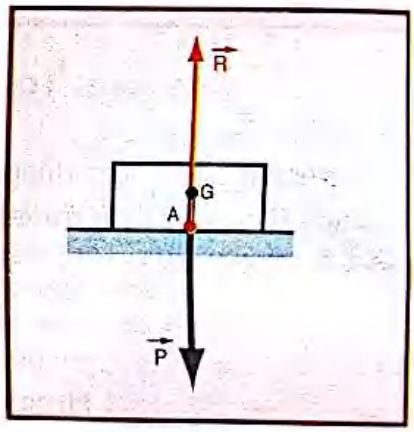


Fig.11

c) Stabilité de l'équilibre

On considère la brique dans sa position d'équilibre (fig.12). On la fait pivoter autour d'une arête en contact avec le plan et on la relâche. On remarque que tant que l'angle de rotation α est inférieur à l'angle pour lequel la nouvelle position G_1 du centre de gravité est à la verticale de l'arête autour de laquelle s'effectue la rotation, la brique retombe sur sa face qui était en contact avec le plan (Fig. 12a). On dit que dans cette position la brique est ***en équilibre indifférent*** ou ***stable***. Lorsqu'on reprend cette expérience en ayant posé auparavant la brique sur une face de plus petite surface, on constatera que l'angle maximal β_m, pour lequel la brique rejoint sa petite face, est inférieur à α_m (fig. 12b). La stabilité de l'équilibre est plus grande dans le premier cas que dans le second. Pour tout angle γ tel que γ supérieur à β_m mais inférieur à α_m fait retomber la brique sur une face plus grande (Fig. 12c).

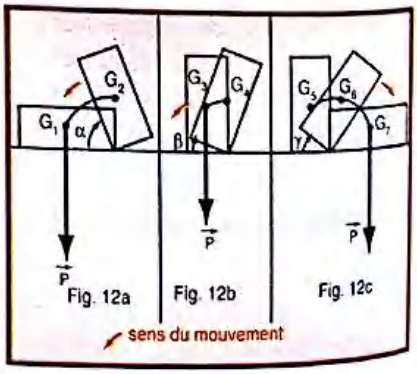


Fig.12

Scanned by CamScanner

- ***La stabilité d'un solide est d'autant plus grande que la surface de contact est plus grande et que le centre de gravité du solide est plus bas.***

- ***Un solide est dit en équilibre indifférent ou stable chaque fois qu'écarté légèrement de cette position, le solide a tendance à y revenir. Lorsqu'il a tendance à s'en écarter, il est en équilibre instable.***

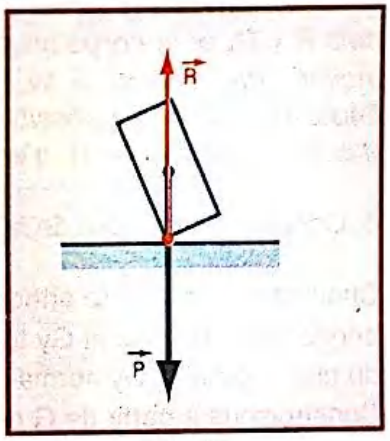


Fig.13

Exemple

On peut trouver une position de la brique placée sur une arête tel que les vecteurs $\vec{P}+\vec{R} = \vec{0}$, $\vec{P}$ et $\vec{R}$ ont même droite d'action (Fig. 13). Lorsqu'on s'écarte même très légèrement de cette position d'équilibre la brique retombe sur une face.

9-2 PLAN INCLINE

a) Définition

Un plan incliné est un plan qui fait un angle α avec le plan horizontal.

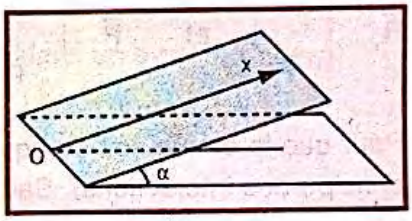


Fig.14

La droite Ox, perpendiculaire à la droite d'intersection des deux plans est appelée ***la ligne de plus grande pente*** du plan incliné (Fig. 14).

b) Cas de la boule (Fig. 15)

La réaction $\vec{R}$ du plan incliné est appliquée au point A de contact. Elle est normale au plan incliné et les vecteurs $\vec{P}$ et $\vec{R}$ n'ont plus la même droite d'action.

La boule ne peut pas être en équilibre sur le plan incliné (elle descend la pente en roulant).

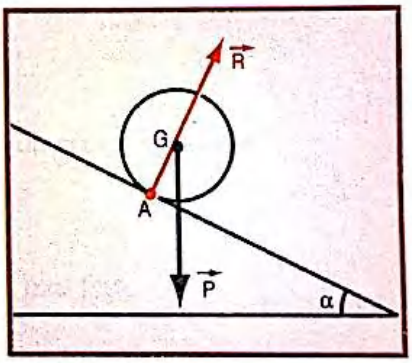


Fig.15

c) Cas de la brique (Fig. 16)

- ***Le plan est considéré comme parfaitement lisse***, le contact a lieu sans frottement. La réaction est donc normale au plan comme dans le cas de la bille ($R_T = 0$ et $R = R_N$), ***la brique ne peut être en équilibre (elle descend la pente en glissant).***

- ***Le plan est rugueux.*** Supposons que la brique est en équilibre : cela veut dire que la condition $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$ et $\vec{P}$ et $\vec{R}$ ont même droite d'action (Fig. 16a). La réaction $\vec{R}$ n'est plus perpendiculaire au plan incliné et fait donc avec la normale au plan un angle α. La valeur maximale α_m que peut prendre α sans que la brique glisse sur le plan est appelé angle de frottement. Il dépend de la nature des corps en contact.

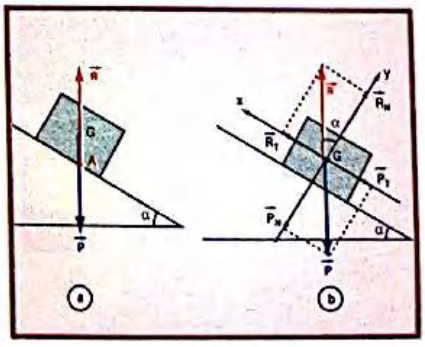


Fig.16

Scanned by CamScanner

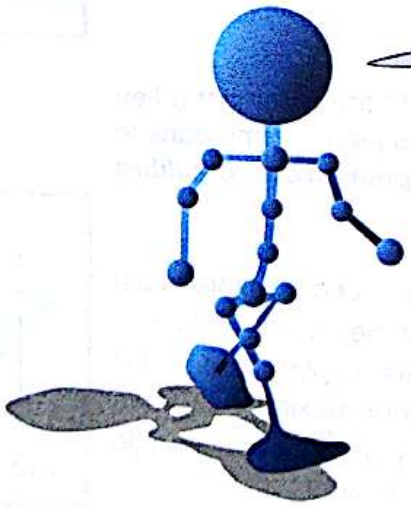
Conclusion :
Si la surface du plan est parfaitement lisse, les frottements sont nuls R = R_N et le corps ne peut jamais être en équilibre sur le plan incliné. Par contre si la surface du plan incliné est rugueuse, l'équilibre peut être possible. Dans ce cas P et R ont même ligne d'action : la réaction R n'est plus normale au plan incliné.

d. Condition d'équilibre de la brique (Fig. 16b)

Choisissons un repère orthonormé d'origine G centre de gravité de la brique et d'axes $\overrightarrow{Gx}$ et $\overrightarrow{Gy}$ tel que $\overrightarrow{Gx}$ parallèle à la plus grande pente du plan incliné et $\overrightarrow{Gy}$ normale à ce plan.
Construisons à partir de G des représentants des vecteurs $\vec{R}$ et $\vec{P}$.
Les composantes de ces vecteurs dans le repère ($\overrightarrow{Gx}$; $\overrightarrow{Gy}$) sont :

$$\vec{R} \left| \begin{matrix} \vec{R}_N \\ \\ \vec{R}_T \end{matrix} \right. \quad \text{et} \quad \vec{P} \left| \begin{matrix} \vec{P}_N \\ \\ \vec{P}_T \end{matrix} \right.$$

Pour que la brique soit en équilibre on a $\mathbf{R_T = P_T}$ ($R_N = P_N$ selon le principe des interactions). Sachant que l'angle (R , R_N) = α (angles à cotés respectivement perpendiculaires) on a $\mathbf{P_T = P\sin\alpha = R_T}$.
Le sinus de l'angle α est appelé la pente du plan incliné.



Scanned by CamScanner

3 FORCES S'EXERCANT SUR UN CORPS CAPABLE DE TOURNER AUTOUR D'UN AXE FIXE

PRÉALABLES

- La définition d'une force.
- Les caractéristiques d'une force (point d'application, direction, sens, intensité).
- Des exemples de forces (poids, tension, réaction).
- La relation entre poids et masse.
- Les unités de poids et masse.
- Les définitions d'une force de contact, d'une force à distance.
- L'identification des forces de contact, des forces à distance dans un système.
- Les conditions d'équilibre d'un corps soumis à deux forces, à trois forces.

OBJECTIFS

- définir un système mécanique
- citer les conditions pour lesquelles un solide soumis à l'action d'une force est susceptible de tourner ou non autour d'un axe fixe
- écrire l'expression du moment d'une force par rapport à un axe fixe
- écrire la condition d'équilibre d'un corps capable de tourner autour d'un axe
- définir un couple de forces
- citer des exemples de couples de forces
- écrire l'expression du moment d'un couple de forces
- écrire l'expression du moment du couple de torsion
- énoncer le théorème des moments
- écrire les conditions d'équilibres générales d'un corps

Scanned by CamScanner

1. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN SOLIDE SUSCEPTIBLE DE TOURNER AUTOUR D'UN AXE FIXE



1-1 ÉTUDE QUALITATIVE

a) Expérience (Fig.1)

Le battant de la porte (Fig. 1a) de la salle de classe est un exemple typique d'un solide capable de tourner autour d'un axe fixe matérialisé par ses gonds. Lorsque le battant tourne effectivement autour de ses gonds on dit qu'il est en mouvement de rotation autour de l'axe des gonds.

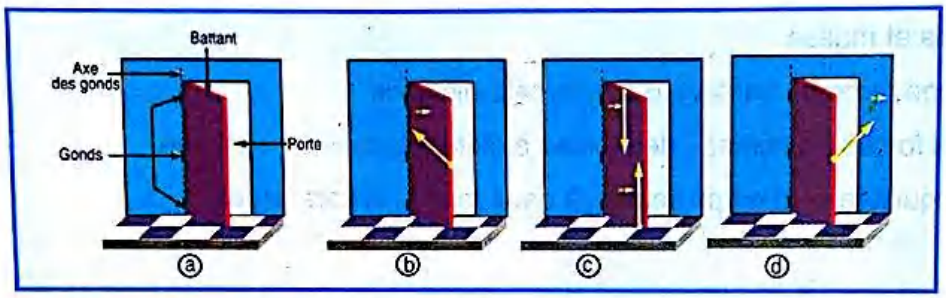


Fig. 1

On demande à l'élève Bintou d'appliquer les actions mécaniques suivantes sur le battant de la salle de classe :

- Une action rencontrant l'axe des gonds (Fig. 1b)
- Une action parallèle à l'axe des gonds (Fig. 1c)
- Toutes autres actions différentes des deux précédentes (Fig. 1d).

b) Observations

Les actions rencontrant l'axe des gonds et celles parallèles à l'axe des gonds n'ont aucun effet de rotation sur le battant (Fig. 1b) et (Fig. 1c). Par contre toutes autres forces différentes de ces deux font produire au battant un effet de rotation autour de l'axe des gonds (Fig. 1d).

c. Conclusions

- *Pour produire un effet de rotation sur un solide susceptible de tourner autour d'un axe fixe, il faut exercer sur ce solide une force dont la droite d'action ne rencontre pas l'axe de rotation ou ne soit pas parallèle à l'axe de rotation.*
- *L'effet de rotation, pour une même force dont la ligne d'action n'est pas parallèle ou ne coupe pas l'axe de rotation, est d'autant plus important, que la ligne d'action de la force est perpendiculaire à l'axe de rotation.*
- *Toute force localisée, perpendiculaire à l'axe de rotation, d'intensité donnée constante, engendre un effet de rotation d'autant plus importante, que sa droite d'action est plus éloignée de l'axe de rotation.*



Scanned by CamScanner

Remarque : On rappelle que l'axe de rotation est formé de tous les points qui restent immobiles pendant la rotation et qu'une force est orthogonale ou perpendiculaire à l'axe si elle est située dans un plan perpendiculaire à l'axe (Fig. 2).

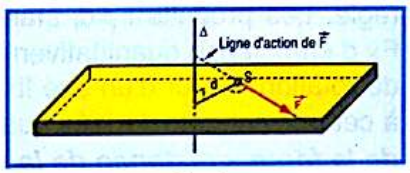


Fig. 2

1-2 ÉTUDE QUANTITATIVE

a) Expérience

Une règle, percée de trous équidistants peut tourner autour d'un axe horizontal fixe Δ passant par son centre de gravité (les frottements sont considérés comme négligeables).

L'expérience consiste en la suspension en un trou donné de la règle une masse marquée de valeur m et à réaliser les situations d'équilibre successives par suspension en des endroits judicieux des masses marquées m_1, m_2, m_3, ... dont les valeurs sont des fractions de m, de façon que la règle reste horizontale (Fig 3).

b) Résultats

On calcule les produits des intensités F, F_1, F_2, F_3... des actions respectives des masses m, m_1, m_2, m_3, ... (F, F_1, F_2, F_3 ... sont les poids P, P_1, P_2, P_3 ... de ces masses) par les distances respectives d, d_1, d_2, d_3... qui séparent la droite d'action d'une action correspondante de l'axe de rotation. Les résultats obtenus donnent :

$F \times d = F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2 = F_3 \times d_3 = \ldots = mga$

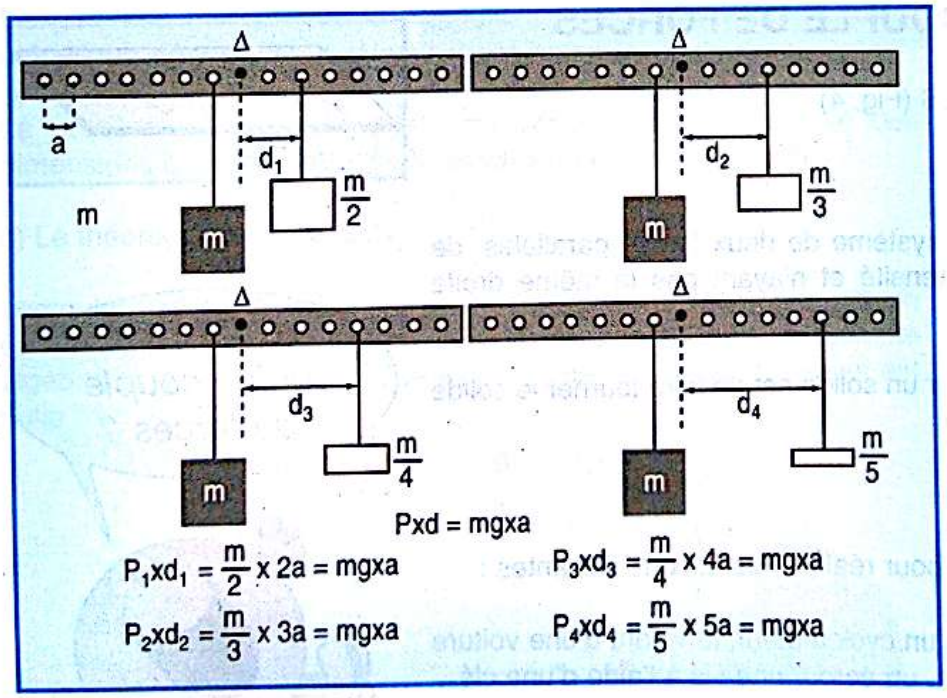


Fig. 3

Scanned by CamScanner

c) Interprétation



Les forces $\vec{F}, \vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ... toutes perpendiculaires à l'axe de rotation, d'intensités différentes, ramènent toutes la règle à la même position horizontale. On en déduit qu'elles ont le même effet de rotation sur la règle. Les produits $F_i \times d_i$ étant les mêmes, on déduit que le produit $F \times d$ caractérise quantitativement l'effet de rotation d'une force. L'effet de rotation autour d'un axe fixe, d'une force localisée perpendiculaire à cet axe est caractérisée quantitativement par la quantité : ***intensité de la force*** × ***distance de la droite d'action à l'axe.***

2. MOMENT D'UNE FORCE PAR RAPPORT À UN AXE (Fig. 1)

Le produit de l'intensité de la force par la distance de la droite d'action à l'axe, est appelé le moment de la force.

Le moment d'une force $\vec{F}$ par rapport à un axe Δ est égal au produit de l'intensité F de la force par la distance entre la droite d'action de la force et l'axe. on note $\mathcal{M}_{F/\Delta} = F \times d$ avec F en newtons (N), d en mètres (m) et $\mathcal{M}_{F/\Delta}$ en newtons.mètres (N.m). La distance d de la droite d'action de la force à l'axe de rotation est par ailleurs appelée ***le bras de levier*** de la force. ***Le moment d'une force est une grandeur algébrique***. En effet pour un solide capable de rotation autour d'un axe, deux sens sont possibles : selon que le corps a tendance à tourner dans le sens choisi positif, le moment est positif et est dit moteur ; dans le cas contraire il est négatif et est dit ***résistant***.

3. MOMENT D'UN COUPLE DE FORCES

3-1 LE COUPLE DE FORCES (Fig. 4)

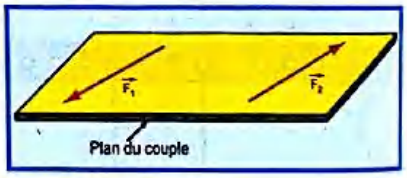


Fig. 4

a) Définition

Un ***couple de forces*** est un système de deux forces parallèles, de sens contraires, de même intensité et n'ayant pas la même droite d'action.

L'effet d'un couple de forces sur un solide est de faire tourner le solide autour d'un axe.



b) Exemples de couples

On utilise un couple de forces pour réaliser les actions suivantes :
- enfoncer un tire-bouchon
- tourner le guidon d'un vélo, d'un cyclomoteur, le volant d'une voiture
- serrer ou desserrer un boulon, un écrou, une vis à l'aide d'une clé
- ouvrir ou fermer un flacon (de médicaments), etc.

Scanned by CamScanner

3-2 LE MOMENT D'UN COUPLE DE FORCES

Le moment d'un couple de forces est égal au produit de l'intensité commune des forces par la distance qui sépare les droites d'action des deux forces $\mathcal{M} = \mathbf{F} \times \mathbf{d}$.

3-3 LE COUPLE DE TORSION

a) Torsion d'un fil métallique (Fig. 5)

Un fil d'acier présente une certaine élasticité. Cette qualité fait que, dans les limites de cette élasticité, un fil d'acier déformé a tendance à revenir dans sa position d'équilibre stable. Une extrémité d'un fil d'acier f est fixée à un support fixe de telle manière que le fil soit vertical, son autre extrémité est solidaire d'une tige métallique, horizontale T. En deux points A et B de la tige T, situés de part et d'autre de la direction de f et à égale distance de f, on fait agir sur la tige T un couple de forces ($\vec{F}$, $\vec{F}'$). Par rapport à la position initiale, la tige T subit une rotation d'un angle α autour de l'axe du fil f et on constate une torsion du fil f (Fig. 5a). Lorsqu'on supprime l'action du couple sur la tige T, on constate que celle-ci amorce un mouvement de retour vers sa position initiale (Fig. 5b). Cela veut dire qu'au cours de l'équilibre, à la position α, le fil f opposait au couple de forces ($\vec{F}$, $\vec{F}'$), ayant entraîné la rotation de la tige T, un autre couple de forces, équivalent, appelé **couple de torsion** du fil f.

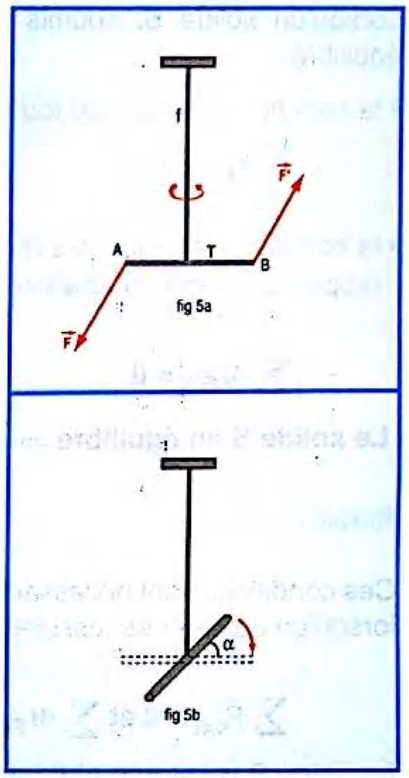


Fig. 5

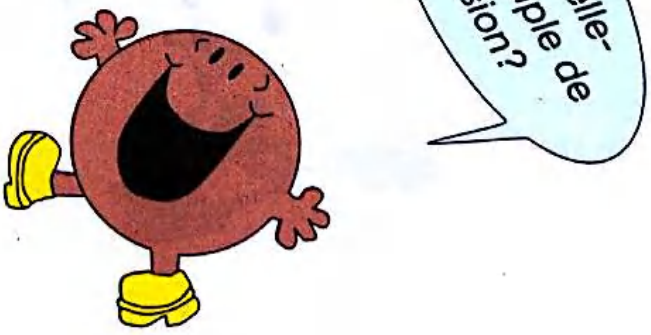
b) Moment d'un couple de torsion

L'expérience montre que le moment du couple de torsion d'un fil métallique dépend du fil et est proportionnel à l'angle de torsion α : $\mathcal{M} = \mathbf{C\alpha}$.
La constante C (en N.m.rad^{-1}) qui dépend de la nature et des dimensions du fil, est appelée la ***constante de torsion du fil***.

c) Le théorème des moments

Lorsqu'un solide, capable de tourner autour d'un axe fixe, est en équilibre sous l'action de forces orthogonales à l'axe, la somme algébrique des moments par rapport à l'axe de toutes les forces est nulle.

$$\sum_{i=1}^{i=n} \mathcal{M}_{\vec{F}_i/\Delta} = \mathbf{0}$$



Scanned by CamScanner

4. CONDITIONS GENERALES D'EQUILIBRE D'UN SOLIDE

Lorsqu'un solide S, soumis à l'action de plusieurs forces, est en équilibre :

- la somme vectorielle de toutes les forces extérieures est nulle

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0};$$

- la somme algébrique des moments des forces extérieures par rapport à un axe de rotation Δ quelconque est nulle

$$\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0.$$

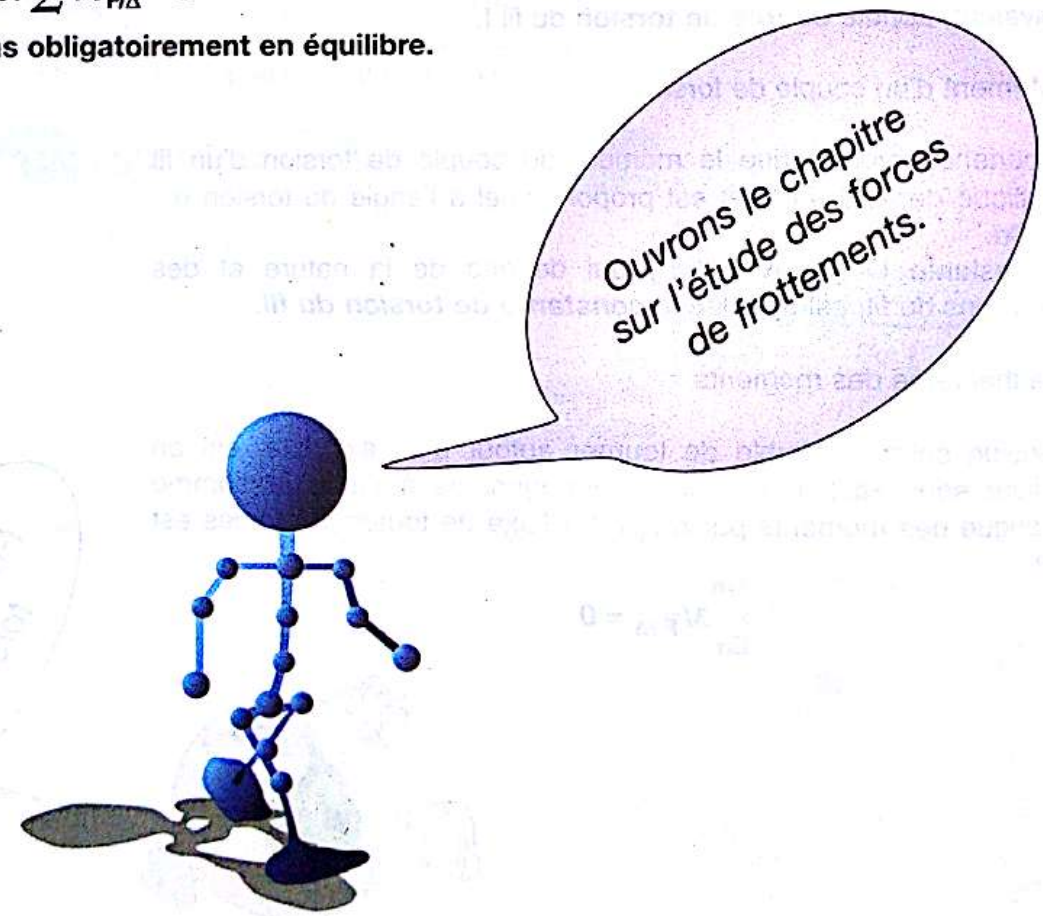
Le solide S en équilibre $\Rightarrow \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ **et** $\sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$.

Remarques :

Ces conditions sont nécessaires, mais pas suffisantes c'est-à-dire que lorsqu'un solide S est assujetti à l'action de forces telles que

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \text{ et } \sum \mathcal{M}_{\vec{F}/\Delta} = 0$$

le solide S n'est pas obligatoirement en équilibre.



Scanned by CamScanner

4 NOTION DE FROTTEMENT

PRÉALABLES

- Définition d'un système mécanique.
- Représentation des réactions.
- Conditions d'équilibre d'un corps.

OBJECTIFS

- définir les forces de frottements
- citer la différence entre frottement au départ et frottement en marche
- écrire la relation entre la force de frottement et le poids $\vec{P}$ du corps reposant sur une surface
- définir le cône de frottement et l'angle de frottement
- établir la condition d'équilibre d'un corps reposant sur un plan incliné
- définir les frottements de pivotement et de roulement

Scanned by CamScanner

1. FORCES DE FROTTEMENT



1.1 GÉNÉRALITÉS

Au chapitre 2 consacré, entre autres, aux questions d'action, de réaction et d'équilibre d'un corps soumis à deux forces, on a abordé (au paragraphe 9) succinctement le problème des contacts des corps rugueux faisant apparaître des frottements : l'équilibre d'un corps sur un plan incliné devient alors possible (fig.16b page 37) la réaction n'étant pas normale au plan.
Le cas idéal de surface parfaitement lisse n'existe pas en réalité. Dans un sens la rugosité des surfaces est même bénéfique. En effet les mouvements sur des surfaces assez lisses peuvent même être dangereux.

Exemples :

- sur les carreaux nouvellement lavés (donc très lisses), on glisse facilement, ce qui peut provoquer une chute ; c'est le même phénomène d'absence de rugosité qui explique qu'il est dangereux de marcher sur une peau de banane.
- Les automobiles patinent et dérapent sur des routes couvertes de verglas (mince couche de glace résultant de la congélation de gouttes d'eau à la surface) ou légèrement couvertes d'une pellicule d'eau.
  Dans tous les cas, l'absence (plutôt la faiblesse) des frottements est la cause des déséquilibres : le mouvement devient aléatoire ou dangereux du fait de la faiblesse des forces d'adhésion, de frottement.

1.2 DÉFINITION

Les forces qui s'opposent au mouvement d'un corps sur une surface avec laquelle il est en contact s'appellent des forces de frottement.

2. ETUDE EXPERIMENTALE

2.1 SURFACE HORIZONTALE

Pour étudier expérimentalement les forces de frottement, on place un solide sur un plan rugueux horizontal et on exerce sur ce corps une force $\vec{F}$ (fig.1)

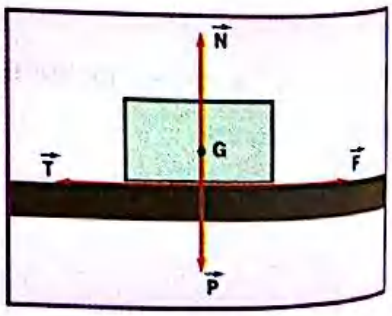


Fig. 1

On constate que le corps ne se met en mouvement qu'à la condition que l'intensité F de $\vec{F}$ soit au moins égale à une certaine valeur $\vec{f}_0$ **qu'on appelle la force de frottement au départ.**
Si le corps se met en mouvement, tout se passe comme s'il existait une force $\vec{f}_1$ qui s'opposerait à $\vec{F}$. Cette force $\vec{f}_1$ **s'appelle la force de frottement en marche.** Elle est en général inférieure à $\vec{f}_0$.

Scanned by CamScanner

En première approximation on peut considérer que les intensités f_0 et f_1 des forces $\vec{f}_0$ et $\vec{f}_1$ ne dépendent que de la nature des surfaces en contact et du poids $\vec{P}$ du corps ; on peut écrire :
$f_0 = k_0 P$ et $f_1 = k_1 P$.
On pose souvent $k_0 = \text{tg}\varphi_0$ (on verra pourquoi), **k_0 et k_1 sont les coefficients de frottement.** Ces coefficients dépendent de la nature des surfaces en contact mais généralement indépendants de leur grandeur.

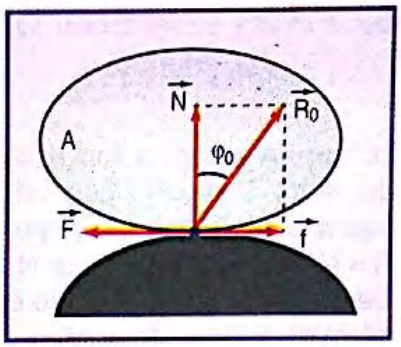


Fig. 2

2.2 CAS D'UN CORPS ROULANT SUR UN AUTRE

Contrairement au cas d'une surface plane pour laquelle les vecteurs réactions $\vec{N}$ et poids $\vec{P}$ sont égaux et opposés (fig.1), lorsque le contact se fait autour d'un point (fig.2) la force résultante $\vec{R}_0$ exercée par B sur A comprend une composante normale $\vec{N}$ et une composante tangentielle $\vec{f}_0 = k\vec{N} = \text{tg}\varphi_0\vec{N}$;
Sous l'action de $\vec{F}$ (appliquée), le point M du corps A glisse sur B, il apparaît une force de frottement $\vec{f}_1$ telle que $f_1 \leq k_0 N$.
La réaction $\vec{R}$ est toujours comprise à l'intérieur du cône de révolution de demi-angle au sommet φ_0 appelé **angle de frottement. Le cône est dit cône de frottement**. Les conditions d'équilibre ne sont pas donc déterminées d'une manière univoque. Les réactions $\vec{R}$ sont multiples, se trouvant à l'intérieur du cône de frottement
$f_1 = k_1 N = \text{tg}\,\varphi_1\, N$; $\varphi_1 \leq \varphi_0$

A titre indicatif voici quelques valeurs expérimentales de k_1 et de φ_1 pour certains corps placés dans certaines conditions ;

- bois sur bois sans enduit ..... $k_1 = 0{,}40$; $\varphi_1 = 9°$
- bois sur bois savonné..... $k_1 = 0{,}16$; $\varphi_1 = 9°$
- fonte sur fonte sans enduit..... $k_1 = 0{,}14$; $\varphi 1 = 8°$
- fonte sur fonte graissée ..... $k_1 = 0{,}05$; $\varphi_1 = 3°$

2.3 PLAN INCLINÉ (fig. 3)

On cherche à quelle condition un corps pesant peut rester en équilibre sur un plan incliné d'inclinaison α.

A l'équilibre : $\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$ $\quad \vec{R}\begin{vmatrix} f_1 \\ N \end{vmatrix} + \vec{P}\begin{vmatrix} P\sin\alpha \\ P\cos\alpha \end{vmatrix} = \vec{0}\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$

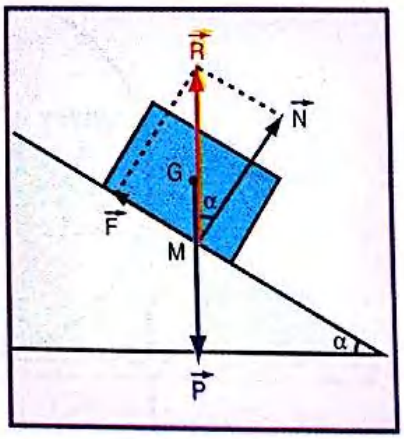


Fig. 3

Donc $f_1 = P.\sin\alpha$ et $N = P.\cos\alpha$ or $f_1 \leq f$ $(f = kN = \text{tg}\varphi\, N)$
$\Rightarrow P\sin\alpha \leq k.P\cos\alpha$ $\quad P\sin\alpha \leq \text{tg}\varphi.P\cos\alpha$ et $\text{tg}\alpha \leq \text{tg}\varphi$.

Donc la condition d'équilibre est que l'inclinaison α du plan soit inférieure à l'angle de frottement φ.

Remarque : Dans ce paragraphe.2, le mouvement est un glissement.

Scanned by CamScanner

3. FROTTEMENT DE PIVOTEMENT ET DE ROULEMENT

Le corps A est en contact avec le corps B suivant une petite aire autour du point I (fig.4). Les différentes réactions élémentaires sont équivalentes à une force appliquées en I et à un couple (R et $\mathcal{M}$)
R = N + f (réaction normale N et réaction tangentielle ou de frottement f).
De même $\mathcal{M}$ se décompose en deux moments
$\mathcal{M}_n$ et $\mathcal{M}_t$: $\mathcal{M} = \mathcal{M}_n + \mathcal{M}_t$
$\mathcal{M}_n$ est le moment du couple de résistance au pivotement
$\mathcal{M}_t$ est le moment du couple de résistance au roulement.

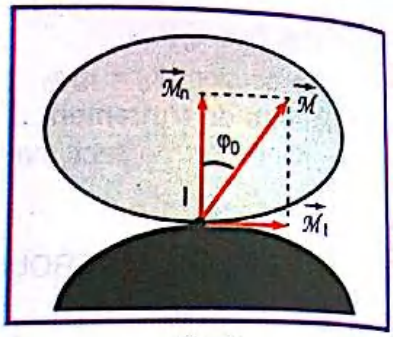


Fig. 4

3.1 LA RÉSISTANCE AU PIVOTEMENT PEUT INTERVENIR PAR EXEMPLE DANS LES INSTRUMENTS DE MESURE. (fig.5)

La pointe du pivot est un peu écrasée et repose sur une petite surface. Sur son support lors du mouvement (de pivotement ou de rotation) les forces de frottement de glissement forment un couple de résistance au pivotement. Une lubrification permet de réduire ces forces ; le couple est réduit par la petitesse des résistances qui séparent leurs points d'application de l'axe.
Il faut donc un pivot pointu, bien entretenu (lubrification par exemple) pour une bonne indication des résultats de mesures.

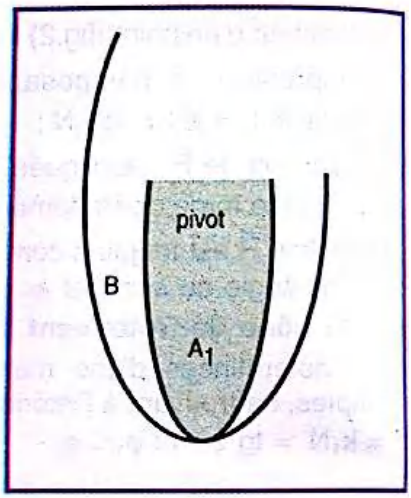


Fig. 5

3.2 LA RÉSISTANCE AU ROULEMENT PEUT ÊTRE ÉTUDIÉE SUR UN DISPOSITIF OÙ IL Y A ROULEMENT D'UN CYLINDRE (A) SUR UN PLAN B (fig.6)

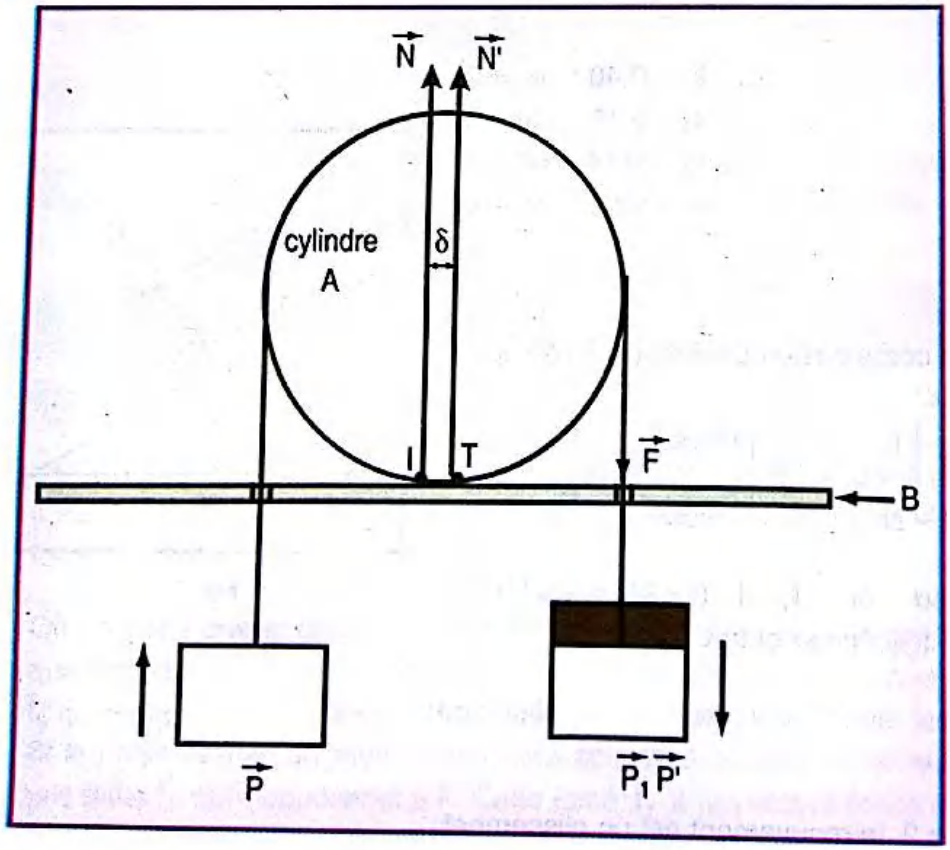


Fig. 6

Scanned by CamScanner

$\mathcal{M}_F^I$ = moment de F par rapport à la génératrice de trace I sur le plan B.

Si $\mathcal{M}_F^I$ = C est faible, le cylindre reste immobile. Lorsque C atteint une certaine valeur, le cylindre commence à rouler ; soit C = $\mathcal{M}$ sa valeur. Le couple de frottement $\mathcal{M}_1$ est constant au cours du mouvement. Le couple de démarrage

$\mathcal{M} = N\delta$ $\quad$ $\mathcal{M}_1 \leq N\delta$

On a introduit le déplacement δ = II' dont le produit par la réaction normale N donne la valeur limite du couple (moment) de résistance de roulement. Le couple Nd est en sens inverse du mouvement de rotation.



Remarques.

- Nδ est le moment de la force par rapport à I : $\vec{N}$' (sur la figure.6) est égale (équipollente) à $\vec{N}$; le point d'application de $\vec{N}$' est I'
- Il existe toujours une force de frottement de glissement qui est vaincue : c'est justement pourquoi il y a roulement sans glissement. Voici quelques ordres de grandeur trouvés pour le paramètre δ qui permet de calculer $\mathcal{M}$ connaissant N la réaction normale dépendant du poids du cylindre. (corps A).

Rouleaux de bois sur bois .....δ = 0,5 à 1,5 mm
Roue de wagons sur rails .....δ = 0,5 à 1 mm
Roue de voitures sur pavés.....δ = 18 à 25 mm

4. APPLICATIONS DES FROTTEMENTS

4.1 DÉMARRAGE D'UN TRAIN EN PALIER

Indiquons tout d'abord que les frottements s'opposent au glissement des roues et favorisent donc le démarrage (les roues motrices doivent avoir pour cela des poids importants).
Au démarrage, la résultante des réactions des rails équilibre le poids du train et la force de traction horizontale
$\vec{R} = \vec{P} + \vec{F}$ Soit $\vec{R}_N = \vec{P}$; $\vec{R}_T = \vec{F}$
La loi de frottement se traduit par : $\vec{F} \leq k.\vec{P}$
k = 0,14 par temps sec
k = 0,1 par temps humide

A. N :

On donne P = 72 tonnes. Calculer les Forces F_0 à appliquer au démarrage ?
Solution :
en appliquant la formule, F = kP on trouve :
a) F_0 = 10 tf
b) F_0 = 7,2 tf

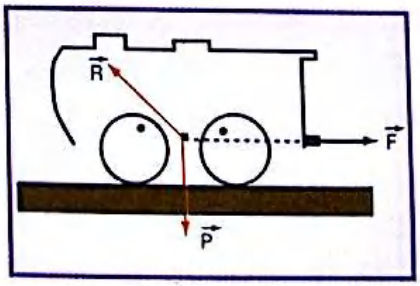


Fig. 7

Scanned by CamScanner

4.2 DÉPLACEMENT D'UN OBJET SUR DES ROULEAUX

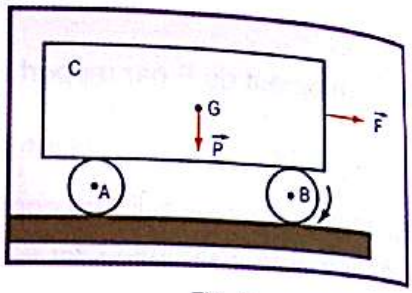


Fig. 8

Le corps C repose sur deux rouleaux A et B. On exerce une force pour déplacer C qui fait rouler A et B. On montre que :

$F = P\frac{\delta}{r}$ où : δ est le paramètre de roulement introduit en 3.2
r = rayon des rouleaux A et B.

A.N. A et B bois de 6 cm de diamètres ;
$r = 3$ cm
$\delta = 1$ mm

$$F = P \times \frac{0,1}{3} = \frac{P}{30}$$

En traînant C il faut une force F' beaucoup plus grande ;

$$F' = k.P = 0,33.P \approx \frac{P}{3} > \frac{P}{30}$$



4-3 RÉSISTANCE DE ROULEMENT D'UN VÉHICULE (par ses roues)

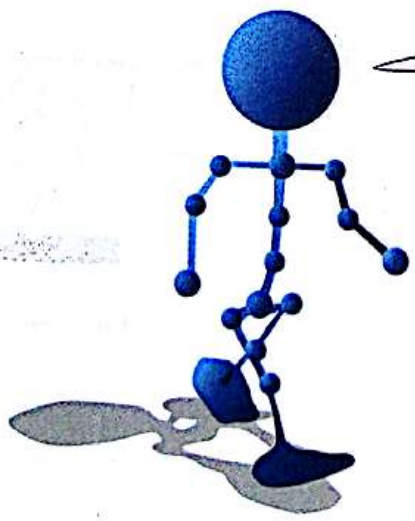
La résistance $\vec{R}$ que la roue subit de la part du sol et la résistance $\vec{R}'$ que l'essieu exerce sur la roue ont la même droite d'action. Cette direction fait un angle α avec la verticale

On a $\sin\alpha = \frac{\delta}{r} + \frac{\delta}{r'}\sin\varphi$

δ = paramètre de roulement
r = rayon de la roue
r' = rayon de l'essieu
φ = angle formé par $\vec{R}$ et la normale
$\sin\alpha$ mesure la résistance en question

$\frac{\delta}{r}$ = résistance au roulement

$\frac{\delta\sin\varphi}{r'}$ = roulement à l'essieu, réduit par l'utilisation de billes de roulement.



Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Action mécanique ou force ; Action repartie en volume ; Action mécanique ou force à distance ; Vecteur-force ; Dynamique ; Action repartie en surface ; Action mécanique ou force de contact ; Interaction réciproque ; Force élémentaire ; Équilibre stable ou indifférent ; Équilibre instable ; Un plan incliné ; Ligne de plus grande pente ; Pente du plan incliné ; Moment d'une force par rapport à un axe ; Couple de forces ; Couple de torsion ; Statique ; Receveur ; Action mécanique localisée ; Grandeur physique à caractère vectoriel ; Système mécanique ; Force extérieure ; Force appliquée ; Barycentre ; Vecteur champ de pesanteur ; Tension d'un fil ou d'un ressort ; Composante tangentielle ; Forces de frottement ; forces de frottement au départ ; forces de frottement en marche ; cône de frottement ; angle de frottement ; moment des forces de résistance au roulement ; forces de glissement ; paramètre de roulement.

EVALUATION

1. *La déformation d'un corps est-elle due à une action mécanique ?*
2. *Le poids d'un corps est - ellle une action à distance, répartie en volume ?*
3. *Le poids d'un corps est - ellle une action à distance localisée au centre de gravité du corps ?*
4. *Une bille parfaitement sphérique sur une surface parfaitement polie et plane exerce-t-elle sur cette surface une action de contact localisée ou répartie ?*
5. *Une action mécanique répartie est-elle toujours modélisable par un vecteur force unique ?*
6. *Le nombre d'actions mécaniques est-il égal au nombre d'auteurs ?*
7. *Une action mécanique peut-elle être à la fois répartie et à distance ?*
8. *Les vecteurs tension aux extrémités d'un fil tendu sont-ils orientés vers l'extérieur du fil ?*
9. *Pour allonger un ressort faut-il exercer sur lui deux forces ?*
10. *Les vecteurs tension aux extrémités d'un ressort déformé ont-ils la direction de l'axe du ressort et sont-ils orientés vers l'intérieur du ressort ?*
11. *Une action d'origine électrostatique est-elle une action à distance, localisée, attractive ou répulsive ?*
12. *L'interaction entre deux protons d'un noyau est-elle une interaction de contact, à distance, répulsive ?*
13. *Le poids d'un kilogramme de plomb est-il plus grand que le poids d'un kilogramme de coton en un même lieu ?*
14. *Peut-on exprimer le poids d'un corps en kilogramme ?*
15. *Le boutiquier d'en face pèse-t-il le poids du sucre que vous vous apprêtez à acheter ?*
16. *Dans un contact sans frottement, que peut-on dire de la réaction du support sur un corps en contact avec lui ?*

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

① *Le schéma de la figure 1 ci-dessous représente un anneau A de masse négligeable, en équilibre sous l'action de trois forces. Le solide S a une masse m de 1 kg. L'angle α est égal à 45°. Déterminer les tensions des fils Cb et C'e et la réaction R du crochet C.*
On donne g = 9,8 N/kg.

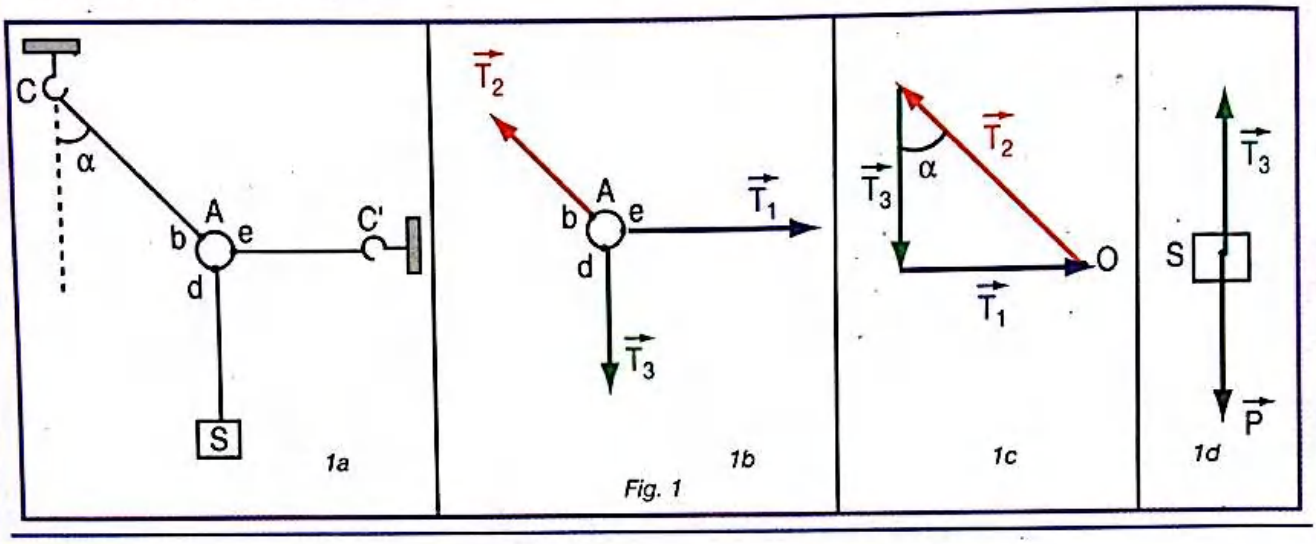


Fig. 1

Solution (Le système considéré est l'anneau A)

Système anneau A. Les forces appliquées sur A sont les tensions des brins de fil $\vec{T_1}$, $\vec{T_2}$ et $\vec{T_3}$ (Fig. 1b). A est en équilibre donc $\vec{T_1} + \vec{T_2} + \vec{T_3} = \vec{0}$ et les trois forces sont concourantes. En construisant le triangle vectoriel, à partir d'un point O origine, on a le schéma de la figure 1c un triangle rectangle isocèle.
Par conséquent $T_1 = T_3$ et ou $T_2^2 = T_1^2 + T_3^2 = 2\,T_1^2$ ou $T_2 = T_1\sqrt{2} = T_3\sqrt{2}$

Le calcul de la valeur de T_3 ou de T_1 permet de trouver la valeur de T_2 ou inversement.
Pour cela considérons le système S (Fig. 1d). Il est soumis à la tension $\vec{T_3}$ et à son poids $\vec{P}$.
S est en équilibre sous l'action de ces deux forces, par conséquent $\vec{T_3} + \vec{P} = \vec{0}$ et $T_3 = -P = mg$ ou $\mathbf{T_3 = mg = T_1}$.

AN :

m = 1kg ; g = 9,8 N/kg : $P = T_3 = T_1 = 9{,}8$ N et $T_2 = 13{,}8$ N

Remarque :

une autre manière de résoudre ce problème aurait été de décomposer tous les vecteurs force dans un repère $(\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{Oy})$ comme décrit dans la figure 10. On écrit les conditions d'équilibre selon chaque axe : Selon l'axe $\overrightarrow{Oy}$ on a $T_{2y} = P$
et selon $\overrightarrow{Ox}$ $T_{2x} = T_1$. Sachant que $T_{2y} = T_2 \cos\alpha$ et $T_{2x} = T_2 \sin\alpha$ on retrouve les mêmes résultats.

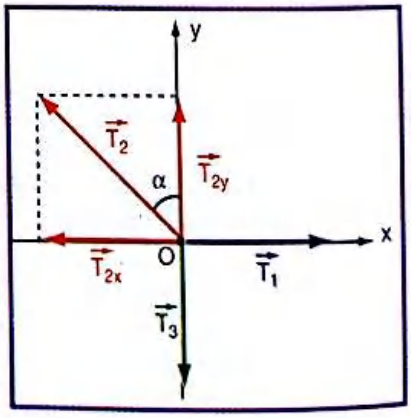


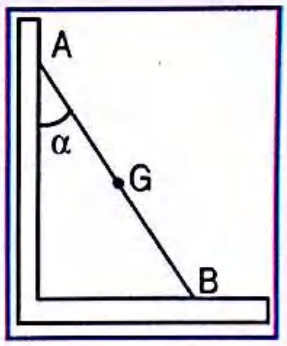
Fig. 2

Scanned by CamScanner

② *Une échelle de masse m, est appuyée contre un mur vertical avec lequel elle fait un angle α. Son centre de gravité G est situé au milieu de AB. On supposera les frottements négligeables au niveau du mur et les contacts localisés.*

Calculer les intensités des réactions du mur et du sol horizontal sachant que m = 20 kg,

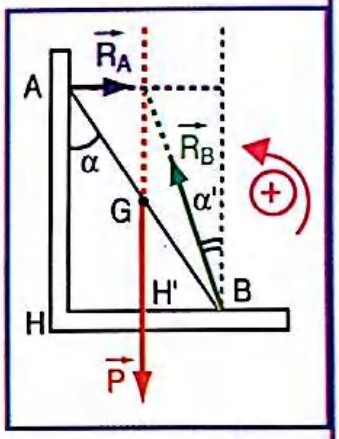
g = 10 N/kg et α = 30°.



Solution

Le système est l'échelle. Le milieu extérieur est constitué par le mur, le sol et la terre. L'échelle est donc soumise à trois forces :

- Son poids $\vec{P} = m\vec{g}$, force (à distance exercée par la terre) de ligne d'action, la verticale et de point d'application le centre de gravité G de l'échelle.
- La réaction $\vec{R}_A$ du mur, force (de contact localisée) de ligne d'action normale au mur (les frottements sont négligeables) et de point d'application A.
- La réaction $\vec{R}_B$ du sol, force (de contact localisée) de ligne d'action non connue et de point d'application le point B.



L'échelle est en équilibre sous l'action de trois forces. Ces trois forces sont donc concourantes.

Les conditions générales de l'équilibre sont $\vec{R}_A + \vec{R}_B + \vec{P} = \vec{0}$ et $\mathcal{M}_{\vec{R}_A/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}_B/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = 0$,

Δ étant un axe fixe de rotation autour duquel l'échelle est susceptible de tourner.

Pour trouver la ligne d'action de $\vec{R}_B$ il suffit de construire le triangle vectoriel sachant que la ligne d'action de $\vec{P}$ est verticale et celle de $\vec{R}_A$ horizontale. Le triangle vectoriel obtenu est rectangle d'hypoténuse $\vec{R}_B$; par conséquent que la ligne d'action de $\vec{R}_B$ n'est pas la verticale.

On considère que Δ passe par B et est perpendiculaire au plan de la figure.

Posons AH la distance entre la ligne d'action de $\vec{R}_A$ et Δ ; avec H le point de rencontre entre le mur et le sol ; on a AH = AB cosα ; H'B étant la distance entre la ligne d'action de $\vec{P}$ et Δ,

on a $H'B = \frac{HB}{2} = \frac{AB}{2}\sin\alpha$.

La distance entre la ligne d'action de $\vec{R}_B$ et Δ est nulle (puisque $\vec{R}_B$ rencontre Δ).

En choisissant comme sens positif de rotation le sens contraire au sens de déplacement des aiguilles d'une montre la condition $\mathcal{M}_{\vec{R}_A/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{R}_B/\Delta} + \mathcal{M}_{\vec{P}/\Delta} = 0$ devient :

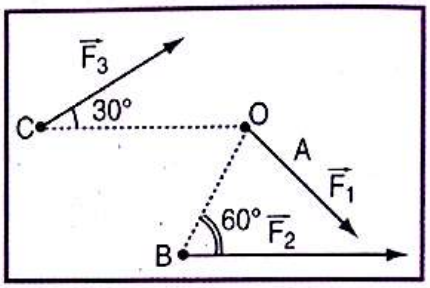
$$-R_A \times AH + P \times H'B + 0 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad R_A = P\frac{H'B}{AH} = P\frac{\frac{AB}{2}\sin\alpha}{AB\cos\alpha} \text{ ; soit } R_A = \frac{mg}{2}\operatorname{tg}\alpha.$$

Application numérique : $R_A = \frac{20 \times 10 \times \operatorname{tg}30°}{2} = 57{,}7$ N.

Scanned by CamScanner

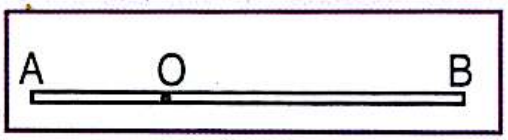
Le vecteur $\vec{R}_B$ est tel que :
- **sa droite d'action est perpendiculaire au mur (horizontale)**
- **son sens est sortant**
- **son point d'application est le point A**
- **son intensité est R_A = 57,7 N.**

EXERCICES



① *Δ est un axe perpendiculaire au plan de la figure dans lequel se trouvent les forces $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$. Sachant que Δ passe par le point O, calculer le moment des trois forces par rapport à Δ.*

On donne $2F_1 = F_2 = 6$ N, $F_3 = 4$ N ; $OC = 3.OB = 6.OA = 30$ cm.



② *Une tige AB, de masse négligeable, est mobile autour d'un axe qui est perpendiculaire en O au plan de la figure. OA = 25 cm et OB = 50 cm. On suspend en A une masse $m_A = 400$ g.*

1°) *Quelle doit être la valeur de la masse m_B à suspendre en B pour maintenir la tige en équilibre horizontal ?*

2°) *La masse en B est diminuée de 100 g. Peut-on rétablir l'équilibre en suspendant en un point C de AB une masse de 200 g ? Quelle est la position de C ?*

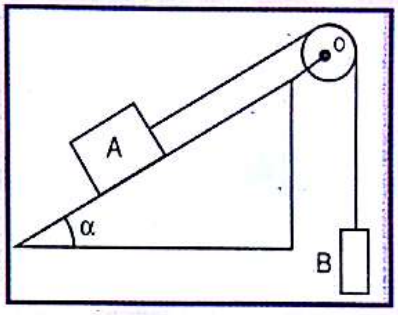
3°) *La tige est horizontale dans les conditions de la question 1 ; on l'incline d'un angle α. La tige reste-t-elle en équilibre dans cette position?*

③ *Deux solides A et B sont reliés par l'intermédiaire d'un fil inextensible de masse négligeable. Le fil passe dans la gorge d'une poulie de masse négligeable, fixée au sommet d'un plan incliné de l'angle α sur l'horizontal. Les frottements sont négligeables.*

Scanned by CamScanner

A est en contact avec le plan incliné tandis que B pend verticalement (voir figure ci-dessous).

Le système est en équilibre.

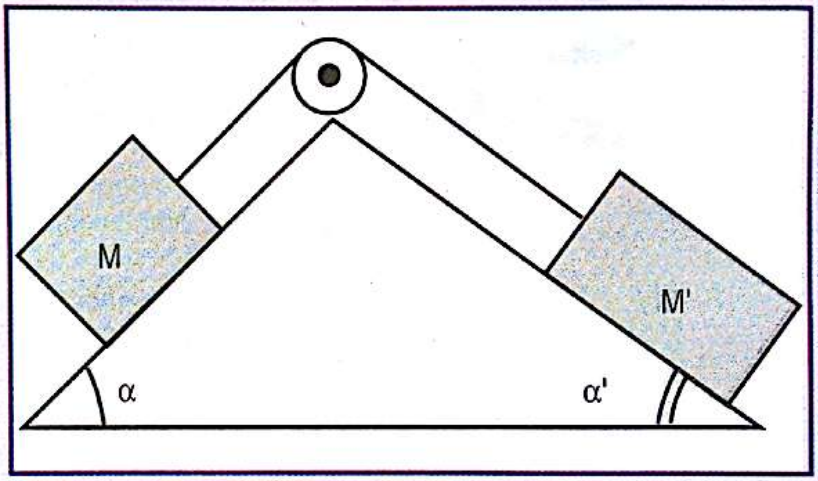


1°) Représenter toutes les forces qui s'exercent sur les différentes parties du système (A, B, poulie).

2°) Établir la relation entre m_A masse de A et m_B masse de B. Calculer m_B si $m_A = 300$ g et $\alpha = 30°$.

---

④ *Deux masses M et M', déposées respectivement sur deux plans inclinés d'angle α et α', sont reliées entre elles à l'aide d'un fil inextensible, de masse négligeable, passant dans la gorge d'une poulie. Les frottements entre les masses et les plans inclinés, entre la poulie et son axe de rotation, sont considérés comme nuls. Le système est en équilibre. Établir la relation entre M, M', α et α'.*



Application numérique : *M = 150 g, α = 30°, α' = 45°. Calculer M'.*

Scanned by CamScanner

OPTIQUE







INTRODUCTION

La lumière a toujours été pour l'homme un objet de curiosité et de recherche. Il n'est donc pas étonnant que l'on se soit attaché à l'étude de la lumière depuis des siècles : c'est elle qui nous permet de voir, mais aussi, à tous les animaux et à toutes les plantes de survivre.

L'optique a été d'abord la partie de la physique qui étudiait les phénomènes lumineux, c'est-à-dire les phénomènes qui impressionnent l'œil. Or, la lumière qui impressionne notre rétine n'est qu'une petite fraction des rayonnements qu'envoient au loin **les corps lumineux**. Dès qu'on a su utiliser d'autres enregistreurs que l'œil humain (par exemple, une plaque photographique), on a constaté que ces corps émettaient, outre de **la lumière visible**, des lumières invisibles à l'œil humain, de même nature qu'elle. C'est pourquoi, à partir du XIX^{e} siècle le domaine de l'optique s'est étendu à l'étude des radiations infra-rouges et ultra-violettes qui n'agissent pas sur la rétine, mais sont de même nature que la lumière visible.

On divise l'étude de l'optique en deux grandes parties :

1°) **l'optique physique** basée sur la nature ondulatoire de la lumière et qui étudie les propriétés qui en découlent.

2°) **l'optique géométrique** basée sur l'existence du rayon lumineux et qui étudie son cheminement dans différents milieux, la formation des images, la constitution et le fonctionnement de l'œil, de la loupe, du microscope, etc. (Chapitre.6 : Instruments d'optiques).

C'est cette deuxième partie, conforme au programme de 10^{e} que nous traiterons dans ce livre, la première sera développée dans des ouvrages ultérieurs (Physiques 11^{e} et 12^{e}).

Scanned by CamScanner

1 PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

PRÉALABLES

- Rappels mathématiques (les notions de géométrie euclidienne).

OBJECTIFS

- définir la lumière, une source de lumière
- distinguer une source lumineuse par elle-même d'un corps éclairé
- différencier une source ponctuelle et une source étendue
- définir les corps opaque, transparent et translucide, un rayon lumineux et les différents types de faisceaux
- énoncer le principe de la propagation rectiligne de la lumière
- décrire et interpréter la formation des ombres et des pénombres, les phénomènes d'éclipse

Scanned by CamScanner

1. SOURCES LUMINEUSES



1-1 DEUX TYPES DE CORPS LUMINEUX

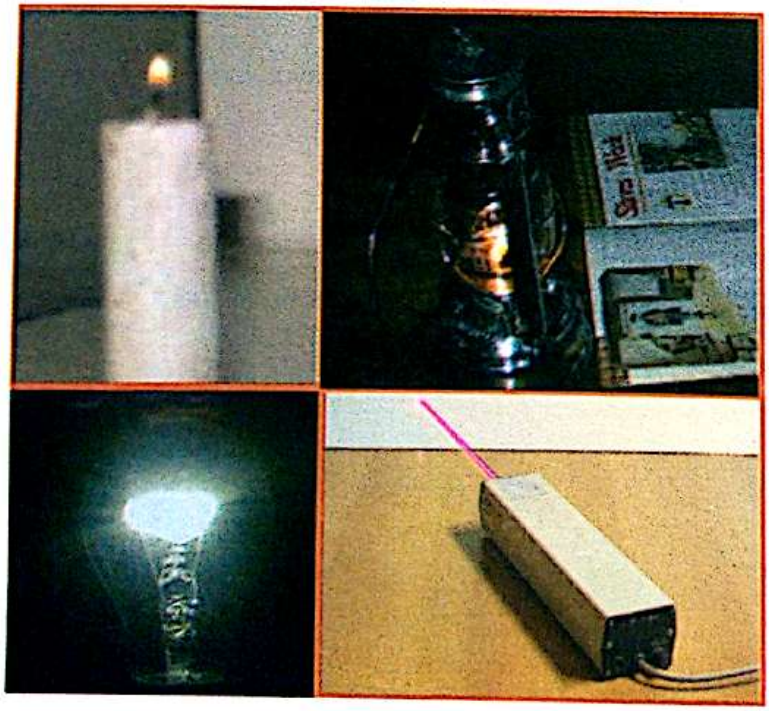
a) Corps lumineux par eux-mêmes : ils **émettent** de la lumière. On distingue :

- **Corps lumineux naturels** : soleil, étoiles, etc.



Le coucher du soleil à Barnako-MALI

- **Corps lumineux artificiels :** lampes à incandescence, à LASER*, les tubes fluorescents et les flammes (bougies, lampes à pétrole, lampes à gaz).

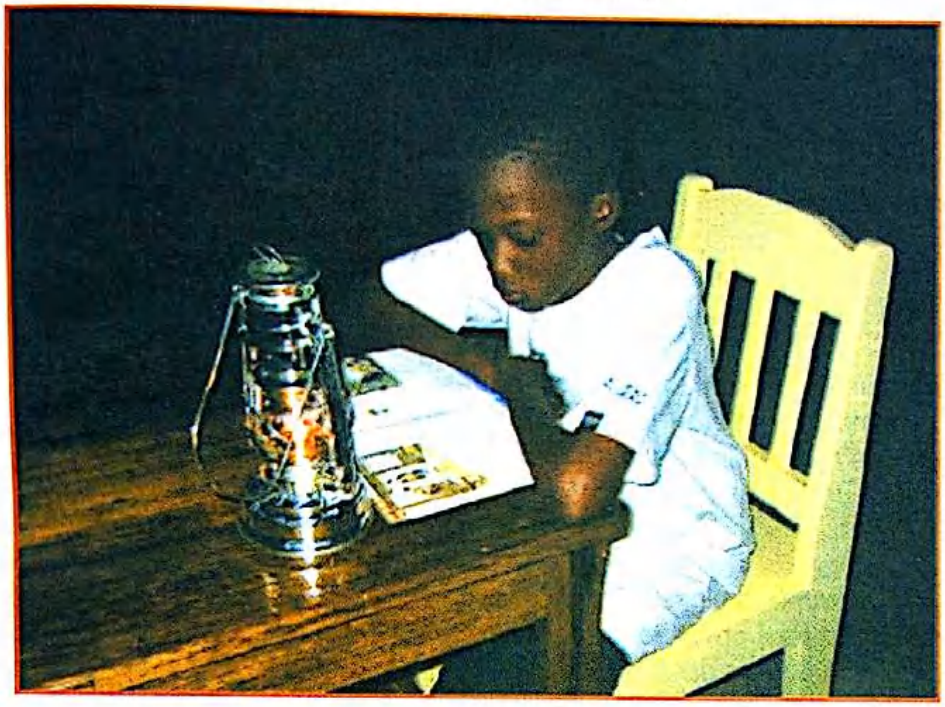


La bougie, la lampe à pétrole, la lampe à incandescence et le laser sont des corps lumineux artificiels

** LASER = Initiales de "Light Amplication by Stimulated Emission of Radiation" = Amplification de la lumière par émission stimulée des rayonnements.*

Scanned by CamScanner

b) Corps éclairés : Ce sont des corps qui ne sont visibles que lorsqu'ils reçoivent de la lumière d'un objet lumineux et qu'ils renvoient une partie de cette lumière dans toutes les directions. Exemple : table, livre, etc.
Ce phénomène s'appelle la **diffusion** de la lumière.



Le livre reçoit la lumière de la lampe et la renvoie dans toutes les directions.

Tous les corps ainsi éclairés jouent le même rôle que les corps lumineux ; les uns comme les autres sont appelés **sources lumineuses**.
Remarque : Certaines substances continuent à émettre de la lumière bien qu'elles ne soient plus éclairées. C'est le cas du sulfure de zinc et du phosphore. On dit que ces substances sont phosphorescentes.



1-2. SOURCES ÉTENDUES, SOURCES PONCTUELLES

a) Sources étendues : Les corps lumineux de grandes dimensions comme le soleil et la lune, ou de faibles dimensions comme une lampe électrique mais vus à une distance telles qu'ils aient l'apparence d'une surface sont appelés sources étendues.

b) Sources ponctuelles : Une source est dite ponctuelle, lorsque ses dimensions sont très faibles par rapport à la distance qui la sépare de l'observateur. Dans ces conditions, une telle source peut être assimilable à un point, bien que, pratiquement il soit impossible de réaliser une source rigoureusement réduite à un point géométrique.

Dans la plupart des cas, nous admettons qu'une source étendue est formée d'une infinité de points lumineux indépendants les uns des autres.



étoile, lune

Scanned by CamScanner

1-3 CORPS OPAQUES, TRANSPARENTS ET TRANSLUCIDES

a) Les corps opaques : Ce sont des corps qui ne se laissent pas traverser par la lumière. Placés entre l'œil et un objet lumineux, ils empêchent la vision de cet objet : livres, bois, métaux, etc.

b) Les corps transparents : Ce sont des corps qui se laissent traverser par la lumière et on voit nettement la forme des objets à travers eux : air, verre, etc.

c) Les corps translucides : Ils sont intermédiaires entre les corps opaques et les corps transparents. Ils laissent passer une partie seulement de la lumière qu'ils reçoivent. Ils ne permettent pas de distinguer la forme des objets placés derrière eux : verre dépoli, papier huilé, etc.
En fait, seul le vide est parfaitement transparent. Tous les autres absorbent ou diffusent plus ou moins la lumière, et finissent par devenir pratiquement opaque sous une épaisseur suffisante. Exemple : l'eau devient opaque sous une épaisseur de plus de 100 m.



• Célérité de la lumière.
La lumière se propage avec une extrême rapidité. Sa vitesse de propagation, appelée **célérité de la lumière** et notée C, dépend du milieu qu'elle traverse. Elle est de 300.000 km/s dans le vide.

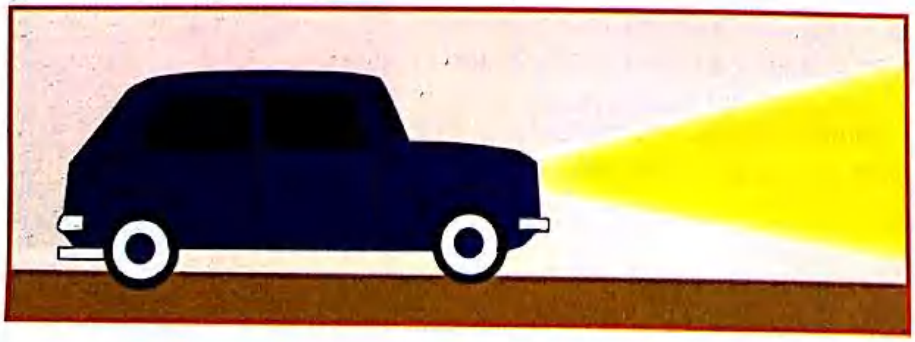


2. PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

2-1 OBSERVATIONS

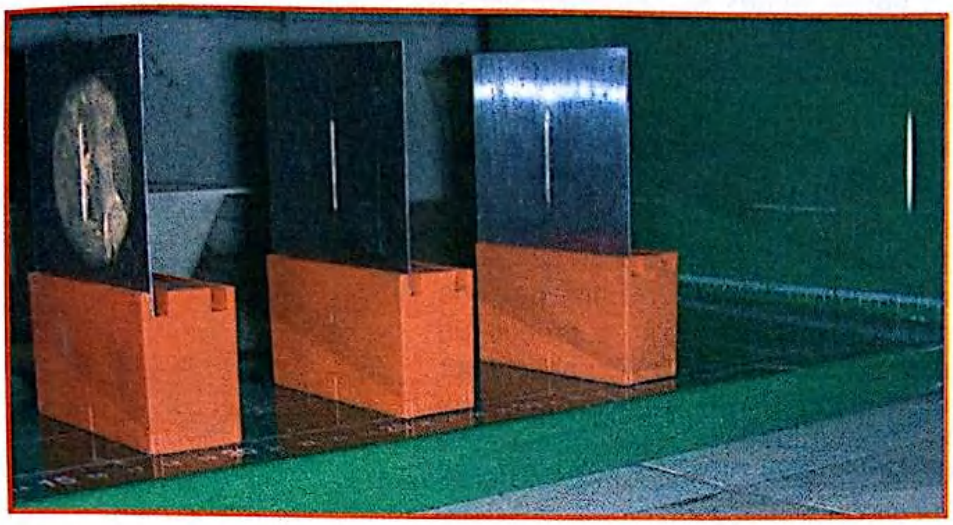
Allumons une torche dans une salle bien sombre. S'il y a de la poussière (ou de la fumée), on peut aisément reconnaître les limites de la région éclairée. Ces limites sont rectilignes.

On observe le même phénomène quand la lumière pénètre par une ouverture étroite dans une salle obscure ou avec des phares de voiture par nuit brumeuse.
Ces faits d'observations nous montrent que la lumière se propage en ligne droite.



*On voit dans une nuit brumeuse les faisceaux issus des phares d'une voiture. Ces faisceaux sont limités par des **droites**.*

Scanned by CamScanner



propagation rectiligne de la lumière

L'expérience suivante va nous permettre de la vérifier :
On fixe sur une table trois écrans percés chacun d'un trou : A, B et C.(Fig.1)
L'œil de l'observateur placé en O ne perçoit la lumière que si les trous A, B et C sont alignés.

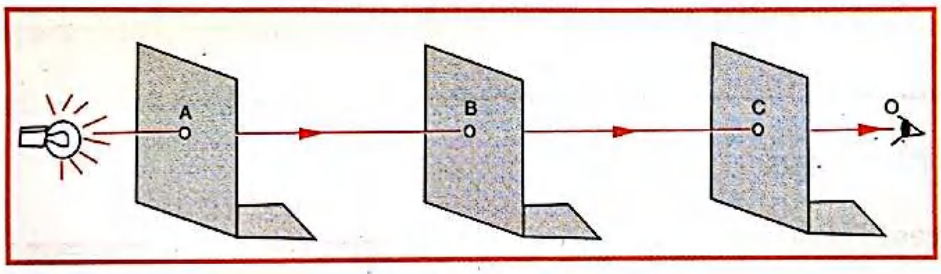


Fig.1 L'œil placé en O ne perçoit la lumière que si les trous A, B, et C sont alignés

2-2 ENONCE DU PRINCIPE

• Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite.

Un milieu est homogène si toutes ses parties sont identiques. Ex : le vide, le gaz, l'air atmosphérique, les verres et les liquides.
Un milieu est isotrope s'il est doué des mêmes propriétés dans toutes les directions. Ex : Un cristal est homogène mais non isotrope. En effet, dans certains cristaux de quartz la vitesse de la lumière est plus grande parallèlement aux arêtes du prisme que perpendiculairement à ces arêtes.

3. FAISCEAUX ET RAYONS LUMINEUX

3-1 DEFINITIONS



Fig.2 Représentation schématique d'un rayon lumineux avec le sens de propagation

a) Rayons lumineux : On appelle rayon lumineux la droite suivant laquelle se propage la lumière. La flèche placée sur la droite indique le sens de propagation de la lumière.
Il faudra sans cesse se rappeler qu'un rayon lumineux n'est pas expérimentalement isolable. Il nous est seulement très utile pour les constructions et les raisonnements optiques. (Fig.2)

Scanned by CamScanner

b) Faisceaux lumineux : Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux.
C'est la portion de l'espace dans laquelle se propage la lumière issue d'une source ou sortant d'un appareil d'optique. (lampe ou projecteur)
c) Pinceaux lumineux : Un faisceau lumineux très étroit est appelé pinceau lumineux.



Remarque : On peut être tenté de réaliser une expérience tendant à isoler un rayon lumineux en limitant un pinceau lumineux par une ouverture de plus en plus petite. On constate qu'il se produit un phénomène tout à fait inattendu : **la diffraction** (fig.3) On obtient sur l'écran un point lumineux, trace du rayon théorique et des anneaux concentriques de luminosité décroissante avec le rayon. Cela rend impossible la formation d'une droite lumineuse unique. L'étude de ce phénomène dépasse les objectifs de cet ouvrage.

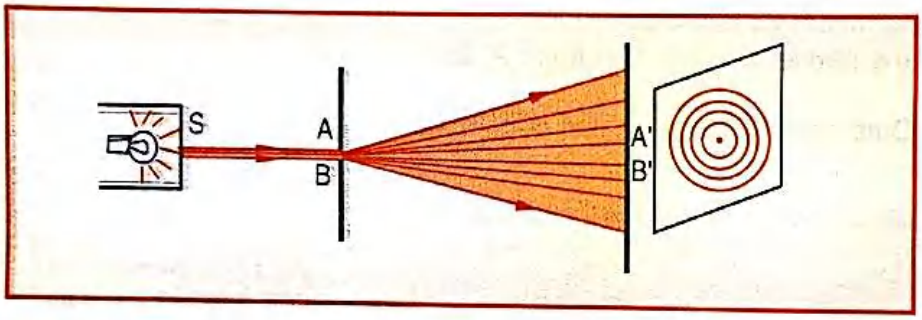
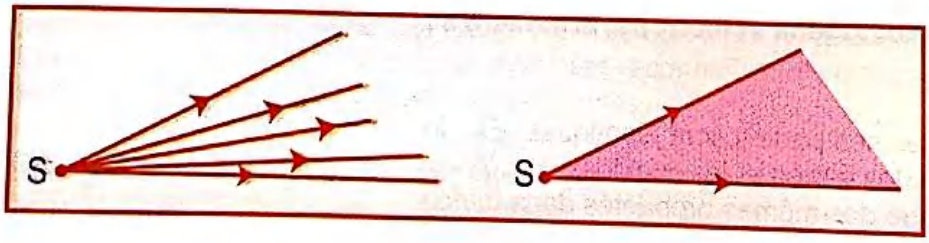


Fig.3 Diffraction de la lumière par une ouverture très petite

3-2. DIFFÉRENTS TYPES DE FAISCEAUX

On distingue trois types de faisceaux lumineux :
a) Faisceau divergent : Les rayons lumineux partent d'un même point. (fig.4)



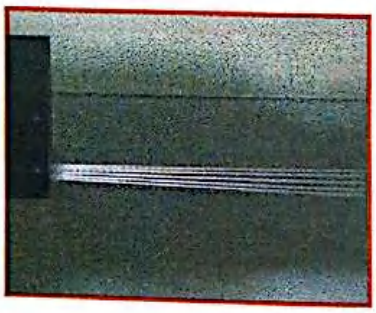
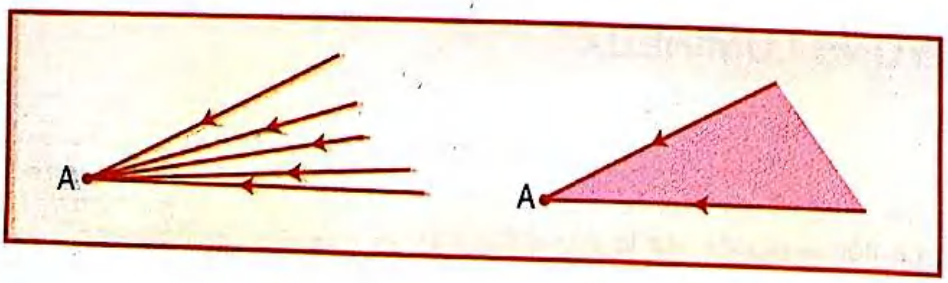


Fig.4 faisceau divergent

b) Faisceau convergent : les rayons lumineux se dirigent vers un même point. (fig.5)



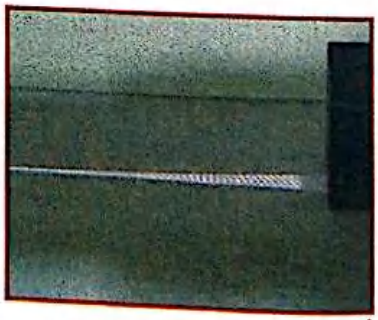
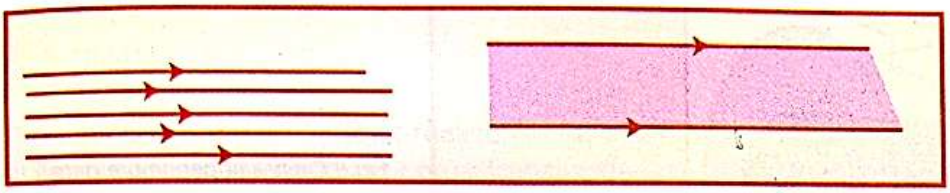


Fig.5 faisceau convergent

Scanned by CamScanner

c) Faisceau cylindrique ou parallèle : Tous les rayons qui le composent sont parallèles. (fig.6)



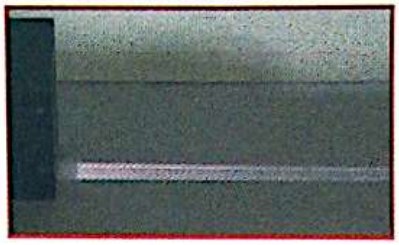


Fig.6 faisceau cylindrique ou parallèle

4- APPLICATIONS DE LA PROPAGATION RECTILIGNE DE LA LUMIERE

4-1. OMBRES ET ECLIPSES

a) Les ombres

La lumière se propage en ligne droite, sans contourner les obstacles. Derrière ces obstacles, il n'y a plus de lumière, mais de l'ombre. Entre une source lumineuse et un écran E, interposons un corps opaque de forme quelconque par exemple une sphère. On observe :

• **Cas d'une source ponctuelle.** (fig.7)

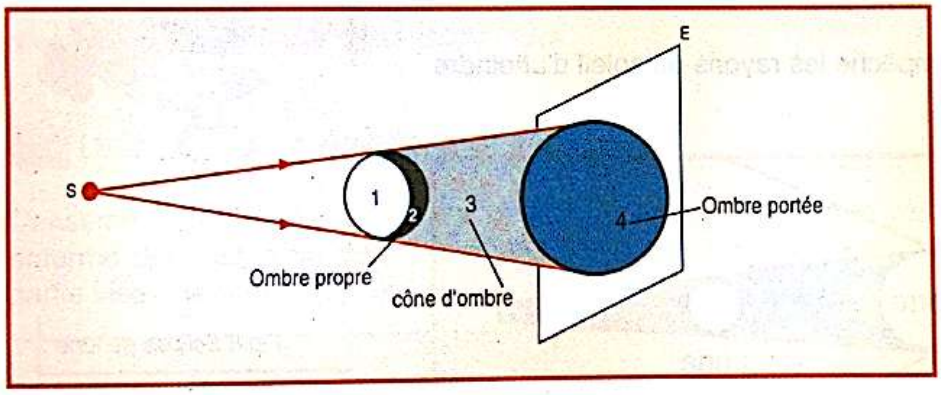


Fig.7 Ombres dues à une source ponctelle

Zone 1 : éclairée. Elle reçoit directement la lumière issue de S
Zone 2 : zone obscure sur le corps opaque. C'est l'ombre propre.
Zone 3 : espace limité par un cône de sommet S qui ne reçoit pas de la lumière issue de S. C'est le cône d'ombre.
Zone 4 : c'est l'ombre portée par la sphère sur l'écran.

Scanned by CamScanner

• **Cas d'une source étendue.** (fig.8)

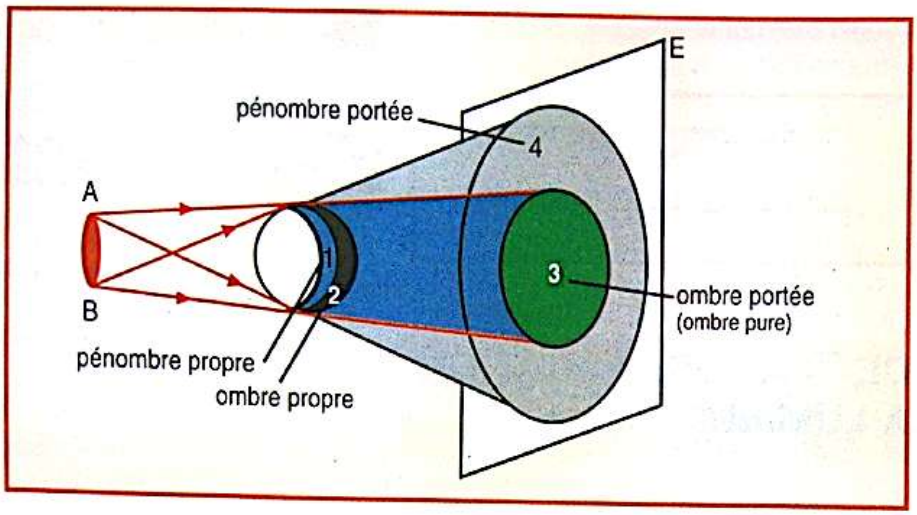


Fig.8 Ombre et pénombre dans le cas d'une source étendue

Zone 1: pénombre propre
Zone 2 : ombre propre
Zone 3 : ombre portée
Zone 4 : pénombre portée



b) Les éclipses

Les éclipses sont des phénomènes au cours desquels un astre en cache un autre. Ils s'expliquent de la même façon que les ombres.

• Eclipse de lune

Elle se produit quand la terre empêche les rayons du soleil d'atteindre la lune. (fig.9)

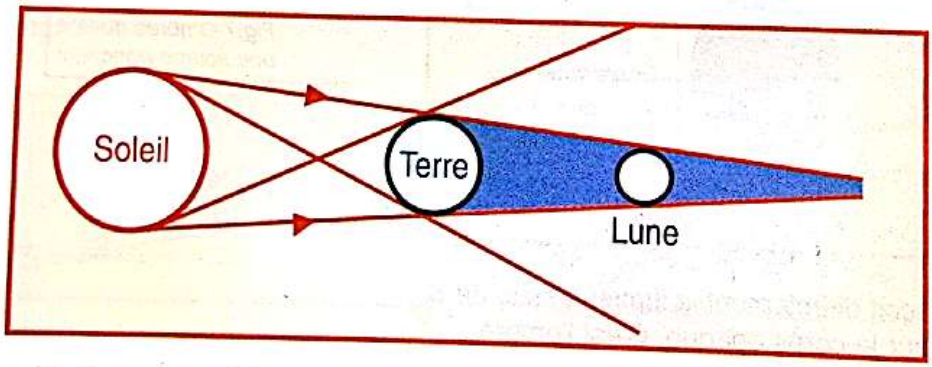


Fig.9 Eclipse de lune

• Eclipse de soleil

L'éclipse de soleil a lieu quand la lune empêche les rayons solaires d'atteindre la terre. (fig.10)

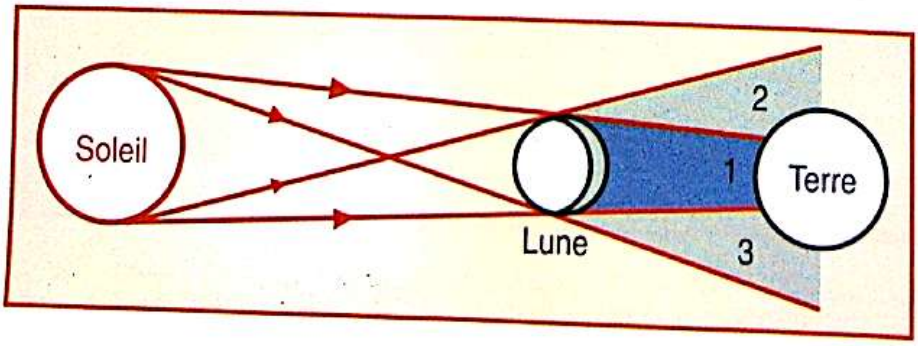


Fig.10 Eclipse de soleil

Scanned by CamScanner

L'éclipse est totale pour les endroits de la terre situés dans la zone1 (zone d'ombre propre).
Elle est partielle pour les endroits de la terre situés dans les zones 2 et 3 qui sont des zones de pénombre.

4-2 CHAMBRE NOIRE

Prenons une boîte en carton : réalisons une petite ouverture en avant et fermons l'arrière avec un corps translucide, une plaque de verre dépoli par exemple.

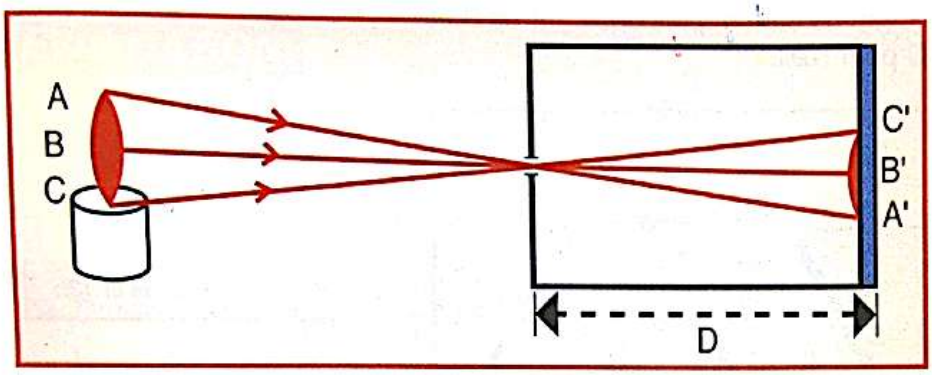


Fig.11 Reproduction d'un objet dans une chambre noire. D = profondeur de la chambre

Orientons la petite ouverture vers un objet lumineux, bougie ou lampe. Sur la plaque de verre dépoli, apparaît la reproduction de la bougie, plus petite et renversée.

Pour une observation plus nette, on place la boîte dans l'ombre, en la recouvrant par exemple d'une étoffe noire.



4-3. LE DIAMÈTRE APPARENT

L'ensemble des rayons issus de l'objet, et entrant dans l'œil, est enfermé dans un cône dont le sommet est la pupille, et la base, la partie visée de l'objet. (fig.12)

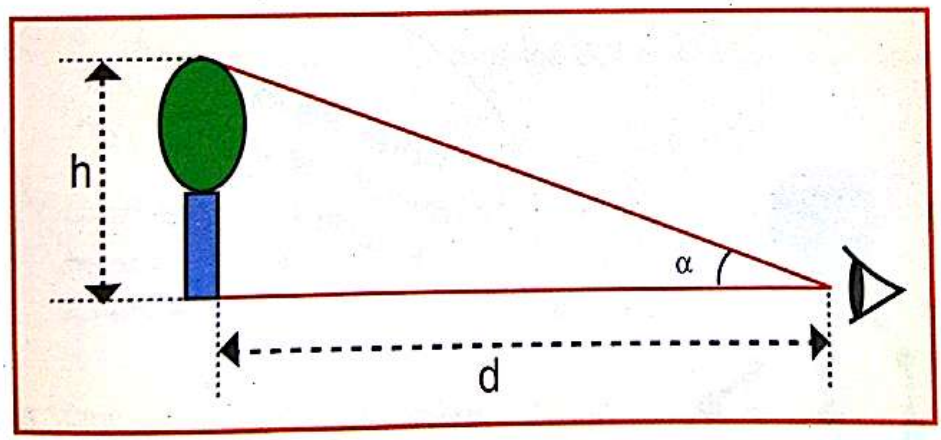


Fig.12 diamètre apparent d'un objet

L'angle α au sommet du cône est appelé **diamètre apparent** de l'objet. C'est l'angle sous lequel l'œil d'un observateur voit un objet.
Si *h* est la hauteur de l'objet et *d* sa distance à l'œil, et si *h* est petit

Scanned by CamScanner

devant *d*, tg $\alpha = \frac{h}{d} \approx \alpha$ (rad).

Exemple : De la Terre, le diamètre apparent du soleil est voisin de 32' d'arc ($1' \approx 3.10^{-4}$ rad.).

4-4. ALIGNEMENTS OPTIQUES

La propagation rectiligne de la lumière permet d'effectuer des visées optiques.
On fixe une épingle A sur un morceau de carton, puis deux autres B et C de façon que A masque B et C pour l'œil.

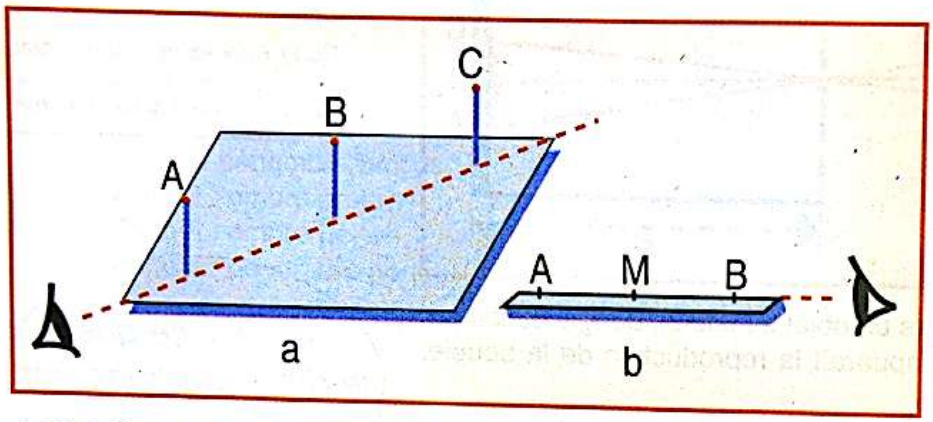
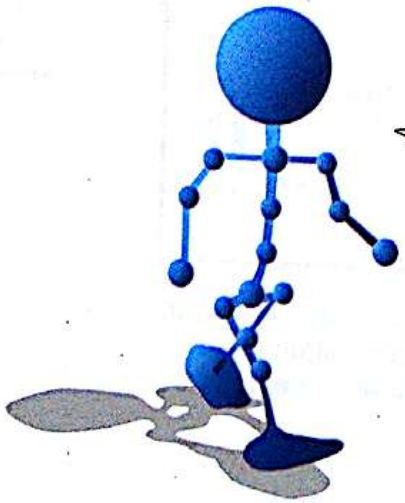


Fig.13a et 13b

A, B et C sont alignés car la lumière issue de B et de C se propageant en ligne droite est arrêtée par A. (fig.13a)
Pour vérifier que notre règle est droite nous la disposons à hauteur de l'œil (fig.13b).
Les points A, M et B sont alignés le long d'un rayon lumineux allant de B à la pupille de l'œil. Ceux issus de A et M sont arrêtés par B.
Ce procédé de contrôle immédiat est utilisé par le menuisier qui veut se rendre compte que sa planche a été rabotée "bien droit".
C'est ce même principe qui est appliqué pour la visée sur les armes à feu et les visées topographiques.



Contrôle utilisé par le menuisier



Après les exercices, ouvrons le chapitre sur l'étude de la réflexion de la lumière.

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Propagation rectiligne ; source de lumière ; source ponctuelle ; source étendue ; corps opaque, translucide, transparent, faisceau convergent, divergent, cylindrique ; éclipse ; diamètre apparent ; visée optique.

EVALUATION

1. *a) Citer deux sortes d'objets lumineux.*
   b) Comment peut-on savoir si un objet est lumineux ou s'il ne l'est pas ?

*2. *Quelle différence existe -t-il entre une planète et une étoile en tant que sources lumineuses ? Venus qui apparaît dans le ciel dès la tombée de la nuit et qui disparaît au lever du jour porte le nom « d'Etoile du Berger ». Ce nom vous semble-t-il bien choisi ? Pourquoi ?*

3. *Votre page de livre (photo) est-elle une source de lumière ? Quelle est l'origine et quel est le trajet suivi par la lumière qui vous permet de la voir ?*

4. *Enumérer les différents modes de production artificielle de lumière et trouver un exemple pour chacun.*

5. *Donner le phénomène par lequel un filament de lampe émet sa lumière.*

*6. *La nuit, on voit souvent des flammes légères et fugitives au cimetière. Pouvez-vous expliquer l'origine de cette lumière ?*

*7. *La grand-mère raconte : « les méchants anges s'opposent à la venue de la pluie, et les bons anges les chassent en leur jetant des barres de fer rougies au feu » C'est l'origine des éclairs. A-t-elle raison ? Pouvez-vous expliquer l'origine de cette lueur brève et très vive ?*

8. *Citer des récepteurs de lumière.*

9. *Décrire une expérience montrant que la lumière se propage en ligne droite. Existe-t-il des cas où cette proposition semble inexacte ?*

Scanned by CamScanner

*10. Au congé de Pâques (en saison chaude), Mamadou voyageait sur Mopti avec son frère en voiture. Celui-ci lui posa la question suivante : « Pourquoi avons-nous l'impression d'avoir chaque fois des nappes d'eau devant nous sur le goudron » ? Pouvez-vous l'aider à répondre ? Le principe de propagation rectiligne de la lumière est-il en cause ?

11. Quand dit-on qu'un corps est transparent, opaque, translucide ? Donner deux exemples de chaque cas. Expliquer la différence entre un corps translucide et un corps transparent.

12. Expliquer la formation des ombres et distinguer une ombre propre et une ombre portée.

13. Expliquer la succession du jour et de la nuit sur la terre sachant que celle-ci tourne sur elle-même.

14. Expliquer le phénomène des éclipses (de lune, de soleil)

*15. Nos ancêtres comprenaient bien le phénomène des éclipses. Pouvez-vous le confirmer en explicitant la phrase Bamanan suivante par laquelle ils désignaient une éclipse de lune : « ja kuma yé kalo minè » ?

16. Montrer, en vous aidant d'un schéma, pourquoi la reproduction donnée par une chambre noire est l'inverse de l'objet ?

17. Un œil observe une tour de 30 m de hauteur située à 2 km de lui. Sous quel diamètre apparent voit-il cette tour ? Donner sa valeur en radians et en minutes d'angle.
Rép. : ≈ 52'

18. Sous quel diamètre apparent voit-on la lune et le soleil à partir de la terre ? On donne :
Rayon de la lune = 1740 km
Distance terre-lune = 385.000 km
Rayon du soleil = 700.000 km
Distance terre-soleil = 150millions de km
Rép. : Soleil = $9{,}3.10^{-4}$ rad. = 32'

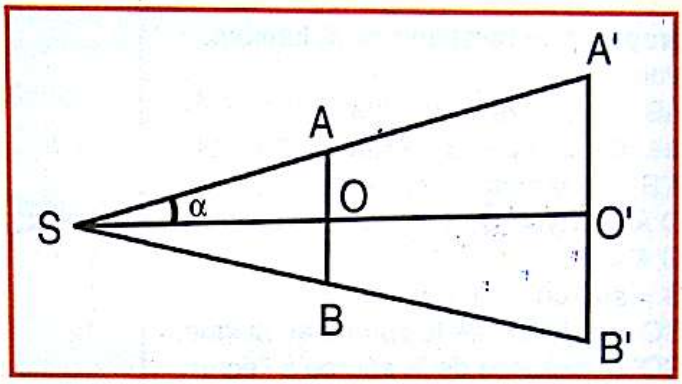
20. La terre tourne autour du soleil. Sachant que la distance terre-soleil est 150 millions de km calculer la durée mise par la lumière du soleil pour nous parvenir. **Rép. : 8 min 20 s.**

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

(1) *Un disque opaque a 10 cm de diamètre. Il est placé entre une source de lumière ponctuelle et un écran E parallèle à ce disque, à 50 cm de la source et à 2 m de l'écran. Calculer le diamètre de l'ombre portée sur l'écran.*

Solution



On applique le principe de la propagation rectiligne de la lumière.
(voir figure)
S = source de lumière
AB = diamètre du disque opaque
O = centre du disque opaque OA = rayon du

disque $OA = \frac{AB}{2}$

SO = distance de la source lumineuse au disque
O' = centre de l'ombre portée sur l'écran
A'B' = diamètre de l'ombre portée sur l'écran A'B' = ?

O'A' = rayon de l'ombre portée sur l'écran $O'A' = \frac{A'B'}{2}$

OO' = distance de la source à l'écran OO' = 2 m = 200 cm
SO' = distance de la source à l'écran SO' = SO + OO' = 50 + 200 = 250 cm
Les triangles rectangles SOA et SO'A' donnent :

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{OA}{OS} = \frac{O'A'}{O'S} \Rightarrow O'A' = \frac{OA}{OS} \times O'S$$

$$\frac{A'B'}{2} = \frac{1/2\ AB}{OS} \times O'S \Rightarrow A'B' = 2\ \frac{AB}{2.OS} \times O'S = \frac{AB}{OS} \times O'S$$

Le diamètre de l'ombre portée sur l'écran est :

$$A'B' = \frac{AB}{OS} \times O'S$$

AN :
AB = 10 cm
OS = 50 cm
O'S = 250 cm

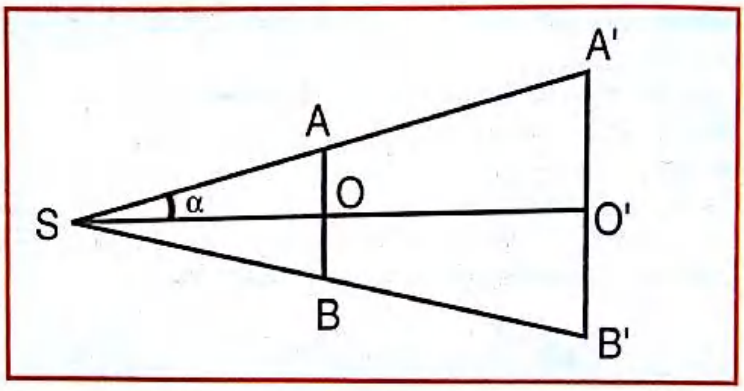
$$\Rightarrow A'B' = \frac{10}{50} \times 250 = 50 \text{ cm}$$

Scanned by CamScanner

② *Une source ponctuelle se trouve sur l'axe d'un disque opaque à 60 cm de ce disque. A quelle distance doit-on placer un écran parallèle au plan du disque pour que la surface de l'ombre soit n fois plus grande que la surface du disque ? A.N : n = 36*

Solution

On applique le principe de la propagation rectiligne de la lumière.
Voir figure
AB = diamètre du disque
⇒ OA = rayon du disque ; OA = R.
A'B' = diamètre de l'ombre portée ;
O'A' = rayon de l'ombre sur l'écran ;
O'A' = R'
S = source lumineuse.
SO = distance de la source au disque.
SO' = distance de la source à l'écran.
Les triangles rectangles SOA et SO'A' donnent :



$$\text{tg}\,\alpha = \frac{OA}{OS} = \frac{O'A'}{O'S} \Rightarrow \frac{R}{OS} = \frac{R'}{O'S} \qquad \frac{R'}{R} = \frac{O'S}{OS} \qquad (1)$$

Il faut que la surface de l'ombre portée soit n fois plus grande que celle du disque : S' = nS
avec S' = surface de l'ombre et S = surface du disque.
La surface d'un cercle est donnée par la relation $S = \pi R^2 \Rightarrow \pi R'^2 = n\pi R^2 \Rightarrow R'^2 = nR^2$

ou $\frac{R'^2}{R^2} = n$ et $\frac{R'}{R} = \sqrt{n}$ (2)

En comparant (1) et (2) on trouve : $\frac{O'S}{OS} = \sqrt{n}$ et $O'S = OS.\sqrt{n}$

AN :

$\left.\begin{array}{l} OS = 60\text{ cm} \\ n = 36 \end{array}\right\} \Rightarrow O'S = 60\sqrt{36} = 60 \times 6 = 360\text{ cm}$

Réponses aux questions d'évaluation précédées d'une « * »

2. Venus est une planète
6. Ces flammes sont dues à la combustion spontanée de gaz dégagés par de la matière organique, tels que phosphore d'hydrogène ou méthane.
7. A l'intérieur d'un nuage, le frottement sur l'air des gouttelettes de pluie, provoque une accumulation de charges électriques sur ce dernier. En général, le bas se charge négativement et le haut positivement. Lorsqu'une partie du nuage est surchargée, elle se décharge à terre.

Scanned by CamScanner

surtout quand le nuage passe au-dessus d'une hauteur. L'éclair est la manifestation visible de cette décharge entre nuages, ou entre nuage et sol ; et le tonnerre en est la manifestation sonore.

Conseils : en cas d'orage, se réfugier dans un fossé (ou dans un creux).

- Éviter les bicyclettes, les clôtures métalliques, les objets métalliques et les grands arbres isolés qui sont dangereux. Les voitures à toit métallique offrent une certaine sécurité.

10. En saison chaude, l'air devient hétérogène (la température diminue avec l'altitude) et la propagation n'est plus rectiligne. Les rayons ayant ainsi une trajectoire courbe pénètrent dans l'œil de l'observateur qui croît voir les nuages approximativement au niveau du sol. Alors, il a l'impression d'y percevoir une nappe d'eau. C'est le phénomène des mirages.

15. Traduction littérale :

. ja = ombre

. ku = queue (ku ma = avec queue)

. yé kalo miné = a attrapé la lune

Donc « l'ombre avec queue a pris la lune » = la lune est dans le cône d'ombre ; en fait, le cône d'ombre a la forme d'une queue.

EXERCICES

① *Une source de lumière en forme de disque de 2 cm de diamètre, éclaire un disque opaque de même axe, ayant 1 cm de rayon et placé à 1 m de la source. Calculer les largeurs de l'ombre portée et de la pénombre portée sur un écran parallèle aux disques et placé à 1,6 m du disque opaque.*

② *Calculer la hauteur d'une tour sachant que son ombre mesure 6,3 m au moment où l'ombre d'une règle verticale de 1 m mesure 0,70 m.*

③ *On veut connaître la hauteur d'un des monuments de Bamako. Pour cela un élève confectionne une chambre noire à l'aide d'une boîte de carton de 10 cm de profondeur. Il se place à 100 m et oriente le petit trou T de la chambre vers le monument. Il aperçoit sur le verre dépoli l'image renversée de ce monument. Il mesure la longueur de cette image et trouve 2 cm.*

a. Trouver la hauteur de ce monument

b. Expliquer pourquoi on observe sur le verre dépoli une image renversée du monument.

Scanned by CamScanner

2 RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE MIROIR PLAN

PRÉALABLES

- Enoncé du principe de la propagation rectiligne de la lumière.
- Définitions et constructions de rayon lumineux et de faisceaux lumineux.
- Définitions et nature de sources lumineuses.
- Définitions de milieux transparents, opaques.

OBJECTIFS

- définir la réflexion, les rayons incident et réfléchi, le point d'incidence, la normale, les angles d'incidence et de réflexion, les plans d'incidence et de réflexion.
- énoncer les lois de la réflexion et du retour inverse de la lumière
- définir un miroir plan
- construire l'image d'un objet donnée par un miroir plan
- définir un objet et une image à partir du sens de propagation de la lumière
- distinguer la nature de l'objet et de l'image
- définir et construire le champ d'un miroir
- expliquer l'effet de rotation du miroir sur l'image et sur le rayon réfléchi
- expliquer l'effet de translation du miroir sur l'image
- définir un miroir sphérique
- citer des applications et des usages des miroirs.

Scanned by CamScanner

1. OBSERVATIONS – DEFINITIONS

Dans une chambre obscure, envoyons un pinceau de lumière P_1 sur un miroir : on constate que ce pinceau est renvoyé dans une autre direction (Fig.1).

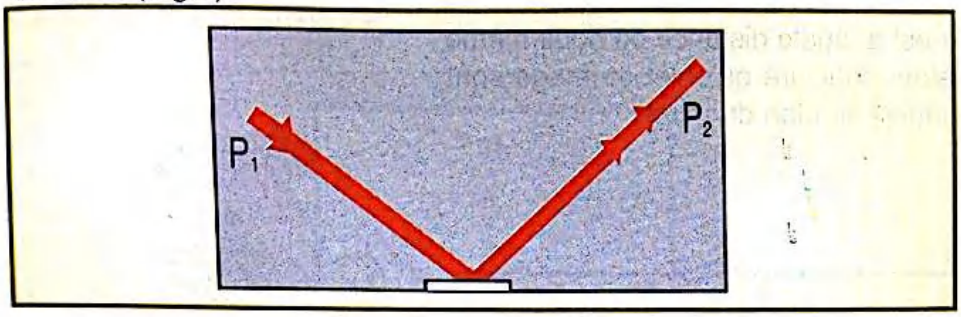
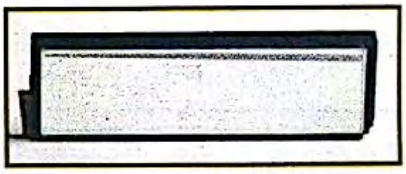


Fig.1 Pinceau de lumière sur un miroir dans une chambre obscure

Ce changement de direction du pinceau lumineux est le phénomène de **la réflexion de la lumière.**

- Le pinceau lumineux P_1 est appelé **pinceau incident.**
- Le pinceau P_2 renvoyé par le miroir dans une autre direction est appelé **pinceau réfléchi.**

Si nous remplaçons le miroir par toute autre surface métallique bien polie nous observerons le même phénomène : Ces surfaces planes qui réfléchissent la lumière, sont appelées **miroirs plans.**



miroir

2. MIROIR PLAN

2-1. DÉFINITION

On appelle miroir plan toute surface plane réfléchissante.

Exemples :

- Une plaque de métal bien polie.
- Une surface de verre bien dressée.
- La surface libre d'un liquide au repos : eau d'un lac tranquille, bain de mercure, etc.

On représente en général un miroir plan par un segment de droite et on couvre de hachures le côté non réfléchissant (fig.2).

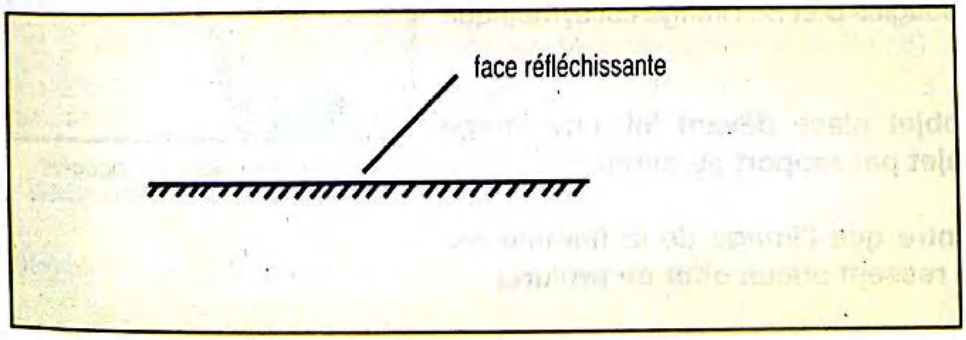


Fig.2 Représentation shématique d'un miroir plan



Scanned by CamScanner

RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE MIROIR PLAN

2-2. PROPRIÉTÉ FONDAMENTALE D'UN MIROIR PLAN

a) Observation :



Regardons-nous dans un miroir : notre image semble située derrière le miroir. Nous savons qu'elle n'existe pas réellement. Cette image est appelée image virtuelle.
Il semble également que le miroir est à égale distance de nous-même et de notre image. On pourrait alors conclure qu'objet et image sont symétriques l'un de l'autre par rapport au plan du miroir.
Vérifions cette hypothèse :

b) Expérience des deux bougies

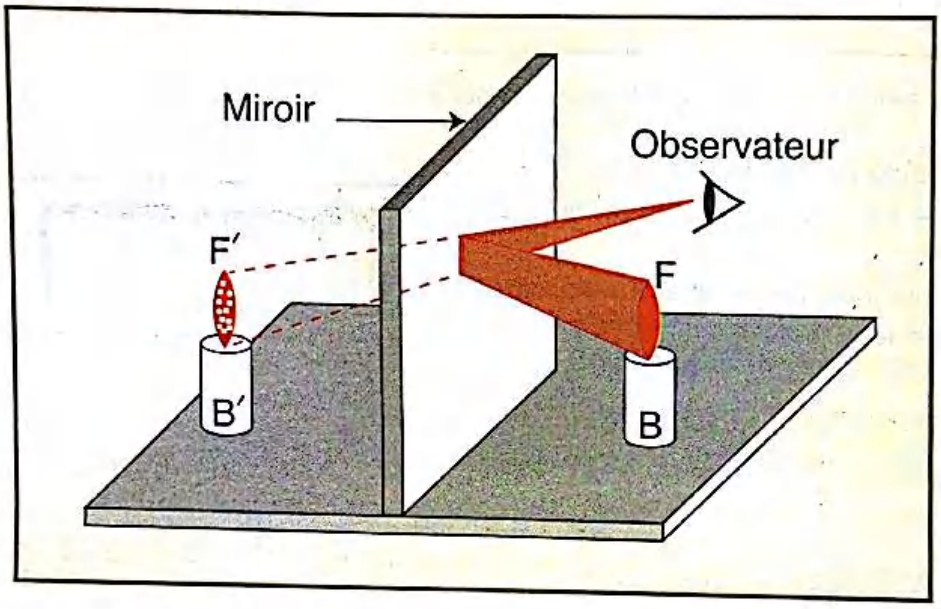


Fig.3 L'expérience des deux bougies

Perpendiculairement à une table, dressons verticalement une vitre, et symétriquement par rapport au plan de la vitre, disposons deux bougies identiques B et B': B allumée, B' éteinte.

Regardons à travers la vitre, vers B'. (fig.3) Une flamme F', reproduction fidèle de la flamme F, semble briller au-dessus de B'. Cette flamme F', n'a aucune existence réelle. C'est **l'image virtuelle de F.**

D'après la disposition des deux bougies B et B', l'image est symétrique de l'objet par rapport au miroir.

c) Conclusion

Un miroir plan donne d'un objet placé devant lui, une image virtuelle, symétrique de cet objet par rapport au miroir.

N.B. : La photo ci-contre montre que l'image de la flamme est virtuelle (l'expérimentateur ne ressent aucun effet de brûlure).



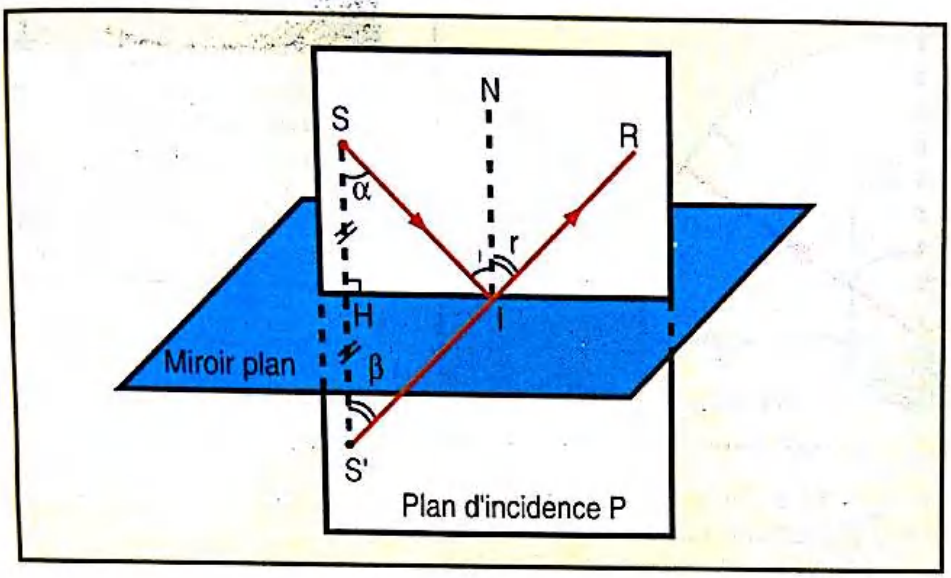
L'expérience des deux bougies

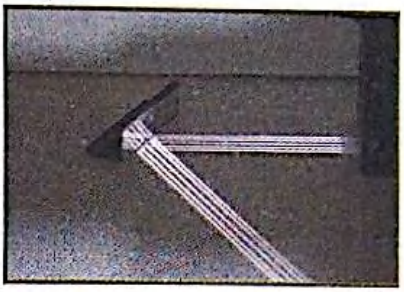
Scanned by CamScanner

3. DEFINITIONS ET LOIS DE LA REFLEXION

3-1 DÉFINITIONS

Soit un rayon lumineux issu d'un point S qui rencontre un miroir M au point I. Il donne par réflexion un rayon IR qui semble provenir de S', image virtuelle de S. (fig.4)





Réflexion d'un faisceau parallèle

Fig.4 Réflexion de la lumière

Le rayon **SI** est **le rayon incident**
Le rayon **IR** est **le rayon réfléchi**
Le point **I** est **le point d'incidence**
La droite **IN** est **la normale** (perpendiculaire) au plan du miroir.
Le plan **P** est **le plan d'incidence** = plan (SI, IN)
L'angle **i = SÎN** est **l'angle d'incidence**
L'angle **r = NÎR** est **l'angle de réflexion.**

3-2 LOIS DE LA RÉFLEXION (lois de Descartes*)

a) Première loi

Enoncé : Le rayon incident, la normale au plan d'incidence et le rayon réfléchi se trouvent dans le même plan appelé plan d'incidence.

La droite IR se trouve dans le plan P (fig.4)
S et S' étant symétriques par rapport au plan du miroir, la droite SS' est parallèle à la normale IN, et par suite se trouve dans le plan P. Ce plan, contenant IR, contient aussi S'I prolongement de IR.

b) Deuxième loi

Enoncé : L'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

α = i (angles alterne – internes) (fig.4)
β = r (angles correspondants)
S et S' étant symétriques. α = β et par suite i = r



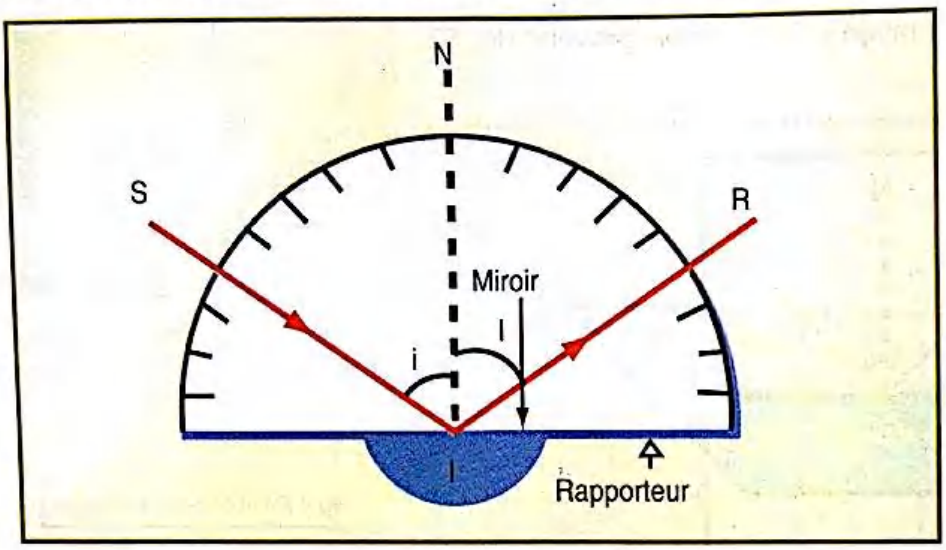
** Descartes : philosophe, mathématicien et physicien Français. (1596-1650)*



Scanned by CamScanner

3-3 VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE

Expérimentalement, pour repérer la marche des rayons lumineux, on place un rapporteur perpendiculairement au plan du miroir, de telle manière que le pinceau incident rase la surface du rapporteur. (Fig.5)





Vérification expérimentale des lois de Descartes pour la réflexion

Fig.5 Vérification expérimentale des lois de Descartes pour la réflexion

Nous observons que le pinceau réfléchi IR effleure la surface du rapporteur. Il est donc contenu dans le plan du rapporteur, de même que le pinceau incident SI et la normale IN au plan du miroir. Ce plan du rapporteur est donc le plan d'incidence.
Mesurons les angles i et r : ils sont égaux : i = r
Remarque : nous obtiendrons une plus grande précision dans la réalisation de cette expérience si nous utilisons une lampe à LASER.



4. PRINCIPE DU RETOUR INVERSE DE LA LUMIERE

Sur la fig.5, si on fait arriver le rayon lumineux suivant la direction RI, il est réfléchi suivant IS.
Enoncé : Le trajet suivi par la lumière est indépendant du sens de propagation.

5. MARCHE DES RAYONS LUMINEUX DANS UN MIROIR PLAN

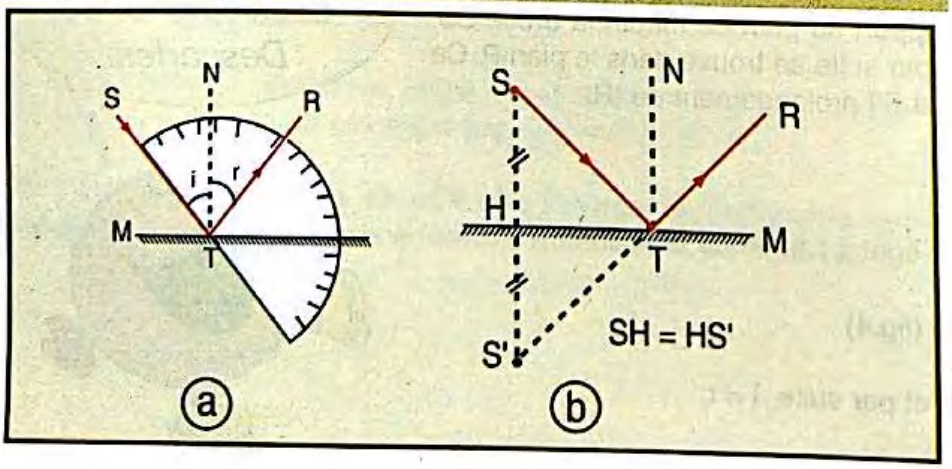


Fig.6a et 6b Construction du rayon réfléchi

Scanned by CamScanner

Etant donnés un miroir plan M et un rayon incident SI, pour construire le rayon réfléchi IR, il suffit de tracer la normale IN, puis à l'aide d'un rapporteur, de repérer l'angle de réflexion r, égal à l'angle d'incidence i. (Fig.6a)

Remarque : On peut aussi construire l'image S', qui est le symétrique du point S par rapport au miroir. La direction S'I est celle du rayon réfléchi IR (Fig.6b).

***Cas particuliers**

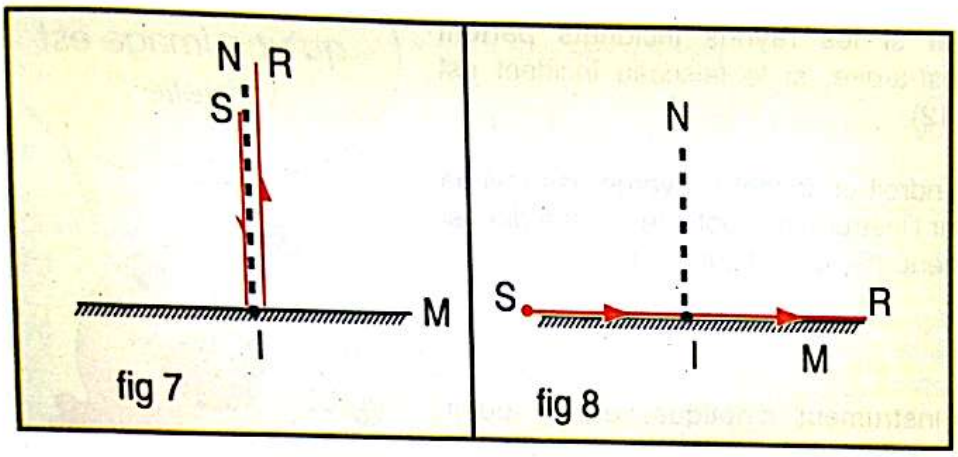


Fig.7 et 8

a) Un rayon incident normal (perpendiculaire) au miroir, (i = 0), est réfléchi sur lui-même (r = 0) (fig.7)

b) Un rayon incident rasant le miroir (incidence rasante. i = 90°), ne change pas de direction (r = 90°) (fig.8)

c) Pour tracer des faisceaux réfléchis, il suffit de repérer des angles égaux aux points d'incidence des rayons extrêmes. (fig.9)

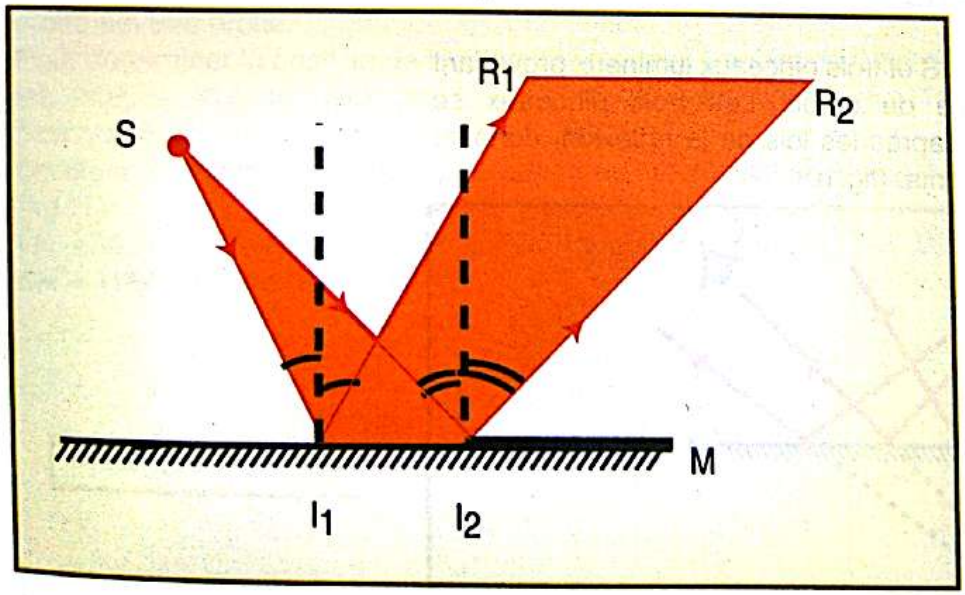


fig 9



Scanned by CamScanner

6. IMAGES DANS UN MIROIR PLAN

6-1 DÉFINITIONS

a) Objet :

Un objet est formé d'une infinité de points lumineux.
Pour un instrument d'optique, **un point objet** est le point d'intersection des rayons qui arrivent (rayons incidents) sur cet instrument.



Le **point objet est dit réel** si les rayons incidents partent effectivement de ce point, c'est-à-dire, si le faisceau incident est divergent. (point S de la figure.12)

Il est virtuel s'il se trouve à l'endroit où iraient converger les rayons s'ils n'étaient pas interceptés par l'instrument d'optique, c'est à dire, si le faisceau incident est convergent. (S_1 de la figure.12)

b) Image

Un point image, pour un instrument d'optique, est le point d'intersection des rayons qui sortent (rayons émergents) de cet instrument.

L'image est réelle si les rayons émergents arrivent effectivement au point image c'est-à-dire si le faisceau émergent est convergent. (S'_1 de la figure.12)

Elle est virtuelle si les rayons émergents semblent provenir du point image c'est-à-dire si le faisceau émergent est divergent. (S' des figures.6b, 10)

6-2 IMAGE D'UN OBJET - STIGMATISME

Considérons un point lumineux S et trois pinceaux lumineux provenant de S et frappant la surface du miroir. Les trois pinceaux se réfléchissent sur le miroir et d'après les lois de la réflexion, donnent trois pinceaux réfléchis divergents. (fig.10)

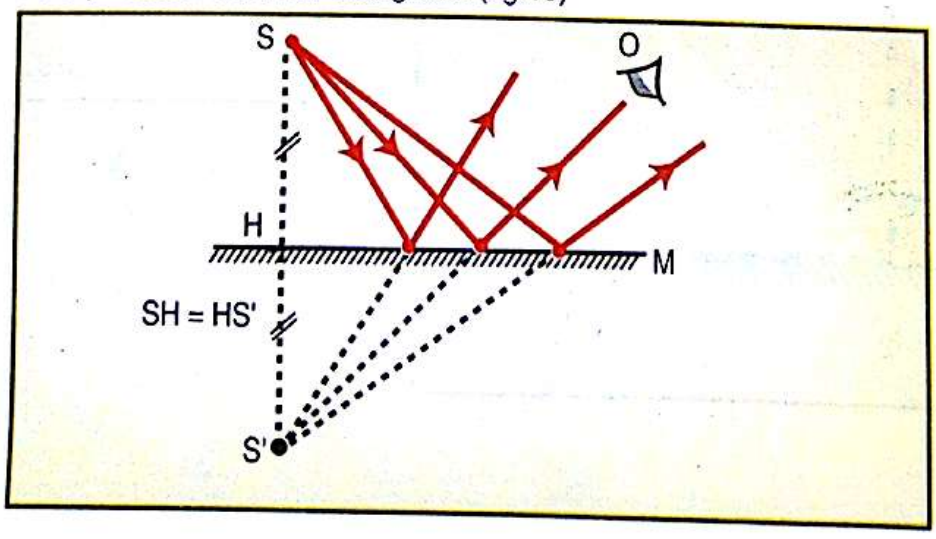


Fig.10 Stigmatisme

Scanned by CamScanner

Pour l'œil de l'observateur placé en O, ces trois pinceaux réfléchis semblent provenir d'un point unique S', symétrique de S par rapport au plan du miroir. SH = HS'. S' est l'image virtuelle de S.

On dit que le miroir plan est rigoureusement stigmatique, car, d'un point objet ponctuel, il donne une image rigoureusement ponctuelle.



Ceci n'est pas général pour tous les systèmes optiques, car dans beaucoup d'autres, pour des rayons incidents issus d'un même point objet S, les rayons réfléchis (ou sortants) ne sont pas concourants : il n'y a pas formation d'image : il n'y a pas stigmatisme.
Par contre, certains systèmes optiques donnent de l'objet ponctuel S, une image S' non pas ponctuelle, mais de très petites dimensions. On dit qu'il y a **stigmatisme approché**.

Conclusion :
1°) *Le miroir plan est rigoureusement stigmatique car d'un objet ponctuel, il donne une image rigoureusement ponctuelle.*
2°) *L'image est symétrique de l'objet par rapport au miroir. Cette image est virtuelle, de même grandeur que l'objet et n'est pas en général superposable à lui.*

Exemple : L'image de la main droite dans un miroir est la main gauche.



L'image de la main droite est la main gauche

Remarque : Dans la suite du cours, tout ce qui est virtuel (objet, rayon, pinceau, faisceau, etc.) sera représenté en pointillé et tout ce qui est réel en trait plein.

6-3 IMAGE VIRTUELLE D'UN OBJET RÉEL

Un objet est formé d'une infinité de points lumineux. Un miroir plan donne de chacun de ces points une image virtuelle. L'image d'une droite est une droite.
Pour déterminer la position de l'image d'une droite, il suffira de trouver les images A'B' de deux points A et B de cette droite. (fig.11) *(voir construction d'image d'un point fig.6b)*
On cherche le symétrique de A par rapport au miroir : soit A': AH = HA' (fig.11)
On cherche le symétrique de B par rapport au miroir : soit B': BH' = H'B'. L'image de AB est A'B'.

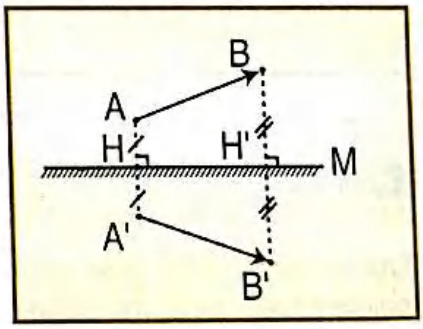


Fig.11

Scanned by CamScanner

6-4 IMAGE RÉELLE D'UN OBJET VIRTUEL

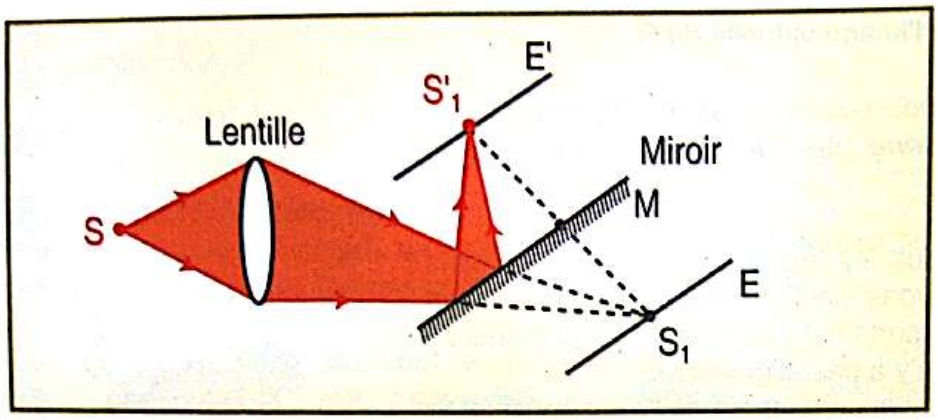


Fig.12 Image réelle d'un objet virtuel

De S, envoyons un faisceau lumineux sur une lentille. A la sortie de la lentille le faisceau converge et on observe sur un écran E un point lumineux S_1.

En interposant un miroir plan entre la lentille et l'écran, le point S_1 disparaît de l'écran. Cependant le miroir reçoit et réfléchit le faisceau qui, en son absence, irait converger en S_1.

On dit que S_1 est le point objet virtuel pour le miroir.

Si nous disposons un écran E' symétrique de E par rapport au miroir, nous aperçevons un point lumineux S'_1, symétrique de S_1 par rapport au miroir. (fig.12)

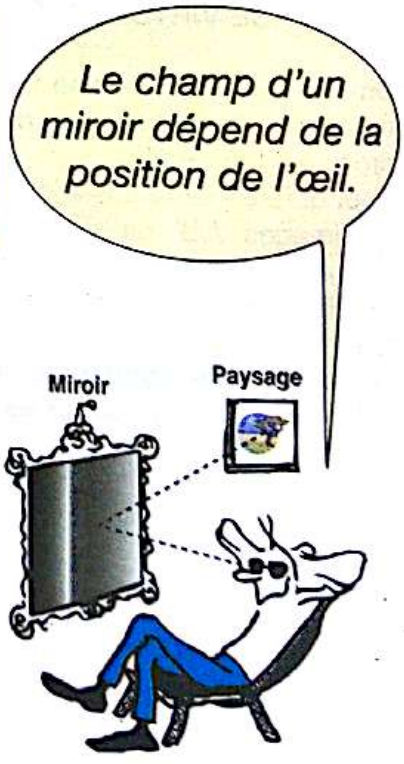
S'_1 est appelé image réelle de S_1 car les rayons lumineux, après réflexion, passent réellement en S'_1

Conclusion : Un miroir plan donne d'un objet, une image symétrique par rapport à son plan.

Objet et image sont de natures opposées :
Objet réel ⟶ image virtuelle
Objet virtuel ⟶ image réelle

7. CHAMP D'UN MIROIR

Quand on regarde dans un miroir, on n'aperçoit que les images des objets situés dans une région limitée de l'espace appelée **champ du miroir**. Le champ d'un miroir dépend essentiellement de la position de l'œil (fig.13)



Scanned by CamScanner

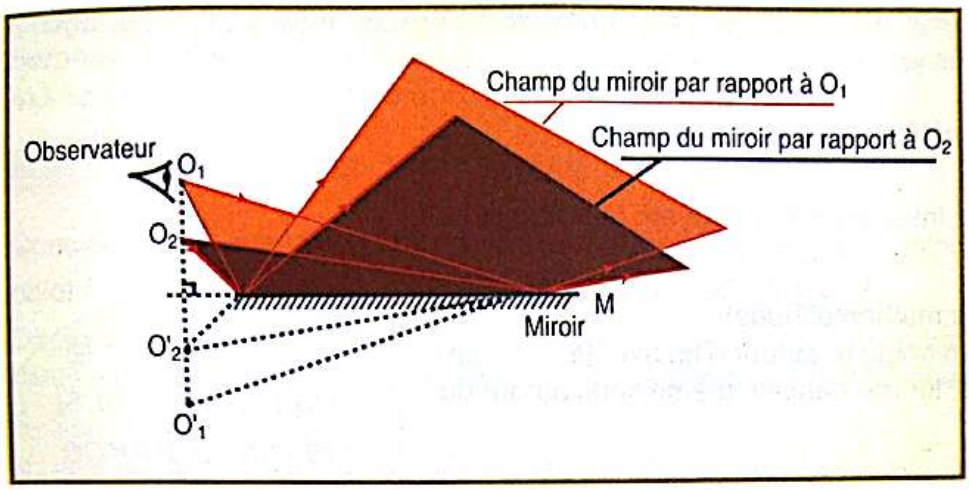


fig 13 Le champ du miroir dépend de la position de l'œil

8. DEPLACEMENT DE L'IMAGE D'UN OBJET FIXE PAR DEPLACEMENT DU MIROIR PLAN

8-1 ROTATION D'UN MIROIR PLAN

a) Rotation de l'image

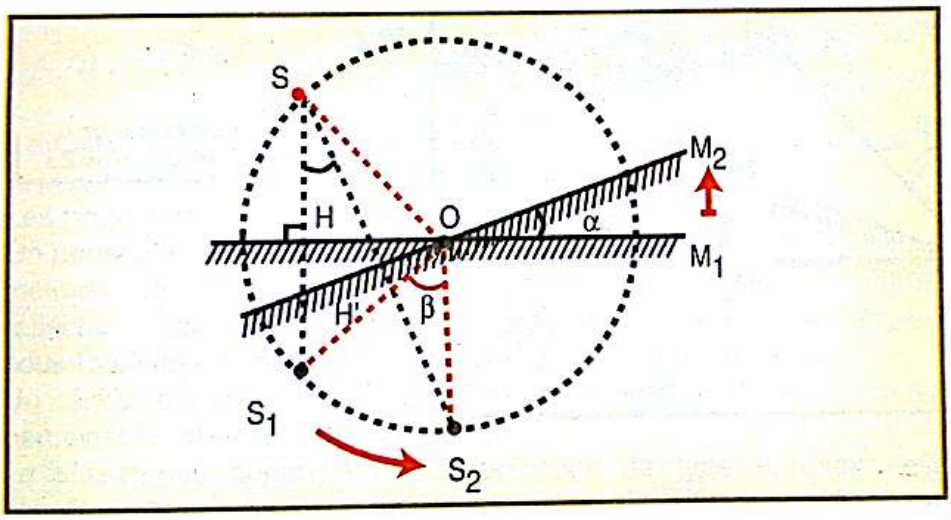


Fig.14 Le miroir tourne de α, l'image tourne de 2α

Soient un miroir plan M_1 pouvant tourner autour d'un axe O, situé dans son plan, et S un point lumineux fixe. L'image de S dans le miroir est S_1 : $OS = OS_1$ (2^e loi de la réflexion).

Faisons tourner le miroir d'un angle α pour l'amener dans la position M_2. (fig.14)

La nouvelle image de S dans le miroir en position M_2 est S_2 :

$OS = OS_2$ (2^e loi de la réflexion).

Puisque $OS = OS_1 = OS_2$, les 3 points S, S_1, S_2 sont sur une même circonférence de centre O et de rayon OS.

Scanned by CamScanner

La rotation du miroir d'un angle α provoque la rotation de l'image d'un angle $\beta = \widehat{S_1OS_2}$.

L'angle $\widehat{S_1S\,S_2} = \alpha$ (angles à côtés perpendiculaires).

$\widehat{S_1S\,S_2}$ est un angle inscrit qui intercepte le même arc que l'angle au centre $\beta = \widehat{S_1OS_2}$.

Donc : $\beta = 2\alpha$ (voir rappels mathématiques)

Quand un miroir plan tourne d'un angle α autour d'un axe de son plan, l'image d'un point lumineux fixe, tourne dans le même sens autour du même axe, d'un angle de 2α.

b) Rotation du rayon réfléchi

Dans les mêmes conditions que précédemment, voyons ce que devient le rayon réfléchi si le miroir tourne d'un angle α.

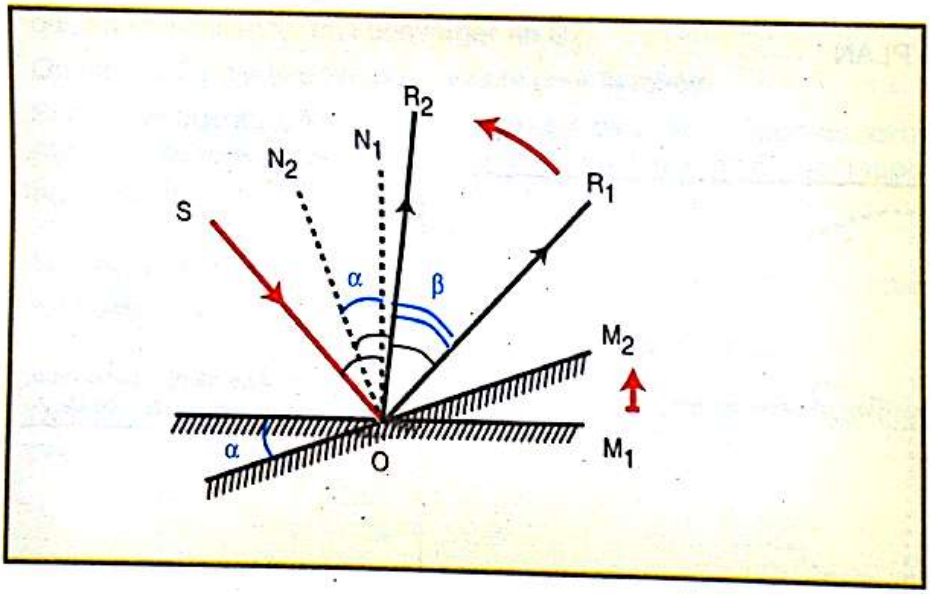




Fig.15 Le miroir tourne de α, le rayon réfléchi tourne de 2α

Le point S restant toujours fixe, SO est le rayon incident. Le rayon réfléchi par le miroir dans la position.1, M_1 est : OR_1 tel que : l'angle $\widehat{N_1OR_1} = \widehat{SON_1} = i$ (loi de la réflexion).

Quand le miroir tourne de α, la normale ON_1 tourne du même angle α, et vient en ON_2, et le rayon réfléchi OR_1 tourne de β et vient en OR_2.

Nous avons dans ces conditions :

L'angle $\widehat{M_1OM_2} = \widehat{N_1ON_2} = \beta$ (angles à côtés perpendiculaires).

L'angle $\beta = \widehat{SOR_1} - \widehat{SOR_2}$.

En remarquant que :

$\widehat{SOR_1} = 2.\widehat{SON_1}$ (2e loi de la réflexion)

$\widehat{SOR_2} = 2.\widehat{SON_2}$ (2e loi de la réflexion)

on aura : $\beta = 2.(\widehat{SON_1} - \widehat{SON_2}) = 2.\widehat{N_1ON_2} = 2.\alpha \Rightarrow \beta = 2\alpha$.

Scanned by CamScanner

Quand un miroir plan tourne d'un angle α autour d'un axe perpendiculaire au plan d'incidence, le rayon réfléchi tourne dans le même sens d'un angle de 2α.

8- 2 TRANSLATION D'UN MIROIR PLAN

Considérons maintenant le miroir dans la position M_1. L'image du point objet S est S_1, symétrique de S par rapport à M_1 $SS_1 = 2.O_1S_1$.
Déplaçons le miroir parallèlement à lui-même d'une longueur h pour l'amener dans la position M_2. $h = O_1O_2$. S_1 se déplace aussi tel que $S_1S_2 = H$ (fig.16).
S_2 est symétrique de S par rapport à M_2.

$SS_2 = 2.O_2S_2$

$SS_2 - SS_1 = S_1S_2 = 2.O_2S_2 - 2.O_1S_1 = 2.(O_2S_2 - O_1S_1)$

Puisque: $O_2S_2 = O_2S_1 + S_1S_2$

et $O_1S_1 = O_1O_2 + O_2S_1$

On trouve : $S_1S_2 = H = 2.O_1O_2 = 2h \Rightarrow H = 2h$

Quand un miroir plan se déplace parallèlement à lui-même d'une longueur h, l'image se déplace dans le même sens d'une longueur $H = 2h$.

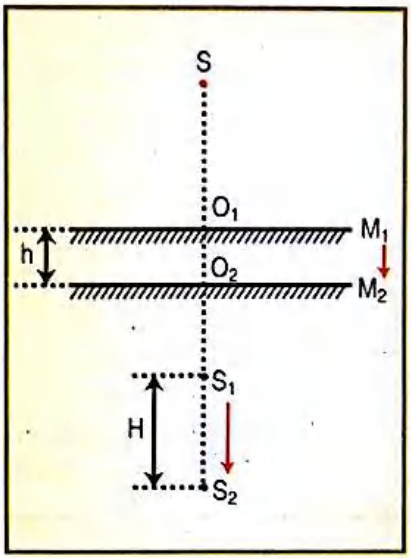


Fig.16 : Translation d'un miroir. $H = 2h$

9. USAGES ET APPLICATIONS DU MIROIR

L'emploi du miroir est quotidien. Les miroirs ont été employés depuis la plus haute antiquité comme miroir de toilette.
Les propriétés des miroirs sont utilisées dans les périscopes.
Un périscope est constitué de deux miroirs plans parallèles entre eux, inclinés de 45° par rapport à l'horizontale et dont les faces réfléchissantes sont tournées l'une vers l'autre.(fig.17a). Il permet aux sous-mariniers d'observer à la surface de l'eau étant sous l'eau.
Un rétroviseur est un miroir qui permet au conducteur d'une voiture de percevoir la route derrière lui.
Le viseur des appareils photographiques de type « réflex »est constitué d'un ensemble de deux miroirs (fig.17b) permettant au photographe de savoir exactement ce qui sera sur la pellicule.



Miroir de toilette

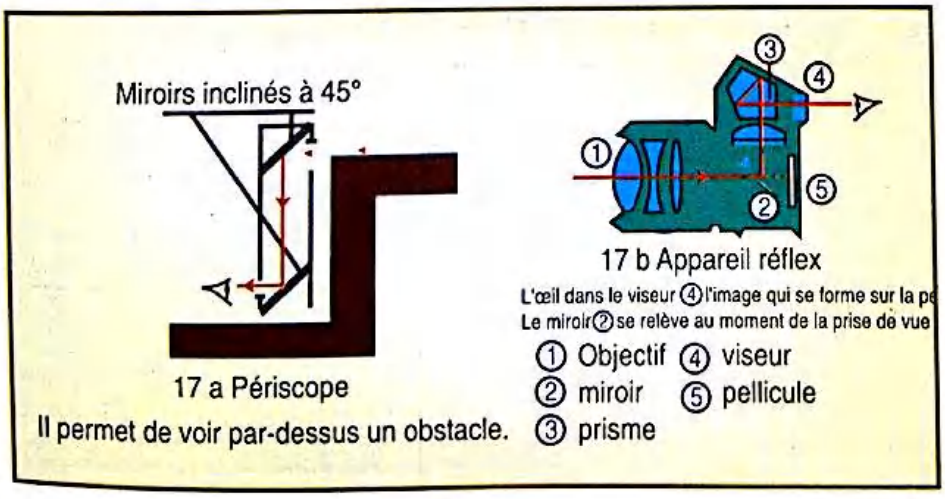
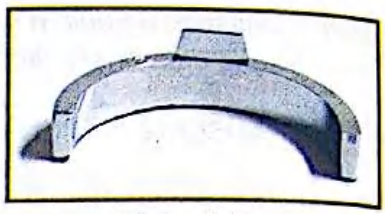


fig 17

Scanned by CamScanner

10. MIROIRS SPHERIQUES



Miroir sphérique

Définition : Un miroir sphérique est une portion de surface sphérique réfléchissante. Il est défini par le centre de la surface, le rayon de la surface et le plan P perpendiculaire à l'axe passant par le centre. Tout axe autre que l'axe principal est dit axe secondaire. (fig.18)

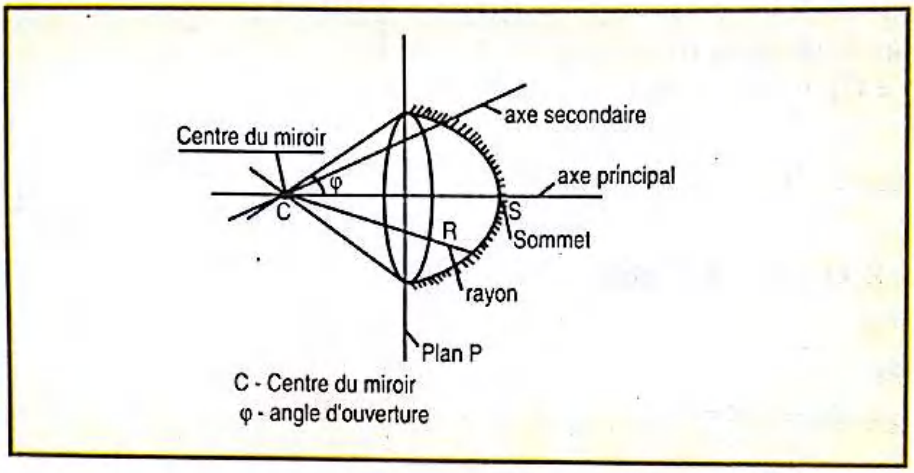


Fig.18 Miroir sphérique

Les miroirs sphériques se subdivisent en miroir concave et miroir convexe.

Les miroirs concaves (fig.19a) permettent de concentrer la lumière en un point. Ils sont utilisés dans les télescopes, dans les fours solaires, etc.

Les miroirs convexes (fig.19b) ont un champ plus grand mais déforment plus ou moins les images. Ils sont utilisés comme rétroviseurs, comme miroirs de contrôle dans les grands magasins et aux coins des rues, etc. ...



Réflexion d'un faisceau parallèle dans un miroir convergent

Un miroir sphérique donnera une image acceptable, s'il a une faible ouverture, si l'objet est plan, de petites dimensions et perpendiculaire à l'axe principal et centré sur cet axe. L'objet et l'image sont homothétiques dans une homothétie de centre C et dont le rapport **k** est égal au rapport algébrique des grandeurs de l'objet et de l'image.

$$k = \frac{A'B'}{AB}$$

Si $k > 0$: on a une image droite dans le même sens que l'objet.
Si $k < 0$: on a une image renversée dans le sens contraire.

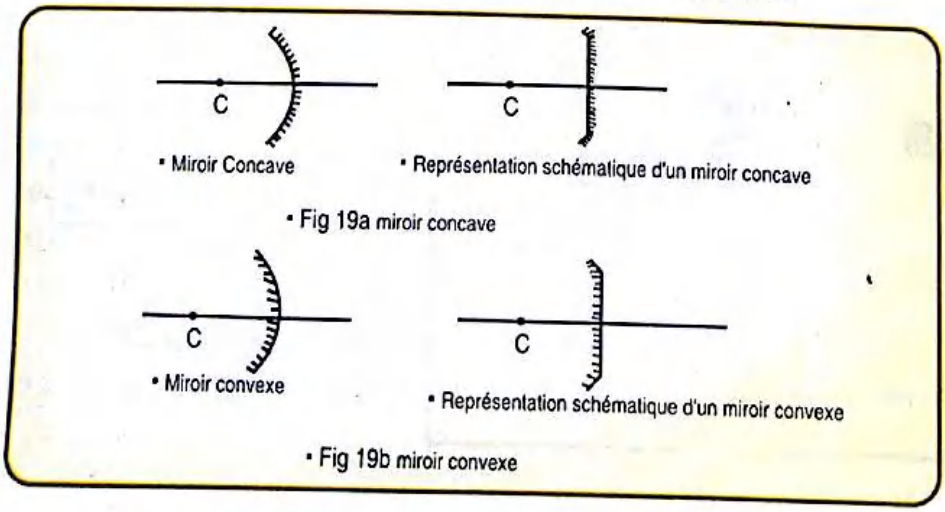


fig 19a : miroir concave
19b : miroir convexe

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Miroir plan ; réflexion ; angle d'incidence ; angle de réflexion ; point d'incidence ; plan d'incidence ; objet ; objet réel ; objet virtuel ; image ; image réelle ; image virtuelle ; stigmatisme ; milieu homogène ; miroir sphérique.

EVALUATION

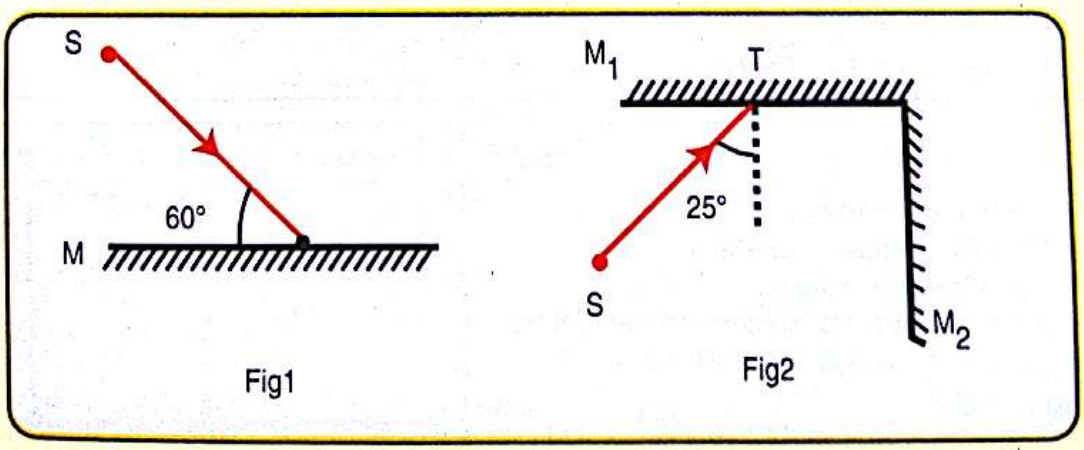
1. *Enoncez la deuxième loi de Descartes pour la réflexion.*

2. *Quelle est la propriété fondamentale d'un miroir plan ?*
   Par une expérience, vérifiez que le miroir plan possède bien cette propriété fondamentale.

3. *Lorsque l'on regarde par la fenêtre d'une pièce obscure, on peut voir, sans être vu, une personne qui se trouve à l'extérieur, éclairée par la lumière du jour. Le principe du retour inverse de la lumière est-il en défaut ? Expliquer le phénomène.*

4. *Dans une salle de cinéma, l'écran reçoit la lumière venant du projecteur. Il la renvoie vers les spectateurs. S'agit-il d'une réflexion ?*

5. *Trouvez le rayon réfléchi correspondant au rayon incident dans les cas représentés sur les figures 1 et 2 suivantes. Dans le deuxième cas montrez que le rayon incident et le rayon réfléchi par M_2 sont parallèles quelle que soit la valeur de l'angle d'incidence.*

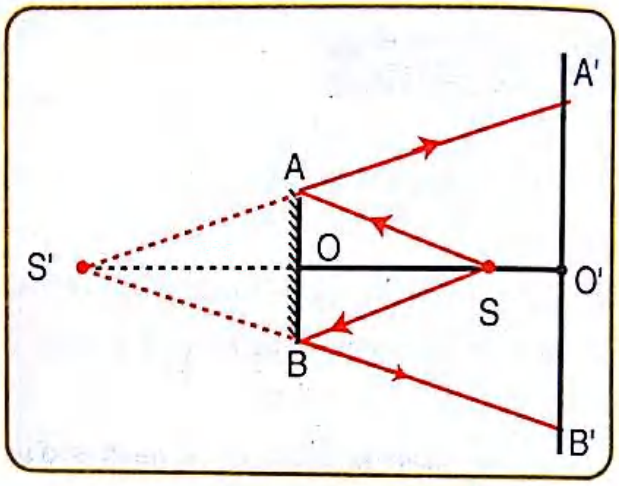


Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

① *Un miroir plan a la forme d'un cercle de centre O et de rayon R = 30 cm. Il est placé en face d'un écran E à 9 m de distance.*
Une source de lumière ponctuelle est disposée dans un plan parallèle à l'écran et au miroir, située entre l'écran et le miroir à 4 m du miroir. Quel est le diamètre du cercle éclairé sur l'écran par les rayons réfléchis sur la surface du miroir ?

Solution



Le miroir (M) donne de S une image S' symétrique de S par rapport au plan du miroir :
SO = S'O = 4m = 400 cm
Selon les lois de la réflexion, les rayons SA et SB se réfléchissent respectivement suivant AA' et BB' qui semblent provenir de S'.
Les triangles rectangles S'OA et S' O'A' donnent

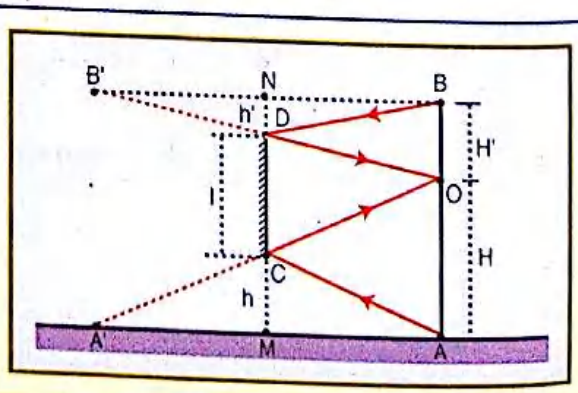
$$\frac{OA}{OS'} = \frac{O'A'}{O'S'} \Rightarrow O'A' = \frac{OA}{OS'} \times O'S'$$

A.N. : OA = R = 30 cm
S'O' = S'O + OO' = 400 + 900 = 1300 cm
OS' = 400 cm

$$O'A' = \frac{30}{400} \times 1300 = 97{,}5 \text{ cm}$$ puisque O'A' = O'B' alors le diamètre du cercle éclairé est A'B' = O'A' x 2 = 97,5 x 2 = 195 cm = 1,95 m

② *Les miroirs employés par les tailleurs et les magasins d'habits prêts-à-porter vont jusqu'au sol, ce qui permet aux clients de voir leur image complète. Pour obtenir ce résultat est-il bien nécessaire que le miroir ait une telle longueur ?*
Un client d'une hauteur de 1,80 m dont les yeux sont à 10 cm du sommet de la tête se regarde dans un tel miroir. Quelles doivent être la distance au sol et la dimension minimale du miroir, pour que ce client se voie tout entier ?

Solution



CD = l = longueur du miroir
CM = h = distance du miroir au sol
AO = H distance des yeux au sol
OB = H'= distance des yeux au sommet de la tête
Les triangles rectangles A'AO et A'MC donnent :

$$\frac{A'A}{A'M} = \frac{AO}{MC} = \frac{A'O}{A'C} \Rightarrow MC = \frac{AO}{A'A} \times A'M$$

Scanned by CamScanner

MC = h
A'A = 2.MA = 2. A'M
H = AO = AB – OB = 1,80 – 0,10 = 1,70 m

$$h = MC = \frac{AO}{A'A} \times A'M = \frac{AO}{2.A'M} \times A'M \quad \Rightarrow h = \frac{AO}{2} = \frac{H}{2}$$

$$h = \frac{H}{2} = \frac{1,70}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Par une démonstration analogue on montre que $h' = \frac{H'}{2}$

et la dimension minimale l = NM – (ND + CM) = AB – (h' + h)
= (H + H') – (h + h')

A.N.: H = 1,70 m
H' = 10 cm = 0,10 m
h = 0,85 m
h' = 5 cm = 0,05 m
la dimension minimale est l = 0,9 m = 90 cm

Réponses aux questions d'évaluation précédées d'une « * »

4. Non. L'écran diffuse la lumière. L'image est visible de tous les points de la salle.

EXERCICES

① *Deux miroirs plans M_1 et M_2 font entre eux un angle de 90°. Un rayon lumineux quelconque, situé dans un plan perpendiculaire à l'intersection des deux miroirs se réfléchit successivement sur les deux miroirs.*

a) Montrer que le rayon réfléchi deux fois est parallèle au rayon incident et de sens contraire.

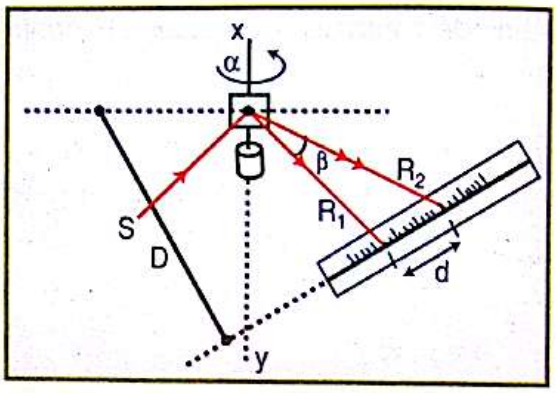
b) Un objet A est placé entre ces deux miroirs. Déterminer par construction les images que peut former ce système optique.

Scanned by CamScanner

② *Une application des miroirs plans est la mesure de faibles rotations. La méthode de Poggendorff par exemple est utilisée dans les galvanomètres qui sont des appareils de mesures d'intensité beaucoup plus précis que les ampèremètres.*

Un tel appareil A sur lequel est fixé un petit miroir plan peut subir une très faible rotation α *autour d'un axe xy (voir figure).*

Ce miroir réfléchit un pinceau de rayons lumineux parallèles, perpendiculairement à une règle translucide placée à 200 cm du miroir. Une rotation du miroir amène un déplacement de la raie lumineuse qui se mesure sur la règle de 20 mm.



Calculer l'angle de rotation du miroir, en radians, en minutes et en secondes d'angles.

---

③ *Deux miroirs plans font entre eux un petit angle* α *de 20'. Ces deux miroirs sont éclairés par une source ponctuelle de lumière située à 50 cm de leur arête commune O.*

c) Déterminer la position de ces deux images S_1 *et* S_2 *que les miroirs donnent de la source S ?*

d) Calculer la distance $a = S_1S_2$ *de ces deux images.*

On donne : $\alpha = 20'$ *et* $d = 50$ *cm*

Scanned by CamScanner

3 RÉFRACTION DE LA LUMIÈRE

PRÉALABLES

- Le miroir plan : définition, propriété essentielle.
- Les notions liées à la réflexion : point d'incidence, normale au point d'incidence, plan d'incidence, angles d'incidence et de réflexion.
- Les lois de la réflexion.
- Les notions d'objet réel et virtuel, d'image réelle et virtuelle.

OBJECTIFS

- définir le phénomène de la réfraction
- identifier les différents milieux transparents, les angles d'incidence et de réfraction, l'angle de déviation
- énoncer les lois de la réfraction
- définir l'indice absolu, l'indice relatif d'un milieu par rapport à un autre milieu
- donner l'expression de l'indice relatif en fonction des indices absolus
- comparer les milieux du point de vue réfringence
- définir l'angle limite de réfraction et la réflexion totale
- définir le dioptre plan et la lame à faces parallèles
- tracer la marche des rayons lumineux à travers un dioptre plan et à travers une lame à faces parallèles
- établir les formules du dioptre plan et de la lame à faces parallèles

Scanned by CamScanner

1. OBSERVATIONS – DEFINITIONS



1-1. OBSERVATIONS

Envoyons un pinceau lumineux sur la surface libre de l'eau contenue dans une cuve à parois transparentes. (fig.1)

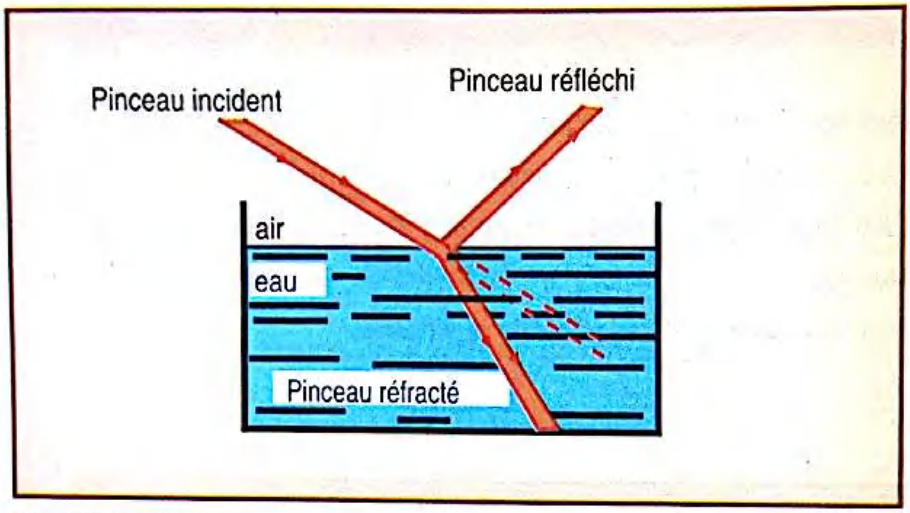


Fig.1 Réfraction de la lumière

Nous observons :

- une partie de la lumière est réfléchie (Chap.2). C'est le phénomène de la réflexion ;
- la plus grande partie de la lumière pénètre dans l'eau en changeant de direction. Elle est **réfractée** : elle subit le phénomène de la **réfraction** ;
- la surface de séparation entre les deux milieux transparents s'appelle **surface réfringente.**

NB : la réfringence est la propriété de réfracter la lumière.

1-2. DÉFINITIONS

On appelle **réfraction** le brusque changement de direction que subit la lumière en traversant la surface de séparation de deux milieux transparents.

• Reprenons la figure.1 de manière plus simplifiée sur la figure.2

SI = rayon incident situé dans le milieu (1) : ici l'air
IR = rayon réfracté situé dans le milieu (2) : ici l'eau
Σ = surface de séparation des deux milieux transparents air/eau : c'est la surface réfringente.
La droite NN' = Normale (perpendiculaire) à la surface réfringente au point I.
Le point I = point d'incidence.
L'angle SÎN = i_1 est l'angle d'incidence.
L'angle N'ÎR = i_2 est l'angle de réfraction.
L'angle S'ÎR = D est l'angle de déviation ou simplement la déviation D : C'est l'angle compris entre le prolongement du rayon incident et le rayon réfracté. $D = i_1 - i_2$

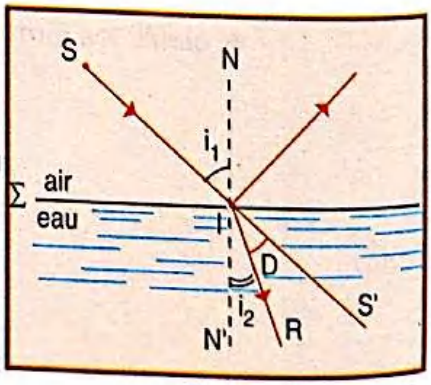


Fig.2

Scanned by CamScanner

2. LOIS DE LA REFRACTION (LOIS DE DESCARTES)

On considère un disque peint en blanc de centre I et gradué en degrés sur lequel on colle un demi-cylindre de plexiglas (ou de verre) de faible épaisseur de façon que son centre coïncide avec I. (fig.3)
L'ensemble peut tourner autour de l'axe commun au disque et au demi-cylindre.

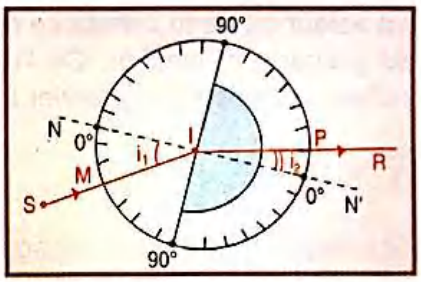


Fig.3 : Réfraction de la lumière lois de Descartes

a) **Première loi de la réfraction :**

En I envoyons un pinceau lumineux rasant la surface du disque : sa trace, visible sur le disque est le rayon incident SI qui forme avec la normale NN' en I au demi-cylindre, l'angle d'incidence $S\hat{I}N = i_1$
La trace du rayon réfracté (IR) apparaît nettement dans le plan du disque. Il forme avec NN' l'angle de réfraction $N'\hat{I}R = i_2$
De ces observations on déduit : le rayon incident SI, le rayon réfracté IR et la normale NN' au demi-cylindre sont tous dans le plan du disque qui est le plan d'incidence. D'où **l'énoncé de la 1ère loi :**



Photo : Réfraction de la lumière lois de Descartes

Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale à la surface de séparation de deux milieux transparents sont dans un même plan appelé plan d'incidence.

b) **Deuxième loi de la réfraction :**

Faisons tourner le disque (fig.3) de façon à donner à l'angle d'incidence i_1 différentes valeurs qui se lisent en M. Les valeurs correspondantes de l'angle de réfraction i_2 se lisent en P.
Différentes mesures effectuées donnent les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous :

i_1	0	10	20	30	40	50	60	70	80
i_2	0	6,5	13	19,5	20	31	35	39	41
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$	-	1,54	1,52	1,50	1,52	1,50	1,50	1,50	1,50



De ces résultats, aux erreurs d'expérience près, on conclut :

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \text{Constante}$$

D'où **l'énoncé de la 2e loi**

Pour deux milieux transparents, homogènes et isotropes, le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est constant.

Scanned by CamScanner

3. INDICES DE REFRACTION

Les résultats de l'expérience précédente donnent : $\frac{\text{Sin } i_1}{\text{Sin } i_2}$ = Constante.

La valeur de cette constante dépend des deux milieux dans lesquels se propage la lumière. On l'appelle indice de réfraction du second milieu par rapport au premier milieu et on la note : $n_{2/1}$.

3 -1. INDICE ABSOLU

Si le rayon incident se propage dans le vide et le rayon réfracté dans un milieu quelconque, le rapport

$\frac{\text{Sin } i_1}{\text{Sin } i_2} = n_{2/vide}$. $n_{2/vide}$ signifie indice du second milieu par rapport au vide.



Il est appelé **indice absolu** et noté simplement n.

Définition : On appelle indice absolu d'un milieu, son indice par rapport au vide. On peut relier cet indice n aux célérités (vitesses de propagation) de la lumière dans le milieu considéré et dans le vide par la relation : $n = \frac{c}{v}$ avec :

C = célérité de la lumière dans le vide
V = célérité de la lumière dans le milieu considéré.

Ex : Calculer l'indice absolu de l'eau sachant que la célérité de la lumière dans l'eau est v = 225.600 km/s

Solution

L'indice absolu d'un milieu s'exprime par la relation : $n = \frac{c}{v}$

C = 300.000 km/s

V_{eau} = 225.600 km/s

$$n_{eau} = \frac{C}{V_{eau}} = \frac{300.000}{225.600} \approx 1{,}3298$$

Indice absolu de quelques milieux

Solide	n	Liquide	n	Gaz	n
Plexiglas	1,50	Eau	1,33	Air	1,00029
Verre ordinaire	1,52	Ethanol	1,36	Dihydrogène	1,00014
Diamant	2,42	benzène	1,5	Gaz carbonique	1,00045

Scanned by CamScanner

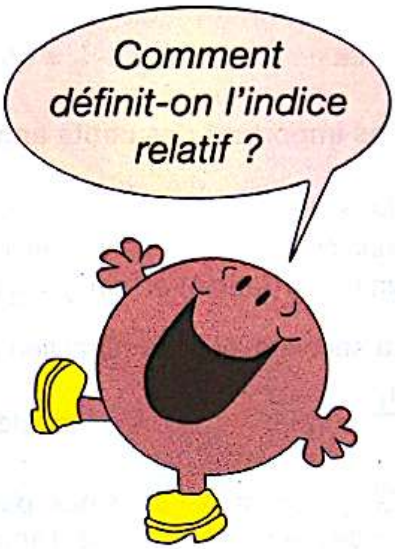
Remarque : La célérité de la lumière est pratiquement la même dans le vide et dans l'air. Alors l'indice d'un milieu par rapport à l'air est pratiquement égal à son indice absolu :

$$n_{2/\text{vide}} = n_{2/\text{air}} = n$$

3-2. INDICE RELATIF

a) **Définition** : On appelle indice relatif de deux milieux transparents, le rapport des indices par rapport à l'air.

$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$ avec : n_2 indice du second milieu par rapport à l'air
n_1 indice du premier milieu par rapport à l'air.



Remarque : Si on désigne par V_1, V_2, et C la célérité de la lumière respectivement dans les milieux (1), (2) et dans l'air, et par n_1 et n_2 les indices par rapport à l'air des milieux (1) et (2), On peut écrire :

$$n_1 = \frac{c}{V_1} \quad n_2 = \frac{c}{V_2} \text{ donc : } n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2} \text{ et par suite :}$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

b) **Formule symétrique de la loi de Descartes**

De la relation : $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}$ on tire : $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$

Applications

1) Un pinceau lumineux passe à travers une surface réfringente verre-eau sous une incidence $i_1 = 30°$. Sachant que l'indice absolu du verre est $n_1 = 1{,}50$ et celui de l'eau $n_2 = 1{,}33$, calculer l'angle de réfraction que subit ce pinceau lumineux.

Solution :

Nous utilisons la formule symétrique de Descartes : $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$

On tire : $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2}.\sin i_1$

$$\sin i_2 = \frac{1{,}50}{1{,}33}.\sin 30° = \frac{1{,}50}{1{,}33}.0{,}50 = 0{,}564$$

d'où $i_2 = 34°10'$

2) Un pinceau lumineux se propage dans l'air, arrive sur la surface plane d'un cube en verre d'indice 1,52 avec un angle d'incidence de 65°. Calculer l'angle de réfraction dans le verre et la déviation subie par le pinceau lumineux.

Scanned by CamScanner

Solution :

De $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$

On tire : $\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2}.\sin i_1$

$\sin i_2 = \frac{1}{1,52}.\sin 65° = 0,596$ et $i_2 = 36,6°$

La déviation $D = i_1 - i_2 = 65 - 36,6 = 28,4°$



Cas important des petits angles (Formule de Kepler*)

Sous une faible incidence c'est-à-dire i_1 faible et i_2 faible, on peut confondre les sinus de ces angles avec les angles mesurés en radians : $\sin i_1 \approx i_1$ (radian) et $\sin i_2 \approx i_2$ (radian)

La seconde loi de la réfraction peut ainsi s'écrire :

$\frac{i_1}{i_2} = n$ ou $i_1 \approx n i_2$ formule de Kepler

Ex1 : Un rayon lumineux passe de l'air dans le verre sous une incidence i = 13°. Calculer l'angle de réfraction sachant que l'indice du verre par rapport à l'air est 1,5. Quelle déviation a subi le rayon ?

Solution :

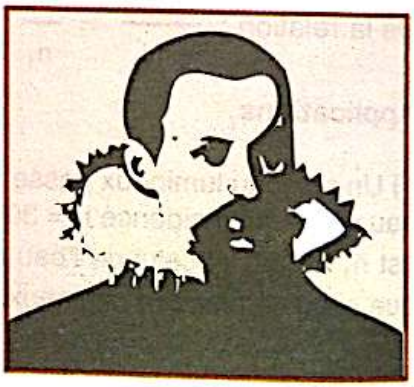
Les angles étant faibles, on peut utiliser la formule de Kepler :

$i \approx n.r \Rightarrow r = \frac{i}{n}$

A.N. : $r = \frac{13}{1,5} = 8,66$ soit 8°40'

La déviation est donnée par l'expression : $D = i_1 - i_2$

A.N.: $D = 13° - 8°40' = 4°20'$



* *Kepler (Johan) Astronome et Physicien allemand 1571 - 1630*

Ex2 : Un rayon lumineux passe d'un milieu (1) à un milieu (2) sous une faible incidence $i_1 = 10,5°$. L'angle de réfraction est $i_2 = 7°$. Calculer l'indice du milieu (2) par rapport au milieu (1).

Solution :

L'angle d'incidence étant faible, on peut utiliser la formule de Kepler :

$i \approx n.r \Rightarrow n = \frac{i_1}{i_2}$ A.N.: $n = \frac{10,5}{7} = 1,5$

Scanned by CamScanner

4. REFRACTION LIMITE ET REFLEXION TOTALE

4-1. MILIEU REFRINGENT

Un milieu réfringent est un milieu transparent qui réfracte la lumière. De deux milieux transparents, le plus réfringent est celui dont l'indice de réfraction est le plus grand.

De deux milieux transparents, le plus réfringent est celui dont l'indice de réfraction est le plus grand.



Ex : Le verre est plus réfringent que l'eau, qui elle-même est plus réfringente que l'air :

$n_{verre} = 1{,}52$ (ou 3/2) ; $n_{eau} = 1{,}33$ (ou 4/3) ; $n_{air} = 1{,}00029$.

$n_{verre} > n_{eau} \Rightarrow$ le verre est plus réfringent que l'eau.

$n_{eau} > n_{air} \Rightarrow$ l'eau est plus réfringente que l'air.

4-2. DISCUSSIONS DE LA DEUXIÈME LOI DE RÉFRACTION

Soit la relation : $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$

a) Si $n_2 > n_1$ le milieu (2) est plus réfringent que le milieu (1) alors $\sin i_1 > \sin i_2$ et $i_1 > i_2$. Le rayon réfracté se rapproche de la normale à la surface de séparation, et donc que l'angle d'incidence est toujours plus grand que l'angle de réfraction :

alors, quel que soit $i_1 \in [0° ..... 90°]$, il y aura toujours un rayon réfracté.

Cas extrêmes : * si $i_1 = 0°$ (valeur minimale) $\Rightarrow i_2 = 0°$

* si $i_1 = 90°$ (valeur maximale ; incidence rasante),

i_2 prend sa valeur limite λ et $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$ devient : $n_1 = n_2 \sin \lambda$ (car $\sin i_1 = \sin 90° = 1$) et par conséquent :

$$\sin \lambda = \frac{n_1}{n_2}$$ **λ est appelé angle limite de réfraction.**

Conclusion : *Tout rayon incident passant d'un milieu dans un autre plus réfringent donne, quelle que soit son incidence, un rayon réfracté. A la plus grande valeur de l'angle d'incidence (i = 90°) correspond la plus grande valeur de l'angle de réfraction appelé angle de réfraction limite* λ *tel que* $\sin \lambda = \frac{n_1}{n_2}$

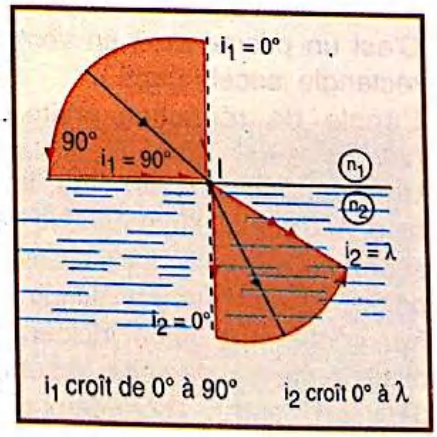


Fig.4

Exercice 1 : Calculer l'angle limite de réfraction du système air-verre ordinaire. $n_{verre} = 1{,}5$.

Solution :

L'angle limite de réfraction λ est donnée par l'expression :

$$\sin \lambda \approx \frac{n_1}{n_2} \quad \sin \lambda \approx \frac{1}{1{,}5} \approx 0{,}66 \Rightarrow \lambda \approx 42°$$

Scanned by CamScanner

Exercice 2 : Calculer l'angle limite de réfraction du système air-eau.

$n_2 = 1{,}33 \qquad \sin\lambda \approx \frac{1}{1{,}33} \approx 0{,}75 \Rightarrow \lambda \approx 49°$

b) Si $n_1 > n_2$ le milieu (1) est plus réfringent que le milieu (2) : alors $i_2 > i_1$. (D'après le principe de retour inverse de la lumière, il suffit d'inverser les flèches dans la fig.4 et intervertir n_1 et n_2).

Dans ce cas, le rayon réfracté s'éloigne de la normale. Puisque i_2 ne peut dépasser 90°, alors quand i_1 croît de 0 à λ, i_2 croît de 0 à 90°, mais surpasse toujours i_1. Ainsi à la valeur limite λ de l'angle d'incidence, correspond un angle de réfraction limite égal à 90° (émergence rasante).

Pour des valeurs de l'angle d'incidence supérieure à l'angle limite λ, il n'y a pas de rayon réfracté. Dans ce cas, toute la lumière incidente est réfléchie, et la surface réfringente se comporte comme un miroir parfaitement réfléchissant. On dit qu'il y a **réflexion totale**.



Conclusion : *Pour qu'un rayon lumineux puisse passer d'un milieu donné dans un autre moins réfringent, son angle d'incidence doit être inférieur à l'angle limite* λ

tel que : $\sin\lambda = \frac{n_1}{n_2}$

λ caractérise la surface réfringente. Pour tout angle d'incidence, supérieur à l'angle limite λ, le rayon réfracté ne pénètre plus dans le second milieu : il est renvoyé dans le premier milieu. Il subit la **réflexion totale**.

4-3 APPLICATIONS DE LA RÉFLEXION TOTALE

Les applications du phénomène de réflexion totale sont nombreuses. On peut citer entre autres : le prisme à réflexion totale, les fontaines lumineuses, les endoscopes médicaux, les fibres optiques pour la transmission d'information, etc. ...

• Prisme à réflexion totale

C'est un prisme droit en verre dont la section droite est un triangle rectangle isocèle (fig.5).

L'angle de réfraction limite du système air-verre est $\lambda = 42°$ (voir Ex. 4-2).

Un rayon incident (en bleu. fig.5) arrivant normalement sur la petite face AB atteint l'hypoténuse AC avec une incidence de 45°, donc supérieur à $\lambda = 42°$. Il y a réflexion totale en I, et le rayon émergent sort perpendiculairement à BC sans être dévié.

Par contre, un rayon incident (en rouge. fig.5) qui tombe perpendiculairement à la face hypoténuse AC en sort parallèlement à sa direction d'entrée après deux réflexions totales sur les faces AB et BC.

On utilise le prisme à réflexion totale dans de nombreux instruments d'optique tels que : jumelles à prisme, périscope, etc.

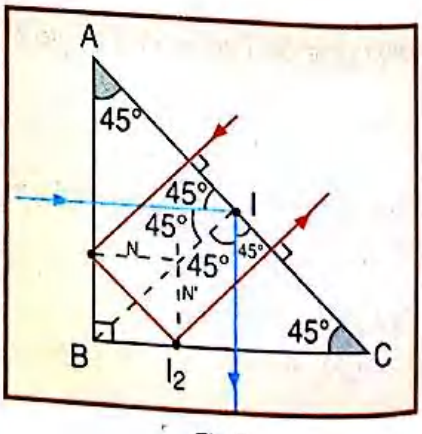


Fig.5

Scanned by CamScanner

5. CONSTRUCTION GEOMETRIQUE DU RAYON REFRACTE

Considérons un rayon incident SI tombant sur une surface réfringente Σ et supposons $n_2 > n_1$.
A partir de I comme centre, on trace deux demi-circonférences de rayons n_1 et n_2 (fig.6).
On prolonge SI jusqu'à son intersection P avec la première demi-circonférence. On abaisse la perpendiculaire PH à la surface réfringente et on la prolonge jusqu'à son intersection R avec la deuxième demi-circonférence. On trace IR qui est le rayon réfracté.
Il est facile de vérifier que IR est le rayon réfracté correspondant au rayon incident SI. Il suffit de montrer que les angles i_1 et i_2 satisfont à la formule : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

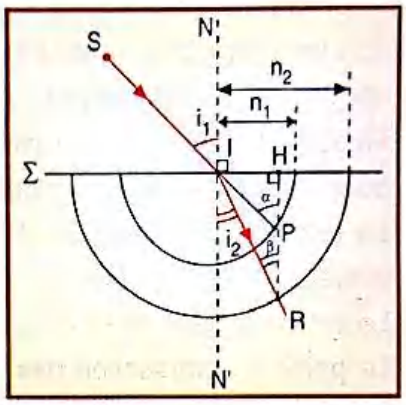


Fig.6

HR est parallèle à NN' : Les deux droites sont toutes deux respectivement perpendiculaires à la surface réfringente Σ.
$i_1 = \alpha$ (angles correspondants)
$i_2 = \beta$ (angles alterne-interne.)
$IP = n_1$ et $IR = n_2$ (respectivement rayons des deux demi-circonférences par construction).

Le triangle rectangle IHP donne : $\sin\alpha = \frac{IH}{IP}$ et $IH = IP \sin\alpha$ (1)

Le triangle rectangle IHR donne : $\sin\beta = \frac{IH}{IR}$ et $IH = IR \sin\beta$ (2)

(1) et (2) donnent : $IP.\sin\alpha = IR.\sin\beta$ et par suite, $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$.



6. LE DIOPTRE PLAN

6-1. DÉFINITION :

Un dioptre plan est un ensemble de deux milieux transparents et homogènes séparés par une surface plane.
La surface de l'eau séparant l'air et l'eau constitue un dioptre plan ; de même qu'un bloc de verre placé dans l'air ou dans l'eau, et dont une face au moins est plane et polie.

6-2. IMAGES D'UN OBJET DANS UN DIOPTRE PLAN

a) Observations

Quand nous essayons de ramasser un objet que nous voyons sous l'eau, nous sommes généralement étonnés de devoir enfoncer le bras plus que nous ne l'avions prévu. De même, un bâton partiellement plongé dans l'eau d'une cuve, nous paraît brisé au niveau de la surface de l'eau.
Pour expliquer les apparences ainsi observées, nous allons chercher à savoir comment et à quelles conditions un dioptre plan fournit une image.


expérience du bâton brisé

M.E.N.E.S.
LE BIBLIOTHECAIRE
LYCEE MAMADOU SARR

Scanned by CamScanner

b) Image d'un objet situé dans le milieu le plus réfringent

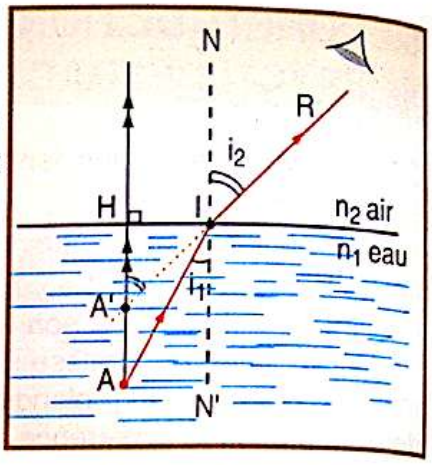


Fig.7 : Image d'un objet dans le milieu le plus réfringent

Soit un point objet A dans l'eau, milieu (1) d'indice n_1. Le milieu (2) est l'air d'indice n_2 (fig.7). Considérons deux rayons issus de A, et étudions leur marche à travers le dioptre plan. Un rayon incident AH, normale à la surface réfringente, émerge sans changer de direction.
Le second rayon incident AI, arrivant à la surface sous une incidence faible, émerge suivant IR en s'écartant de la normale IN. ($n_1 > n_2$)
Le prolongement de IR coupe AH en A'.
Le point A', intersection des rayons A'H et A'I est l'image virtuelle du point A.
Déterminons la position de A'.
L'angle i_2 = HÂ'I (angles correspondants).
L'angle i_1 = HÂI (angles alterne-interne).
En considérant les triangles rectangles AHI et A'HI on peut écrire :

$$\text{tg } i_1 = \frac{HI}{HA} \Rightarrow HI = HA \text{ tg } i_1$$

$$\text{tg } i_2 = \frac{HI}{HA'} \Rightarrow HI = HA' \text{ tg } i_2$$

$$HA \text{ tg } i_1 = HA' \text{ tg } i_2$$

$$HA . \frac{\sin i_1}{\cos i_1} = HA' . \frac{\sin i_2}{\cos i_2} \quad (1)$$



L'incidence étant faible, alors i_1 et i_2 sont faibles $\Rightarrow \cos i_1 \approx 1$ et $\cos i_2 \approx 1$ et (1) devient : $HA.\sin i_1 \approx HA'\sin i_2$. (2)
D'après la deuxième loi de Descartes : $n_1.\sin i_1 = n_2.\sin i_2$. (3)
En divisant membre à membre l'égalité (2) par l'égalité (3), on obtient :

$$\frac{HA}{n_1} \approx \frac{HA'}{n_2}$$

La position de A' ne dépend plus de i_1 ; les rayons semblent provenir d'un même point A'. On conclut : Le dioptre plan donne d'un **objet réel une image virtuelle.**

Scanned by CamScanner

La position de l'image est définie par la relation :

$$\frac{HA}{n_1} \approx \frac{HA'}{n_2} \Rightarrow HA' = HA.\frac{n_2}{n_1}$$

$n_1 > n_2$ donc $HA' < HA$.

(1) Le point que l'œil observe à travers le dioptre paraît donc plus proche de la surface réfringente qu'il ne l'est en réalité.

c) Image d'un objet situé dans le milieu le moins réfringent

On considère maintenant le point A situé dans l'air, milieu (1) d'indice n_1 et l'œil de l'observateur dans le milieu (2) d'indice n_2. (fig.8)

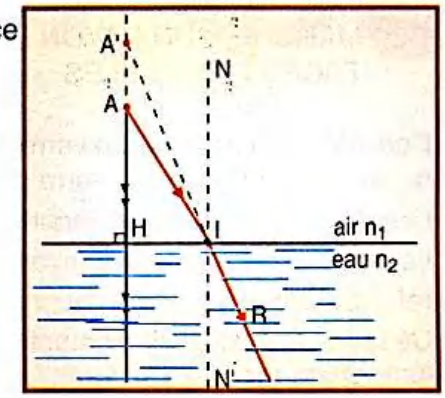


Fig.8 : Image d'un objet dans le milieu le moins réfringent

Par un raisonnement en tout point analogue au a) de 6.2, on aboutit à :

$$\frac{HA}{n_1} = \frac{HA'}{n_2} \Rightarrow HA' = HA\,\frac{n_2}{n_1}$$

Puisque maintenant $n_2 > n_1$, on aura : $HA' > HA$ et donc :

(2) Le point que l'œil observe à travers le dioptre paraît plus éloigné de la surface réfringente qu'il ne l'est en réalité.

Remarque : Le point virtuel A' est à l'intersection des prolongements des rayons appartenant au milieu (2) ; il importe donc d'observer et de retenir que ce point A' appartient lui aussi au milieu (2), bien qu'il soit du même côté que A, par rapport à la surface réfringente.

N.B : Dans les deux cas l'image n'est définie unique que pour des angles d'incidence petits ; pour des angles grands, on obtient plusieurs points images. Il y a donc un stigmatisme approché : il correspond aux rayons peu écartés de la normale.



d) Image d'un objet virtuel

On forme d'abord l'image réelle A'_1 d'un point lumineux A. Pour cela on utilise un système optique (lentille) avec lequel on forme cette image réelle dans une cuve vide. Une fois la cuve remplie d'eau (indice n_2) l'image ne se forme plus à la même place A'_1, mais en A'_2. Dans ces conditions, A'_1 est objet virtuel et A'_2 est image réelle. Les positions relatives de l'objet et de l'image sont comme dans les cas précédents.

Scanned by CamScanner

7. LAMES A FACES PARALLELES

7-1 DÉFINITION

Une lame à faces parallèles est un milieu transparent limité par deux faces planes et parallèles.

C'est donc un ensemble constitué par deux dioptres plans parallèles. Il est caractérisé par son épaisseur **e** (distance entre les deux surfaces dioptriques) et l'indice **n** du milieu séparant les deux faces (fig.10).

Il est possible que les deux faces baignent dans le même milieu ou dans des milieux différents.



Lames à faces parallèles

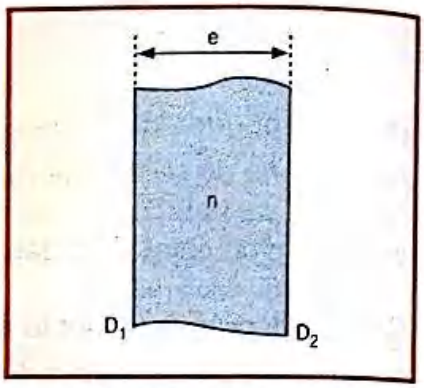


Fig.10 : Lame à faces parallèles

7-2 MARCHE D'UN RAYON LUMINEUX À TRAVERS UNE LAME À FACES PARALLÈLES

Considérons une lame de verre dans l'air : le milieu (1) est l'air d'indice n_1, et le milieu (2) est le verre d'indice n_2.
Les deux dioptres plans parallèles sont D_1 et D_2 (fig.11).
Le point objet A émet un rayon incident AI sur le dioptre D_1 en I. Il se réfracte suivant II' en se rapprochant de la normale ($n_1 < n_2$) (fig.11).
Ce rayon II' émerge finalement de la lame suivant l'R en s'éloignant de la normale ($n_1 > n_2$).
Appliquons la deuxième loi de Descartes aux points I et I'.
Au point I : $\sin i_1 = n \sin i_2$
Au point I' : $n \sin i'_1 = \sin i'_2$
$i_2 = i'_1$ (angles alterne – interne). Donc $\sin i_1 = \sin i'_2$
et par suite $i_1 = i'_2$.
Le rayon émergent l'R est parallèle au rayon incident AI.

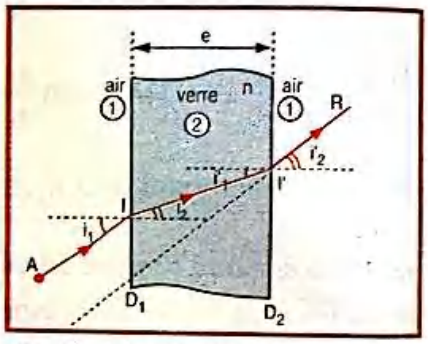


Fig.11 : Marche d'un rayon à travers une lame à faces parallèles

Conclusion :
Lorsqu'un rayon lumineux traverse une lame à faces parallèles sous une incidence oblique, il subit une translation. Le rayon émergent est parallèle au rayon incident.

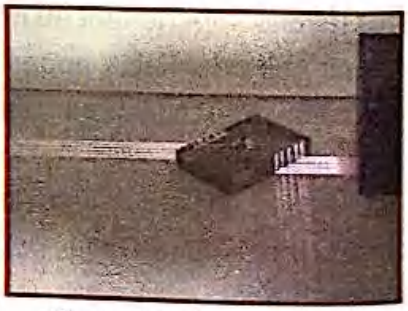


Photo : Marche d'un faisceau à travers une lame à faces parallèles

7-3 IMAGE DONNÉE PAR UNE LAME À FACES PARALLÈLES

Considérons un point objet réel A et deux rayons incidents AI et AH issus de ce point (fig12). A'_1 est l'image virtuelle de A dans le dioptre D_1 ; mais, il est objet réel pour le dioptre D_2 qui en donne une image virtuelle A'_2. Finalement, l'œil placé en O, ne voit que A'_2 qui est l'image virtuelle que la lame à faces parallèles donne du point objet réel A.

Déterminons la distance AA'_2 de l'objet à l'image.
Appliquons la formule du dioptre à D_1 :

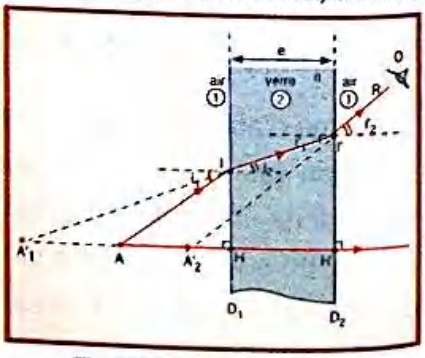


Fig.12 : Image donnée par une lame à faces parallèles

Scanned by CamScanner

$\frac{HA}{n_1} = \frac{HA'_1}{n_2}$; $n_1 = 1 \Rightarrow HA = \frac{HA'_1}{n_2} \Rightarrow HA'_1 = n.HA$ (1)

Appliquons la formule à D_2 :

$\frac{H'A'_1}{n} = H'A'_2$

$H'A'_1 = H'H + HA'_1 = e + n\,.\,HA$

La distance $AA'_2 = H'A - H'A'_2$

$H'A = H'H + AH = e + AH$

$H'A'_2 = \frac{e + n\,HA}{n}$

$AA'_2 = e + AH - \frac{e + n\,HA}{n} = e - \frac{e}{n} = e\,(1 - \frac{1}{n})$

$AA'_2 = e\,(1 - \frac{1}{n})$



Conclusion

Le rapprochement apparent d'un objet à travers la lame à faces parallèles, est indépendant de la position de l'objet. Il ne dépend que de l'épaisseur de la lame et de son indice. Le déplacement de l'image se fait dans tous les cas dans le sens de la lumière et sa valeur est :

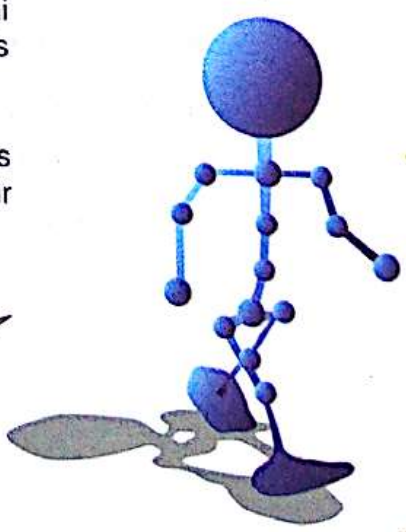
$$AA'_2 = e\,(1 - \frac{1}{n})$$

7-4 CAS D'UNE LAME MINCE

$$AA'_2 = e\,(1 - \frac{1}{n})$$

Quand **e** est faible, AA'_2 est faible aussi. Donc, si l'épaisseur d'une lame est faible (n'excédant pas quelques mm), elle ne modifie pratiquement pas la marche des rayons lumineux et par suite les objets observés à travers une telle lame ne sont ni déplacés, ni déformés. C'est le constat qu'on fait quand on regarde les objets exposés derrière les vitrines des magasins.

Remarque : Garder bien à l'esprit qu'on se place dans les conditions de stigmatisme approché correspondant à des rayons peu inclinés sur la normale.



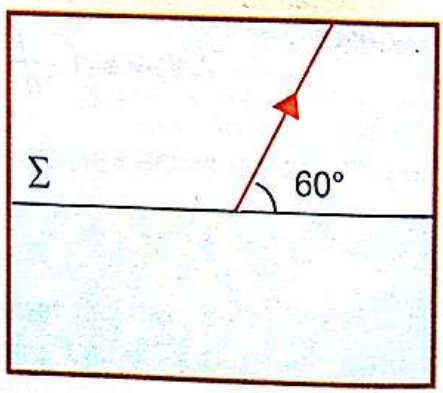
Scanned by CamScanner

MOTS CLES

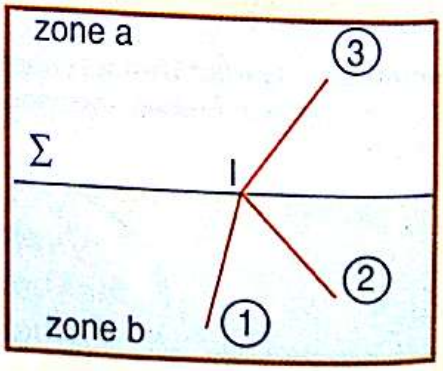
Rayon réfracté ; surface réfringente ; lois de la réfraction ; indices de réfraction (indice absolu, indice relatif) ; réfraction limite ; réflexion totale ; angle limite de réfraction ; dioptre plan ; formule du dioptre plan ; lame à faces parallèles ; formules de la lame à faces parallèles.

EVALUATION

1. *Quelles sont les conditions pour qu'il y ait réflexion totale ? Citer deux applications de la réflexion totale.*
2. *On dit parfois qu'on voit encore le soleil alors qu'il est déjà couché. Donnez une interprétation.*
3. *Qu'appelle-t-on réfraction ? Expliquer par un schéma.*
4. *Enoncer la deuxième loi de la réfraction. Qu'est-ce qu'un dioptre ?*
5. *De la rive, un tireur vise un poisson dans l'eau. Doit-il viser au-dessus ou au-dessous pour l'atteindre ? Justifier votre réponse.*
6. *Un pinceau lumineux arrive sur la surface Σ séparant deux milieux transparents d'indice $n_1 = 1,33$ et $n_2 = 1,6$. Le rayon réfracté forme avec la surface Σ un angle de 60° (voir figure ci-contre). Représenter le rayon incident correspondant à ce rayon.*



7. *Un pinceau lumineux arrive en un point I de la surface Σ séparant l'air et l'eau (indice de l'eau n = 1,33).*
   a. *Identifiez les rayons incident, réfléchi et réfracté et dans chaque cas indiquez le sens de la propagation de la lumière.*
   b. *L'eau se trouve-t-elle dans la zone (a) ou (b) ? Justifiez votre réponse.*



Scanned by CamScanner

8. *Un pinceau de lumière se propageant dans du verre d'indice $n_1 = 1,5$ sort dans l'air. On donne à l'angle d'incidence i_1 les valeurs ci-dessous.*

1°) Compléter le tableau suivant sachant que i_2 est l'angle de réfraction.

i_1	0	20°	40°	60°
i_2				

2°) On considère maintenant le passage de la lumière de l'air dans le verre. Les valeurs prises par l'angle d'incidence i_1 sont dans le tableau ci-dessous. D est la déviation subie par le rayon incident.

a. Compléter le tableau

b. Tracer la courbe $i_1 = f(i_2)$

i_1	0	15°	30°	45°	60°	75°	90°
i_2							
D							

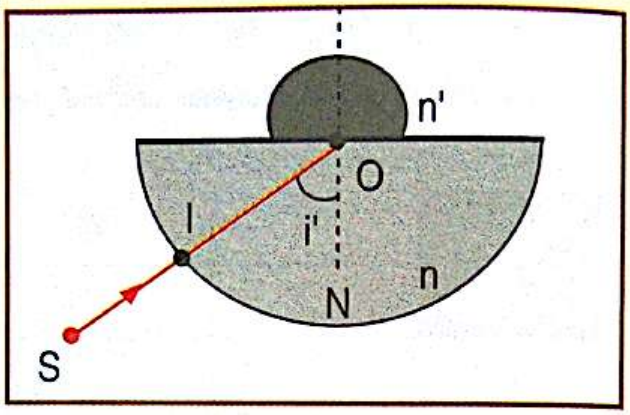
9. *Quelle est l'indice de réfraction d'un milieu dans lequel la lumière se propage à la vitesse $v = 185000$ km/s. On donne la célérité de la lumière dans le vide $c = 300\,000$ km/s.*

Réponses aux questions d'évaluation précédées d'une « * »

2. *Les rayons du soleil couchant ont une grande épaisseur d'atmosphère à traverser et sont réfractés davantage.*

Scanned by CamScanner

EXERCICE RESOLU



Pour mesurer l'indice de réfraction n' d'un liquide, on choisit un bloc transparent, en cristal, ayant la forme d'un demi-cylindre. On envoie un fin faisceau parallèle sur la surface de ce demi-cylindre de façon que le faisceau passe par son centre O (voir figure). On dépose autour du point O une goutte de ce liquide. L'expérience montre qu'il y a réflexion totale pour tous les rayons qui arrivent au point O sous une incidence supérieure à 65°.

a) Pourquoi le faisceau traverse-t-il la surface de séparation air-cristal sans être dévié ?

b) Quel est l'indice n' de ce liquide sachant que l'indice du cristal est n = 1,60 ?

Solution

a) Il n'y a pas de déviation en I parce que le rayon lumineux, étant le prolongement d'un rayon de l'hémicylindre, arrive perpendiculairement à la surface réfringente.
(en réalité, il est perpendiculaire à la tangente à la surface de l'hémicylindre au point I)

b) Indice du liquide

Il y a réflexion totale si $i' > \lambda$ avec λ angle limite de réfraction.

L'angle limite de réfraction λ est donnée par la relation : $\sin \lambda = \frac{n'}{n} \Rightarrow n' = n \sin\lambda$

Scanned by CamScanner

$n = 1,60$

$\lambda = 65°$

$n' = n \sin\lambda = 1,60 \ \sin 65° = 1,60 \times 0,9063 = 1,450$

$n' = 1,450$

EXERCICES

① *Les rayons du soleil, frappant sur la surface de l'eau contenue dans un bassin, font avec le plan horizontal un angle dont la tangente est 3/4. (le soleil sera considéré comme réduit à son centre). Un poteau vertical de hauteur 12 m est planté sur le bord de ce bassin du côté d'où vient la lumière.*

1°) Sur une figure représenter l'ombre du poteau sur le fond du bassin supposé horizontal.

2°) L'œil d'un observateur, placé à 18 m au- dessus de la surface libre de l'eau, et sur la verticale passant par le bord opposé du bassin, regarde l'extrémité de l'ombre du poteau. Cette extrémité lui est juste cachée par l'image du soleil donnée par réflexion sur la surface du bassin.

a) Dans quel plan l'œil de l'observateur doit-il se trouver ?

b) Quelle est la profondeur du bassin si la longueur de celui-ci entre le poteau et la verticale de l'œil de l'observateur est 70 m.

On donne : indice de l'eau = n = 4/3

② *On verse dans une cuve du sulfure de carbone jusqu'à une hauteur de 10 cm. On place au centre de cette cuve, une très petite source lumineuse.*

Calculer l'aire de la surface du sulfure de carbone que traverse la lumière.

On donne : indice du sulfure de carbone = $n_1 = 1,63$ Indice de l'air = $n_2 = 1$

Scanned by CamScanner

4 LE PRISME

PRÉALABLES

- Les lois de la réfraction.
- Angle limite de réfraction, réflexion total.
- Définition et calcul de la déviation.

OBJECTIFS

- définir le prisme
- représenter la section principale du prisme
- tracer la marche d'un rayon lumineux à travers un prisme
- établir les quatre formules fondamentales du prisme
- donner les conditions d'émergence d'un rayon incident
- donner l'expression de l'indice du prisme en fonction de l'angle de déviation minimale et de l'angle du prisme
- décrire et expliquer la dispersion de la lumière blanche par un prisme

Scanned by CamScanner

1. DEFINITION

En optique, un prisme est un milieu transparent limité par deux plans non parallèles (fig.1).

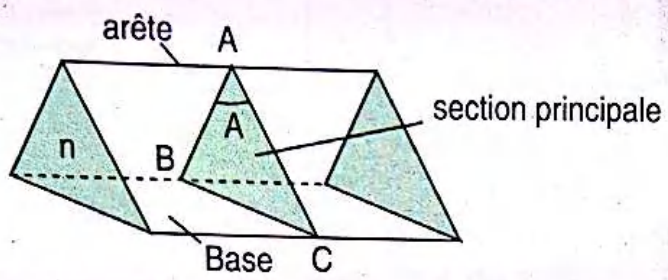


Fig. 1 : Prisme

Les deux plans non parallèles sont les faces du prisme et leur intersection constitue l'arête du prisme. L'angle formé par les deux faces est appelé angle du prisme : il est défini par l'intersection du prisme par un plan normal à l'arête et noté A. La section obtenue est appelée section droite ou section principale.

Dans notre étude, nous nous limiterons à des prismes en verre indéformables. Un tel prisme est caractérisé par son indice de réfraction et son angle Â.

On schématise un prisme par un triangle représentant une section droite (fig.2).

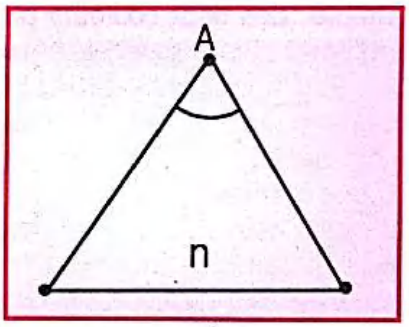


Fig.2 : Schéma d'un prisme.

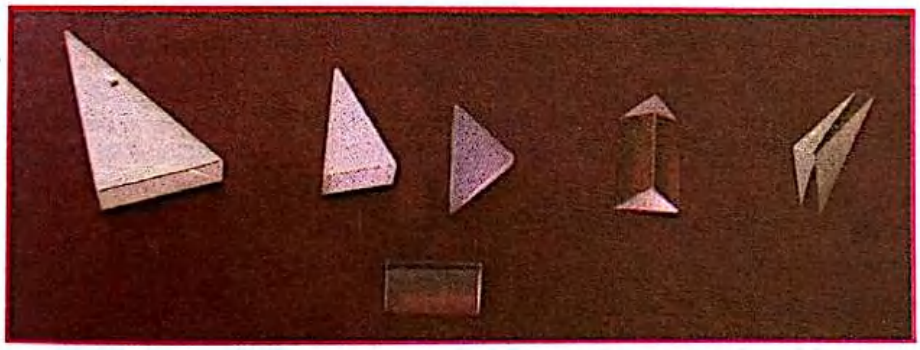


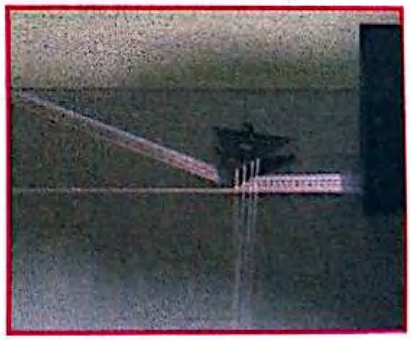
Photo : Prismes

2. EXPERIENCE

2-1 OBSERVATIONS

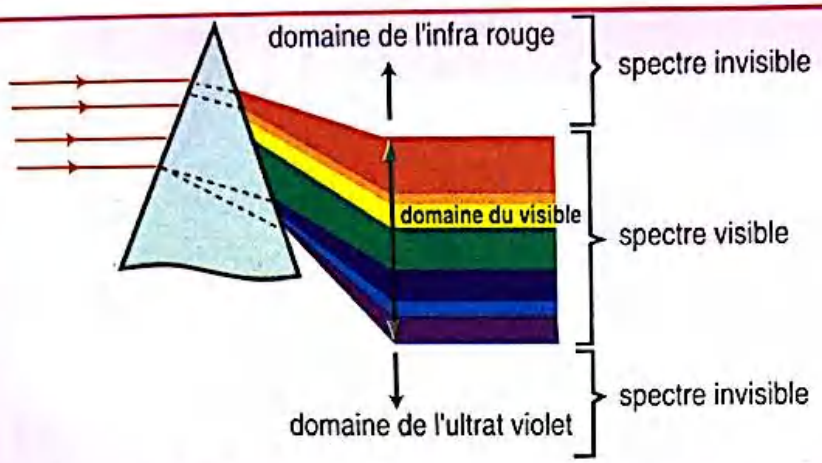
Faisons arriver sur un prisme un faisceau parallèle très plat de lumière blanche (lumière solaire ou d'une lampe à incandescence). Nous observons :

- le faisceau qui traverse le prisme subit une déviation vers la base du prisme.
- La trace de ce faisceau sur un écran présente les couleurs de l'arc-en-ciel : du rouge au violet. On dit que le prisme **décompose** la lumière blanche. C'est le phénomène de la **dispersion** (fig.3).



Déviation du faisceau vers la base

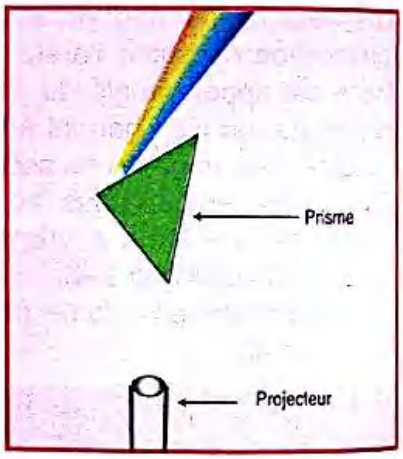
Scanned by CamScanner



Reproduction approximative du spectre visible. La teinte varie du rouge au violet. Chaque couleur est considérée comme une lumière monochromatique.

Fig. 3 : La déviation et la dispersion de la lumière blanche par le prisme

L'ensemble des radiations du rouge au violet constitue le **spectre visible**. Les sept couleurs principales de ce spectre sont : le violet, l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé, le rouge. Entre ces couleurs, il existe une infinité de teintes intermédiaires. On dit que la lumière blanche est une **lumière complexe** ou **poly chromatique**.
Une lumière non décomposable par le prisme est appelée lumière **monochromatique**.
Il existe des radiations au-delà du rouge et du violet, que l'œil humain ne voit pas. Ces radiations constituent le **spectre invisible**. On a pu mettre ces radiations en évidence grâce à la plaque d'un appareil photographique qu'elles impressionnent.



La déviation et la dispersion de la lumière blanche par le prisme

2-2 INTERPRÉTATIONS

Le phénomène de la dispersion s'explique en admettant que la lumière blanche est formée par la superposition d'une infinité de lumières colorées, allant du rouge au violet. Chaque milieu transparent donné, possède un indice de réfraction particulier pour chaque lumière colorée. Le prisme donne donc autant de faisceaux réfractés qu'il y a de couleurs dans la lumière blanche. Chacune de ces couleurs possède son propre indice donc sa propre déviation. Au rouge correspond la plus faible déviation et au violet la plus grande déviation donc le plus grand indice.



2-3 RECOMPOSITION DE LA LUMIÈRE BLANCHE

Dans l'expérience décrite ci-dessus (fig.3), si nous déplaçons derrière le prisme un système optique capable de converger la lumière (lentille convergente), on trouvera une position pour laquelle tous les faisceaux colorés sortant du prisme se confondent en une tache blanche (fig4). On constate alors que les radiations lumineuses obtenues par dispersion, redonnent la lumière complexe initiale, lorsqu'on les superpose.

Scanned by CamScanner

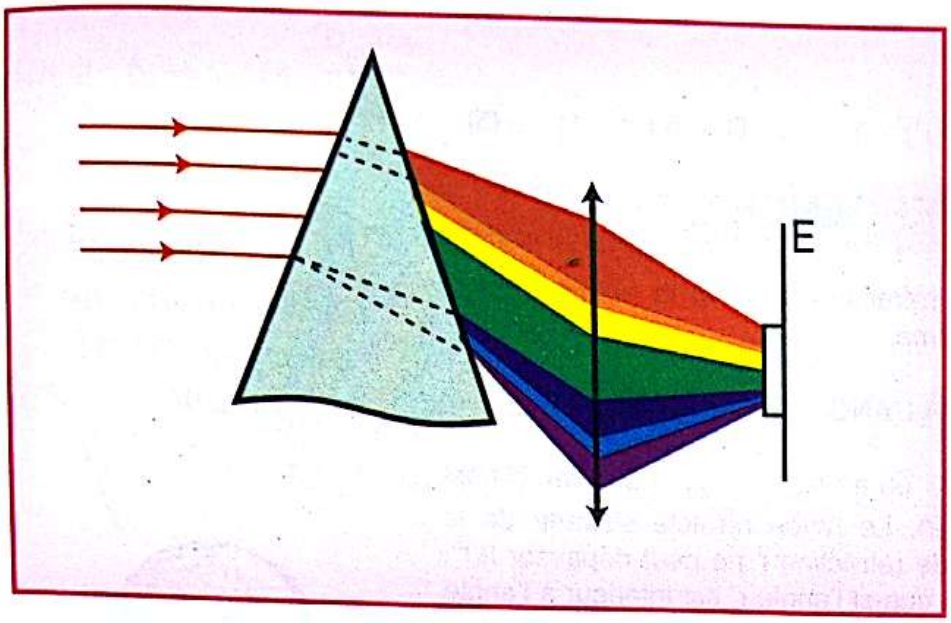
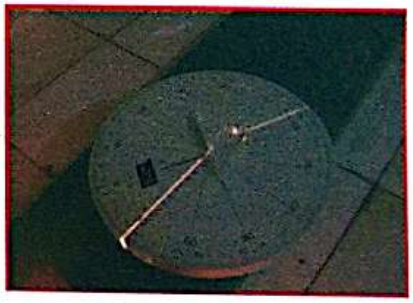


Fig. 4 : Recomposition de la lumière blanche

3. MARCHE D'UN RAYON LUMINEUX FORMULES DU PRISME



marche d'un rayon lumineux

Considérons un prisme d'indice **n** et un rayon incident SI qui arrive sur la première face de ce prisme sous une incidence i. Ce rayon émerge de cette face suivant II' et sort finalement du prisme en s'écartant de la normale suivant l'R.(fig.5)

Appliquons la deuxième loi de la réfraction aux points I et I'.
Au point I : **sin i = n sin r (1)**
Au point I': **n sin r' = sin i' (2)**
Dans le triangle IKI' ; l'angle extérieur K = r + r' (les angles r et r' étant des angles intérieurs du triangle IKI')
L'angle K = l'angle A du prisme (angles à côtés perpendiculaires)
Et donc **A = r + r' (3)**

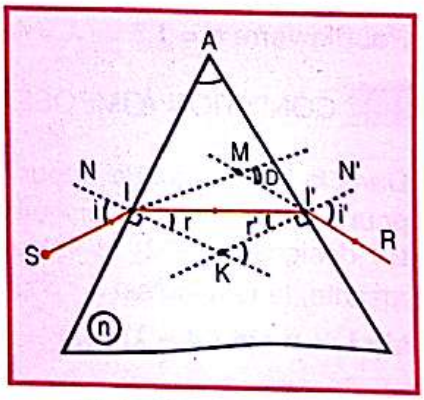
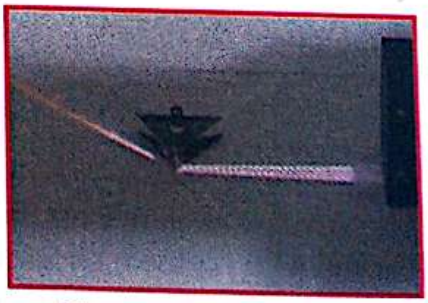


Fig.5 : Formule du prisme

Considérons le triangle II'M : l'angle D = MÎI' + IÎ'M
MÎI' = i – r
IÎ'M = i' – r'
L'angle D = (i – r) + (i' – r') = i + i' – (r + r') ⇒ **D = i + i' - A (4)**
En résumé les formules du prisme sont :

Sin i = n sin r	**(1)**
n sin r' = sin i'	**(2)**
A = r + r'	**(3)**
D = i + i' – A	**(4)**



Prisme : deviation vers la base

Cas d'un prisme de petit angle utilisé sous une faible incidence
Quand l'angle d'incidence est faible, l'angle de réfraction l'est encore plus et dans ce cas on peut utiliser la formule de Kepler :

Scanned by CamScanner

(1) devient : $i \approx nr$
(2) devient : $n\,r' \approx i'$
et $D \approx n\,r + n\,r' - A \approx n\,(r + r') - A \Rightarrow D \approx A\,(n-1)$ **(5)**

4. CONDITIONS D'EMERGENCE



Les résultats de l'étude sur la réfraction limite et la réflexion totale (chap.3 – 4) s'appliquent au prisme.

4-1 CONDITION À IMPOSER À L'ANGLE DU PRISME

Considérons la fig.5 : au point I', on a : $n_{verre} > n_{air}$. Le milieu (1) est plus réfringent que le milieu (2). Le rayon réfracté s'écarte de la normale. Mais puisque l'angle de réfraction i' ne peut dépasser 90°, alors la réfraction n'est possible que si l'angle r' est inférieur à l'angle limite de réfraction λ.

$r' \leq \lambda$ (1)

Au point I ; $n_{air} < n_{verre}$. Le milieu (1) est moins réfringent que le milieu (2). Le rayon réfracté se rapproche de la normale. Il y a toujours un rayon réfracté quel que soit l'angle d'incidence compris entre 0° et 90°. Il existe alors une valeur limite λ de r pour laquelle i = 90° . Donc :

$r \leq \lambda$ (2) .

En ajoutant (1) et (2) , on a : $r + r' \leq 2\lambda$. Puisque $A = r + r'$ alors
$A \leq 2\lambda$ (6)
Pour le verre n = 1,5 $\Rightarrow \lambda = 42°$ donc $A \leq 84°$.

4-2 CONDITION À IMPOSER À L'ANGLE D'INCIDENCE

Dans la fig.5, la loi de retour inverse de la lumière donne au point I': pour i' = 90° , r' = λ. Puisque $A = r + r'$, alors $r = A - r' = A - \lambda$.
En désignant par i_0 la valeur de i pour laquelle il y a émergence rasante, la relation sin i = n sin r devient :
$\sin i_0 = n \sin (A - \lambda)$. (7)



Etude de la déviation

Notre étude se limitant à des prismes en verre indéformables nous admettons :
a) la déviation des rayons augmente avec l'angle du prisme.
b) La déviation augmente avec l'indice du prisme. Elle est minimale lorsque l'angle d'émergence est égal à l'angle d'incidence : i = i'
La **déviation minimale** est donc : $D_m = 2i - A$ (car $D = i + i' - A$)
Déterminons l'indice n en fonction de D_m et de l'angle A du prisme.
D'après la formule (1) : sin i = n sin r

Scanned by CamScanner

Calculons i et r dans les conditions de déviation minimale :

$$D_m = 2i - A \Rightarrow \quad i = \frac{D_m + A}{2}$$

$$i = i' \Rightarrow r = r' \text{ et } A = 2r \Rightarrow \quad r = \frac{A}{2}$$

En mettant ces valeurs de i et de r dans l'expression $n = \frac{\sin i}{\sin r}$

On trouve :

$$n = \frac{\sin \frac{D_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (8)$$



Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Section droite, angle du prisme, dispersion de la lumière, spectre visible, lumière monochromatique, émergence, déviation minimale.

EVALUATION

1. *Qu'est-ce qu'un prisme ? Quelle est sa propriété fondamentale vis-à-vis d'une lumière monochromatique ?*
2. *Comment peut-on obtenir un spectre lumineux ?*
3. *L'œil peut-il percevoir toutes les radiations d'un spectre ?*
4. *Donner les formules générales du prisme.*

*5. *En observant les nuages on constate que certaines parties sont blanches alors que d'autres sont grises. Pouvez-vous expliquer cette différence de couleur ?*

*6. *Pourquoi le ciel est bleu ?*



Un ciel bleu

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

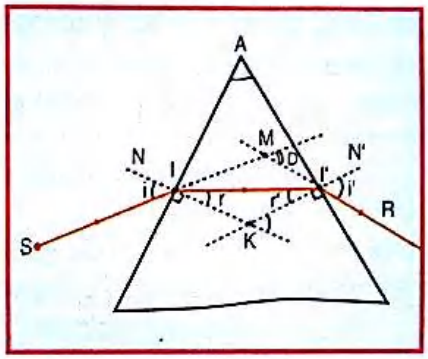
① *On considère un prisme d'angle au sommet A = 50° et d'indice n = 1,52. Un rayon lumineux tombe sur la face antérieure de ce prisme sous une incidence de 20°.*

a) Tracer la marche de ce rayon à travers le prisme.

b) Calculer l'angle de déviation que forme le rayon émergent avec le prolongement du rayon incident.

Solution

a) Marche du rayon lumineux à travers le prisme. (voir figure)



b) Pour calculer l'angle de déviation nous utilisons les formules du prisme. (chap.4-3)

Au point I : $\sin i = n \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{\sin i}{n} = \frac{\sin 20°}{1,52} = \frac{0,342}{1,52}$

$= 0,225 \Rightarrow r = 13°$

L'angle A du prisme est donné par la formule :
$A = r + r' \Rightarrow r' = A - r = 50 - 13 = 37°$
Au point I' : $n \sin r' = \sin i' \Rightarrow \sin i' = 1,52 \sin 37° = 1,52 \times 0,602 = 0,915 \Rightarrow i' = 66,21°$
L'angle de déviation est $D = i + i' - A$
Ce qui donne $D = (20 + 66,21) - 50 = 36,21°$ soit : 36° 12' 36"

② *Un rayon lumineux aborde un prisme d'indice n = 1,6 et d'angle A = 60°*
Déterminer :

a) la valeur minimale de i pour qu'il y ait émergence.

b) le minimum de déviation

c) la déviation pour une incidence rasante et pour i minimal.

Solution

On considère la figure de l'exercice.1
a) Valeur minimale de i pour qu'il y ait émergence.
Soit i_0 la valeur minimale de i pour qu'il y ait émergence. On peut écrire : $\sin i_0 = n \sin r$.
Cette valeur de i_0 de l'angle d'incidence pour qu'il y ait émergence correspond à $i' = 90°$ et à $r' = \lambda$ avec λ = angle limite de réfraction (chap.4 : 4-1)

$$\sin \lambda = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,6} = 0,625 \Rightarrow \lambda = 38,7°$$

Cette valeur de λ nous permet de calculer r à partir de l'angle $A = r + r'$. Puisque $\lambda = r'$ alors $r = A - r' = 60 - 38,7° = 21,3°$
On en déduit : $\sin i_0 = n \sin r = 1,6 \sin 21,3° = 1,6 \times 0,363 = 0,581 \Rightarrow i_0 = 35,5°$

Scanned by CamScanner

b) Le minimum de déviation.
Il est donné par l'expression : $D_m = 2\, i_m - A$ (chap.4 : 4-2)

Au minimum de déviation $r = r' \Rightarrow A = 2\, r \Rightarrow r = \frac{A}{2}$

Donc $\sin i_m = n \sin r = n \sin \frac{A}{2} = 1{,}6 \sin \frac{A}{2} = 1{,}6 \times 0{,}5 = 0{,}8 \Rightarrow i_m = 53{,}1°$ et

$D_m = (2 \times 53{,}1) - A = 46{,}2°$

c) La déviation D pour l'incidence minimale i_m est donnée par la formule : $D = i_m + i' - A$
Pour $i = i_m$ on a : $i' = 90°$ (émergence rasante) alors $D = (35{,}5 + 90) - 60 = 65{,}5°$
Pour une incidence rasante ($i = 90°$), les calculs sont les mêmes d'après le retour inverse de la lumière : Donc : $i' = 35{,}5°$ et $D = 65{,}5°$.

Réponses aux questions d'évaluations précédées d'une « * »

5. Les nuages constitués de gouttes d'eau ou de glaces réfléchissent la lumière blanche du soleil et paraissent blancs. Certaines parties absorbent le blanc et semblent grises.

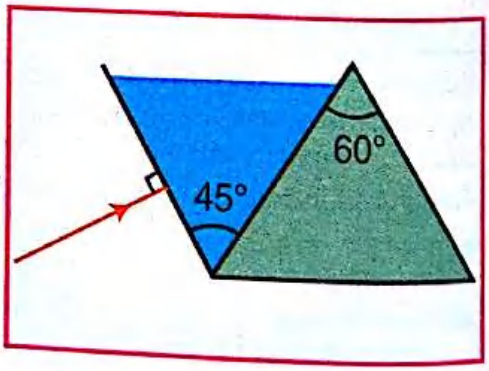
6. Dans la haute atmosphère, les lumières qui composent la lumière solaire sont inégalement diffusées par les petites particules qui constituent l'air et cette déviation décroît du violet au rouge ; comme le violet est peu visible, c'est le bleu qui apparaît comme le plus diffusé, et le ciel est vu bleu.

EXERCICES

① *Un prisme d'angle A = 60° et d'indice n = 1,414 reçoit un faisceau parallèle de lumière monochromatique.*

1) Quelle incidence faut-il donner au faisceau sur la face d'entrée du prisme pour que la déviation de ce faisceau soit minimum ? Calculer l'angle de déviation.

2) Donner les limites entre lesquelles doit se trouver compris l'angle d'incidence pour que le faisceau puisse sortir du prisme sans réflexion intérieure ?



3) A ce prisme, on accole une cuve prismatique d'angle A' = 45°, remplie d'eau d'indice.

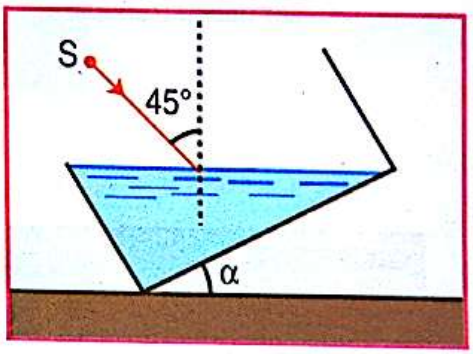
Scanned by CamScanner

$n' = 1{,}333$. Le faisceau lumineux tombe d'abord sur la cuve prismatique normalement à sa première face comme l'indique la figure.

a) Figurer la marche du faisceau lumineux à travers ce système.

b) Calculer la déviation du faisceau à travers ce système.

② Une cuve en verre contient un liquide d'indice $n = 1{,}5$ jusqu'à une hauteur de 20 cm. D'un point lumineux S, on envoie un petit pinceau lumineux monochromatique sur la surface libre de ce liquide. Ce rayon contenu, dans un plan perpendiculaire à l'arête A de la cuve, tombe en un point I de la surface sous une incidence de 45°. Il traverse le liquide et sort par le fond AB de la cuve.



1°) Calculer la déviation δ qu'il subit en pénétrant dans le liquide.

2°) Le fond de la cuve AB étant horizontal, calculer la distance d entre le rayon incident et le rayon émergent par le fond mesurée perpendiculairement aux deux rayons. On négligera l'épaisseur du verre au fond de la cuve.

3°) Le rayon incident ne changeant pas, on incline la cuve comme l'indique la figure. Calculer l'inclinaison α du fond par rapport au plan horizontal pour que la traversée du liquide et du fond de la cuve fasse subir au rayon une déviation D égale à l'angle δ de la première question.

4°) Quelle valeur faut-il donner à l'inclinaison α pour que la déviation soit minimum ?

Scanned by CamScanner

5 LES LENTILLES

PRÉALABLES

- Rapports de similitude dans les triangles semblables.
- Un milieu transparent, un dioptre.

OBJECTIFS

- définir une lentille
- citer les différents types de lentille
- schématiser une lentille
- définir les caractéristiques d'une lentille mince : axe, centre optique, foyers, distance focale, plans focaux
- construire l'image d'un objet
- établir les formules des lentilles : position, grandissement (préciser les conventions de signe)
- définir et calculer la vergence d'une lentille
- citer l'unité de la vergence
- écrire l'expression de la vergence en fonction de l'indice et des rayons de courbure
- énoncer le théorème de la vergence d'un système de lentilles accolées
- déterminer la vergence d'une lentille par la méthode de Bessel

Scanned by CamScanner

1. GENERALITES

1.1 DÉFINITION DES LENTILLES

Les lentilles sont des dispositifs optiques simples réalisés avec un milieu peu absorbant pour la lumière du jour (lumière solaire). Elles sont limitées par deux surfaces sphériques (l'une au plus pouvant être plane) centrées sur un même axe. L'épaisseur Δx de la lentille est comptée sur l'axe. Si elle est négligeable, la lentille est dite mince. Les lentilles sont généralement en verre clair.



lentilles

1.2 LES DIFFÉRENTS TYPES DE LENTILLE

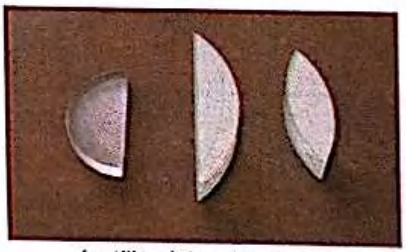
a) lentilles à bords minces :

Les deux surfaces limitant se coupent en formant un bord mince. Suivant la nature et la disposition des deux surfaces on distingue :

α) **la lentille biconvexe** (limitée par deux calottes sphériques convexes) ;

β) **la lentille plan-convexe** (limitée par un plan et une calotte convexe) ;

γ) **la lentille convexe-concave ou ménisque convergent** (limitée par une surface convexe et une surface concave).



lentilles à bords minces

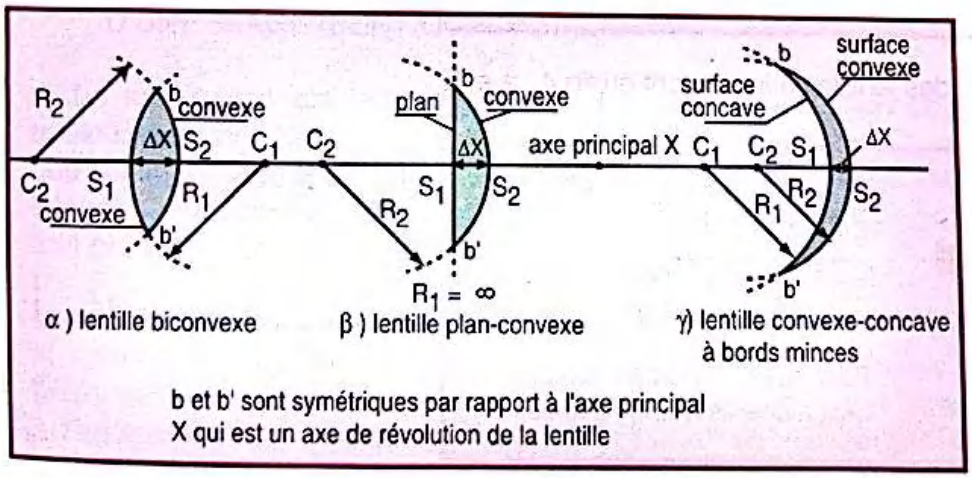


Fig.1 lentille à bords minces

b) lentilles à bords épais :

Les surfaces des deux faces ne se recoupent pas, ce qui confère au bord de la lentille une certaine épaisseur. Suivant la nature et la disposition des deux surfaces on distingue :

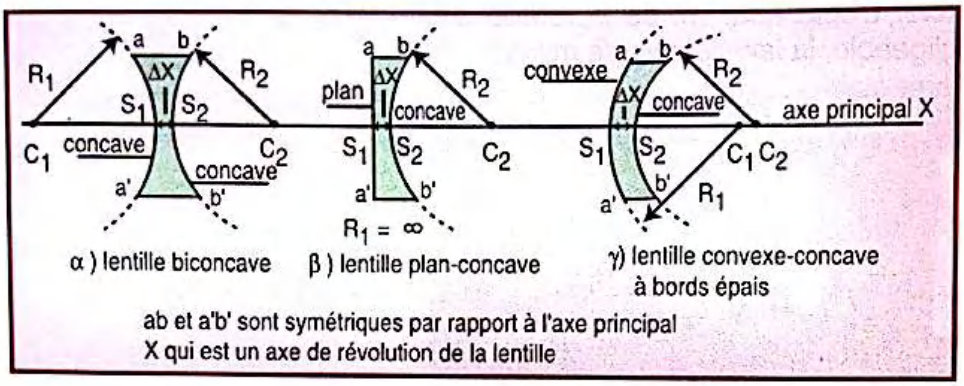
Scanned by CamScanner

α) **la lentille biconcave** (limitée par deux surfaces sphériques concaves) ;
β) **la lentille plan concave** (limitée par un plan et une surface concave) ;
γ) **la lentille convexe-concave** ou **ménisque divergent**
(limitée par une surface convexe et une surface concave).



lentilles à bords épais

Fig.2 lentille à bords épais



α) lentille biconcave β) lentille plan-concave γ) lentille convexe-concave à bords épais

ab et a'b' sont symétriques par rapport à l'axe principal X qui est un axe de révolution de la lentille

c) On peut montrer, par la construction du cheminement d'un faisceau (ou pinceau) de lumière, que les lentilles à bords minces sont convergentes, et les lentilles à bords épais sont divergentes.

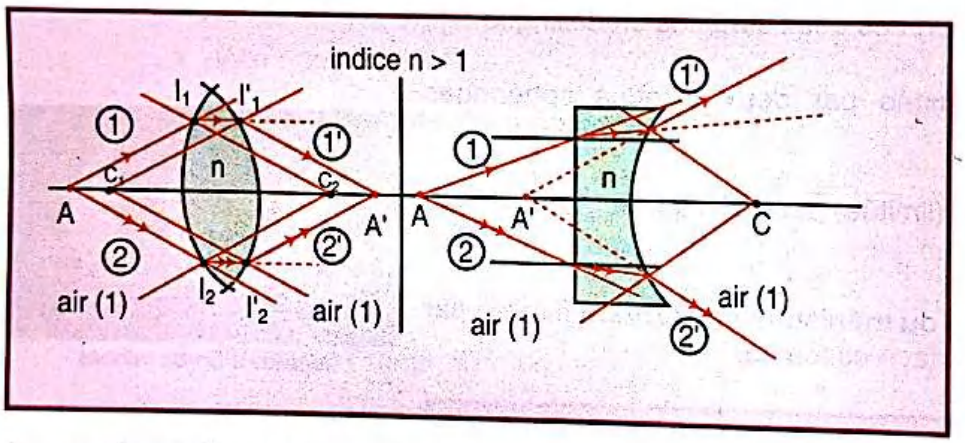
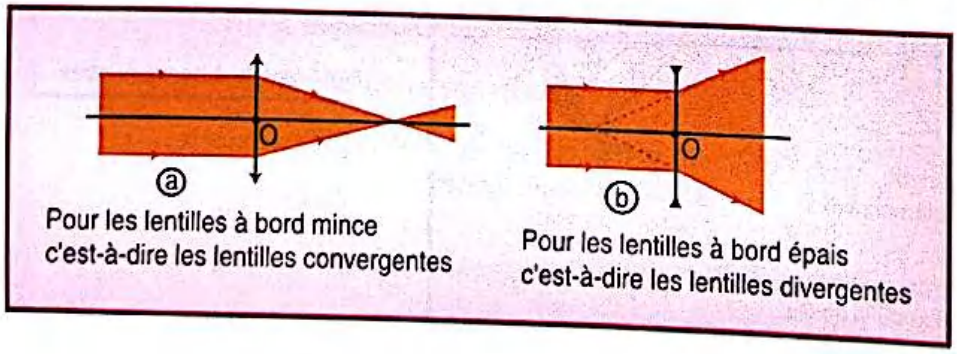


Fig.3

Les représentations symboliques des lentilles minces sont en fig 4 : a et b



Pour les lentilles à bord mince c'est-à-dire les lentilles convergentes

Pour les lentilles à bord épais c'est-à-dire les lentilles divergentes

Fig.4

Scanned by CamScanner

2. IMPORTANCE DES LENTILLES. CONSTITUANTS DES DIFFERENTES PARTIES DE NOMBREUX APPAREILS OPTIQUES



Les lentilles jouent un rôle de premier ordre dans de nombreux appareils optiques.

2-1 LA LOUPE :

La loupe est toute entière constituée d'une simple et unique **lentille convergente**. Elle est utilisée pour l'observation de petits objets dont elle donne des images agrandies.

2-2 DES ASSOCIATIONS DE LENTILLES FORMENT

- **les objectifs** des appareils photographiques, des projecteurs de diapositives, des lunettes astronomiques etc. ...

- **les oculaires** des jumelles, (des longues-vues) des télescopes, des microscopes etc. ...



lentille convergente : f > 0
lentille divergente : f < 0

3. LES LENTILLES CONVERGENTES

3-1 CONDITIONS D'OBSERVATION D'UNE IMAGE IDENTIQUE À L'OBJET

a) Le miroir plan est le seul dispositif optique donnant d'un objet quelconque une image qui lui est identique à tout point de vue (quels que soient les rayons lumineux mis en jeu pour la construction de cette image). On dit que le miroir plan est rigoureusement stigmatique pour tout point de l'espace.

b) Pour les autres systèmes optiques (miroirs courbes, dioptres plans et sphériques) les conditions d'obtention d'une image semblable à l'objet sont déterminées à partir de certaines approximations relatives à l'inclinaison des rayons sur l'axe du système et à la portion du système optique à utiliser. Ces conditions d'obtention d'une bonne image (convenable) sont appelées conditions de stigmatisme approché. Les rayons doivent être peu inclinés sur l'axe et doivent provenir de la zone centrale (autour de l'axe) du système. On parle alors de conditions (d'approximation) de Gauss et les images obtenues sont appelées images de Gauss.



lentille convergente

Scanned by CamScanner

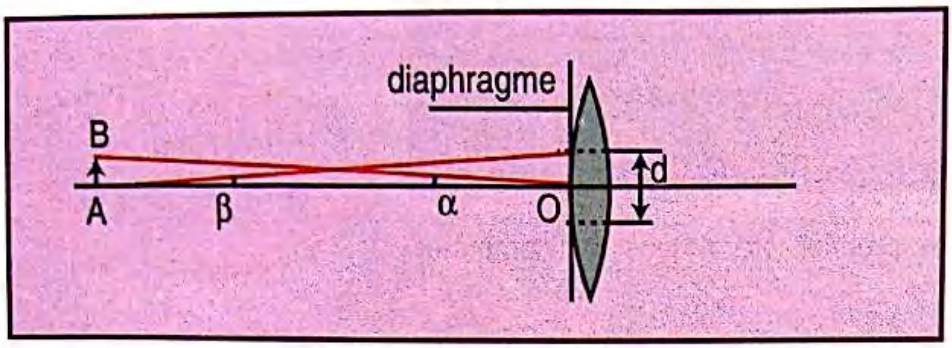


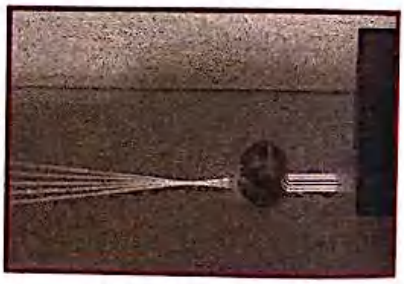
Fig.6

Ces conditions sont réalisées pour la lentille mince en considérant un petit objet suffisamment éloigné du centre optique O et en utilisant un diaphragme pour limiter l'ouverture à une portion **d** autour de l'axe. Les rayons incidents sont faiblement inclinés sur l'axe (α et β petits).

3-2 PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA LENTILLE MINCE CONVERGENTE

a. Foyers principaux

La figure.4a du paragraphe sur les généralités permet de définir les foyers principaux.
On réalise un faisceau de lumière parallèle en plaçant un collimateur devant une source quelconque étendue. A défaut du collimateur qui réalise un faisceau parallèle de grande qualité, on peut utiliser une lampe torche bien réglée. La lentille mince convergente étant fixée sur un support, on l'éclaire à gauche parallèlement à l'axe principal : le faisceau émergent converge en un point de cet axe qu'on **appelle foyer principal** ; on note la distance **f** séparant ce point de la lentille (ou de son centre optique).
On l'éclaire maintenant à droite : le faisceau émergent converge de nouveau en un point situé à la même distance du centre optique que le premier foyer : c'est **le second foyer principal de la lentille.**



Foyer principal image d'une lentille convergente

b) Foyer principal image et foyer principal objet

On peut maintenant préciser le sens physique de chacun des foyers définis en a) :

- En fig.7a, on peut considérer que le faisceau incident parallèle à l'axe principal provient d'un point de cet axe situé à l'infini dont l'image est le foyer principal situé à droite ; c'est **le foyer principal image noté F'** ; il est réel (on le recueille sur un écran perpendiculaire à l'axe).

- En fig.7b, en vertu du retour inverse de la lumière, le foyer principal devient objet et son image est rejeté à l'infini sur l'axe ; ce foyer principal (à gauche) est appelé foyer **principal objet et noté F.**
Si un objet ponctuel lumineux placé en F envoie un faisceau sur la lentille, l'émergent devient cylindrique. On obtient les représentations suivantes (fig.8).

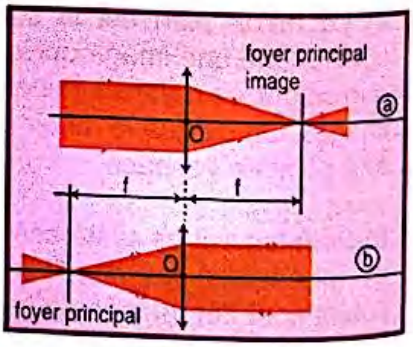


Fig.7 foyers principaux

Scanned by CamScanner

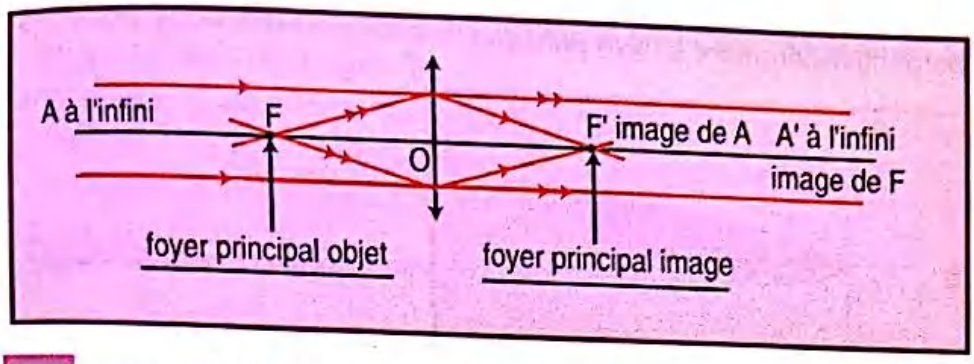


Fig.8

3-3 PROPRIÉTÉS DÉCOULANT DE L'EXISTENCE DES FOYERS PRINCIPAUX (UNIQUES)

a) Tout d'abord indiquons que les substantifs (ou qualificatifs) objet et image dépendent du sens de propagation de la lumière. Si l'on inverse ce sens (par exemple propagation de la droite vers la gauche) alors F' devient foyer principal objet et F foyer principal image.
b) Tout rayon incident parallèle à l'axe principal émerge de la lentille en passant par le foyer principal image.
c) Tout rayon incident qui passe par le foyer principal objet émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal.

Tout rayon incident parallèle à l'axe principal émerge de la lentille en passant par le foyer principal image.



3-4 FOYERS SECONDAIRES ET PLANS FOCAUX

a) Si l'on envoie sur la lentille de la figure 7a, un faisceau parallèle légèrement incliné sur l'axe principal, les rayons émergents convergent encore en un même point F'_1. En faisant varier l'angle d'inclinaison α qui doit rester toujours petit ($\text{tg}\ \alpha \approx \alpha$) exprimé en radian, on obtient un très grand nombre de points de convergence tous contenus dans une petite portion de plan perpendiculaire à l'axe principal en F'. (La petitesse de α est imposée par la condition de Gauss d'obtention d'une image nette).
Ces différents points obtenus en faisant varier α dans un sens ($\alpha > 0$) ou dans l'autre ($\alpha < 0$) tout en restant dans le plan de figure, puis en tournant autour de l'axe principal, sont appelés **points focaux secondaires**. Le plan qui les contient, perpendiculaire en F' à l'axe principal est appelé **plan focal image. Les droites OF'_1 définissent des axes secondaires de la lentille.**

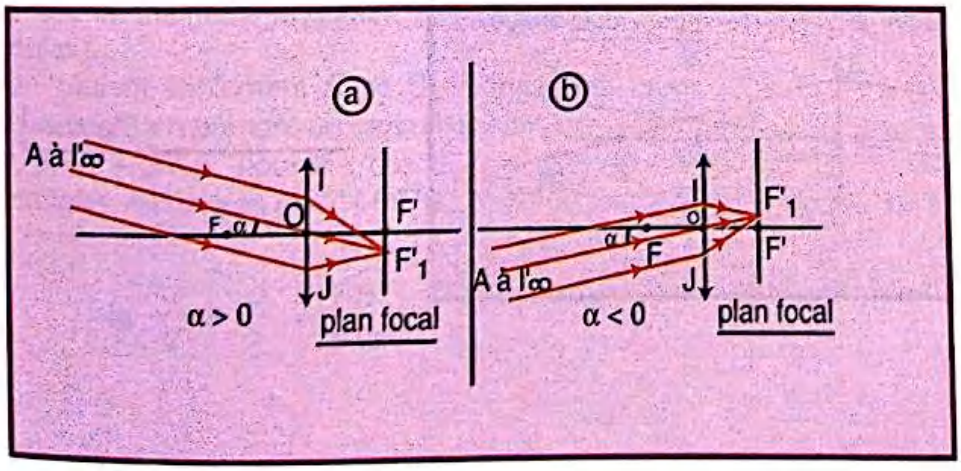


Fig.9

Scanned by CamScanner

b) Reprenons le montage de la figure 7b, en déplaçant l'objet ponctuel placé au foyer principal objet, perpendiculairement à l'axe principal.

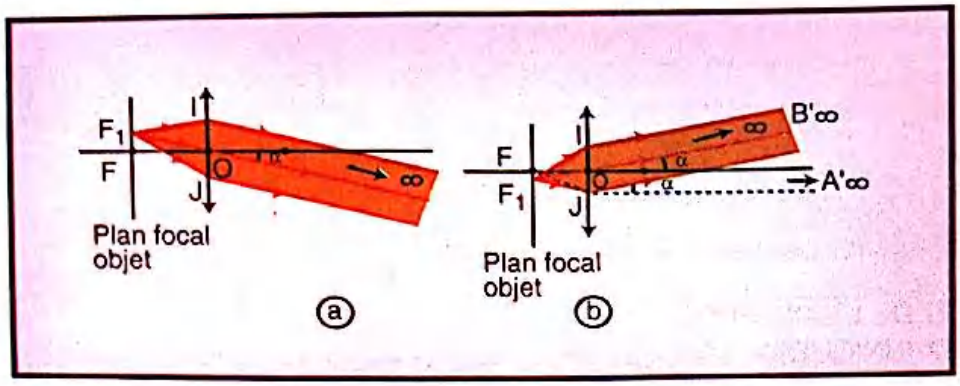
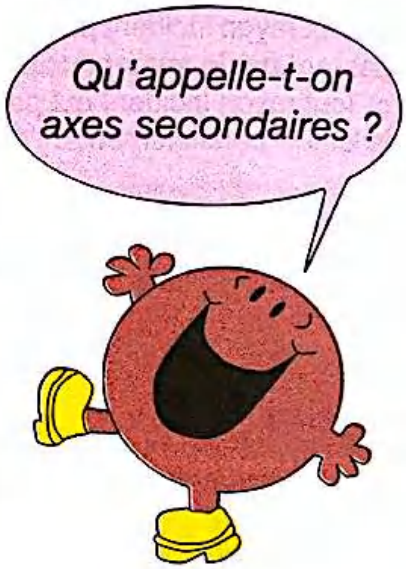


Fig.10

Pour toutes les positions F_1 au voisinage de F, aussi bien dans le plan de figure que dans d'autres plans, (F_1 F perpendiculaire à l'axe) le faisceau émergent est parallèle. Donc les images des F_1 sont rejetées à l'infini.

Les différents points F_1 définissent un plan appelé plan focal objet. **F_1 est appelé foyer secondaire objet. Les droites F_1O sont appelées axes secondaires** ; ils sont équivalents aux axes OF'_1.

Des définitions des foyers secondaires (objet et image) et des axes secondaires, conformément aux figures.9 et 10 découlent les propriétés suivantes :



- *Tout rayon incident parallèle à un axe secondaire OF'_1 émerge de la lentille en passant par le foyer image secondaire F'_1.*
- *Tout rayon incident qui passe par un foyer secondaire objet F_1 émerge de la lentille parallèlement à l'axe secondaire F_1O.*

Nous avons vu, à partir du montage de la figure 7 que les deux foyers principaux sont équidistants du centre optique O (OF = OF').
On appelle **distance focale** la longueur f = OF = OF'

Remarque : On peut mettre à profit les propriétés des axes secondaires et des points focaux secondaires pour construire le rayon émergent correspondant à un rayon incident quelconque et, partant, déterminer l'image ponctuelle S' d'un objet ponctuel S situé à distance finie sur l'axe principal.

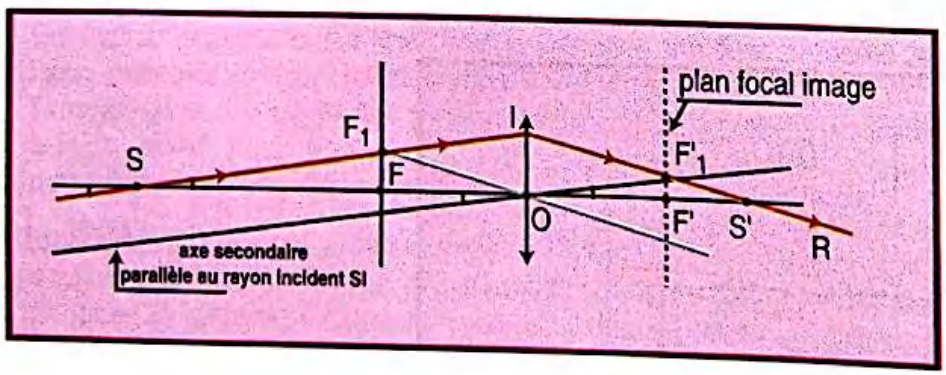


Fig.11a

Scanned by CamScanner

1- Un axe secondaire parallèle à SI coupe le plan focal image en F'_1 ; IF'_1 est le rayon émergent (fig. 11a).

2-SI coupe le plan focal objet en F_1 ; on mène à partir de I une parallèle IR à F_1O : cette parallèle coupe le plan focal image en F'_1 et l'axe en S' image de S (fig. 11a) .

3-5 APPLICATIONS DES PROPRIÉTÉS CI-DESSUS ÉNONCÉES.

Les étoiles ont un diamètre angulaire assez petit mais non négligeable.



a) Image d'un objet ponctuel très éloigné (à l'infini)

L'axe de la lentille est orienté dans la direction de ce point source. Son image est ponctuelle, confondue avec le foyer image F' : car la lentille reçoit un pinceau parallèle à son axe principal (voir fig.7). Les étoiles en sont des exemples approximatifs car elles ont un diamètre angulaire assez petit mais non négligeable.

b) Image d'un objet très éloigné (situé à l'infini) de faible diamètre angulaire

Cela peut être le cas du soleil, de la lune (sources naturelles) ou de sources artificielles et objets lumineux ou éclairés situés à grande distance. Dans le cas de la source naturelle, soleil par exemple, la partie centrale envoie un pinceau parallèle qui converge en F' .
Les bords A et B envoient des pinceaux parallèles inclinés d'un angle $\alpha/2$ sur l'axe principal ; leurs images sont des foyers secondaires A' et B' situés dans le plan focal (application de la figure 9 a et b).

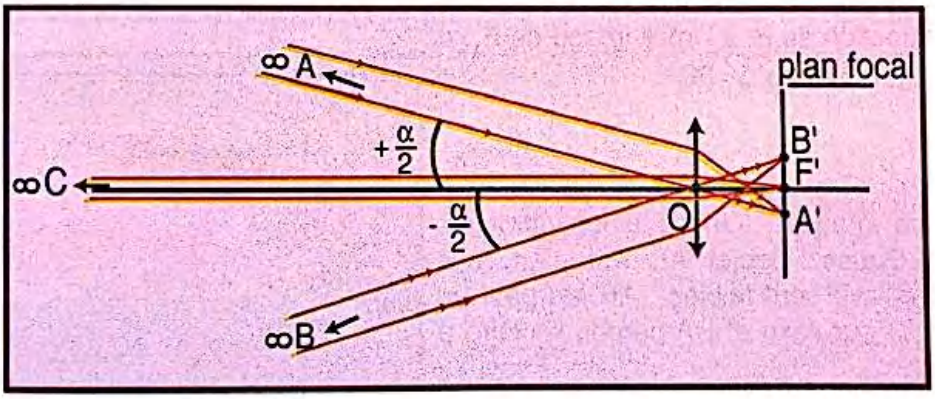


Fig.11b

α est le diamètre angulaire (ou diamètre apparent) de la source (soleil).
On obtient facilement A' et B' images des bords A et B (images inversées) en prenant un rayon passant par O, incliné de + α / 2 pour A et de - α / 2 pour B : ces rayons émergent sans déviation. Les triangles rectangles en F' (OF'B') et (OF'A') ont l'angle Ô égal à α / 2

$$\text{tg}\,\frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2} = \frac{F'B'}{F'O} = \frac{F'A'}{F'O}$$

Scanned by CamScanner

$$F'B' = F'O \frac{\alpha}{2} \; ; \; F'A' = F'O \times \frac{\alpha}{2}$$

$$F'B' = f \frac{\alpha}{2} \; ; \; F'A' = f \times \frac{\alpha}{2}$$

$$A'B' = F'B' + F'A' = f\,\alpha$$

$A'B' = f.\alpha$

Application numérique

Pour le soleil $\alpha = 32'$ d'arc $\approx 0{,}01$ rd.
Si $f = 1$m, alors $A'B' = 1$cm
L'image du soleil est donc une tache circulaire de 1 cm de diamètre. Si le diamètre utile de la lentille est de 10 cm, on obtient un effet de concentration de

$$100 = \frac{\text{surface de la lentille}}{\text{surface de l'image}}$$

suffisant pour enflammer presque instantanément une matière organique sèche dans le plan focal.



Gauss, Karl Friedrich
Mathématicien, Astronome et Physicien Allemand.

c) Image d'un objet situé dans le plan focal objet. On reprend la figure.10b. Le rayon FJ donne un émergent parallèle à l'axe qui coupe théoriquement ce dernier à l'infini pour donner A' image de F. Les rayons F_1I, F_1O et F_1J émergent parallèlement dans la direction faisant un angle α avec l'axe : c'est la direction de B' à l'infini image de F_1. α est donc le diamètre apparent de A'B' image de FF_1 ;

$$\text{tg} \approx \alpha = \frac{FF_1}{FO} = \frac{FF_1}{f}$$

d) Construction géométrique des images. On se place dans les conditions d'approximation de Gauss. L'objet AB est plan, ses dimensions longitudinales suivant l'axe sont faibles ; AB est petit ou son diamètre apparent est petit ; A sur l'axe et BA perpendiculaire à l'axe.

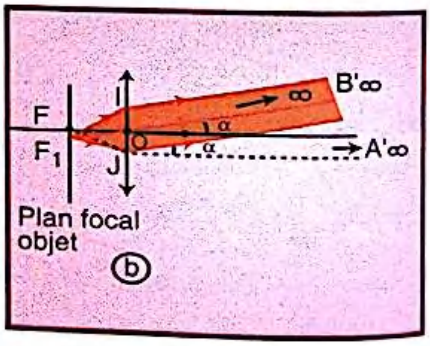


Fig.10 b

• **objet réel** On le prend d'abord au-delà (ou avant) le foyer principal, puis on le considère placé entre ce dernier et la lentille.

• **Objet au-delà du plan focal objet**

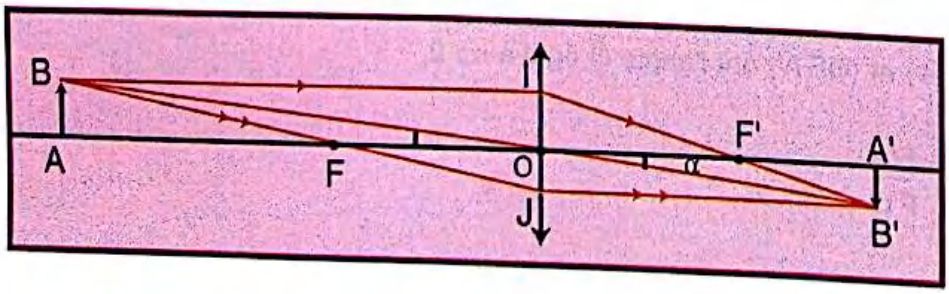


Fig.12 Objet au-delà du plan focal objet

Scanned by CamScanner

L'image A' de A est sur l'axe ; il suffit donc de construire l'image B' de B et de l'abaisser sur l'axe pour obtenir A' (l'image A'B' doit être semblable à l'objet AB).
Pour obtenir l'image B' de B il suffit d'utiliser deux des trois rayons remarquables issus de B :

- le rayon parallèle à l'axe principal ;
- le rayon passant par le foyer objet ;
- le rayon passant par le centre optique et constituant ; donc un axe secondaire (non défini).



Dans la pratique on utilise les deux premiers cités et l'on utilise le troisième en guise de vérification. L'image est réelle et renversée.
Lorsque AB se rapproche de F, l'axe secondaire BO s'écarte de l'axe principal (α augmente) et son intersection avec le rayon émergent fixe IF' s'éloigne de F' donc A'B' s'éloigne de F. Au contraire, lorsque AB s'éloigne, l'axe secondaire se rapproche de l'axe principal (α diminue) et son intersection avec IF' se rapproche de F' donc A'B' se rapproche de F'.

• Objet entre le foyer F et la lentille

B' est sur les prolongements des rayons émergents IF', BO, l'R ; **l'image est virtuelle** ; elle se forme **au-delà de la position de l'objet** ; **elle est droite et plus grande que l'objet.**

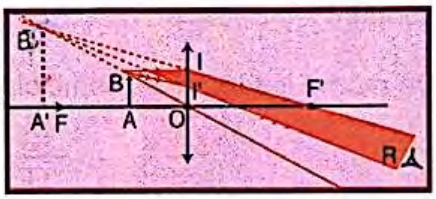


Fig.13 Objet entre le foyer F et la lentille

• Objet dans le plan focal objet

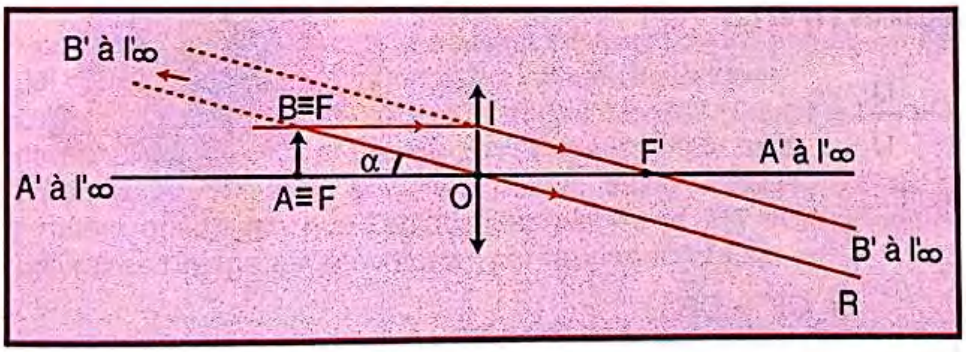


Fig.14 Objet dans le plan focal objet

L'image est à l'infini car BI = OF'.
Les rayons émergents IF' et BOR se coupent à l'infini pour donner une **image réelle** ou leurs prolongements se coupent dans l'espace objet pour donner une image virtuelle située à l'infini.
Disons quelques mots sur le déplacement de l'image lorsque l'objet va de l'infini au plan focal puis du plan focal vers le centre optique.
L'image réelle va du plan focal image à l'infini puis devient virtuelle (quand l'objet traverse le plan focal). L'image virtuelle se rapproche du plan focal objet quand l'objet se rapproche de la lentille.
La position de l'objet au plan focal entraîne une discontinuité de l'image :

- image réelle à l'infini quand l'objet est à la position $f + \varepsilon$
- image virtuelle à l'infini quand l'objet est à la position $f - \varepsilon$ où ε est

Scanned by CamScanner

petit et positif.

• **Objet virtuel**

A l'aide d'une lentille L_1 on forme d'un objet A_1B_1 (renversé) une image AB droite. Puis l'on place une lentille L entre L_1 et AB qui devient alors objet virtuel (pour L).

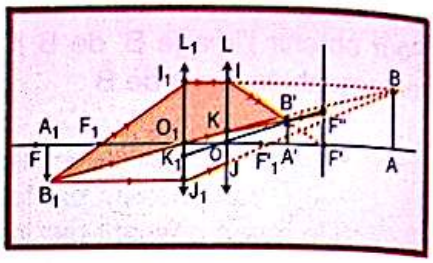


Fig.15 Objet virtuel

La lentille L reçoit I_1I parallèle à l'axe et O_1K prolongement de B_1O_1
I_1I donne un émergent passant par F'
O_1K donne un émergent passant par F" foyer secondaire de L correspondant à l'axe secondaire K_1O parallèle à O_1K (K sur L, K_1 sur L_1) B' est à l'intersection de KF" et de IF'

3-6 FORMULES DES LENTILLES CONVERGENTES

a) Formules de position

Plaçons-nous dans le contexte de la figure.12 correspondant à un objet réel situé en avant du plan focal objet (qu'on peut considérer comme un cas général). Les triangles semblables JOF et JIB

donnent : $\frac{OF}{IB} = \frac{OJ}{IJ}$ (1)

De même les triangles semblables IOF' et IJB' permettent d'écrire :

$$\frac{OF'}{JB'} = \frac{IO}{IJ} \quad (2)$$

Ajoutons membre à membre les égalités (1) et (2)

$$\frac{OF}{IB} + \frac{OF'}{JB'} = \frac{OJ}{IJ} + \frac{IO}{IJ} = \frac{OJ + IO}{IJ} = \frac{IJ}{IJ} = 1$$

Comme IB = OA et JB' = OA', il vient :

$$\frac{OF}{OA} + \frac{OF'}{OA'} = 1 \quad \text{or } OF = OF'$$

Donc $\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{OF'}$ (3) relation entre grandeurs arithmétiques.

Posons : $OA = |p|$; $OA' = |p'|$ et $OF' = |f'|$ valeurs arithmétiques des distances séparant le centre optique de la lentille de l'objet, de l'image et du foyer image.

Donc $\frac{1}{|p|} + \frac{1}{|p'|} = \frac{1}{|f'|}$

On oriente l'axe principal de gauche vers la droite (sens de la lumière incidente).



Scanned by CamScanner



lentille convergente : f = + 100

Ainsi : $\overline{OA} = -OA = p < 0$

$\overline{OA'} = OA' = p' > 0$

$\overline{OF'} = OF' = f' > 0$

La relation (3) se transforme en relation algébrique

$$\frac{1}{-p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \quad (4)$$

On montre que cette relation (4) est générale :
objet réel (p < 0) ou objet virtuel (p > 0) ; image réelle (p' > 0) ou image virtuelle (p'< 0) ; lentille convergente (f ' > 0) ou lentille divergente (f ' < 0).
La relation (4) formule de position de la lentille mince est facile à retenir ; On cherche la position de l'image (p') connaissant celle de l'objet (p) et la caractéristique de la lentille c'est-à-dire la distance focale image (f) : **l'inverse de p' est égale à la somme des inverses de p et de f '.**

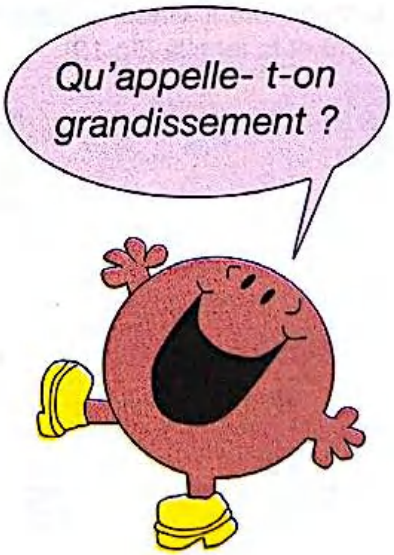


b) Relation de grandissement

On se réfère encore à la figure.12. Les triangles semblables OAB et OA'B' donnent :

$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$: ce rapport est le grandissement en valeur absolue.

Pour introduire une grandeur pouvant indiquer l'orientation de l'image par rapport à l'objet, on introduit les valeurs algébriques :
OA' = p' ; OA = p ,AB et A'B' sont mesurés par rapport à l'axe Oy perpendiculaire à Ox et orienté positivement vers le haut.
Lorsque AB et A'B' sont de même signe l'image est droite (même orientation que l'objet). Lorsque AB et A'B' sont de signes contraires l'image est renversée (par rapport à l'objet).



Le grandissement algébrique γ est donc tout simplement défini par :

$$\frac{A'B'}{AB} = \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p} \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{p'}{p} \quad (5)$$

$\gamma < 0$ dans le cas de la fig.12 (p' > 0 ; p < 0)
$\gamma > 0$ dans le cas de la fig.13 (p'< 0 ; p < 0)

Scanned by CamScanner

Application numérique

1. *Un objet réel AB de 5 cm de hauteur est placé devant une lentille mince convergente de 20 cm de distance focale à 50 cm de cette dernière.*
   Déterminer la position, la nature, le sens et la grandeur de l'image obtenue.

Solution :

- La position et la nature de l'image s'obtiennent à partir de la formule (4)

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} = \frac{f' + p}{pf'} \Rightarrow p' = \frac{pf'}{f' + p}$$



$p = -50$ cm ; $f' = +20$ cm $\Rightarrow$ $p' = \frac{-50 \times 20}{-50 + 20} = \frac{-1000}{-30}$

$p' \approx +33$ cm > 0 : **l'image est réelle**

- Le sens et la grandeur sont donné par la formule (5) :

$$\gamma = \frac{p'}{p} = \frac{33}{-50} = -0,67$$

$\gamma < 0$, l'image est renversée

$|\gamma| = 0,67 < 1$: l'image est plus petite que l'objet

$A'B' = \gamma \times AB = -0,67 \times 5 = -3,35$ cm

2. *Une lentille mince convergente, placée à 20 cm d'un objet réel AB, en donne une image virtuelle trois fois plus grande que l'objet. Quelle est la distance focale de la lentille ?*

Solution :

L'image étant virtuelle, l'objet AB est forcément entre le point focal objet et la lentille (fig.13)

$OA = p = -20$ cm ; $\gamma = +3$ (l'image est droite)

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p} = +3 \Rightarrow p' = 3p = 3 \times (-20) = -60 \text{ cm}$$

$p' = -60$ cm l'image est bien dans l'espace objet.

La formule (de position) permet d'écrire :

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} = \frac{p - p'}{p'p}$$

$$f' = \frac{p'p}{p - p'} = \frac{-60 \times (-20)}{-20 - (-60)} = \frac{+1200}{60 - 20} = +30 \Rightarrow f' = +30 \text{ cm.}$$

Scanned by CamScanner

4. LENTILLES DIVERGENTES

4-1 LES FOYERS ET LES PLANS FOCAUX D'UNE LENTILLE DIVERGENTE SONT VIRTUELS.

a) Foyers principaux et distances focales

On refait un montage analogue à celui de la fig.4 avec une lentille mince divergente.

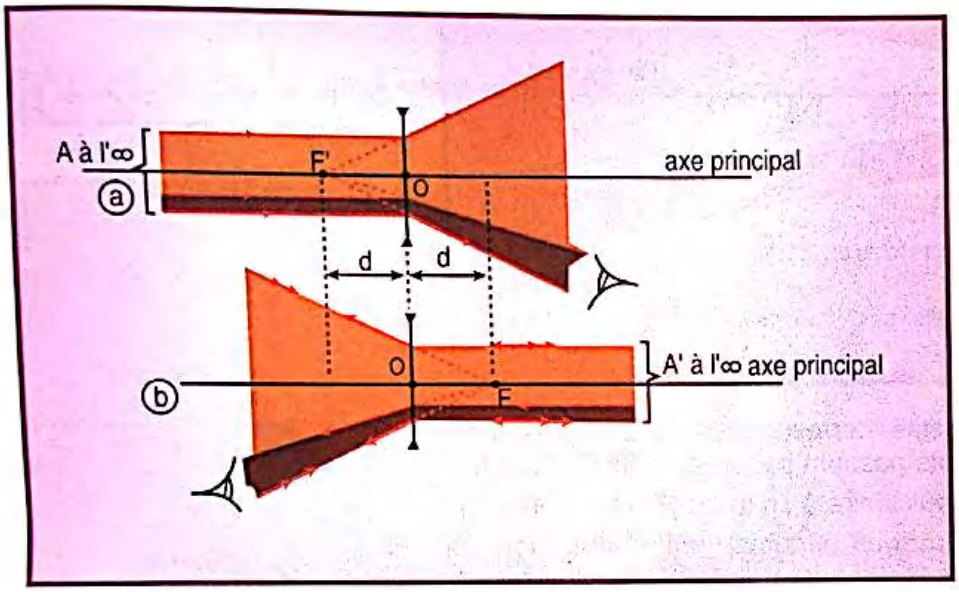


Fig.16

En fig.16a le faisceau cylindrique parallèle à l'axe (théoriquement provenant d'un point à l'infini A de l'axe) diverge en traversant la lentille comme s'il provenait d'un point virtuel F' qui est le foyer image.
En fig.16b le faisceau cylindrique diverge en émergent de la lentille comme s'il provenait d'un point virtuel F situé sur l'axe. En prenant le sens inverse (possible du fait du principe de retour inverse de la lumière) le faisceau convergent de gauche, qui convergerait en F en l'absence de la lentille, émerge de la lentille parallèlement à l'axe. Le point F est donc un foyer objet virtuel pour la lentille. F et F' sont symétriques par rapport à la lentille.
OF = OF'= d . On introduit deux axes, X orienté de gauche vers la droite et Y orienté vers le haut. De ce fait la distance focale OF' est négative et la distance focale OF est positive.

$OF' = f' < 0$; $OF = f > 0$; $f' + f = 0$.

Il découle de ces définitions les propriétés suivantes :

- Tout rayon incident parallèle à l'axe principal émerge de la lentille comme s'il venait du foyer principal image (virtuel) F' ;

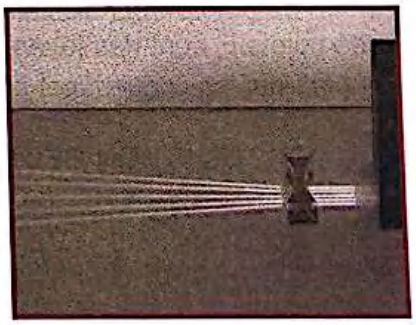
- Tout rayon incident dont le support passe par le foyer principal objet (virtuel) F émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal.



lentille divergente



lentilles divergentes



lentille divergente

Scanned by CamScanner

b) Foyers secondaires et plans focaux

Là également, on procède comme sur la lentille convergente. Le montage de la fig.10a et 10b est repris avec une lentille divergente (fig.17)

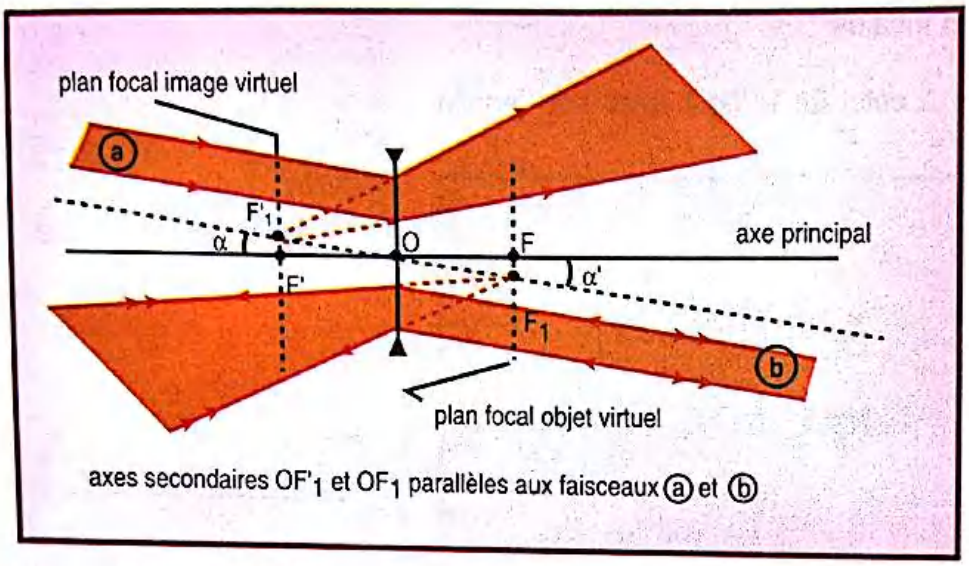


Fig.17 plan focal image virtuel

En fig.17a : à différents α petits correspondent des émergents divergents dont les prolongements passent par des points F'_i repartis dans une portion de plan perpendiculaire à l'axe en F'. Ces ponts F'_i sont **des foyers secondaires images** (virtuels) définissant avec O des axes secondaires. Le plan qui les contient **est appelé plan focal image**. Il est **virtuel**.

La même démarche est reprise en fig.17b : faisceaux cylindriques inclinés de α sur l'axe principal et cheminant dans le demi-espace droit. La considération du retour inverse, permettant de considérer les faisceaux convergents arrivant sur la lentille dans le sens de l'orientation de l'axe c'est à dire de gauche vers la droite, conduit aux résultats suivants :

- les prolongements se recoupent en des points F_i repartis dans une portion de plan perpendiculaire à l'axe en F
- ces points F_i sont des foyers secondaires objets (virtuels)
- le plan qui les contient est appelé **plan focal objet ; il est virtuel.**

4-2 CONSTRUCTION GÉOMÉTRIQUE DES IMAGES

a) Objet réel (fig.18)

- BI parallèle à l'axe émerge en passant par F'.
- BO traverse la lentille sans changer de direction

L'intersection de BO et de IF' détermine B' image virtuelle de B.
A'B' est une image virtuelle droite, plus petite que l'objet.
Lorsque AB se rapproche de F', A'B' s'en éloigne.
Lorsque AB est en F', alors BO et F'I se coupent en leurs milieux et A'B'est juste la moitié de AB. (fig.19)
Lorsque AB se rapproche encore plus de la lentille (OA < OF') l'image devient plus grande :

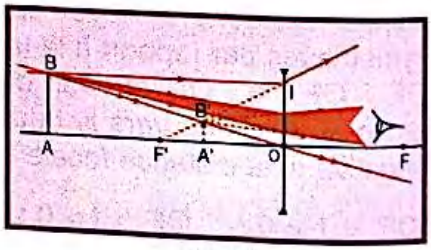


Fig.18

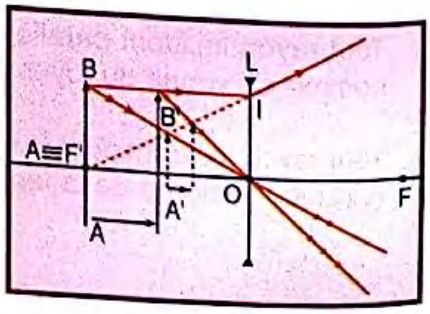


Fig.19

Scanned by CamScanner

sa grandeur augmente de $\frac{AB}{2}$ à AB (valeur limite).

b) Objet virtuel

On interpose une lentille mince divergente entre une lentille L_1 convergente et l'image réelle AB qu'elle donne d'un objet A_1B_1 : l'image AB devient un objet virtuel pour la lentille L qui l'empêche de se former (non indiquée sur la figure.20 par souci de clarté du schéma).

• L'objet virtuel AB situé entre la lentille divergente et son plan focal objet (1).

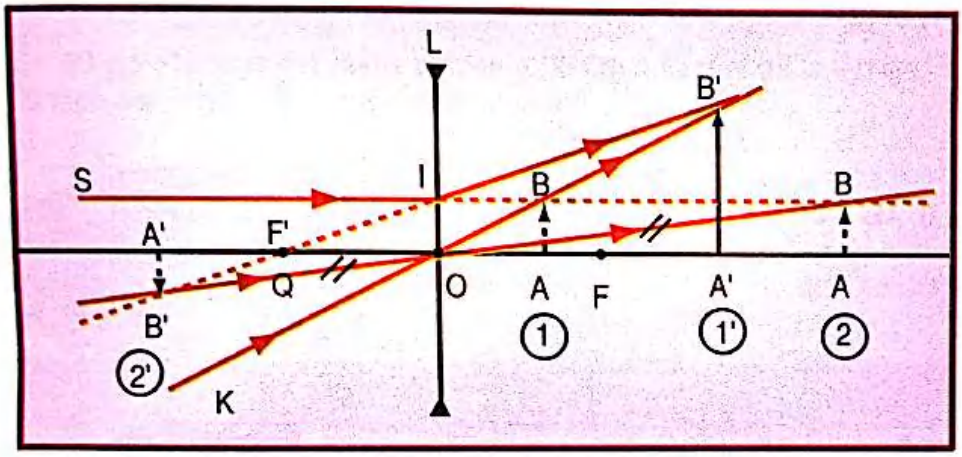


Fig. 20

- SI parallèle à l'axe et dirigé sur B émerge de L en passant par F' ;
- KO n'est pas dévié et coupe F'I en B' image réelle de B ;
- **L'image A'B'(1') est droite et plus grande que l'objet AB (1).**

• Objet virtuel placé au-delà du plan focal objet (2).

B est toujours sur SI et l'émergent correspondant F'I coupe QOB en B' de l'autre côté de la lentille L.
L'image A'B' (2') est donc virtuelle et renversée.
Le plan focal objet (virtuel) constitue une position de discontinuité :
-AB proche mais à gauche de F, A'B' réelle à l'infini à droite ;
-AB proche mais à droite de F, A'B' virtuelle à l'infini à gauche.

Tout rayon incident parallèle à l'axe principal émerge de la lentille comme s'il venait du foyer principal image (virtuel) F'



4-3 FORMULES DES LENTILLES DIVERGENTES

a) Relation de position

On se place dans le cas de la figure.20 et pour AB et A'B' virtuels. [(2) et (2')]
Les triangles semblables OAB et OA'B' permettent d'écrire :

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} \quad (1)$$

Scanned by CamScanner

Les triangles semblables OIF' et A'B'F' donnent :

$$\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{F'A}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

donc : $\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ (2)



lentille divergente : f = - 100

Les conventions de signe sur les axes OX (axe principal) et OY (le long de la lentille) étant les mêmes que pour les lentilles convergentes (OX > 0 vers la droite, OY > 0 vers le haut), on introduit les mesures algébriques dans les relations (1) et (2) :

$\overline{OA} = OA = p > 0$
$\overline{OA'} = - OA' = -p > 0 \rightarrow p' < 0$
$\overline{OF'} = - OF' = - f' > 0 \rightarrow f' < 0$
$- \overline{A'B'} = A'B' ; \overline{AB} = AB \rightarrow A'B' < 0, AB > 0$

(1) devient : $\frac{-p'}{p} = - \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ (1')

(2) s'écrit : $\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OA'}-\overline{OF'}}{\overline{OF'}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OF'}} - 1 = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

ou $\frac{-p'}{-f'} - 1 = - \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$; $\frac{p'}{f'} - 1 = - \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$ (2')

Egalisons (1') et (2') il vient :

$\frac{-p'}{p} = \frac{p'}{f'} - 1$ ou $1 = \frac{p'}{p} + \frac{p'}{f'}$ ou encore $\boxed{\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}}$ (3)

C'est la formule donnant la position de l'image connaissant celle de l'objet et la distance focale (image) : elle est identique à la formule établie pour les lentilles convergentes.

b) Relation de grandissement

Elle est donnée par la relation (1') :

Le grandissement : $\boxed{\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \gamma = \frac{p'}{p}}$ (4)



Scanned by CamScanner

c) Exercice d'application

Un objet virtuel est placé à 20 cm d'une lentille mince divergente de 30 cm de distance focale. Déterminer la nature, la position, le sens et la grandeur relative de l'image.

Solution :

Introduisons les grandeurs algébriques distance focale image f' = - 30 cm. Position objet virtuel p = + 20 cm (objet à l'avant).

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{30 - 20}{600} = \frac{1}{60}$$

p' = 60 cm ; l'image est réelle placée à 60 cm à l'avant de la lentille.
L'image est droite, sa grandeur relative est :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p} = \frac{60}{20} = 3$$

L'image est réelle et droite ; elle est 3 fois plus grande que l'objet. (fig.20)

5. CONVERGENCE DES LENTILLES MINCES



5-1 DÉFINITION DE LA CONVERGENCE (OU VERGENCE)

La convergence mesure la faculté d'une lentille à faire converger un faisceau divergent (lentille convergente) ou à faire diverger un faisceau convergent (lentille divergente).

Cette faculté est souvent désignée par la **vergence.**

La vergence, notée C, est définie par $C = \frac{1}{f'}$ où f' est la distance focale image de la lentille mince.

L'unité de vergence est la dioptrie lorsque la distance focale est exprimée en mètre.

$$C = \frac{1}{f'}$$

dioptrie — mètre

C < 0 pour les lentilles divergentes car f ' < 0
C > 0 pour les lentilles convergentes car f ' > 0

Scanned by CamScanner

5-2 EXPRESSION DE LA VERGENCE :

Le lecteur trouvera dans le paragraphe « lecture particulière », l'établissement de l'expression de la distance focale d'une lentille mince en fonction des rayons des sphères limitatives.
Les rayons sont $\overline{C_1S_1} = R_1$ pour la première face $\overline{C_2S_2} = R_2$ pour la deuxième face. Si la lentille, d'indice n est plongé dans l'air d'indice 1, alors la vergence est donnée par la formule :

$$C = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

Pour une lentille biconvexe (lentille convergente),

$\overline{C_2S_2} = R_2 > 0$; $\overline{C_1S_1} = R_1 < 0$ et

$C = \frac{1}{f'} < 0$ ceci vaut pour les autres formes.

Pour une lentille biconcave (lentille divergente) : $C_2S_2 = R_2 < 0$;
$\overline{C_1S_1} = R_1 > 0$;

Et $C = \frac{1}{f'} < 0$ ceci vaut pour les autres formes.

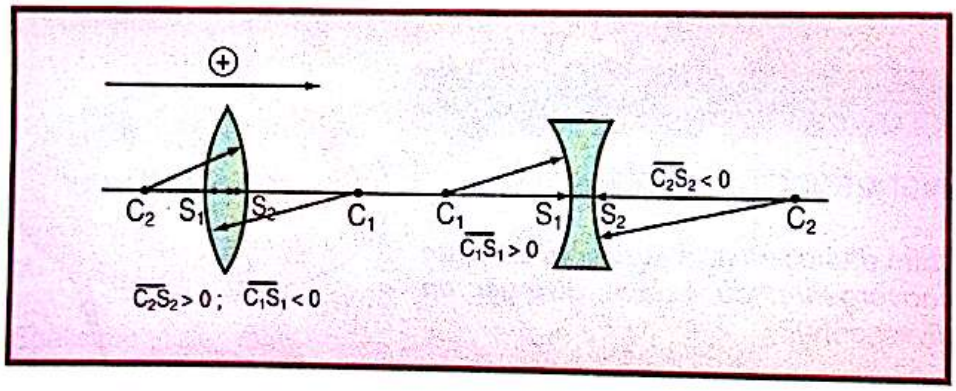


Fig.21

Application numérique

Calculer la vergence d'un ménisque divergent en verre d'indice n ≈ 1,5 et dont les rayons de courbure valent 20 et 45 cm.

Solution :

$$C = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

$R_2 = \overline{C_2S_2} = +45$; $R_1 = \overline{C_1S_1} = +20$

$$C = \frac{1}{f'} = (1{,}5-1)\left(\frac{1}{0{,}45} - \frac{1}{0{,}20}\right) = 0{,}5\left(\frac{0{,}2 - 0{,}45}{0{,}09}\right)$$

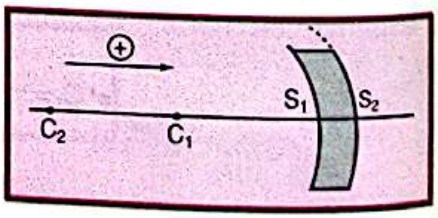


Fig. 22

Scanned by CamScanner

$$C = \frac{-0{,}25 \times 0{,}5}{0{,}09} = -\frac{25 \times 5}{90} = -1{,}388 \text{ dioptrie}$$

5-3 VERGENCE D'UN SYSTÈME DE LENTILLES MINCES ACCOLÉES

Soit le cas de deux lentilles. On suppose que les centres optiques sont confondus :
A'= image de A à travers les lentilles.



Première lentille : ($A \longrightarrow A'_1$)

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} = \frac{f'_1 + p_1}{p_1 f'_1} \Rightarrow p'_1 = \frac{p_1 f'_1}{f'_1 + p_1}$$

Deuxième lentille ($A'_1 \longrightarrow A'$)

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{f'_2 + p'_1}{p'_1 f'_2} \Rightarrow p'_2 = \frac{p'_1 f'_2}{f'_2 + p'_1}$$

$$p'_2 = \frac{\frac{p_1 f'_2 f'_1}{f'_1 + p_1}}{f'_2 + \frac{p_1 f'_1}{f'_1 + p_1}} \quad ; \quad \frac{1}{p'_2} = \frac{f'_2 + \frac{p_1 f'_1}{f'_1 + p_1}}{\frac{p_1 f'_1 f'_2}{f'_1 + p_1}}$$

$$= \frac{f'_2 (f'_1 + p_1)}{p_1 f'_1 f'_2} + \frac{p_1 f'_1}{p_1 f'_1 f'_2}$$

$$= \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'}$$

En posant : $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$ formule d'une lentille unique

équivalente aux deux lentilles accolées.

p'_2 = position de l'image définitive A'

p_1 = position de l'objet

La vergence de la lentille équivalente est $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \Rightarrow$ somme

des vergences des deux composantes ou $C = C_1 + C_2$

Scanned by CamScanner

On généralise ce résultat à un nombre quelconque de lentilles de natures variées :

$$C = \Sigma C_i$$

Exemple : Calculer la vergence équivalente au système formé en accolant une lentille convergente de 5 dioptries avec une lentille divergente de 3 dioptries.

On obtient un système de vergence $C = 5 - 3 = 2$

5-4 MESURES (DÉTERMINATIONS EXPÉRIMENTALES) DE LA VERGENCE D'UNE LENTILLE MINCE.

a) Détermination de la vergence d'une lentille mince par la mesure de la distance focale.

• Lentille convergente

Le dispositif expérimental est le banc d'optique et ses accessoires : lentilles sur supports, source de lumière (collimateur, objets représentés par des figures géométriques simples dessinées sur papier translucide ou des sillons perforants des corps opaques), écrans, règle,...

* L'objet étant placé très loin de la lentille (fig.23) on peut remplacer dans la formule de position p

par l'infini (∞) $\quad \frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}$

ou p' = f ': l'image se forme au plan focal image,
sa distance à la lentille p' est égale à la distance focale et l'on en déduit la convergence

$$C = \frac{1}{f'}$$

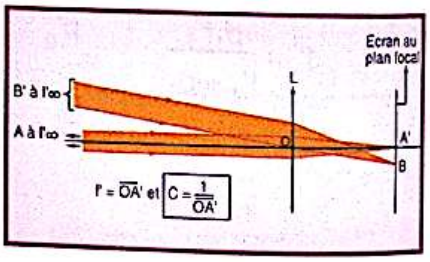


Fig.23

* On cherche la position de l'objet donnant une image qui lui est égale : $\gamma = -1$ (fig.24)

$$\gamma = \frac{p'}{p} = -1 \Rightarrow p' = -p ;$$

l'image est symétrique de l'objet par rapport à la lentille et elle est renversée

ou $\frac{2}{p'} = \frac{1}{f'}$ et $p' = -p = 2f'$: image et objet sont situées à une distance égale à 2 fois la distance focale d'où

$$f' = \frac{p'}{2} \text{ et } C = \frac{2}{p'}$$

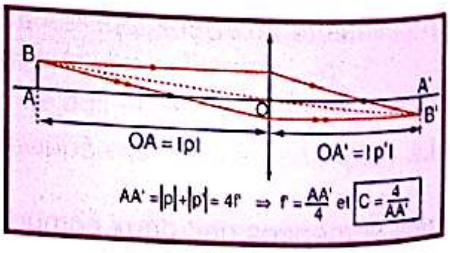


Fig.24

Scanned by CamScanner

• Lentille divergente :

On accole la lentille divergente de distance focale (ou convergence) inconnue f'_2 à une lentille convergente de distance focale plus petite (en valeur absolue) et connue $f'_1 < |f'_2|$

$$C_1 = \frac{1}{f'_1} > 0 \qquad C_2 = \frac{1}{f'_2} < 0 \qquad \text{inconnue } C_1 > |C_2|$$

On détermine expérimentalement par l'une des deux méthodes de (a) la distance focale du système convergent formé par les deux lentilles. Soit f' sa valeur

$$C = \frac{1}{f'} \quad \text{or} \quad C = C_1 + C_2 > 0$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$$

$$\frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{f'_1} = \frac{f'_1 - f'}{f'_1 f'}$$

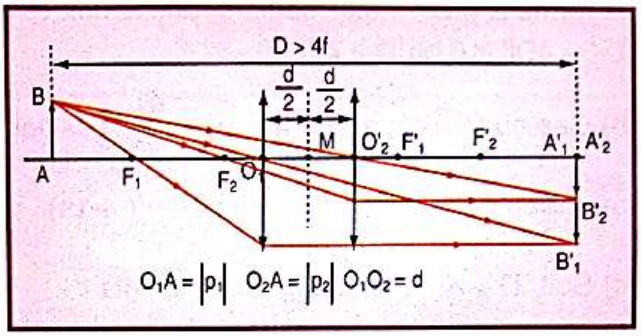


Fig.25

$$\frac{1}{f'_2} = \frac{f'_1 - f'}{f'_1 f'}$$ f' déterminée expérimentalement f'_1 connue,

on en déduit f'_2 puis $C_2 = \frac{1}{f'_2}$

5-5 DÉTERMINATION DE LA CONVERGENCE D'UNE LENTILLE MINCE CONVERGENTE PAR LA MÉTHODE DE BESSEL

L'expérimentation consiste à déterminer les positions d'une lentille convergente permettant de recueillir sur un écran distant de D d'un objet lumineux AB, une image nette A'B'

a) On peut montrer, par le calcul, que D doit être supérieur ou égal à 4f'

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}; \quad D = AO + OA' \text{ or } AO = OA = -\overline{OA} = -p$$

$$OA' = \overline{OA'} = p' \quad \text{donc} \quad D = p' - p \quad (1)$$

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{p - p'}{pp'} = \frac{1}{f'} \text{ ou } \frac{-D}{pp'} = \frac{1}{f'} \quad (2)$$



Bessel (Friedrich Wilhelm)
Astronome Allemand 1784 - 1846

Scanned by CamScanner

(1) et (2) donnent $p(p + D) = -D f'$ ou $p^2 + Dp + Df' = 0$
de la forme $ax^2 + bx + c = 0$ ($x = p$, $a = 1$; $b = D$ et $c = Df'$

$$x_1 = \frac{-b+\sqrt{\Delta}}{2a} \quad \text{et} \quad x_2 = \frac{-b-\sqrt{\Delta}}{2a}$$

On a deux positions p_1 et p_2 (distances objet-lentille) telles que

$$p_1 = \frac{-D+\sqrt{D^2-4Df'}}{2} \quad \text{et} \quad p_2 = \frac{-D-\sqrt{D^2-4Df'}}{2}$$

le terme $\Delta = D^2 - 4Df'$ sous le radical doit être positif ou nul
$D^2 - 4Df' \geq 0$ ou $D \geq 4f'$



b) Cas où $D = 4f'$, alors $p_1 = p_2 = \frac{-D}{2}$ position unique de la lentille

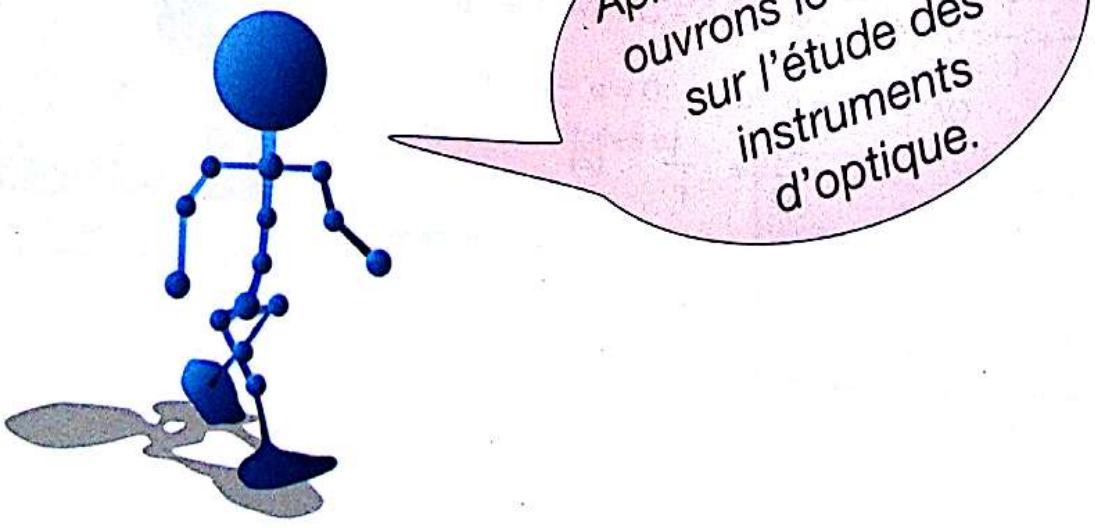
au milieu de la distance objet-écran (4-1a)

c) Soit $D > 4f'$ et posons $d = \sqrt{D^2-4D}\ f'$

$$p_1 = \frac{-D+d}{2} \quad \text{et} \quad p_2 = \frac{-D-d}{2} \quad : \quad p_1 > p_2$$

$p_1 - p_2 = d$ ou $p_1 = p_2 + d$
Donc dans l'intervalle $D > 4f$ il existe deux positions de la lentille correspondant à l'obtention d'une image nette sur l'écran.
Ces deux positions sont séparées par une distance $d = \sqrt{D^2 - 4Df'}$
D donnée (hypothèse du montage expérimental) d est déterminée expérimentalement. On en déduit f' par :

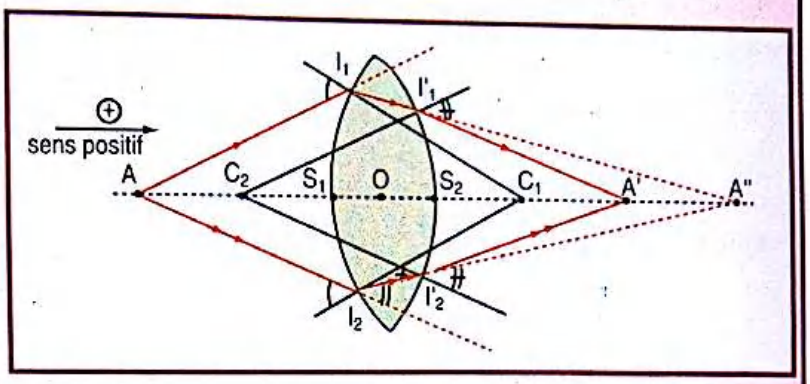
$d^2 = D^2 - 4Df'$ et $\boxed{f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}}$ et finalement $\boxed{C = \frac{1}{f'} = \frac{4D}{D^2 - d^2}}$



Scanned by CamScanner

LECTURE PARTICULIERE

① FORMULE DES LENTILLES



L'image A' d'un point objet A à travers la lentille est obtenue en appliquant deux fois la formule donnant l'image à travers un dioptre sphérique en général, dans les conditions d'approximation de Gauss.
Soit A" l'image de A à travers le dioptre caractérisé par les indices n_0 (air), n (verre) et le rayon R_1. A' est l'image de A" à travers le second dioptre caractérisé par les indices n (verre), n_0 (air) et le rayon R_2.

$$\frac{n_0}{\overline{S_1A}} - \frac{n}{\overline{S_1A''}} = \frac{n_0 - n}{\overline{S_1C_1}}$$ (1) : application de la formule générale au dioptre 1

$$\frac{n}{\overline{S_2A''}} - \frac{n_0}{\overline{S_2A'}} = \frac{n - n_0}{\overline{S_2C_2}}$$ (2) : application de la formule générale au dioptre 2

On additionne les deux relations (1) et (2) membre à membre et on introduit le centre optique O :

$$n_0\left(\frac{1}{\overline{S_1O} + \overline{OA}} - \frac{1}{\overline{S_2O} + \overline{OA'}}\right) + n\left(\frac{1}{\overline{S_2O} + \overline{OA''}} - \frac{1}{\overline{S_1O} + \overline{OA''}}\right) = (n - n_0)\left(\frac{1}{\overline{S_2C_2}} - \frac{1}{\overline{S_1C_1}}\right)$$

Pour les lentilles minces, S_1O et S_2O sont très petits devant OA , OA' et OA" d'où :

$$n_0\left(\frac{1}{\overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA'}}\right) + n\left(\frac{1}{\overline{OA''}} - \frac{1}{\overline{OA''}}\right) = (n - n_0)\left(\frac{1}{\overline{S_2C_2}} - \frac{1}{\overline{S_1C_1}}\right)$$

$$\text{ou } n_0\left(\frac{1}{\overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA'}}\right) = (n - n_0)\left(\frac{1}{\overline{S_2C_2}} - \frac{1}{\overline{S_1C_1}}\right) \text{ ou } n_0\left(\frac{1}{\overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA'}}\right) = (n - n_0)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

avec : $\overline{S_1C_1} \approx \overline{OC_1} = -R_1$ et $\overline{S_2C_2} \approx \overline{OC_2} = -R_2$

$\left(\overline{C_1S_1} = R_1 ; \overline{C_2S_2} = R_2\right)$

O est appelé centre optique : c'est le point où l'axe rencontre la lentille mince. Le centre optique d'une lentille épaisse est défini autrement :
Posons : OA = p et OA' = p' , il vient :

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right) \quad (3)$$

C'est la formule de conjugaison de la lentille mince donnant les positions du point objet et du point image sur l'axe.

Scanned by CamScanner

② LA DISTANCE FOCALE IMAGE f'

Elle est donnée par la valeur de p' lorsque p = ∞ (objet très éloigné).

En portant ces valeurs de p' et de p dans (3) il vient : $+\frac{1}{p'} = +\frac{1}{f'} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$

soit : $\boxed{\frac{1}{f'} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)}$ (4)

③ LA DISTANCE FOCALE OBJET f

C'est la valeur de p (position de l'objet) lorsque l'image est à l'infini (p' = ∞) :

$\frac{1}{p} = \frac{1}{f} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$ $\boxed{\frac{1}{f} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)}$ (5)

On vérifie aisément à l'aide de (4) et (5) que $\frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = 0$ d'où : $\boxed{f' + f = 0}$ (6)

En portant l'expression de $\frac{1}{f'}$ (formule (4)) dans la formule (3) on obtient :

$\boxed{\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}}$ (7) c'est la formule de conjugaison de la lentille mince avec origine au centre optique.

On retiendra :

- la formule de conjugaison ou formule de position des lentilles minces sous la forme :

$$\boxed{\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}}$$

- La formule donnant l'inverse de la distance focale image $\frac{1}{f'}$ appelée vergence et notée C

$$\boxed{C = \frac{1}{f'} = \frac{n - n_0}{n_0}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)}$$

Lorsque les surfaces sont convexes (voir fig.1) $R_2 > 0$ et $R_1 < 0$ et $\boxed{C = \frac{1}{f'} > 0}$

Lorsque les surfaces sont concaves $R_2 < 0$ et $R_1 > 0$, ce qui entraîne $\boxed{C = \frac{1}{f'} > 0}$

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Lentilles minces ; centre optique, axe principal ; lentilles convergentes ; lentilles divergentes ; foyers principaux ; foyers secondaires ; plans focaux ; axes secondaires ; formule de position ; grandissement ; vergence.

EVALUATION

1°) Donner la définition d'une lentille :

a) biconvexe

b) biconcave et en faire un schéma en indiquant leurs rayons de courbure et leurs épaisseurs Δx au centre et sur les bords.

2°) Donner la définition d'une lentille :

a) plan concave

b) plan convexe et en faire un schéma en indiquant leurs rayons de courbure et leurs épaisseurs au centre et sur les bords.

3°) Donner les représentations des lentilles minces convergentes et divergentes.

4°) Quel est le système optique qui est rigoureusement stigmatique pour tous les points de l'espace ?

5°) Qu'est-ce que le stigmatisme approché ?

6°) Les conditions d'approximation de Gauss représentent un cas de stigmatisme approché. En quoi consistent-elles ?

7°) Décrire les expériences qui permettent de mettre en évidence les foyers principaux des lentilles minces convergentes.

8°) Décrire les expériences qui permettent de mettre en évidence les foyers secondaires des lentilles convergentes ; définir le plan focal image et le plan focal objet à partir des foyers secondaires image et objet.

9°) Décrire les expériences qui permettent de mettre en évidence les foyers principaux des lentilles divergentes, les foyers secondaires et leur caractère virtuel.

10°) Décrire le procédé de construction de l'image d'un objet rectiligne AB perpendiculaire en A à l'axe d'une lentille mince (rayons remarquables).

11°) Formules algébriques de position et de grandissement.

Scanned by CamScanner

12°) On divise le demi-axe représentant l'espace des positions d'un objet réel en deux parties.

- $]-\infty ; -|f|[$
- $]-|f| ; 0[$

a) Quelles sont la nature, la grandeur et la position de l'image lorsque AB est dans le premier intervalle :
   - pour les lentilles convergentes ?
   - pour les lentilles divergentes ?

b) Quelles sont la nature, la grandeur et la position de l'image lorsque AB est dans le second intervalle :
   - pour les lentilles convergentes ?
   - pour les lentilles divergentes ?
   On examinera les cas de la position $p = -|2f|$

13°) On divise le demi-axe représentant l'espace des positions d'un objet virtuel en deux parties :

- $]0 ; |f|[$
- $]|f| ; +\infty[$

a) Quelles sont la nature, la grandeur et la position de l'image lorsque AB est dans le premier intervalle :
   - pour les lentilles convergentes ?
   - pour les lentilles divergentes ?

b) Quelles sont la nature, la grandeur et la position de l'image lorsque AB est dans le second intervalle :
   - pour les lentilles convergentes ?
   - pour les lentilles divergentes ?

14°) a) Définir la convergence (ou la vergence) C d'une lentille mince.

b) Donner son expression en fonction des valeurs algébriques des rayons de courbure des faces de la lentille :
   - R_1 pour la première face (face avant) de sommet S_1 .
   - R_2 pour la deuxième face (face arrière) de sommet S_2.

c) On retourne la lentille de manière que le sommet S_2 vienne à l'avant et le sommet S_1 à l'arrière. Que devient l'expression de C ?
Montrer que le signe de C demeure inchangé pour une lentille de nature donnée.

15°) Enoncer la loi donnant la convergence des lentilles minces accolées. L'établir dans le cas de deux lentilles.

16°) Exposer la méthode de Bessel de détermination de la convergence d'une lentille mince convergente.

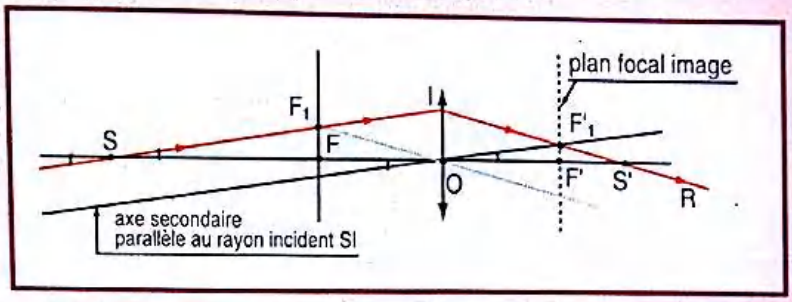
Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

① *En utilisant les propriétés des plans focaux d'une lentille convergente, trouver graphiquement, de deux manières différentes, l'image d'un point objet situé sur l'axe principal.*

Solution

a) On trace un axe secondaire parallèle à SI ; il coupe le plan focal image (perpendiculaire à l'axe principal en F') en F'_1 foyer image secondaire.
F'_1I , coupe l'axe principal en S' image de S



b) A partir du foyer objet secondaire F_1 défini par l'intersection de SI avec le plan focal objet : la parallèle à F_1O tracée à partir de I est le rayon émergent. Cette parallèle passe bien par F'_1 défini en a) ; $F_1I\ F'_1O$ est un losange.

② *Un objet lumineux rectiligne AB est placé perpendiculairement à l'axe principal d'une lentille mince convergente de 4 cm de distance focale, à 6 cm de son centre optique.*

1°) Trouver graphiquement la position, la nature et la grandeur de l'image.

2°) Tracer la marche des faisceaux issus de l'extrémité B et du point A situé sur l'axe. On utilisera un papier quadrillé (millimétré) et on se servira des résultats des calculs pour cerner le problème.

Solution

Calculs :

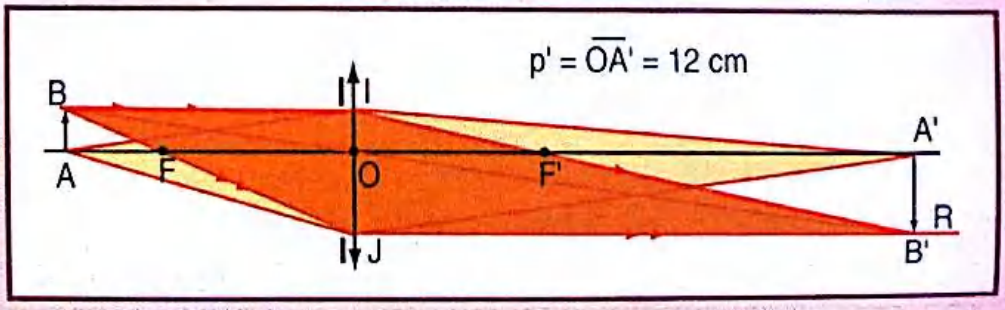
$p = \overline{OA} = -6$ cm ; $f' = +4$ cm

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow p' = \frac{p\,f'}{p + f'} = \frac{-6 \times 4}{-6 + 4} = +12 \text{ cm}$$

Solution graphique

1- On utilise deux rayons spécifiques issus de B :
- BI parallèle à l'axe, émerge en passant par F' soit IF'
- BFJ passant par le foyer objet émerge parallèlement à l'axe, soit JR
IF' coupe JR en B' image de B
B' se projette en A' sur l'axe ; A' est l'image de A.

2- le faisceau incident (BIJ) donne l'émergent (IJB')
- le faisceau (AIJ) donne l'émergent (IJA').



Scanned by CamScanner

EXERCICES

① *Déterminer la position d'un objet lumineux rectiligne (ou plan) AB perpendiculaire à l'axe principal d'une lentille convergente mince de 20 cm de distance focale pour que cette dernière en donne une image 4 fois plus grande. Quelle est la nature de l'image ?*

② *On désire obtenir d'un objet AB placé à la distance D d'un écran, une image renversée 4 fois plus grande. Déterminer la position et la distance focale (nature) de la lentille qu'il faut utiliser.*

③ *Un objet virtuel AB de 1 cm de hauteur, est situé sur l'axe principal d'une lentille divergente de 5 cm de distance focale, à 3 cm du centre optique de cette lentille*

1°) Construire l'image et préciser ses propriétés par le calcul

2°) Tracer la marche d'un pinceau qui convergerait en B.

④ *Une source lumineuse ponctuelle S est placée à 1 m sur l'axe principal d'une lentille convergente L_1 de 20 cm de distance focale.*

1°) Où se trouve l'image S'_1 de S donnée par la lentille ?

2°) A 20 cm de L_1 on place une lentille divergente L_2 de 5 cm de distance focale ayant même axe principal que L_1 ; que devient l'image de S ?

3°) Tracer la marche du faisceau de rayons issus de S et couvrant la lentille L_1

⑤ *On accole une lentille mince divergente de distance focale x inconnue à une lentille convergente de 5 dioptries. On utilise ce système mince à l'obtention d'une image A'B' réelle renversée égale à l'objet AB. A ce moment la distance de l'objet AB à l'écran sur lequel se forme l'image est égale à 4 mètres, calculer x.*

Scanned by CamScanner

6 LES INSTRUMENTS D'OPTIQUE

PRÉALABLES

- Les formules des lentilles (position et grandissement).
- Utilisation des rayons remarquables (rayon parallèle à l'axe, rayon passant par le centre optique, rayon passant par le foyer) pour construire l'image d'un objet.

OBJECTIFS

- définir l'œil réduit, la loupe et le microscope
- représenter l'œil réduit et le microscope réduit
- construire géométriquement l'image d'un objet à travers l'instrument d'optique
- définir et expliquer le phénomène d'accommodation
- définir les défauts de l'œil et dire comment les corriger
- définir le pouvoir séparateur de l'œil
- donner le principe de la loupe et du microscope
- définir la latitude de mise au point, la puissance et le grossissement d'une loupe
- définir le pouvoir séparateur du microscope

Scanned by CamScanner

A- L' ŒIL

1. DESCRIPTION – DEFINITION DE L'ŒIL REDUIT

L'œil, organe de vision, est très largement étudié à différents niveaux du cursus scolaire tant sur le plan anatomique (description) que sur le plan physiologique (fonctionnement).

1-1 DESCRIPTION

L'œil se présente sous forme de globe sensiblement sphérique, bombé vers l'avant. De l'avant vers l'arrière se succèdent trois milieux transparents : **l'humeur aqueuse**, en forme de calotte sphérique, le **cristallin** véritable lentille biconvexe faite d'un corps élastique transparent et **l'humeur vitrée**.



œil

a) L'ensemble cristallin – humeur vitrée, est protégé par une première membrane blanche et résistante appelée la **sclérotique**. La sclérotique se prolonge au-dessus de l'humeur aqueuse par la **cornée transparente**.

b) La deuxième couche de protection de l'œil est la **choroïde** placée sous la sclérotique (au niveau de l'humeur vitrée) ; elle se prolonge au niveau du cristallin sous forme d'un **diaphragme** appelé **iris** dont la teinte donne aux yeux leur couleur ; l'ouverture de l'iris est appelée **pupille**, de diamètre variable entre 2 et 8 mm environ suivant l'intensité de la lumière reçue. Cette variation de diamètre se fait sans que nous en ayons conscience (réflexe inné).

c) Une troisième couche prolonge la choroïde : elle tapisse la partie postérieure de *l'humeur vitrée* (sous la choroïde): c'est **la rétine** qui renferme les « cellules visuelles » sensibles à la lumière ; c'est de là que partent les fibres du nerf optique qui assure la liaison avec le cerveau véritable analyseur et percepteur des images formées sur la rétine ; la partie la plus sensible de la rétine est la **tache jaune** située sur l'axe de l'œil au voisinage du nerf optique.

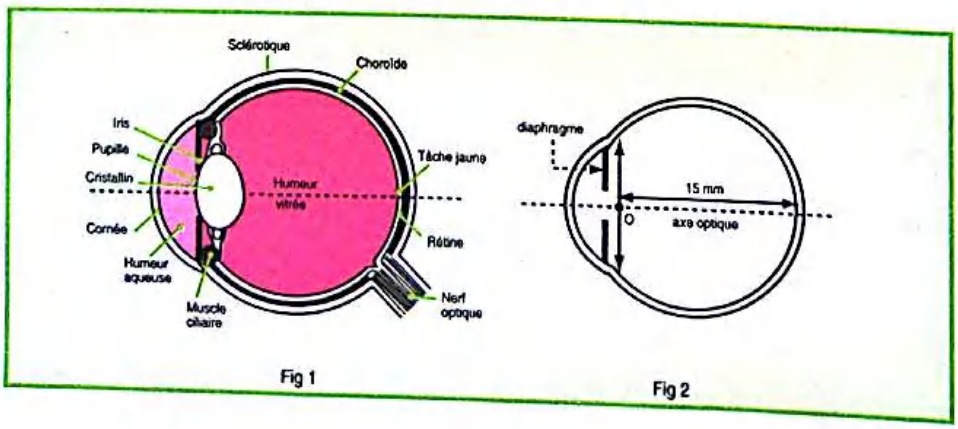


Fig.1 : Coupe de l'œil
Fig.2 : œil réduit

Scanned by CamScanner

Nous terminons cette brève description de l'œil en faisant remarquer que le cristallin est soutenu sur les bords par un faisceau de fibres qui fusionnent en une seule nappe ou enveloppe reposant sur le muscle ciliaire ex-croissance de l'iris ; la jonction avec la rétine se fait juste après le muscle ciliaire (fig.1).



1-2 L'ŒIL RÉDUIT

Pour la formation des images, l'ensemble des milieux transparents de l'œil est équivalent à une **lentille mince convergente L** dont la **distance** à la **rétine** est de l'ordre de 15 mm.(fig.1 et fig.2)
On appelle **l'œil réduit** la représentation de l'œil complexe par la lentille L (ci-dessus indiquée) et l'écran sensible que constitue la rétine. On retiendra donc, de **l'œil réduit** la **définition suivante.**

a) Définition

L'œil réduit est une lentille convergente L diaphragmée par l'iris et dont l'axe principal passe par la tache jaune de la rétine située à environ 15 mm de son centre optique.

b) Formation des images

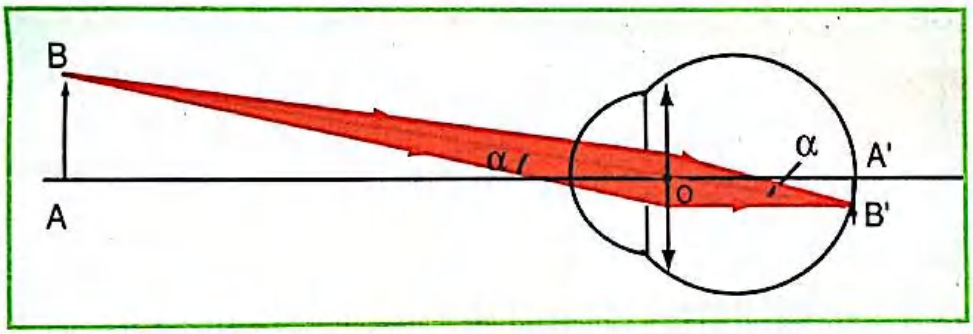


Fig.3 : Formation d'une image nette sur la tache jaune de la rétine

Un objet AB situé à une distance p de O (centre optique de l'œil réduit) est perçu nettement lorsque son image A'B' se forme sur la tache jaune de la rétine c'est-à-dire à environ une distance p'=15 mm.

Si l'hypothèse de l'œil réduit est applicable, la formule des lentilles minces $\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}$ permet de déterminer f '; la distance focale image de l'œil réduit. Mais des objets divers situés à des distances très différentes, allant du mètre au kilomètre sont nettement perçus par un œil normal : donc les images se forment toujours sur la tache jaune de la rétine à la même distance p' de l'œil réduit, ce qui entraîne nécessairement **la variation de la distance focale** f '.
La faculté pour l'œil d'opérer des modifications internes (pratiquement sans effort notable) pour voir nettement les objets diversement éloignés est appelé « **l'accommodation** ». *L'accommodation se traduit par la variation de la distance focale de l'œil réduit.*



Scanned by CamScanner

2. CARACTERISTIQUES DE L'ACCOMMODATION

2-1 VISION À GRANDE DISTANCE (fig.4)

L'œil normal (non frappé de défauts dont nous parlerons au paragraphe.3) caractéristique d'un individu jeune perçoit nettement et sans fatigue des objets très éloignés ($p = \infty$). L'observation à l'infini correspond au **repos de l'œil**, sans effort d'accommodation. De la relation de position des lentilles minces.

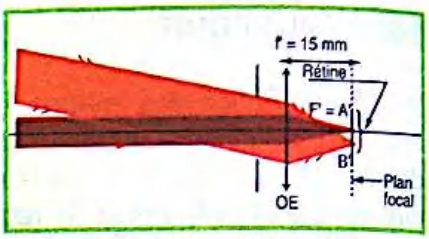


Fig.4 œil normal au repos

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'}$$, on tire $p' = f'$ $(p = \infty)$;

Le plan focal de l'œil au repos coïncide avec la rétine.

Position de la rétine ($\approx$ 15 mm)$\leftarrow p'=f' \rightarrow$ {distance focale de l'œil réduit correspondant à l'œil au repos.

2-2 VISION RAPPROCHÉE (fig.5).

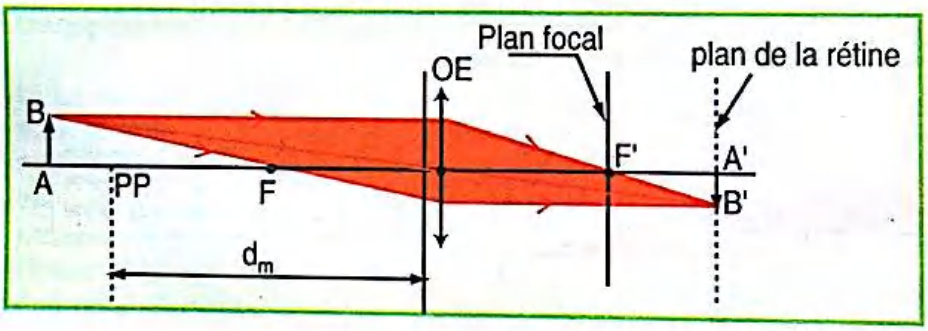


Fig.5 : Sous l'effet de l'accommodation le foyer F' de l'œil se rapproche du centre optique

A partir du repos de l'œil *(les yeux ouverts regardant à l'infini ou les yeux fermés)* on porte brusquement la vue sur un objet situé à quelques centimètres : l'objet paraît d'abord flou avant que sa vision soit nette quelques instants plus tard ; **l'œil accommode**, il fait l'effort nécessaire pour raccourcir la distance focale ou **augmenter la convergence** ; cela s'effectue par le cristallin qui se bombe grâce à son élasticité.

La figure.5 comparée à la figure.4 montre le résultat de l'accommodation. Sur la figure.5, AB étant à distance finie, son image se formerait derrière la rétine si la distance focale f ' = 15 mm de l'œil réduit au repos (voir fig. 4) restait constante. D'où l'intervention de l'accommodation qui augmente la convergence en ramenant le foyer image de l'œil devant la rétine.

Le raccourcissement de f ' a bien entendu, une limite. Lorsque cette limite est atteinte l'œil a accommodé au maximum, AB est au **punctum proximum de l'œil** (PP). La distance séparant (PP) de l'œil (O) notée d_m est la distance minimum de vision nette (fig.5). Pour un œil normal (de référence) pouvant voir à l'infini, d_m est prise égale à 15 cm.

Scanned by CamScanner

3. PRINCIPAUX DEFAUTS DE L'ŒIL

3-1 MYOPIE

Un œil myope est un œil trop convergent. Au repos le foyer image F' est en avant de la rétine ; donc l'image d'un objet éloigné se forme devant la rétine et l'objet n'est pas perçu (fig.6a). Le myope corrige sa myopie en utilisant un verre correcteur qui ramène F' sur la rétine (fig.6c).

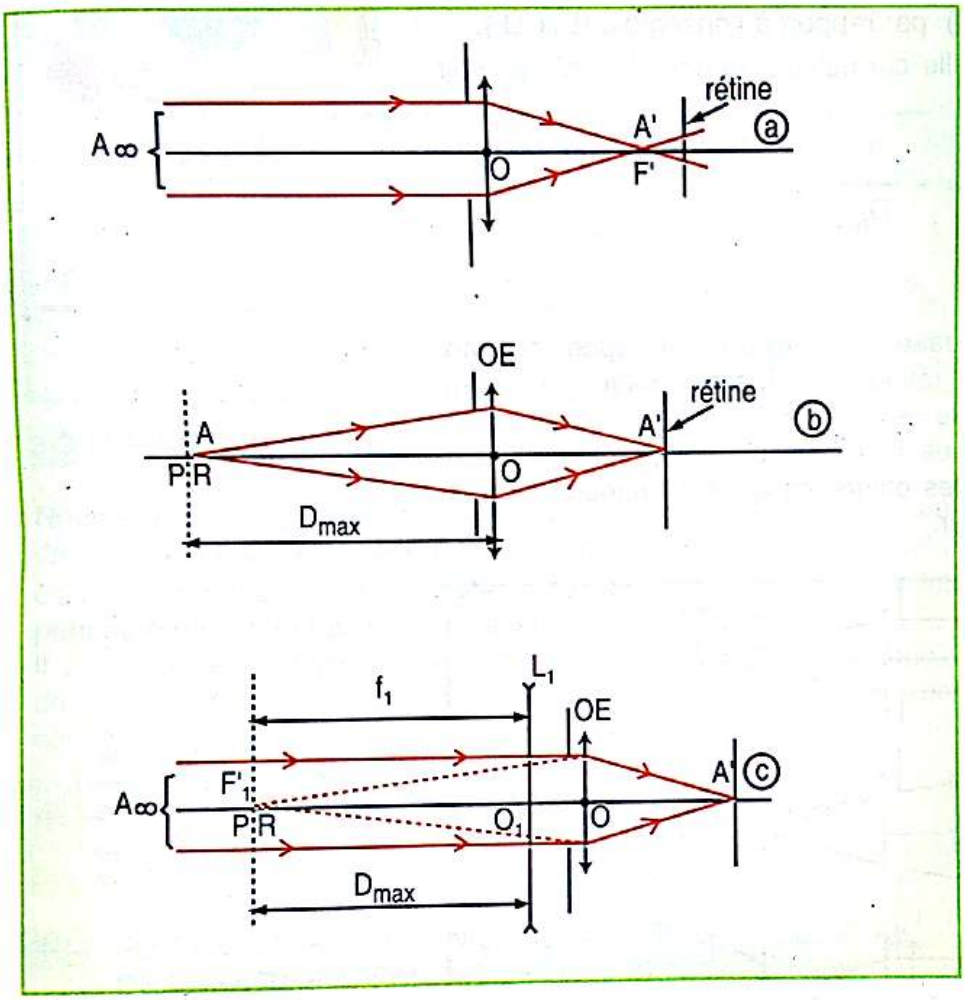


Fig.6 Œil myope

Sans verre correcteur, l'œil myope au repos ne voit pas au-delà d'un point appelé **punctum remotum** (PR). La distance de PR à l'œil est la **distance maximum de vision distincte**. D_{max} (fig.6b).

- Pour un oeil myope, D_{max} peut être inférieure à 1 mètre. La distance minimum de vision distincte de l'œil myope d_m peut être très petite (quelques centimètres seulement).
- Par contre pour l'œil normal d'un sujet jeune $d_m \approx 15$ cm et $D_{max} = \infty$, **Avec l'âge**, d_m augmente (passe de 15 à 25,30 cm voire beaucoup plus), D_{max} diminue faiblement. La correction de l'œil myope doit lui permettre de voir distinctement des objets éloignés (situés à l'infini) ; il lui faut donc un verre correcteur qui forme d'un point A à l'infini, une image virtuelle située





Scanned by CamScanner

au PR (fig.6c). Cette image virtuelle ne peut être que le foyer image F_1' d'une lentille divergente L_1 de distance focale $\overline{O_1F'_1} = f'_1$; on voit que $\overline{O_1F'_1} \approx \overline{OF'_1} = f'_1 = - D_{max}$



Ainsi le faisceau divergent sortant de L_1 et arrivant sur l'œil (Œ) semble provenir de F'_1 (ou PR).

F'_1 l'image de A (∞) par rapport à L_1.

F'_1 est l'objet virtuel pour l'œil (Œ).

A' est l'image de F'_1 par rapport a l'œil (Œ).

A' est l'image de A (∞) par rapport à l'ensemble (L_1+ Œ).

La lentille divergente L_1 (lentille correctrice) permet à l'œil de voir l'objet très éloigné.

La convergence de L_1 est $C_1 = - \frac{1}{D_{max}}$

3-2 HYPERMÉTROPIE

L'œil hypermétrope n'est **pas assez convergent** : au repos son plan focal image F' est derrière la rétine, c'est-à-dire l'image d'un objet éloigné se forme au-delà de la rétine (Fig.7); celle des objets plus proches s'éloigne davantage de la rétine. L'œil hypermétrope doit donc accommoder pour tous les objets, ce qui évidemment est très éprouvant et difficile à maintenir.

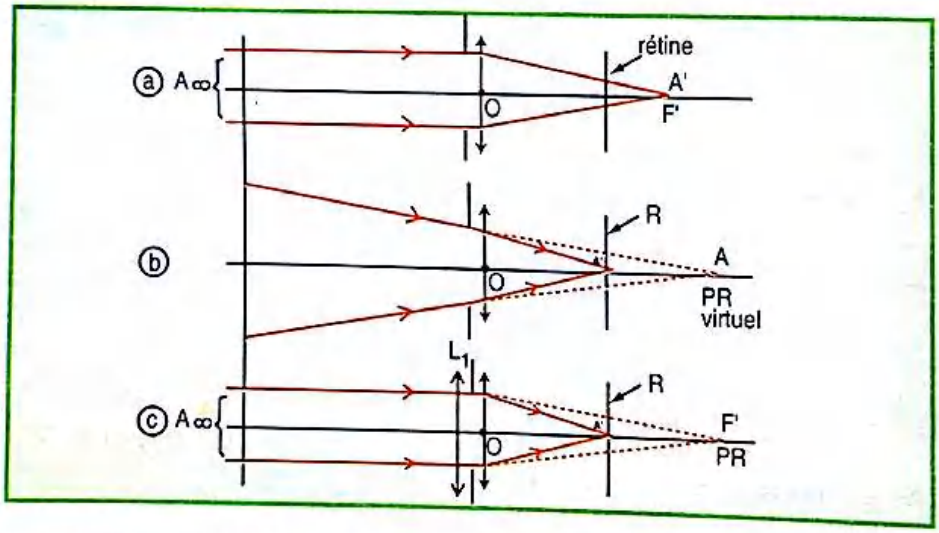


Fig.7 hypermétropie (PR virtuel, correction)

Un faisceau incident qui convergerait en un point A virtuel situé au-delà de F', pourrait en pénétrant dans l'œil converger sur la rétine : il suffit que ce point A virtuel soit dans l'intervalle de la vision distincte (PR –PP) de l'œil.

La figure.7b définit le PR (virtuel) d'un œil hypermétrope.

Le figure.7c correspond à l'utilisation d'une lentille convergent L_1 qui permet la vision d'un objet à l'infini A : il suffit que le foyer image F'_1 de L_1 soit confondu avec PR qui devient un objet virtuel pour l'œil.

L'hypermétrope (l'individu frappé d'hypermétropie) peut en fait, retirer ses lunettes pour observer des objets situés au-delà du PP en



Scanned by CamScanner

accommodant davantage, mais ses yeux se fatiguent plus rapidement, ce qui le met en état de gêne permanent.
Sur la figure.8 sont représentés les profondeurs des champs de vision nette de l'œil normal, de l'œil myope et de l'œil hypermétrope.

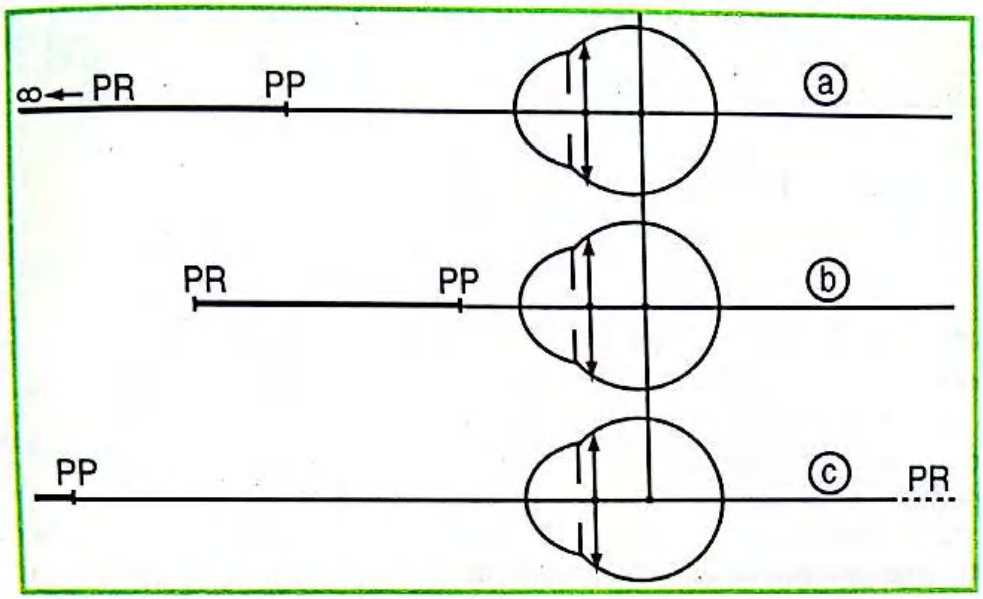


Fig.8 Comparaison des champs de vision nette de l'œil normal (a), de l'œil myope (b) et de l'œil hypermétrope (c)

3-3 LA PRESBYTIE

Nous avons signalé l'augmentation (naturelle) de la distance minimum de vision nette d_m avec l'âge indépendamment de tout défaut visuel : c'est la presbytie. L'œil presbyte a besoin d'être corrigé pour lui permettre de voir nettement des objets rapprochés et pour la lecture. Il y a insuffisance d'accommodation donc de faculté de convergence de l'œil. Cette insuffisance est corrigée par l'emploi de lentilles convergentes comme lunettes.



4. GRANDEUR DE L'IMAGE RETINIENNE POUVOIR SEPARATEUR DE L'ŒIL

4-1 SOIT A'B' L'IMAGE RÉTINIENNE (NETTE) D'UN OBJET AB DE DIAMÈTRE APPARENT α

Le triangle OA'B' (Fig.3) donne :

$$\text{tg}\alpha = \frac{A'B'}{OA'} \approx \alpha \text{ radian(angle petit).}$$

D'où $\boxed{A'B' = OA' \times \alpha}$

OA' étant une distance fixe, l'énoncé suivant peut être considéré comme une définition de la grandeur de l'image rétinienne.
La longueur de l'image rétinienne est proportionnelle au diamètre apparent de l'objet.



Scanned by CamScanner

4-2 LE DIAMÈTRE APPARENT EST MAXIMUM LORSQUE L'OBJET EST PLACÉ À LA DISTANCE MINIMALE DE VISION NETTE (AU PP). (fig.9)

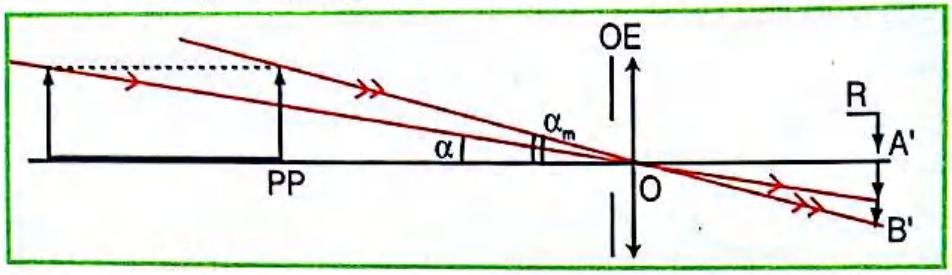


Fig.9

4-3 REMARQUES

a) En principe la vision nette d'un objet de grand diamètre apparent tel qu'un grand immeuble à la distance d_m , ***devient difficile du fait que l'image rétinienne prend des dimensions plus grandes que celles de la tache jaune***. Tous les points de l'immeuble ne devraient pas être nettement perçus en même temps. L'expérience prouve le contraire : tout ce qui nous entoure dans un large champ de vision, est nettement perçu. On l'explique par la grande mobilité de l'œil dans son orbite, qui fait que dans un temps très court, toutes les parties d'un objet étendu sont explorées, et grâce à la mémorisation du cerveau nous avons la sensation d'une vision nette instantanée de l'ensemble.

b) **Le problème de la faculté de distinguer** deux points voisins se pose dans la recherche des détails d'un objet par l'observation visuelle (ici directe) mais généralement à travers un appareil d'observation.

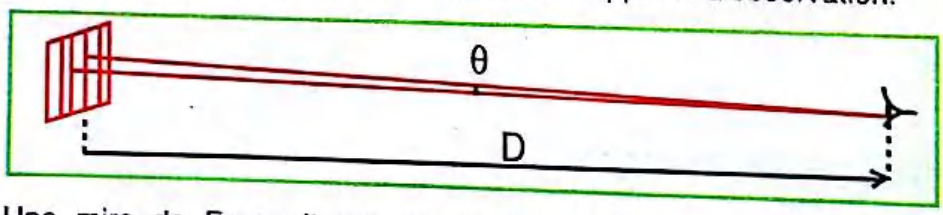


Fig.10 Mire de Foucault

Une mire de Foucault est constituée par des bandes rectilignes parallèles, de même longueur, alternativement noires et blanches (fig.10). Si la mire, fortement éclairée est éloignée progressivement de l'œil, celui-ci cesse de distinguer (ou de séparer) les bandes noires des bandes blanches et voit la mire uniformément grise dès que la distance D excède une valeur D_m .

Soit **a** l'espacement des bandes ; on a : $a = D\theta$ ou $\theta = \frac{a}{D}$;

pour $D = D_m$, $\theta = \varepsilon = \frac{a}{D_m}$

Les bandes sont séparées tant que $\theta \geq \frac{a}{D_m} = \varepsilon$;

lorsque $\theta < \varepsilon$, les bandes ne sont plus séparées.
Pour un œil normal on trouve $\varepsilon \approx x.10^{-4}$ rd où x = quelques unités ;

Une mire de Foucault est constituée par des bandes rectilignes parallèles.



Scanned by CamScanner

$x = 3$ à 10

$x = 3 \Rightarrow \varepsilon = 3.10^{-4}$ rd = 1' d'arc ;

$x = 10 \Rightarrow \varepsilon \approx 3'$ d'arc

On prend généralement $\varepsilon \approx 2'$ d'arc.

Différents termes sont utilisés pour cette limite : *limite de résolution de l'œil, « pouvoir séparateur de l'œil » acuité visuelle.*

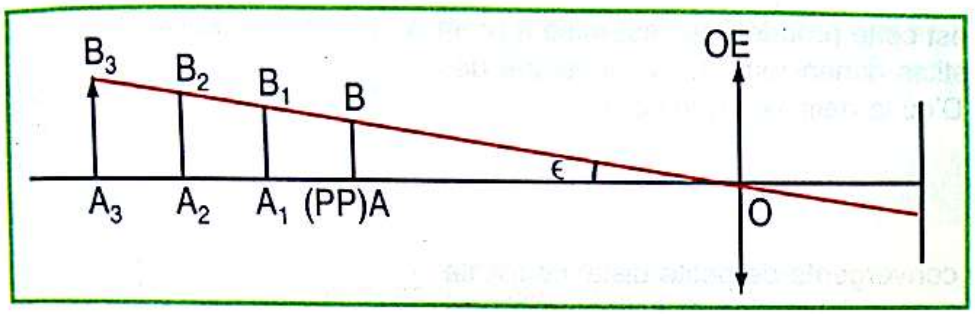


Fig.11



Calcul de la distance minimum de deux points séparés par l'œil.

pour ε donné AB dépend de la distance OA. Si A est au PP alors AB a la plus petite valeur :

$OA = d_m$ et $\varepsilon = \frac{AB}{d_m}$, d'où $AB = d_m \times \varepsilon$

- **Application numérique**

Soit $d_m = 15$ cm (oeil normal jeune) et $\varepsilon = 1'$ (valeur exceptionnellement favorable), alors $AB = 15 \times 3.10^{-4}$ rd = 0,0045 cm = 45 µm. Cette valeur serait plus faible pour un myope de même âge.

NB :

Généralement on observe à une distance supérieure à $d_m = 15$ cm pour éviter de fatiguer l'œil et $\varepsilon \geq 1'$; alors on arrive à un pouvoir de séparation de l'œil de l'ordre de $\frac{1}{10}$ mm ou 100 µm.

Pour l'observation de détails plus petits, on utilise une loupe ou un microscope.

Scanned by CamScanner

B. LA LOUPE



loupe

Nous avons indiqué dès le début du chapitre précédent consacré aux lentilles, que l'une des applications immédiates des lentilles minces est la loupe qui n'est autre chose qu'une lentille mince convergente. Dans le sous titre consacré à la formation des images, nous avons vu que *lorsque l'objet est situé entre le foyer et la lentille, l'image est virtuelle droite et agrandie*. C'est cette propriété qui est mise à profit pour l'observation d'objet de petites dimensions ou la recherche des détails d'un objet quelconque. D'où la définition que voici.

1. DEFINITION

La loupe est une lentille mince convergente de petite distance focale (2 à 10 cm en général) utilisée pour l'obtention et l'observation de l'image virtuelle, droite et agrandie d'un objet (fig. 12).

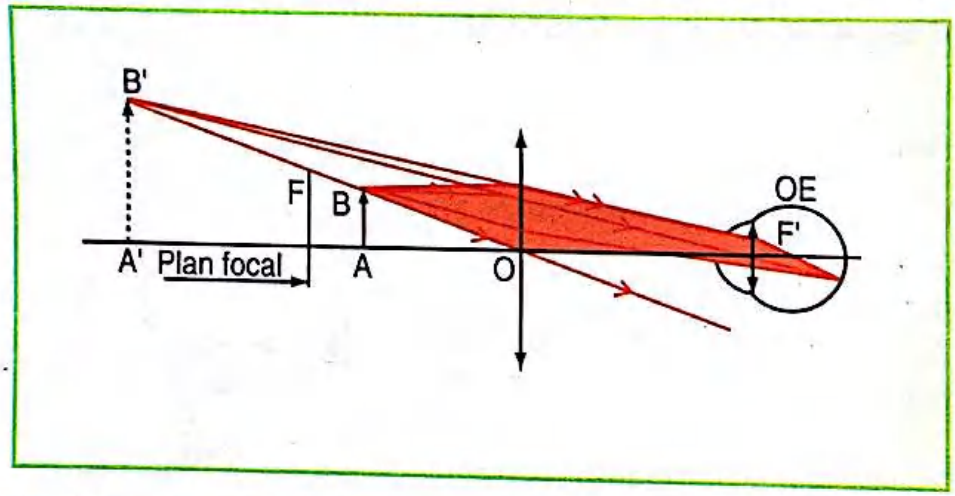


Fig.12 Observation d'un objet à travers une loupe

2. MISE AU POINT, LATITUDE DE MISE AU POINT

L'image doit être située entre le PP et le PR de l'œil puisque c'est dans cet intervalle que la vision est nette. La mise au point consiste à amener l'image entre ces deux points :
- au PR l'observation peut être prolongée puisque l'œil est au repos ;
- au PP l'œil se fatigue plus rapidement pour un œil normal.

Pour un œil normal, lorsque l'objet va de la position A_1B_1 dans le plan focal à la position A_2 B_2 (fig. 13a et b), l'image va de l'infini (PR) au PP. Autrement dit lorsque l'objet se déplace de FA_2 (de F à A_2) l'image va de l'infini à PP. Plus généralement, pour un œil quelconque de PR fini, l'image parcourt la distance [(PR) - (PP)] lorsque l'objet se déplace de F à A_2 : *FA_2 est appelé latitude de mise au point.*



Scanned by CamScanner

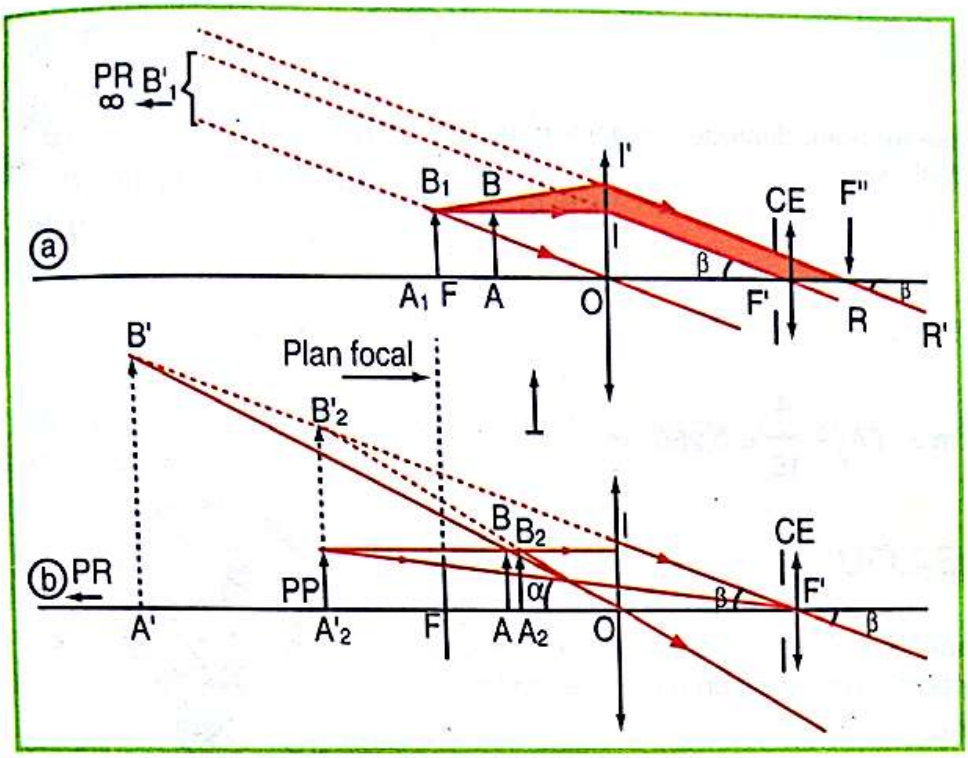


Fig.13

L'image doit être située entre le PP et le PR de l'œil.



(a) : diamètre apparent de l'image à l'infini (β)
(b) : latitude de mise au point FA_2 et diamètres apparents de l'objet vu à l'œil nu (α) et de l'image à travers la loupe (β), l'objet et l'image étant situés au punctum proximum.

Calcul de FA_2 : ($\overline{FA_2} = FA_2 > 0$)

L'œil est supposé placé au foyer image F' de la loupe, ce qui rend le diamètre apparent (ou angulaire) β de l'image constant [IF' R et I'R' sont parallèle en (a) ; IF est la même quelle que soit la position de AB entre F et O (b)] :

$\overline{OA_2} = p_2$; $\overline{OA'_2} = p'_2$

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{p_2} = \frac{1}{p'_2} - \frac{1}{f'} = \frac{f' - p'_2}{p'_2 f'}$$

$$p_2 = \frac{p'_2 f'}{f' - p'_2} \quad ; \quad \overline{FA_2} = \overline{FO} + \overline{OA_2} = f' + p_2$$

$$\overline{FA_2} = f' + p_2 = f' + \frac{p'_2 f'}{f' - p'_2}$$

$$\overline{OA'_2} = p'_2 = -\overline{A'_2 O} = -(\overline{A'_2 F'} + \overline{F'O}) = -(d_m - f')$$

$$\overline{FA_2} = f' + \frac{-f'(d_m - f')}{f' + (d_m - f')} = f' + \frac{f'(f' - d_m)}{d_m}$$

$$\overline{FA_2} = f' + \frac{f'^2}{d_m} - f' = \frac{f'^2}{d_m}$$

Scanned by CamScanner

$$\overline{FA_2} = \frac{f'^2}{d_m}$$

Conclusion : La latitude de mise au point diminue rapidement quand la convergence augmente (f' diminue).



Application numérique

$d'_m = 15$ cm, $f' = 4$ cm $\Rightarrow$ $\overline{FA_2} = \frac{16}{15} = 1{,}066$ cm ;

$$f' = 2 \text{ cm} \Rightarrow \overline{FA_2} = \frac{4}{15} = 0{,}266 \text{ cm}$$

3. PUISSANCE D'UNE LOUPE



L'observation à travers une loupe augmente le diamètre apparent ou angulaire de l'image (β) par rapport à l'observation directe, à l'œil nu, de l'objet (α) (figure.13a et 13b).

Evaluons le rapport $\frac{\beta}{AB}$ qui remplace le rapport $\frac{\alpha}{AB}$ correspondant à l'observation à l'œil nu (c'est le diamètre angulaire de l'unité de longueur de l'objet). Nous ne considérons que les deux cas de la figure.13 qui correspondent tous deux à la position de l'œil au foyer image F' de la loupe.

En (a) l'image est à l'infini et l'on constate en plus que β ne dépend plus de la position de l'œil.

En (b) l'image est entre PP et PR ($A'_2B'_2$ en PP, A'B' au delà de PP).

En (a) le triangle OF'I donne : : $\text{tg } \beta = \frac{OI}{OF'} = \frac{AB}{f'}$ d'où $\frac{\text{tg } \beta}{AB} = \frac{1}{f'}$

En (b) les triangles $B'_2 A'_2 F'$ et IOF' donnent $\text{tg } \beta = \frac{A'_2B'_2}{A'_2F'} = \frac{OI}{OF'}$

$\text{tg } \beta = \frac{A'_2B'_2}{d_m} = \frac{AB}{f'}$ d'où $\frac{\text{tg } \beta}{AB} = \frac{1}{f'}$ et $\frac{\text{tg } \beta}{A'_2B'_2} = \frac{1}{d_m}$

Dans les deux cas, si β petit, $\text{tg } \beta \approx \beta$ et $\frac{\beta}{AB} = \frac{1}{f'}$



Conclusions

a) **Par définition :** la puissance de la loupe est le quotient du diamètre apparent de l'image par la longueur de l'objet $\boxed{P = \frac{\beta}{AB}}$

Scanned by CamScanner

b) **Si β est petit** $\boxed{P_i = \frac{1}{f'} = C}$

P_i : Puissance de la loupe.

C : Vergence de la loupe.

Cette valeur de la puissance de la loupe est appelée ***puissance intrinsèque***.



c) **Remarque :** $\frac{tg\beta}{AB} = \frac{1}{f'} = \frac{A'_2B'_2}{AB} \times \frac{1}{d_m} = \frac{\gamma}{d_m}$.

Donc dans le cas de l'observation au PP de l'œil placé au foyer image de la loupe.

$$\boxed{P_i = \frac{1}{f'} = \frac{\gamma}{d_m}}$$

d_m : distance minimale de vision distincte.

γ : grandissement de l'image.

4. GROSSISSEMENT

4-1 DÉFINITION

On appelle **grossissement** d'une loupe le rapport du diamètre angulaire de l'image au diamètre apparent de l'objet observé à l'œil nu à la distance minimum de vision nette (d_m).



$$\boxed{G = \frac{\beta}{\alpha}}$$

4-2 FORMULE

La figure 9 représente une observation à l'œil nu d'un objet (soit AB) placé au PP c'est-à-dire à la distance d_m de l'œil.

$$tg\,\alpha \approx \alpha = \frac{AB}{d_m} \text{ or } P = \frac{\beta}{AB}, \text{ donc } G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{P \times AB}{AB / d_m} = d_m P$$

$$\boxed{G = Pd_m}$$

G : sans dimension

P : dioptrie (δ)

d_m : mètre (m)

Ainsi le grossissement d'une loupe est égal au produit de sa puissance par la distance minimum de vision distincte de l'œil qui l'utilise.

Application : Le tableau suivant donne les valeurs du grossissement d'une loupe de 20 dioptries de puissance pour différentes valeurs de d_m.

Scanned by CamScanner

Qualité de l'œil	d_m	$G = d_m \times P$
Œil jeune	15 cm	$20 \times 0{,}15 = 3$
Œil myope	5 cm	$20 \times 0{,}05 = 1$
Œil presbyte	60 cm	$20 \times 0{,}60 = 12$
Œil standard	25 cm	$20 \times 0{,}25 = 5$
Le grossissement commercial G_c correspond à $d_m = 25$ cm		$G_c = \frac{20}{4} = (\frac{P}{4})$

5. POUVOIR SEPARATEUR DE L'ENSEMBLE LOUPE – ŒIL

la puissance de la loupe est le quotient du diamètre apparent de l'image par la longueur de l'objet.



Soient deux points M et N dont les images M' et N' sont tout juste séparés par l'œil qui observe à travers la loupe. D'après la définition du pouvoir séparateur de l'œil donnée en (3b de A) et appliquée ici

$$\text{on a } \varepsilon = \frac{M'N'}{D_m} \approx 2' \text{ d'arc } (6.10^{-4} \text{ rd})$$

D'autre part, la puissance de la loupe utilisée pour observer l'objet MN est :

$$P = \frac{\varepsilon}{MN} \quad \text{donc } MN = \frac{\varepsilon}{P}$$

MN : en mètre (m)
ε : en radian (rd)
P : en dioptre (δ)

Application numérique :

$$MN = \frac{6.10^{-4}}{20} \quad (\varepsilon = 6.10^{-4} \text{ rd} ; P = 20\delta)$$

$$= 3.10^{-5} \text{ m} = 3010^{-6} \text{ m} = 30 \text{ µm}$$

Pour l'œil nu nous avons vu que la distance réaliste de deux points séparés est 100 µm environ.
Donc l'utilisation de la loupe permet de voir tous les détails de l'objet sur des distances comprises entre 30 et 100 µm.
La valeur limite (exceptionnelle) de P pour une loupe est 100 dioptries.
La valeur limite, distance minimale séparant deux points distingués à travers une loupe est donc de

$$(MN)_m = \frac{6.10^{-4}}{100} = 6.10^{-6} \text{ m} = 6 \text{ µm}$$

Scanned by CamScanner

C. LE MICROSCOPE

1. DESCRIPTION

Le microscope est un instrument d'optique très grossissant, permettant l'observation commode d'objets dont les dimensions sont beaucoup trop petites pour que l'œil puisse les voir, même à travers une loupe (structure des cellules vivantes, microbes, particules en suspension, etc.).

Un microscope comprend deux systèmes optiques appelés objectif et oculaire :

a) **L'objectif** : placé près de l'objet à examiner, donne de celui-ci une image réelle, fortement agrandie et d'une très grande qualité.

b) **L'oculaire** : contre lequel se place l'œil, joue le rôle d'une loupe dans l'examen de l'image réelle fournie par l'objectif. L'image virtuelle qu'il en donne conserve toute la qualité de l'image objective.

L'objectif et l'oculaire sont des systèmes complexes de lentilles permettant de corriger tous les défauts inhérents au cheminement de faisceaux lumineux à travers le verre. Ces deux systèmes optiques sont maintenus à distance variable l'un de l'autre par fixation aux extrémités d'un tube métallique lié à un support complexe. Le statif, conçu pour rendre commodes l'éclairage et la mise au point.

L'objet à examiner est placé entre une **lame porte-objet** et une **lamelle couvre-objet**, toutes deux en verre, que l'on dispose sur **la platine** du statif. (Fig.14: coupe schématique d'un microscope).



Microscope

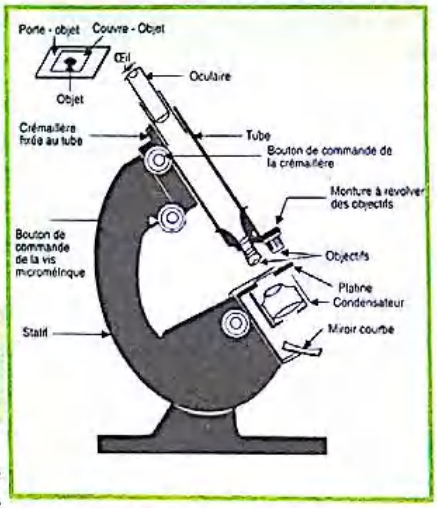


Fig. 14 coupe schématique du microscope

2. MICROSCOPE RÉDUIT CONSTRUCTION DES IMAGES SUCCESSIVES

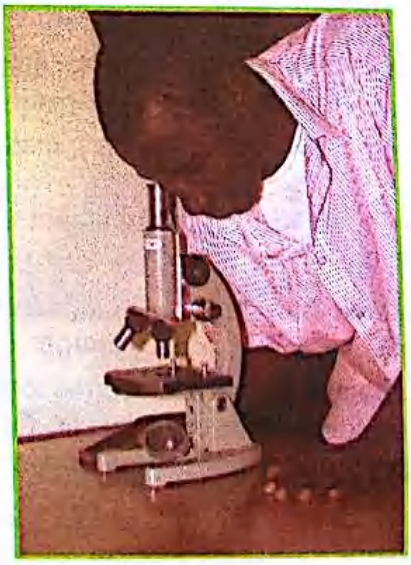
Bien que le microscope soit un instrument complexe, il est possible d'en exposer simplement le fonctionnement en assimilant l'objectif et l'oculaire à des lentilles convergentes : on parle alors de **microscope réduit** :

L'objectif de ce microscope réduit est une lentille de faible diamètre d'ouverture et de très **petite distance focale** (de quelques millimètres) ; **l'oculaire** est une simple loupe de quelques centimètres de distance focale.

Les axes principaux de ces deux lentilles se confondent en une droite O_1O_2 constituant l'axe optique de l'instrument (fig.15 page165). La distance fixe $\Delta = F'_1F'_2$ du plan focal image de l'objectif au plan focal objet de l'oculaire, est **appelée longueur optique du microscope** ; elle est voisine de 16 cm dans les microscopes modernes.

La construction des images à l'aide des rayons remarquables est indiquée sur la figure 15 page 165.

L'image objective A_1B_1 réelle est située entre le centre optique de l'oculaire réduit et son plan focal objet, condition pour que l'image définitive soit virtuelle. L'objet AB est proche du plan focal objet de l'objectif, ce qui permet l'agrandissement important de A_1B_1.



Scanned by CamScanner

3. MARCHE DES FAISCEAUX POSITION DE L'ŒIL



Les faisceaux lumineux issus des différents points de l'objet AB doivent tous parvenir à l'œil de l'observateur après avoir cheminer à travers le microscope. On peut se contenter de représenter deux de ces faisceaux correspondants aux deux points extrêmes A et B de l'objet (fig.16 page 165).
Ces deux faisceaux couvrent la totalité d'un cercle de diamètre CD qui est **la pupille d'entrée** du microscope. Les faisceaux émergents correspondants passent par un autre cercle de diamètre C'D' image de CD, appelé **pupille de sortie** du microscope.
La **pupille de sortie** (C'D') est l'image de la pupille d'entrée (CD) qui n'est autre que l'objectif réduit ou tout au moins sa partie utile. L'œil placé au niveau de C'D' reçoit donc toute la lumière issue de l'objet AB.
La pupille de l'œil doit être au plus égale à la pupille de sortie (C'D') appelée **cercle oculaire**.

4. MISE AU POINT

Comme dans le cas de la loupe, la mise au point consiste à amener l'image finale entre le punctum proximum (PP) et le punctum remotum (PR) de l'œil qui observe à travers le microscope.
Sur la figure17 page 165 sont représentés les déplacements de l'objet et de l'image objective lorsque l'image définitive va du PP à l'infini (pour un œil normal).
La position M_1 de A_1B_1, donne l'image définitive A'B' placée au PP de l'œil, l'objet AB étant en M en avant de F'_1. Lorsque l'image de l'objet AB se déplace de M à N, l'image objective A_1B_1 va de M_1 à F_2 et l'image définitive A'B' de PP à l'infini ; tous ces déplacements se font dans le même sens, de la droite vers la gauche de la figure. En déplaçant l'objet de N vers M (vers la droite de la figure), les deux images se déplacent aussi vers la droite.



Remarque : Dans la position d'utilisation du microscope les déplacements se font du haut vers le bas et inversement.

Le déplacement MN, que l'objet peut subir par rapport au microscope, sans que l'image cesse d'être visible (A_1B_1 réelle, A'B' entre le (PP) et le (PR)), mesure **la latitude de mise au point**.

Remarque Le déplacement M_1F_2 représente la latitude de mise au point de la loupe qui constitue l'oculaire ; M_1F_2 est de l'ordre du centimètre ou de quelques dixièmes du centimètre (cf B loupe). Or les déplacements de l'image objective A_1B_1 sont nettement plus importants que ceux correspondants de l'objet, ce dernier étant proche du foyer objet de l'objectif. On en déduit que la latitude de mise au point d'un microscope est nécessairement très petite.

Scanned by CamScanner

5. PUISSANCE

5-1 DÉFINITION

Comme pour la loupe, la puissance d'un microscope est le quotient du diamètre apparent de l'image virtuelle observée par la longueur de l'objet.

$$P = \frac{\beta}{AB}$$

β : radian (rd)
AB : mètre (m)
P : dioptrie (δ)

la puissance du microscope est le quotient du diamètre apparent de l'image par la longueur de l'objet.



5-2 RELATION AVEC LES CARACTÉRISTIQUES DE L'OBJECTIF ET DE L'OCULAIRE

$$P = \frac{\beta}{AB} = \frac{\beta}{A_1B_1} \times \frac{A_1B_1}{AB} = P_2 \times \gamma_1$$

$P_2 = \frac{\beta}{A_1B_1}$ est la puissance de l'oculaire

$\gamma_1 = \frac{A_1B_1}{AB}$ est le grandissement de l'objectif $\boxed{P = \gamma_1 P_2}$

La puissance d'un microscope est le produit du grandissement de son objectif par la puissance de son oculaire.

5-3 PUISSANCE INTRINSÈQUE

Examinons le cas de la mise au point à l'infini, (fig.18 page 165) A_1B_1 est alors dans le plan focal objet de l'oculaire ; les triangles semblables

F'_1O_1I et $F'_1A_1B_1$ donnent $\frac{A_1B_1}{O_1I} = \frac{F'_1F_2}{O_1F'_1}$ or

$O_1I = AB$; $F'_1F_2 = \Delta$; $O_1F'_1 = f'_1$ d'où $\gamma_1 = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{\Delta}{f'_1}$

Dans ce cas, l'image définitive ou image donnée par l'oculaire étant à l'infini,

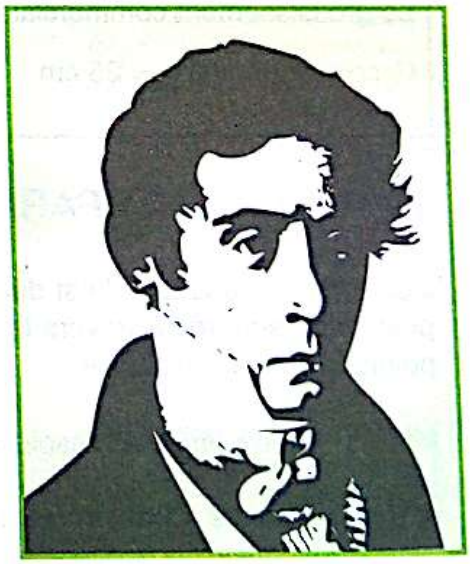
$P_2 = \frac{1}{f'_2}$ donc $P = \gamma_1 P_2 = \frac{\Delta}{f'_1} \times \frac{1}{f'_2}$

$P = \frac{\Delta}{f'_1 f'_2}$ Δ en (m) ; f'_1 et f'_2 en (m) et P en dioptrie.

C'est l'expression de la puissance intrinsèque du microscope : elle ne dépend que des caractéristiques du microscope.

A.N $\Delta = 15.10^{-2}$ m ; $f'_1 = 4$ mm $= 4.10^{-3}$ m ; $f'_2 = 3$ m $= 3.10^{-2}$ m

$\Rightarrow P = \frac{15.10^{-2}}{4.10^{-3}.3.10^{-2}} = \frac{15}{12}\ 10^3 = 1{,}25.10^3$ **P = 1250 δ**



Augustin Fresnel (1788-1827)
Physicien français

Scanned by CamScanner

6. GROSSISSEMENT



6-1 LA DÉFINITION

La définition pour la loupe s'applique aussi au microscope $G = \frac{\beta}{\alpha}$

Le **grossissement** du microscope est le rapport du diamètre apparent de l'image finale au diamètre apparent de l'objet observé à l'œil nu à la distance minimum de vision distincte.

6-2 COMME POUR LA LOUPE

On peut l'exprimer en fonction de la puissance du microscope et de la distance minimum de vision distincte de l'observateur $G = d_m P$

6-3 APPLICATION NUMÉRIQUE

Le tableau suivant donne les valeurs du grossissement d'un microscope de puissance 1250 dioptries pour différentes valeurs de d_m :

Qualité de l'œil	d_m	$G = P\,d_m$
Œil normal jeune	15 cm	1250 x 0,15 = 187,5
Œil myope	5 cm	1250 x 0,05 = 62,5
Œil presbyte	60 cm	1250 x 0,60 = 750
Œil standard	25 cm	1250 x 0,25 = 312,5
Le grossissement commercial G_c correspond à d_m = 25 cm	→	$G_c \frac{1250}{4} = (\frac{P}{4})$

7. POUVOIR SEPARATEUR (du microscope)



Comme pour la loupe, il est défini par la plus petite distance de deux points vus séparés à travers le microscope. Soient M et N ces deux points et MN leur distance :

$MN = \frac{\varepsilon}{P}$ où ε = limite de résolution ou acuité visuelle de l'œil

et P la puissance de l'instrument.

(m) ← $MN = \frac{\varepsilon}{P}$ → rd / dioptrie

A.N $MN = \frac{3.10^{-4}}{1250} = \frac{3}{1,25}\,10^{-7} = 2,4.10^{-7}\ m = 0,24\ \mu m$

Scanned by CamScanner

Pour un microscope plus puissant (2500 dioptries) on devrait avoir MN = 0,12 µm or il résulte des considérations liées à **la nature ondulatoire de la lumière** (diffraction) que MN est limité à 0,2 - 0,3 µm . Donc la formule précédente n'est applicable qu'aux microscopes peu puissants P ≤ 1250 dioptries.

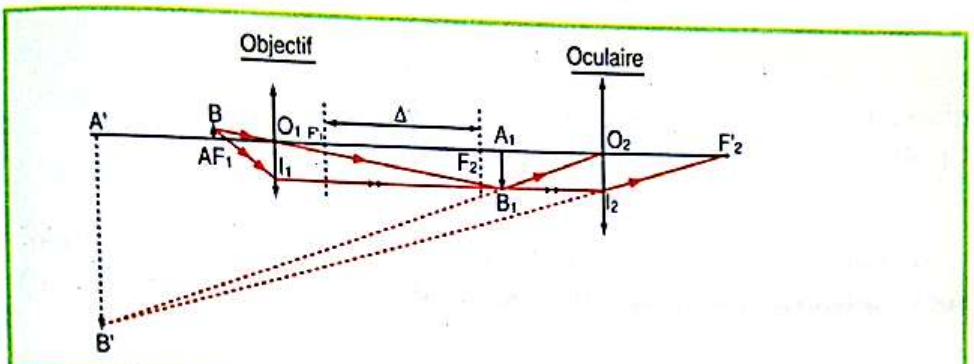


Fig.15 Construction des images successives

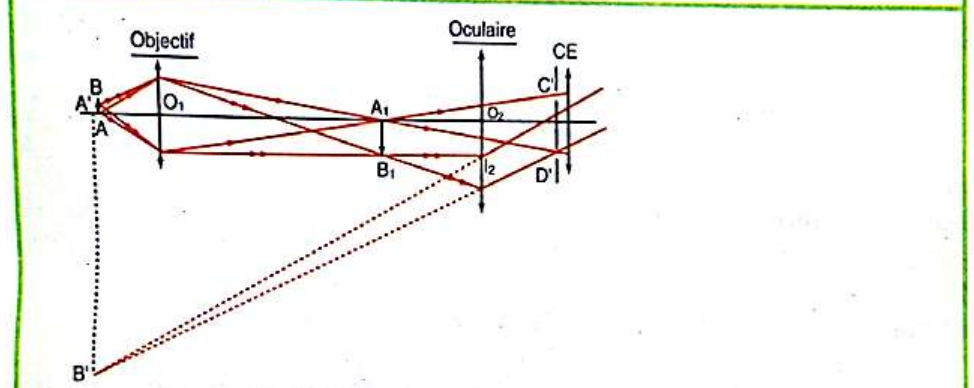


Fig.16 Marche des faisceaux lumineux

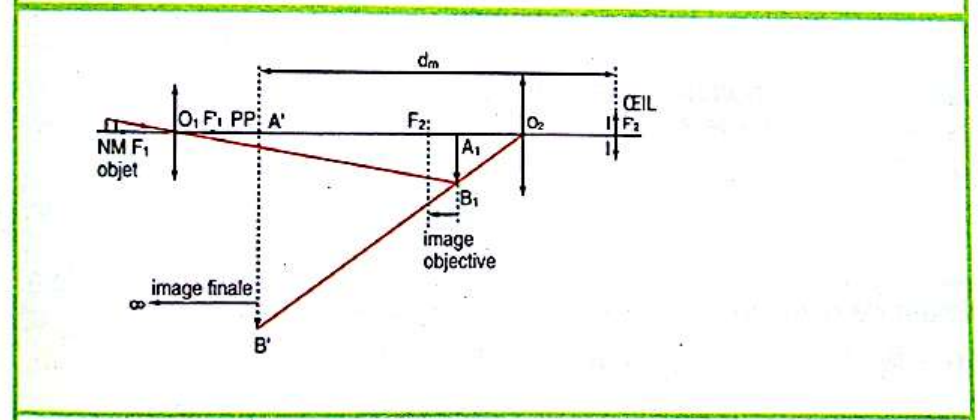


Fig.17 MN = Latitude de mise au point du microscope ($M_1 F_2$ = latitude de mise au point de la loupe que constitue l'oculaire réduit)

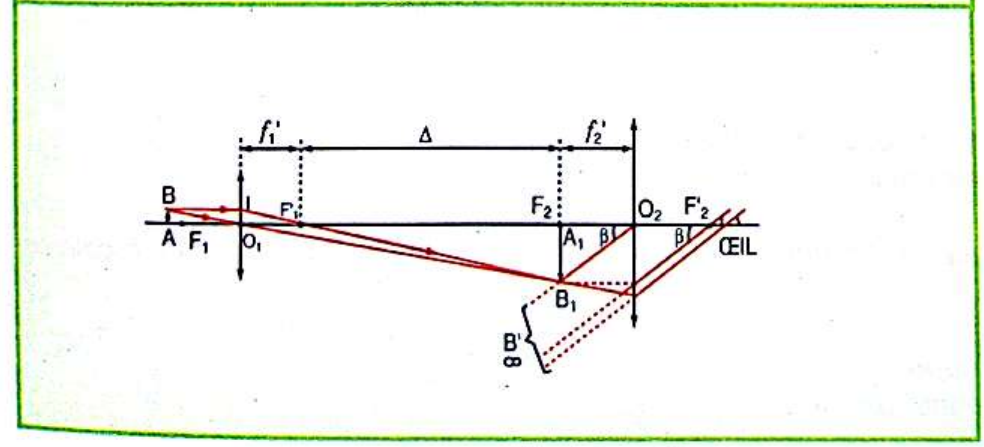


Fig.18 Mise au point à l'"infini (calcul de la puissance intrinsèque)

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

A / ŒIL ;

œil réduit ; tache jaune ; punctum proximum (PP) ; punctum remotum (PR) ; œil myope ; œil hypermétrope ; œil presbyte ; limite de résolution ; pouvoir séparateur de l'œil.

B / LOUPE ;

mise au point ; latitude de mise au point ; puissance d'une loupe ; puissance intrinsèque ; grossissement commercial ; pouvoir séparateur de la loupe.

C / MICROSCOPE ;

microscope réduit ; objectif ; oculaire ; mise au point ; latitude de mise au point ; puissance du microscope ; grossissement ; grossissement commercial ; pouvoir séparateur du microscope.

EVALUATION

ŒIL

1°) a) Qu'est-ce que l'œil réduit ?
b) Expliquer le phénomène de l'accommodation.
c) Quelle est la position du foyer image de l'œil réduit (au repos) par rapport à la rétine
- pour un œil myope ?
- pour un œil hypermétrope ?

2°) Quelle est la nature de la lentille correctrice de la myopie, de l'hypermétropie pour permettre la vision nette d'objets très éloignés ? Justifier à l'aide de schémas.

3°) a) Définir le punctum remotum (PR) et le punctum proximum (PP) de l'œil. Comment appelle-t-on les distances œil-PR et œil-PP ?
b) Donner leurs ordres de grandeur pour :
- l'œil normal
- l'œil myope
- l'œil presbyte
c) Calculer la distance minimum de deux points séparés par l'œil sachant que le pouvoir séparateur angulaire est $\varepsilon = 6.10^{-4}$ *radian A.N. :* $d_m = 15$ *cm, 5 cm, 25 cm.*

LOUPE

1°) Qu'est-ce qu'une loupe ?
Quelle est la nature de l'image observée à travers une loupe ?
Quel est l'intérêt d'une observation à l'infini ?

2°) Définir la latitude de mise au point d'une loupe. Comment varie-t-elle avec la distance focale de la loupe ?

3°) Définir la puissance de la loupe.
Qu'est-ce que la puissance intrinsèque ?

Scanned by CamScanner

4°) Définir le grossissement de la loupe (G), l'exprimer en fonction de la distance minimum de vision nette. Qu'est-ce que le grossissement commercial ?

MICROSCOPE

1°) Décrire un microscope.

2°) Donner les ordres de grandeurs des distances focales de l'objectif, de l'oculaire et de la longueur optique Δ.

3°) Définir la puissance P du microscope et établir l'expression de la puissance intrinsèque. Donner son ordre de grandeur.

4°) Définir le grossissement G du microscope. Etablir son expression en fonction de d_m et de P.

5°) Définir les pouvoirs séparateurs de la loupe et du microscope (plus petite distance de deux points vus, séparés à travers ces instruments). Donner leurs ordres de grandeurs.

EXERCICES RESOLUS

(A) ŒIL

1. a) Un œil normal est au repos ; où est son punctum remotum ? Quelle est sa convergence ?
b) La variation avec l'âge x, de la convergence de l'œil ayant accommodé au maximum étant donnée par la relation $\Delta C(x) = (16 - 0{,}3\ x)$, calculer la convergence maximum d'un œil normal de 20 ans et en déduire sa distance minimum de vision distincte.

Solution

a) A l'infini (par définition). L'œil au repos a une distance focale de 15 mm qui est la distance séparant le centre optique de l'œil réduit de la rétine.

$$C_m = \frac{1}{f} = \frac{1}{15.\ 10^{-3}} = \frac{1000}{15} = 66{,}6\ (\approx 67 \text{ dioptries})$$

b) Quand l'œil accommode, la distance focale de l'œil réduit diminue, donc la convergence augmente :

$C_{max} = C_{min} + \Delta C(x)$

- Pour x = 0 an (nouveau-né) $\Delta C = 16$ et $C_{max}(0) = 67 + 16 = 83$.
- Pour x = 20 ans $\Delta C = 16 - (0{,}3 \times 20) = 16 - 6 = 10$
  $C_{max}(20) = 67 + 10 = 77$

Soit d_m la distance qui sépare l'œil (centre optique de l'œil réduit) du PP ;

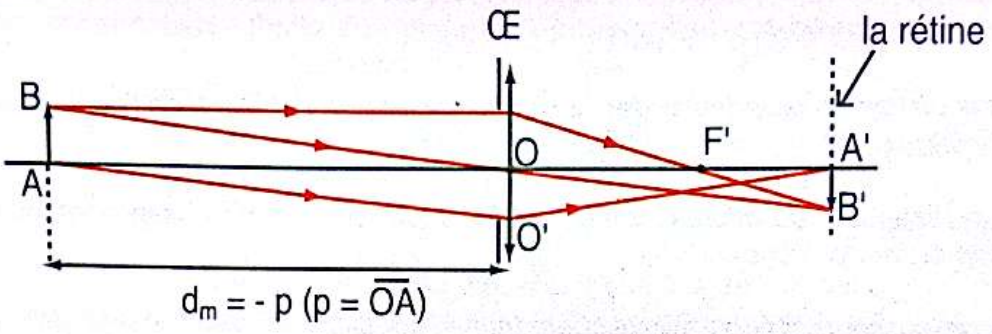
$d_m = -p$ avec $p < 0$ $\quad p' = 15.10^{-3}$ m ; $\quad f' = \frac{1}{C_m(20)}$

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{f'}$$

$$p = \frac{p'f'}{f' - p'} = \frac{15.\ 10^{-3} \times \frac{1}{77}}{\frac{1}{77} - 15.10^{-3}} = \frac{15.10^{-3}}{1 - 15 \times 77.\ 10^{-3}}$$

Scanned by CamScanner

$\Rightarrow p = \frac{0,015}{-0,155} = -\frac{15}{155} = -0,0966\ m = -0,0966\ m = -9,66\ cm \Rightarrow d_m = 9,66\ cm \approx 10\ cm$



(B) LOUPE

2. *La convergence d'une loupe est de 50 dioptries. Un œil normal dont la distance minimum de vision nette est $d_m = 12$ cm a son centre optique confondu avec le foyer principal image de cette loupe.*

1°) Déterminer par le calcul la position d'un objet AB de 2 mm de hauteur dont l'image se forme au punctum proximum de l'œil.

2°) Quelle est la valeur de la latitude de mise au point ?

Solution

On se rapporte à la figure.13b de B-2 (AB est la position A_2B_2)

$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{f'} = \frac{f' - p'}{p'f'} \Rightarrow p = \frac{p'f'}{f' - p'}$

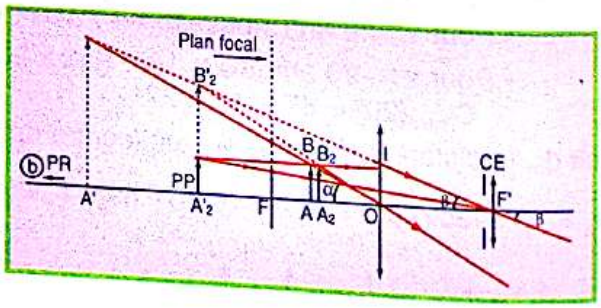
$p' = \overline{OA_2} = O(PP)$; $f' = OF' = \frac{1}{C} = \frac{1}{50} = 0,02\ m = 2\ cm$

$d_m = \overline{F'A'} = F'(PP) = \overline{F'O} + \overline{OA'_2}$

$-d_m\ (<O) = \overline{F'A'_2} = \overline{F'O} + \overline{OA'_2} = -f' + p'$

$\Rightarrow p' = f' - d_m = 2 - 12 = -10$

d'où $p = \overline{OA_2} = \frac{-10 \times 2}{2 + 10} = -\frac{20}{12} = \frac{-5}{3} = -1,66\ cm$



2) $\overline{A_2O} = \frac{5}{3}$; $\overline{FO} = \overline{FA_2} + \overline{A_2O}$

$\overline{FA_2} = \overline{FO} - \overline{A_2O} = 2 - \frac{5}{3} = \frac{6 - 5}{3} = \frac{1}{3}\ cm$

$\overline{FA_2} = 0,33\ cm = 3,3\ mm$

Scanned by CamScanner

Remarque : on applique directement la formule du livre

$$\overline{FA_2} = \frac{f'^2}{d_m} = \frac{(2)^2}{12} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3} = 3{,}3 \text{ mm}$$

(C) MICROSCOPE

3. L'objectif et l'oculaire d'un microscope, assimilés à des lentilles minces, ont respectivement pour convergences 200 et 40 dioptries, la distance de leurs centres optiques est 20 cm, l'œil a son centre optique à 0,5 cm derrière le foyer principal image de l'oculaire ; il est normal et sa distance minimum de vision nette est d_m = 23 cm.
Calculer la latitude de mise au point du microscope.

Solution

Se référer à la figure 17 chap.6

$f'_2 = \frac{1}{40} = 0{,}025$ m = 2,5 cm; $f'_1 = \frac{1}{200} = 0{,}005 = 0{,}5$ cm : l'œil est donc placé au foyer

image de l'oculaire entraînant l'intervention de la puissance intrinsèque.

$O_1O_2 = f'_1 + F'_1F_2 + f'_2 = 20$ cm

$O_1F_2 = f'_2 + F'_1F_2 = 20 - f'_2 = 20 - 2{,}5 = 17{,}5$ cm

L'image définitive au PP : $O(PP) = OO_2 + O_2(PP)$

$d_m = 0{,}5 + |p'_2| = 0{,}5 - p'_2 \Rightarrow p'_2 = 0{,}5 - d_m$

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'_2} \quad \Rightarrow \quad p_2 = \frac{f'_2\, p'_2}{f'_2 - p'_2} = O_2A_1$$

A.N.: $p_2 = O_2A_1 = \frac{2{,}5 \times (0{,}5 - 23)}{2{,}5 - 0{,}5 + 23} = \frac{-2{,}5 \times 22{,}5}{25} = -2{,}25$ cm

$O_1A_1 = O_1O_2 + O_2A_1 = 20 - 2{,}25 = 17{,}75$ cm $= p'_1$

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p'_1 = \frac{f'_1\, p'_1}{f'_1 - p'_1} = \frac{17{,}75 \times 0{,}5}{0{,}5 - 17{,}75} = \frac{17{,}75 \times 0{,}5}{-17{,}25}$$

$$p_1 = p_1(M) = \frac{8{,}5 + 0{,}375}{-17{,}25} = \frac{8{,}875}{-17{,}25} = -0{,}5144 \text{ cm}$$

$p_1 = p_1(M) = O_1M$ est la position de l'objet donnant une image A' B' situé au PP de l'œil placé au foyer image de l'oculaire. Nous cherchons à présent la position N de l'objet donnant une image objective située au foyer de l'oculaire (F_2) ce qui finalement entraînera le rejet de l'image définitive à l'infini.

Objet (N,F_2) : $\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1}$; $p'_1 = O_1F_2 = 17{,}5$ cm

Scanned by CamScanner

$$p'_1 = \frac{f'_1 p'_1}{f'_1 - p'_1} = \frac{17,5 \times 0,5}{0,5 - 17,5} = \frac{8,75}{-17} = p_1 = p_1(N) = -0,5147 \text{ cm}$$

latitude de mise au point NM = $p_1(M) - p_1(N)$

$= -0,5144 + 0,5147$

$= + 3.10^{-4}$ cm

$= 3\ \mu m$

EXERCICES

① *Un œil myope a son punctum remotum à 1 mètre et son punctum proximum à 10 cm.*

1°) Calculer la vergence de la lentille mince qu'il faut placer à 2 cm de son centre optique pour le rendre normal.

2°) Quelle est alors sa distance minimum de vision distincte (d_m).

---

② *Un œil hypermétrope, assimilable à une lentille mince convergente de 67 dioptries, a son plan focal image à 1 mm derrière la rétine.*

1°) Sachant que l'accommodation maximum augmente sa vergence de 8 dioptries, calculer sa distance minimum de vision distincte.

2°) Calculer la convergence de la lentille correctrice qu'il faut placer à 2 cm de son centre optique pour qu'il puisse voir nettement à l'infini.

---

③ *Une lentille donne d'un objet une image nette égale à l'objet quand l'écran sur lequel on recueille cette image est à 8 cm de l'objet.*

1°) Cette lentille est utilisée comme loupe par un œil de distance minimum de vision nette d_m = 20 cm ; calculer la puissance et le grossissement, le centre optique de l'œil étant au foyer image F' de la loupe.

2°) L'œil voit l'image sous un angle de 0,05 rd calculer la longueur de l'objet.

3°) L'œil étant à 5 cm de la loupe et la mise au point étant faite au punctum proximum, que devient la puissance de la loupe ?

Scanned by CamScanner

④ *Un œil, dont la distance minimum de vision est d_m = 10 cm, voit à travers une loupe l'image d'un objet de 1mm sous un angle de 0,005 rd. Calculer :*

1°) la puissance et le grossissement ;

2°) la distance focale de la loupe ;

3°) la plus petite distance de deux points de l'objet séparés par l'ensemble œil-loupe si la limite de séparation de l'œil est $\varepsilon = 5.10^{-4}$ rd.

---

⑤ *L'objectif d'un microscope a une convergence de 100 dioptries et la longueur optique de l'instrument est Δ = 16 cm.*

1°) Calculer le grandissement de l'objet dans le cas de la mise au point à l'infini.

2°) Quelle doit être la distance focale de l'oculaire pour que le grossissement commercial soit G_c = 160 ?

---

⑥ *Un microscope est constitué par un objectif O_1 et un oculaire O_2 de distance focale 30 mm et limité par un diaphragme de diamètre 4 mm plaqué contre l'oculaire.*

O_2 est distant du foyer image de l'objectif de 210 mm.

1°) Quelle est la distance focale de l'objectif sachant que la puissance de ce microscope est 1200 dioptries ?

Dans tout l'exercice l'œil est placé au foyer image de l'oculaire.

2°) Où doit-on placer un objet pour qu'il soit perçu à travers le microscope par un observateur myope dont les limites de vision distincte sont 40 cm et 18 cm ?

3°) Quelle dimension maximum peut avoir l'objet pour qu'il soit vu intégralement par cet observateur dans le microscope ?

4°) On veut que l'image donnée par le microscope impressionne une plaque photographique située à 1m de l'oculaire.

a) Où doit-on placer l'objet ?

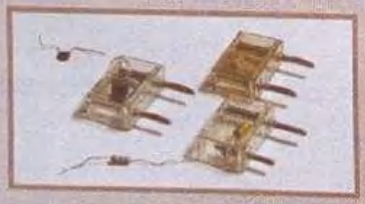
b) Quel est le grandissement obtenu ?

Scanned by CamScanner

ELECTRICITE







INTRODUCTION

On savait à la fin du XVIIe siècle, charger d'électricité statique tel ou tel conducteur. On savait même produire des décharges électriques brèves et très intenses dont on n'hésitait pas à montrer en public les effets spectaculaires. Cependant, on ne disposait pas de véritables générateurs capables de maintenir un courant électrique permanent dans un circuit.

La découverte de la pile par Volta, en 1801, puis celle de l'induction électromagnétique par Faraday, en 1831 donnèrent à l'électricité l'essor considérable que vous lui connaissez. La nature du courant restait cependant bien mystérieuse. Tout devait commencer à s'éclaircir à partir des travaux de Rowland (1876) et de Hall (1880). La description qualitative des porteurs de charge a permis de définir les grandeurs essentielles (intensité, tension) et partant, d'aborder l'électrocinétique sur le plan quantitatif.

Si la mesure d'une intensité est aujourd'hui d'une grande simplicité, grâce aux ampèremètres numériques ou à aiguille ; ce résultat est le fruit d'une longue série de recherches et d'astuces progressivement élaborées par les physiciens au XIXe siècle, dont les plus célèbres ont été Lord Kelvin, Deprez et d'Arsonval, Kirchhoff, Pellât...

Le mot tension fut inventé par Ampère au début du XIXe siècle pour désigner une grandeur physique qui pour un circuit électrique, présente une grande analogie avec la hauteur de chute pour une cascade. De même que l'eau s'écoule parce qu'il existe une différence d'altitude entre le haut et le bas de la chute, le courant électrique circule d'un point à un autre d'un circuit parce qu'il existe une tension électrique entre ces deux points.

Les dipôles sont les éléments fondamentaux à partir desquels sont construits les circuits électriques ou électroniques. Certains sont dits actifs, d'autres passifs.

Scanned by CamScanner

1 INTENSITE, LOI DES NŒUDS

PRÉALABLES

- La charge élémentaire.
- Les deux espèces d'électricité.
- Un conducteur, un isolant.
- Un circuit électrique.
- Les différents types d'électrisation (électrisation par frottement, par influence, par contact).

OBJECTIFS

- définir un porteur de charge
- définir un courant électrique
- définir la quantité de charge
- définir l'intensité
- citer les unités de quantité électrique et l'intensité
- trouver le sens conventionnel du courant sur un schéma
- utiliser un ampèremètre
- définir un nœud
- énoncer la loi des nœuds

Scanned by CamScanner

1. NATURE DU COURANT ELECTRIQUE



Une chaîne de conducteurs reliés entre eux par des fils de connexion conducteurs et comportant au moins un générateur (pile ou batterie d'accumulateurs) constituent un circuit électrique.

1-1 LES EFFETS DU COURANT ÉLECTRIQUE

Soit un circuit formé en plaçant en série :

- un générateur continu G (un générateur continu comporte deux pôles différents : l'un noté (+) c'est le pôle positif, l'autre (-) est le pôle négatif)
- un interrupteur K
- une lampe à incandescence
- un électrolyseur contenant une solution de soude diluée

Une aiguille aimantée sur pivot, libre de tourner autour d'un axe vertical, est placée au voisinage d'un des fils de connexion.

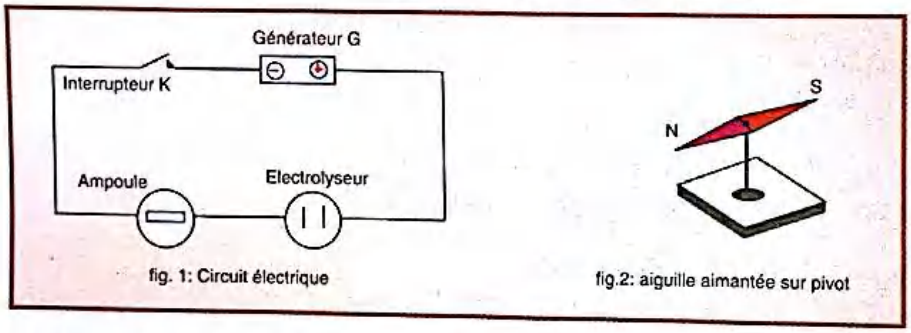


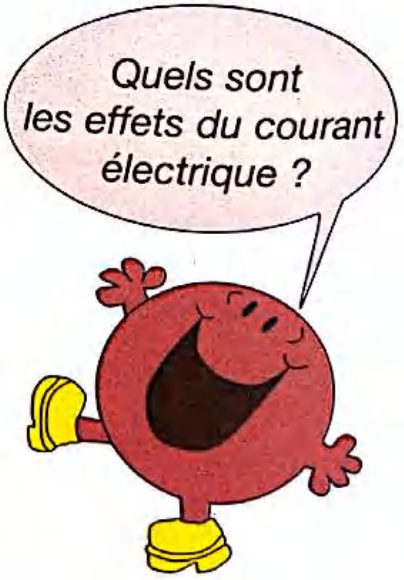
fig. 1: Circuit électrique

fig.2: aiguille aimantée sur pivot

Fig. 1 Circuit électrique et fig2 aiguille aimantée sur pivot

Quand on ferme l'interrupteur K, la lampe s'allume, des dégagements gazeux ont lieu aux électrodes de l'électrolyseur, l'aiguille aimantée placée au voisinage des fils de cuivre qui relient les éléments du circuit se met à tourner au moment de la fermeture du circuit. Elle se stabilise après avoir tourné d'un certain angle. On dit qu'un courant électrique circule dans la chaîne conductrice fermée (réalisée).

Si on change la position de la lampe dans le circuit (par exemple si on la place entre le générateur et l'électrolyseur) on constate qu'elle brille toujours. Si la lampe s'allume c'est parce que le filament a été porté au rouge par la chaleur produit par le passage du courant électrique. L'échauffement plus ou moins marqué des conducteurs, provoqué par le courant électrique manifeste son **effet calorifique**. Le courant électrique circule dans toutes les portions du circuit.



Des réactions chimiques se produisent au niveau des électrodes dans l'électrolyseur. Le passage du courant électrique dans une solution est responsable de sa destruction. C'est **l'effet chimique** du courant électrique.

Lorsque le courant électrique passe dans le fil conducteur, l'aiguille aimantée à son voisinage est soumise à une action mécanique à distance. On dit que le courant électrique crée un champ magnétique, comme le ferait un aimant. Ce champ magnétique est responsable de la rotation de l'aiguille. C'est **l'effet magnétique** du courant électrique.

Scanned by CamScanner

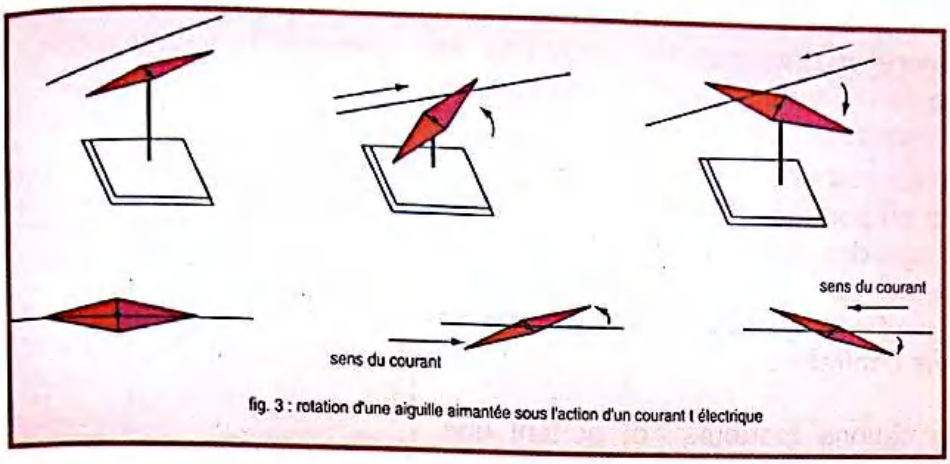


fig. 3 : rotation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un courant t électrique

Fig. 3 rotation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un courant électrique

1-2 LE SENS CONVENTIONNEL DU COURANT ÉLECTRIQUE

Si dans le circuit électrique précédent, nous inversons le sens de branchement du générateur :

- la lampe à incandescence continue à briller
- nous constatons une inversion des dégagements gazeux aux électrodes de l'électrolyseur ; le débit de gaz sur une des électrodes est beaucoup plus intense que sur l'autre.
- l'aiguille aimantée dévie dans le sens contraire au précédent.

Dès le début de l'étude de l'électricité (début du XIX^{e} siècle) les chercheurs se sont préoccupés de déterminer :

- la nature des éléments matériels, dénommés porteurs de charge, qui sont en mouvement lorsqu'un courant électrique circule
- le sens de circulation de ces porteurs dans un circuit donné. Certains effets du courant sont indépendants du sens de passage du courant électrique, d'autres non. D'où l'importance et la nécessité de choisir un sens pour le courant électrique.

Sens conventionnel du courant électrique : dans un circuit électrique simple, le courant sort par le pôle positif (+) du générateur et circule vers le pôle négatif (-) du générateur dans la partie du circuit extérieure au générateur.

N.B. : Cette convention a été choisie sans référence à la nature des porteurs de charge en mouvement.

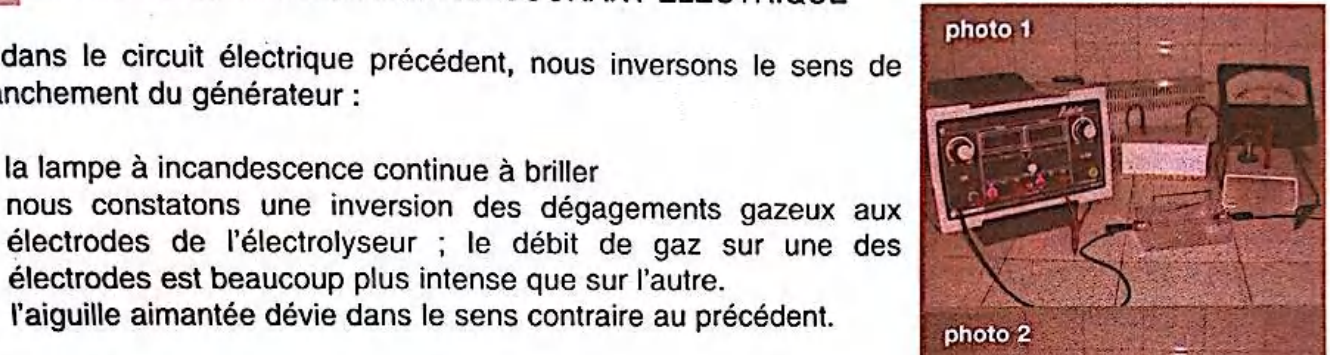
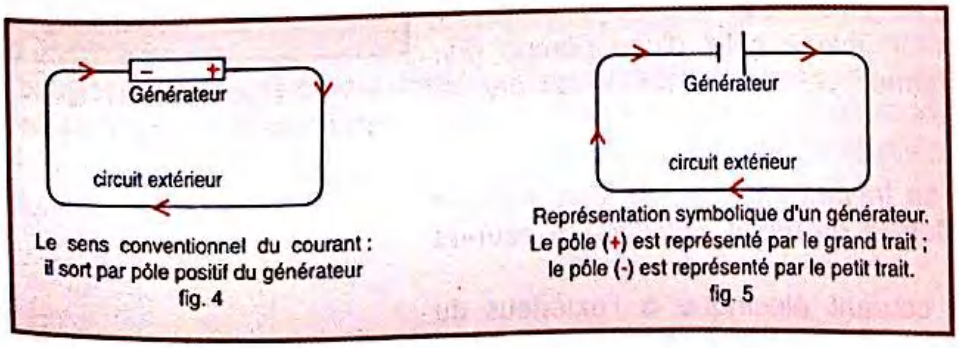


Photo (1) : pas de courant
(2) rotation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un courant électrique



Le sens conventionnel du courant : il sort par pôle positif du générateur
fig. 4

Représentation symbolique d'un générateur. Le pôle (+) est représenté par le grand trait ; le pôle (-) est représenté par le petit trait.
fig. 5

Fig. 4 et fig 5

Scanned by CamScanner

1-3 NATURE DES PORTEURS DE CHARGE DANS UN CONDUCTEUR

Un courant électrique est un déplacement de charges véhiculées par des porteurs de charge (porteur p ou porteur n).

- Dans les métaux les porteurs sont des électrons libres (porteur n) qui portent chacun la charge – e.
- Dans les solutions ioniques (ou électrolytes) il y a deux types de porteurs qui cheminent en sens contraires :

- les ions positifs hydratés ou cations (porteurs p) portant une charge positive multiple de e ;
- les ions négatifs hydratés ou anions (porteurs n) portant une charge négative multiple de – e.

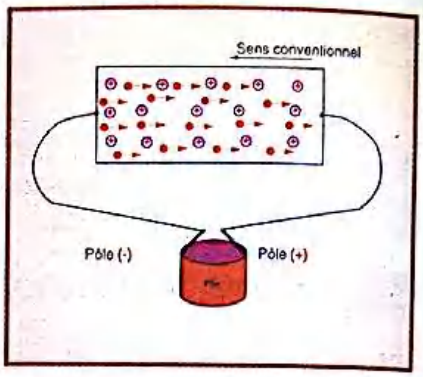


Fig. 6 Représentation dans le plan du mouvement d'ensemble des électrons de conduction

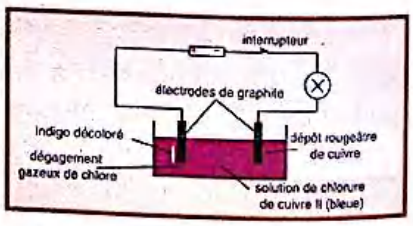
• Dans les semi-conducteurs, il y a des porteurs p appelés « trous positifs » et des porteurs n qui sont des électrons libres. Il n'y a pas d'électrons libres dans les solutions ioniques.
Le sens du courant est le sens de cheminement d'ensemble des porteurs p (chargés +) et le sens contraire du cheminement des porteurs n (chargés –). C'est le sens conventionnel du courant qui sera utilisé dans la suite du cours.

1-4 DÉPLACEMENT DES ÉLECTRONS DE CONDUCTION GRÂCE À UN GÉNÉRATEUR

Relions les deux extrémités d'un fil de cuivre aux deux pôles d'un générateur. **Les électrons de conduction du métal prennent un mouvement d'ensemble et se dirigent vers le pôle (+) du générateur.**

- Le mouvement des électrons s'effectue dans le sens inverse du sens conventionnel du courant.
- La vitesse de translation des électrons de conduction d'un métal est faible, de l'ordre du millimètre par seconde.
- Dès que la pile est branchée aux extrémités du fil, tous les électrons démarrent en même temps.

Quand on ferme l'interrupteur d'un circuit, les électrons libres présents dans le métal du circuit sont entraînés dans un mouvement d'ensemble relativement lent (de l'ordre de 1 mm par minute) qui les fait circuler d'une borne à l'autre du générateur.
Le rôle du générateur est comparable à celui d'une pompe qui, aspirant les électrons par sa borne positive, les refoulerait par sa borne négative.



le sens conventionnel du courant est inverse de celui des électrons

- La circulation des électrons se frayant un passage, non sans de nombreux chocs avec les atomes du métal, constitue le courant électrique.
- Le sens conventionnel du courant électrique à l'extérieur du générateur va du pôle positif (+) au pôle négatif (-).

Scanned by CamScanner

- Le courant électrique dans un conducteur métallique est dû à un déplacement d'électrons, les électrons circulant de la borne négative (-) du générateur vers sa borne positive (+) dans le circuit extérieur, donc en sens inverse du sens conventionnel du courant.

1-5 ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE SUR UN COURANT (OBSERVATION QUALITATIVE)

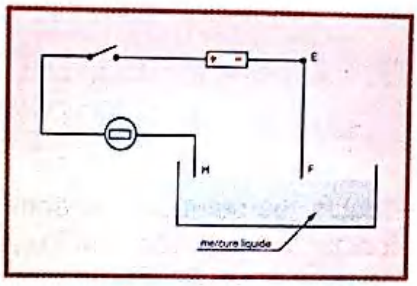


Fig. 7 Circuit d'étude pour la nature du courant électrique

Soit le circuit suivant (fig.7):
- un générateur continu G
- un interrupteur
- une ampoule
- un fil rigide de cuivre EF vertical, articulé en E et dont l'extrémité F est en contact avec du mercure (métal conducteur liquide à la température ordinaire).

- Le fil EF peut prendre différentes inclinaisons sans que le circuit soit coupé. On insère un aimant en U dans le circuit de manière à faire passer EF dans l'entrefer. Les résultats suivants sont observés.(fig.8)

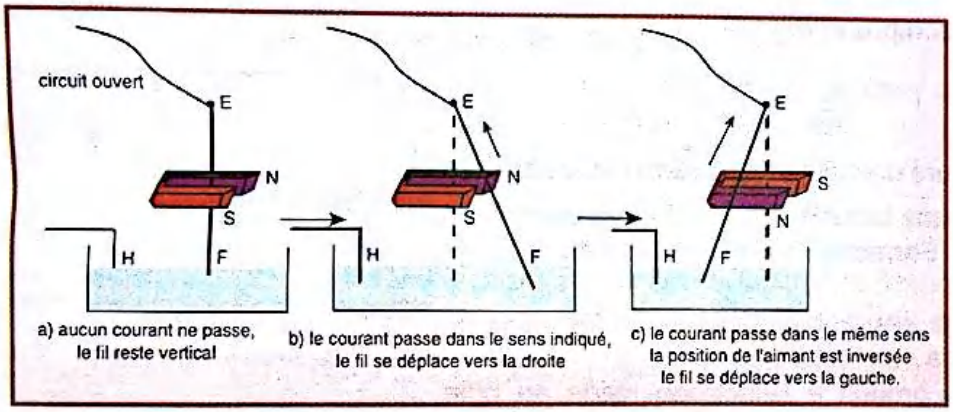


Fig. 8

Conclusion

Nous pouvons supposer que des électrons circulent dans le fil conducteur EF. Ces électrons ne pouvant « sortir » du métal, l'action magnétique est transmise à l'ensemble du conducteur qui de ce fait subit une déviation et se déplace comme un faisceau d'électrons.
Le courant électrique dans un métal serait donc dû à un déplacement de charges électriques, ces charges en mouvement étant des électrons.

Définition :

On appelle électrons de conduction d'un métal, les électrons qui sont peu retenus par les noyaux métalliques, ils sont libres de se déplacer dans le cristal et assurent de ce fait, la conduction de l'électricité dans le métal.

Le sens conventionnel du courant électrique à l'extérieur du générateur va du pôle positif (+) au pôle négatif (-)



Scanned by CamScanner

Remarque :

Dans les électrolytes, le mécanisme de la conduction de l'électricité est fondamentalement différent de celui que nous venons d'étudier concernant les métaux. L'étude en est faite dans le paragraphe qui suit.

2. LA NATURE DU COURANT ELECTRIQUE DANS LES SOLUTIONS



Courant électrique dans les solutions

Toutes les solutions ne sont pas conductrices : seules les solutions ioniques, appelées électrolytes permettent le passage du courant électrique. Un ion est un atome ou groupement d'atomes ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons. Une solution ionique contient des ions positifs ou cations et des ions négatifs ou anions, l'ensemble de la solution étant électriquement neutre.

2-1 EXPÉRIENCE :

Réalisons le circuit suivant qui comprend (fig 10) :
- un générateur
- un interrupteur
- une ampoule
- une solution aqueuse de chlorure de cuivre II (solution bleue, couleur caractéristique des ions Cu^{2+}) dans laquelle plongent deux électrodes de graphite (corps conducteur). Fermons l'interrupteur du montage et notons nos observations :

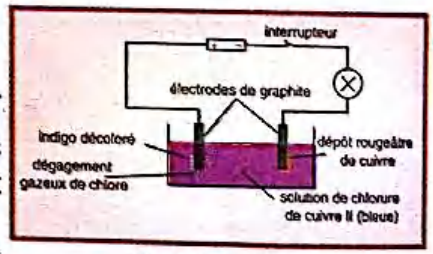


Fig. 10 Electrolyse du chlorure de cuivre II

- L'ampoule s'allume, donc le courant électrique circule dans le circuit et en particulier dans la solution.
- Un dégagement gazeux se produit à l'électrode reliée au pôle positif (+) du générateur. Ce gaz peut être identifié à l'odeur et au fait qu'il décolore les gouttes d'indigo versées au voisinage de l'électrode. C'est du gaz dichlore Cl_2.
- Sur l'électrode reliée au pôle négatif (-) du générateur se dépose une pellicule de cuivre que l'on reconnaît à sa couleur rougeâtre caractéristique.

2.2 INTERPRÉTATION



$$CuCl_2 \longrightarrow Cu^{2+} + 2\,Cl^-$$

La solution de chlorure de cuivre II est formée de molécules d'eau et d'ions Cu^{2+} et Cl^- dans les proportions de deux ions Cl^- pour un ion Cu^{2+}. Le dépôt de cuivre sur l'électrode reliée à la borne négative (-) du générateur et le dégagement gazeux de chlore sur l'électrode reliée à la borne positive (+) du générateur nous permettent de penser que dès la fermeture du circuit les ions Cu^{2+} ou cations se dirigent vers l'électrode reliée à la borne (-) du générateur. Cette électrode est la **cathode**.

Scanned by CamScanner

L'électrode reliée à la borne (-) du générateur s'appelle la cathode. Au cours d'une électrolyse les cations ou ions positifs s'y dirigent.

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu \text{ (dépot de cuivre métallique)}$$

Simultanément, les ions chlorure Cl^- se dirigent vers l'autre électrode, celle reliée à la borne (+) du générateur. Cette électrode est **l'anode.**

L'électrode reliée à la borne (+) du générateur est l'anode. Au cours d'une électrolyse les anions ou ions négatifs s'y dirigent.

$$2Cl^- \longrightarrow 2e^- + Cl_2 \text{ (dégagement de dichlore)}$$

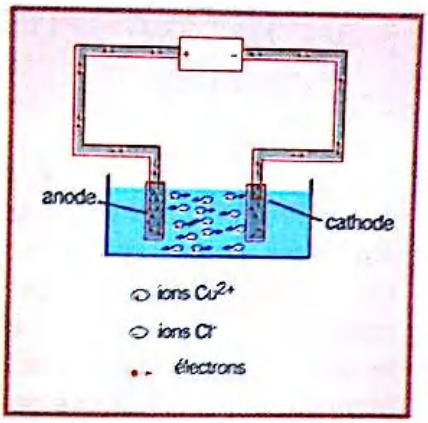


Fig. 11 Déplacement des différents porteurs de charges au cours d'une électrolyse

Dans la solution, il y a eu un double déplacement d'ions ou migration d'ions ; les ions positifs vers la cathode, les ions négatifs vers l'anode. Dans le circuit extérieur, les électrons se déplacent de la borne (-) du générateur vers la borne (+). Des électrons arrivent à la cathode et d'autres repartent de l'anode.

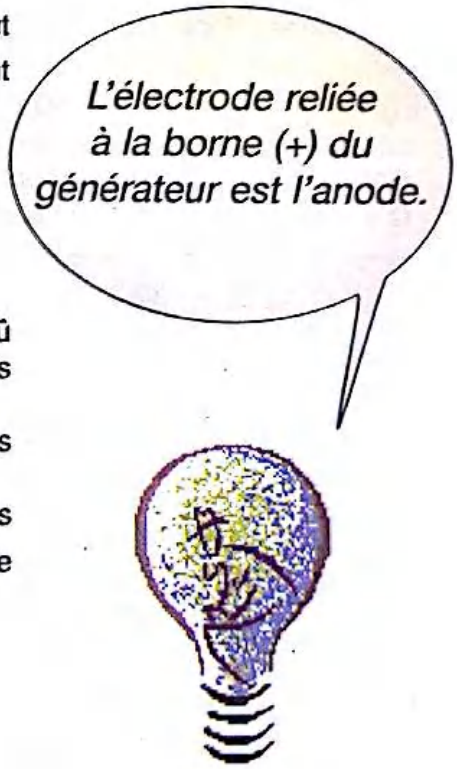
Interprétons ce qui se passe aux électrodes :

- à l'anode il y a un départ d'électrons. Les ions Cl^- perdent leur électron quand ils arrivent au contact de l'anode. On a donc :

$$2Cl^- \longrightarrow 2e^- + Cl_2$$

- à la cathode arrivent des électrons par le fil conducteur et des ions Cu^{2+} de la solution. Puisqu'il y a un dépôt de cuivre métallique, on peut dire que l'ion Cu^{2+} récupère à la cathode les deux électrons provenant de l'anode et se transforme ainsi en cuivre.

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$$



2-3 CONCLUSION :

Dans une solution conductrice (électrolyte) le courant électrique est dû à un double déplacement d'ions à l'intérieur de la solution : les ions positifs se dirigent vers la cathode, les ions négatifs vers l'anode.
Les porteurs de charges sont donc des ions et non plus des électrons comme dans un conducteur métallique.
Les déplacements des ions sont encore plus lents que ceux des électrons dans un métal : de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-6} $cm.s^{-1}$. Cette vitesse de déplacement dépend en particulier de la taille des ions.

Scanned by CamScanner

3. INTENSITE D'UN COURANT ELECTRIQUE CONTINU

Par frottement on électrise les corps. Le frottement fait apparaître de l'électricité (positive ou négative) sur les corps qui ont été frottés. Le courant électrique est dû à un déplacement de porteurs de charges qui sont soit les électrons (dans les conducteurs métalliques) soit les ions (dans les électrolytes). Les effets produits par le passage d'un courant électrique dans un circuit seront d'autant plus importants que le nombre de charges électriques en mouvement sera grand. Il est évident aussi que plus le frottement est long et énergique, plus le corps frotté est électrisé. On dit alors que la charge électrique développée sur le corps est plus grande ou encore que la quantité d'électricité portée par le corps est plus importante. On doit donc pouvoir évaluer, définir l'intensité d'un courant électrique en liaison avec le nombre de charges en mouvement.



3-1 CHARGE ÉLECTRIQUE ET QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ

La charge électrique élémentaire d'un électron est $q = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C alors que celle d'un proton est $+ 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Dans les deux cas, nous dirons que la quantité d'électricité portée par ces deux particules est de $1{,}6 \cdot 10^{-19}$C c'est-à-dire égale à la valeur absolue de la charge électrique transportée (notée **e**).

Dans une portion métallique d'un circuit électrique, une section est traversée pendant un temps déterminé, par un certain nombre d'électrons, donc par une certaine quantité d'électricité (puisque chaque électron porte la charge $- e = - 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C). Si n est le nombre d'électrons traversant la section considérée, ils transportent avec eux une charge électrique négative égale à (– **ne**) donc une quantité d'électricité notée **Q** et donnée par l'expression :

Q = - ne. Elle s'exprime en coulomb comme la charge électrique.

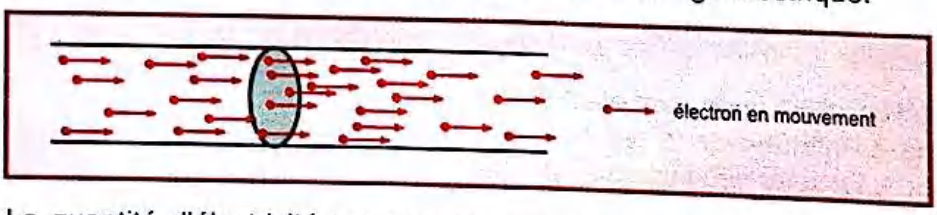


Fig. 12 Une section droite est une section perpendiculaire aux génératrices du cylindre.

La quantité d'électricité traversant une section du liquide (dans une solution) est égale à la somme des quantités d'électricité transportées par les ions positifs et par les ions négatifs.

3-2 INTENSITÉ D'UN COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU

Si la quantité d'électricité transportée est constante dans le temps et si le mouvement des charges se fait toujours dans le même sens, nous dirons que le courant électrique est **un courant continu**. Le débit d'électrons, c'est-à-dire le nombre d'électrons traversant une section droite pendant l'unité de temps, est constant.

Scanned by CamScanner

a) Définition :

L'intensité du courant dans un appareil caractérise le nombre d'électrons qui le traversent en une seconde. Elle est numériquement égale à la quantité d'électricité **Q** traversant une section droite du conducteur pendant l'unité de temps.



Elle est définie par la relation : $I = \frac{Q}{t}$ L'intensité I d'un courant continu est le quotient de la quantité d'électricité **Q** qui traverse une section du conducteur par le temps t pendant lequel s'effectue cette traversée.

b) Les unités

Nous utilisons toujours le système international où :
- l'unité de temps est la seconde (s)
- l'unité de quantité d'électricité est le coulomb (C)
- l'unité d'intensité est l'ampère (A)

Le nom de cette unité vient du nom du physicien lyonnais **André Marie Ampère** (1775-1836) qui s'illustra par la découverte des principales lois de l'électrocinétique et de l'électromagnétisme.

Multiples et sous-multiples de l'ampère.

Le kilo ampère	$1kA = 10^3 A$
Le milliampère	$1mA = 10^{-3} A$
Le microampère	$1\mu A = 10^{-6} A$

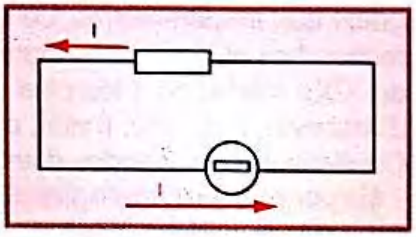


Fig. 13 Notation de l'intensité d'un courant électrique

Pour présenter un courant électrique dans un circuit, nous utiliserons désormais une flèche placée au-dessus du conducteur (fig.13) indiquant le sens conventionnel du courant et surmontée de la lettre I majuscule (qui signifie que l'on s'intéresse à l'intensité du courant).

c) Ordre de grandeur des intensités

La formule de l'intensité permet de calculer la quantité d'électricité transportée par le courant d'intensité I pendant le temps t (à travers une section quelconque du circuit)

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t$$

Une unité pratique de quantité d'électricité est **l'ampère-heure (A.h)** L'ampère-heure est la quantité d'électricité qui traverse en 1 heure, une section du circuit parcouru par un courant continu d'intensité 1 ampère.

$1\ A.h = Q = I \cdot t = 1 \times 3600 = 3600\ C$

1 A.h = 3600 C



André Marie Ampère (1775-1836) mathématicien et physicien Français

Scanned by CamScanner

Des ordres de grandeurs d'intensité de courant électrique traversant quelques appareils usuels sont rassemblés dans le tableau suivant :

Montre à quartz	quelques microampères (mA)
Ampoule de lampe de poche	quelques centaines de mA
Ampoule d'éclairage	de 0,1 à 1 A
Clignotant de voiture	1 A environ
Plaques de cuisson d'une cuisinière électrique	2 à 10 A
Radiateur électrique	5 à 15 A
Phares d'une voiture	10 A environ
Démarreur d'automobile	50 à 100 A
Fer à repasser	3 à 6 A
Locomotive électrique	500 à 1000 A
Electrolyse de l'alumine	100.000 A

Remarque : L'intensité d'un courant continu est la même en tout point d'un circuit sans dérivation.

4. MESURE DE L'INTENSITE D'UN COURANT : LOI DES NŒUDS

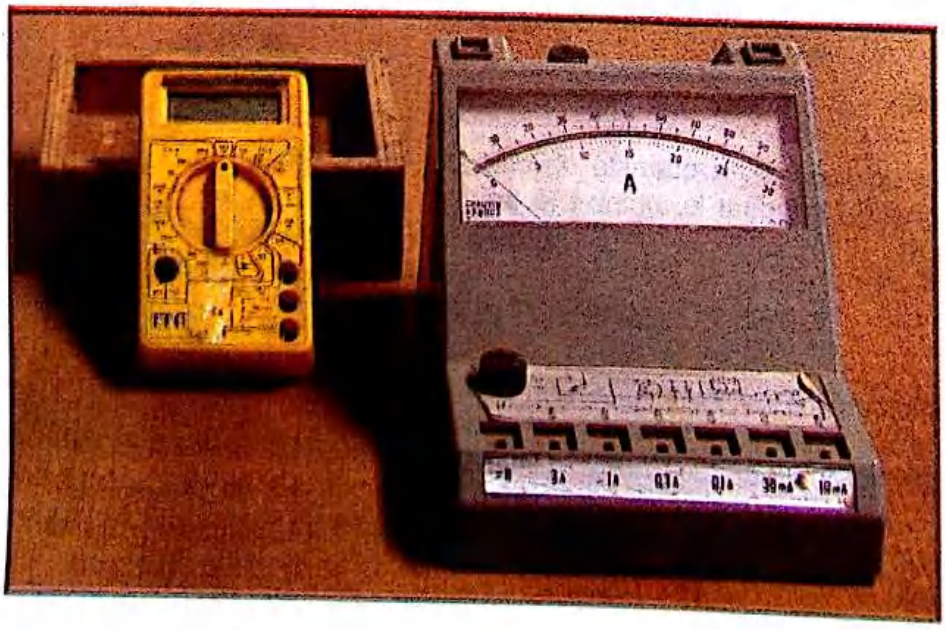


Lord Kelvin William (1824-1907) physicien Britannique

Si la mesure d'une intensité est aujourd'hui d'une grande simplicité grâce aux ampèremètres, ce résultat est le fruit d'une longue série de recherches et d'astuces progressivement élaborées par les physiciens du XIXe siècle, dont les plus célèbres ont été Lord Kelvin, Deprez et d'Arsonval, Kirchhoff, Pellât, etc.

On distingue deux sortes d'ampèremètre :

- **Ampèremètres analogiques** : dans lesquels une aiguille est mobile devant un cadran gradué, et dont la déviation de celle-ci est proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse l'ampèremètre.
- **Ampèremètres digitaux à affichage numérique** : qui sont des appareils électroniques affichant directement la valeur de l'intensité du courant qui les traverse.



ampèremètres

Scanned by CamScanner

La représentation symbolique d'un ampèremètre est donnée à la figure.14

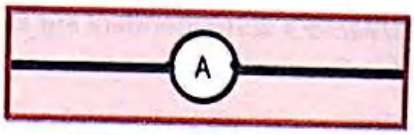


Fig. 14 Représentation symbolique d'un ampèremètre

4-1 UTILISATION DE L'AMPÈREMÈTRE

Deux éléments fondamentaux sont à retenir pour placer convenablement un ampèremètre dans un circuit :

a) L'ampèremètre se place toujours en série dans le circuit où on désire mesurer l'intensité. Pour mesurer l'intensité qui traverse l'ampoule à incandescence dans le circuit de la figure15a, l'ampèremètre doit être placé en série avec l'ampoule comme l'indique la fig 15b.

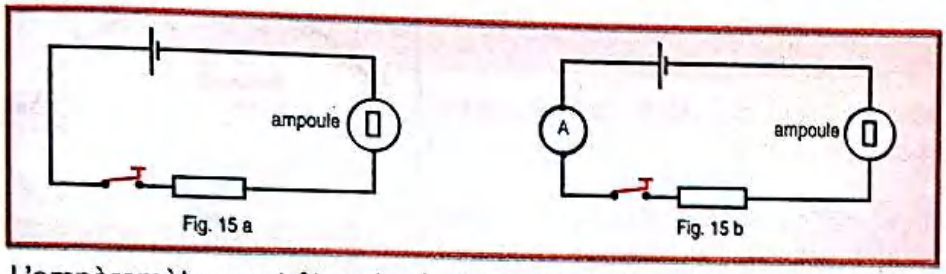


Fig. 15 a Fig. 15 b

Fig.15a circuit où l'on désire connaître l'intensité
Fig.15b l'ampèremètre est placé en série dans le circuit

L'ampèremètre peut être placé n'importe où dans le circuit considéré. L'intensité est la même en tout point d'un circuit sans dérivation.

b) l'ampèremètre doit être branché dans le bon sens.

Les deux bornes d'un ampèremètre ne sont pas identiques, l'une est marquée d'un signe (+), l'autre d'un signe (-). On dit que l'ampèremètre est un appareil polarisé. Dans le branchement correct, la borne (+) de l'ampèremètre doit être reliée au pôle (+) du générateur et sa borne (-) au pôle (-) du générateur. Le courant (sens conventionnel) pénètre dans l'ampèremètre par son pôle (+). Les figures 16 et 17 montrent respectivement un branchement correct et un branchement dangereux pour l'ampèremètre (il y a risque de le détériorer).

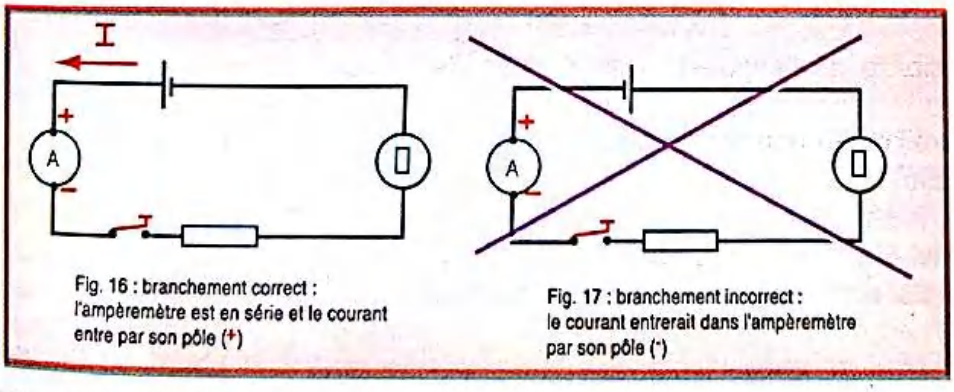


Fig. 16 : branchement correct : l'ampèremètre est en série et le courant entre par son pôle (+)

Fig. 17 : branchement incorrect : le courant entrerait dans l'ampèremètre par son pôle (-)

fig16 et 17

Remarque :

L'installation d'un ampèremètre dans un circuit modifie l'intensité du courant qui le traverse. Il faut donc, dans une mesure d'intensité, employer l'ampèremètre qui perturbe le moins l'intensité à mesurer.
Les appareils usuels permettent des mesures à la fois en courant

Scanned by CamScanner

continu et en courant alternatif ; il faut avoir au préalable placé le sélecteur correspondant sur la bonne position : continu (=) ou alternatif (~).

4 -2 LE CHOIX DU CALIBRE

Les ampèremètres utilisés au laboratoire comportent toujours plusieurs calibres. Un appareil à plusieurs calibres permet des mesures d'intensité dans une grande zone de valeurs, par exemple 3A ; 1A ; 0,3A ; 0,1A ; 0,03A, 0,01A (ainsi que 10A en utilisant un branchement particulier).
Pour utiliser l'appareil sur les calibres 0,01A ; 3A ; 0,03A ; 1A on relie son pôle (+) à la borne (+) du générateur et on place le curseur en face du calibre désiré.

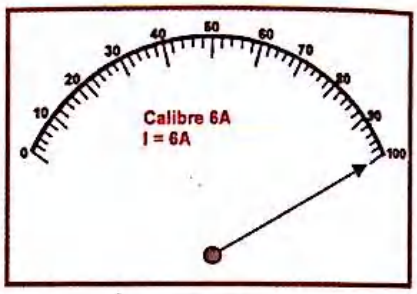


Fig. 18

Le calibre représente l'intensité maximale qui peut être mesurée par l'ampèremètre fonctionnant sur ce calibre.

Par exemple : dire que le calibre est de 6A signifie que lorsque l'intensité qui traverse l'ampèremètre est 6A, l'aiguille de l'appareil prend la position extrême vers la droite (se fixe sur la graduation la plus grande de l'échelle fig. 18).

Sur l'ampèremètre dont la graduation comporte 100 divisions et qui est utilisé sur le calibre 6A, l'aiguille se place devant la division 100 lorsque l'intensité qui le traverse est 6A fig (18). De nombreux appareils comportent une double échelle de graduations ce qui permet des calculs plus simples suivant le calibre choisi. Si M est le nombre total de divisions lues du cadran, m le nombre de divisions indiqué par la position de l'aiguille et C le calibre ; l'intensité I sera donnée par la relation :



$$\frac{I}{C} = \frac{m}{M} \text{ soit } \boxed{I = \frac{C \times m}{M} = \frac{\text{calibre} \times \text{nombre de divisions lues}}{\text{nombre total de divisions du cadran}}}$$

Le rapport $\frac{C}{M}$ est appelé sensibilité de l'appareil. Il suffit donc de multiplier la sensibilité de l'appareil par le nombre de graduations lues pour obtenir la valeur de l'intensité.
Exemple : Pour les calibres 3A ; 0,3A ; 0,03A de la figure 19 la lecture se fait sur l'échelle 0-30 divisions. Pour les autres calibres elle se fait sur l'échelle 0-100. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Mesure	Calibre utilisé	Lecture	Echelle de lecture	Sensibilité	Intensité (A)
n°1	1	95	100	10^{-2}	0,95
n°2	0,3	25	30	10^{-2}	0,25
n°3	0,03	17	30	10^{-3}	0,017
n°4	0,01	68	100	10^{-4}	$6,8.\ 10^{-3}$

Scanned by CamScanner

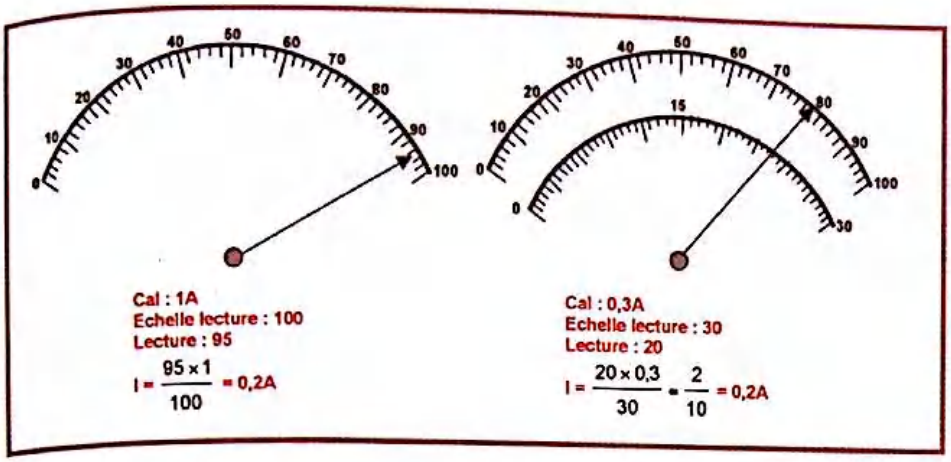


Fig 19 Calcul de la valeur d'une intensité à partir de la lecture du cadran de l'ampèremètre



Cadran ampèremètre

5. PROPRIETES DE L'INTENSITE D'UN COURANT

5 -1 INTENSITÉ DANS UN CIRCUIT SÉRIE

Soit le circuit composé, d'un générateur, d'un interrupteur et de plusieurs conducteurs reliés les uns à la suite des autres. L'ensemble formé est une boucle fermée appelée **maille**. Nous avons un circuit série ou circuit à maille. Introduisons un ampèremètre dans ce circuit pour mesurer l'intensité du courant qui y passe. Celui-ci peut être placé successivement entre N et M, M et P, P et H, etc. L'indication de l'ampèremètre est la même quelle que soit sa position dans le circuit. Les charges électriques en mouvement ne peuvent ni s'accumuler, ni s'échapper du circuit ; le débit d'électrons est le même en tout point du circuit.

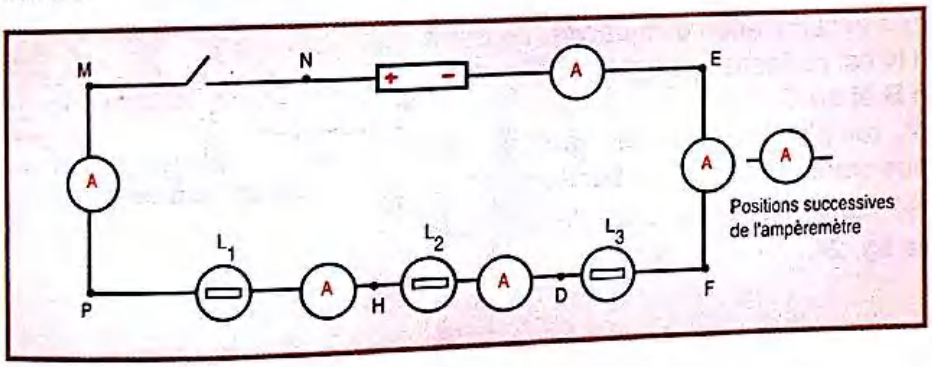


Fig. 20 L'intensité est la même en tout point d'un circuit série

Dans le montage de la figure 20, supprimons la lampe L_3 et mesurons l'intensité ; elle n'est plus la même, et pourtant le générateur n'a pas changé. Dans la figure 20, remplaçons le générateur par un autre : par exemple une pile de 4,5 V à la place d'une pile de 6V. L'intensité est à nouveau, changée.

Si l'intensité est la même en tout point d'un circuit série sa valeur dépend à la fois du générateur utilisé et des conducteurs placés dans le circuit. Prenons toujours le montage de la figure 20, à la place d'une des lampes (L_3) introduisons un rhéostat.

Un rhéostat : appareil constitué par le bobinage d'un fil conducteur sur un manchon isolant. Un curseur mobile peut se déplacer sur une tige métallique et frotte sur le bobinage.

Un rhéostat possède trois bornes et peut être utilisé de différentes manières. Les bornes A et B sont fixes, elles correspondent aux deux



Photo d'un rhéostat

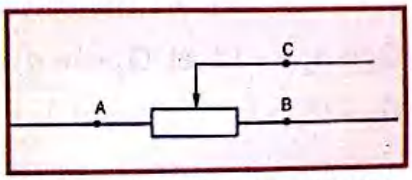


Schéma de principe d'un rhéostat

Scanned by CamScanner

extrémités du bobinage. La borne C est reliée au curseur.
Il suffit de déplacer le curseur du rhéostat pour faire varier l'intensité dans le circuit. Un rhéostat, placé en série dans un circuit, permet d'obtenir un courant d'intensité réglable. Pour cela, il faut utiliser une des bornes fixes et celle reliée au curseur de l'intensité du courant. La lampe brille plus ou moins, l'aiguille de l'ampèremètre se déplace.

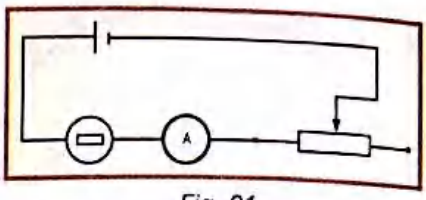


Fig. 21

5-2 INTENSITÉ DANS UN CIRCUIT DÉRIVÉ

a) Expérience.

Réalisons le montage suivant :
Entre les points M et N existe une dérivation à deux branches comprenant chacune une lampe et un ampèremètre (L_2 et A_2 sur l'une et L_3 et A_3 sur l'autre). Le circuit principal comprend une lampe L_1, identique aux deux autres. On dit que ces appareils sont montés en parallèle ou en dérivation sur le circuit principal. Les deux dérivations rejoignent en N la branche principale : les points M et N points de départ et d'arrivée des dérivations sont appelés **des nœuds.**
Un nœud est le point de raccordement de trois conducteurs ou plus. On peut avoir un nœud à trois branches comme dans le circuit de la figure.22 mais aussi des nœuds à quatre, cinq branches ou plus.
Fermons l'interrupteur. Nous constatons que les trois lampes brillent mais L_1 brille plus fortement que les deux autres. L'intensité qui traverse le circuit principal est donc plus grande que celle qui traverse chaque dérivation. En mesurant les intensités I_1, I_2, et I_3 à l'aide des trois ampèremètres placés dans les trois branches du circuit, nous constatons que $I_1 = I_2 + I_3$. Cette constatation s'explique facilement si l'on admet qu'il ne peut y avoir nulle accumulation d'électrons. Le débit électronique mesuré en M ou en N est nécessairement la somme des débits électroniques mesurés en B et en C.
Dans le circuit de la figure 22, remplaçons une des lampes par exemple L_1, par un rhéostat. Nous constatons qu'un déplacement du curseur entraîne une variation de l'intensité I_1, mais aussi de I_2 et I_3, la relation $I_1 = I_2 + I_3$ restant vérifiée fig. 24.

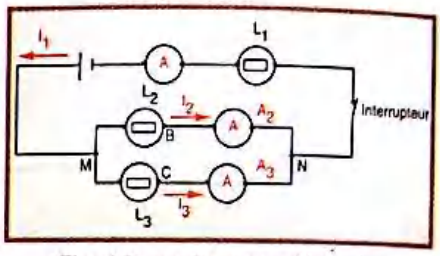


Fig. 22 montage en dérivation

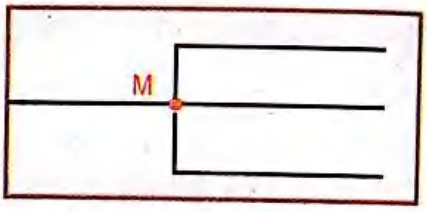


Fig. 23 Nœud à 4 branches

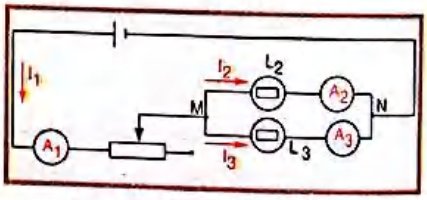


Fig. 24 Vérification de la loi des courants dérivés

b) Interprétation.

L'intensité I_1 du courant étant constante dans la branche principale, en N arrivent n_1 électrons par seconde (rappelons que les électrons se déplacent en sens inverse du sens conventionnel). Ces électrons se répartissent dans les deux dérivations pour se retrouver ensuite en M. Comme il y a conservation de la charge nous avons : $n_1 = n_2 + n_3$ avec n_2 = nombre d'électrons dans la branche 2 et n_3 = nombre d'électrons dans la branche 3. Les quantités d 'électricité passant dans chacune des dérivations sont :

$Q_2 = n_2\, e = I_2 t$ et $Q_3 = n_3\, e = I_3\, t$ avec $Q_1 = Q_2 + Q_3$

$Q_1 = (I_2 + I_3)\, t = I_1 t$ soit $\boxed{I_1 = I_2 + I_3.}$



Scanned by CamScanner

L'intensité du courant dans la branche principale est égale à la somme des intensités des courants dans chacune des dérivations.

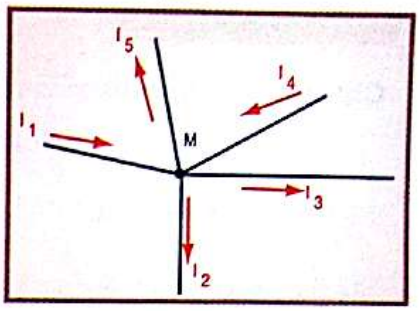
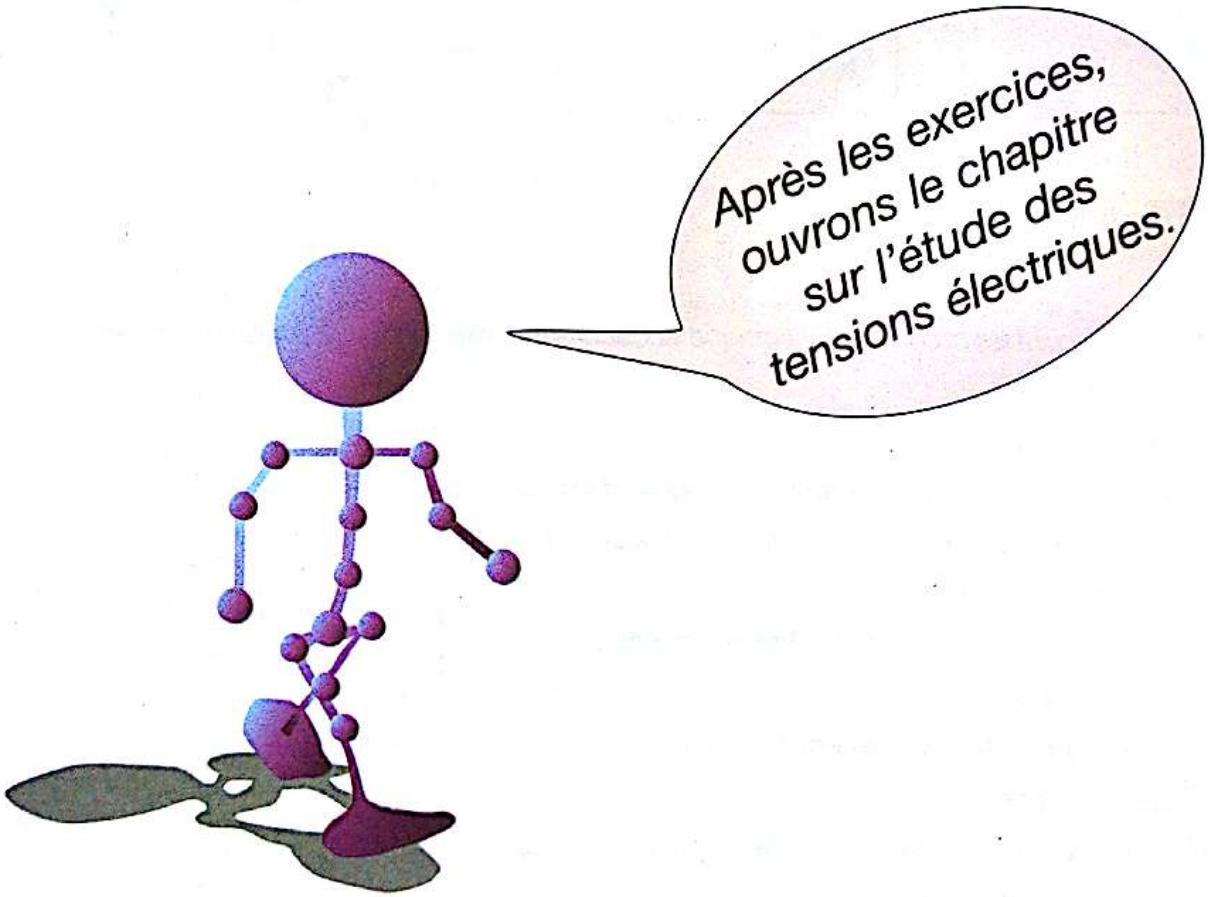


Fig 25 Loi des nœuds

Remarque

Au cas où le nombre de dérivations est quelconque et où il est impossible de distinguer une branche principale des branches dérivées, Il y a toujours conservation de la charge électrique dans le circuit ; donc au nœud M la somme des électrons qui arrivent doit être égale à la somme de ceux qui en repartent. Ce qui se traduira pour les intensités des courants par la relation : $I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$

La loi des nœuds : La somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en repartent.



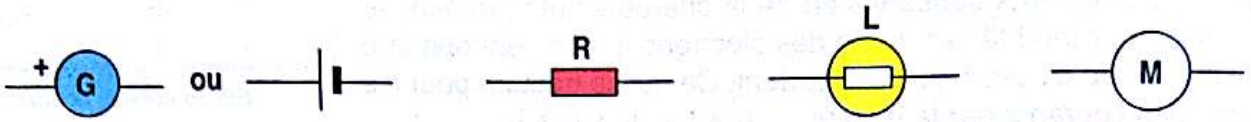
Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Charges électriques ; électrons ; conducteurs ; porteurs de charge ; intensité ; ampèremètre.

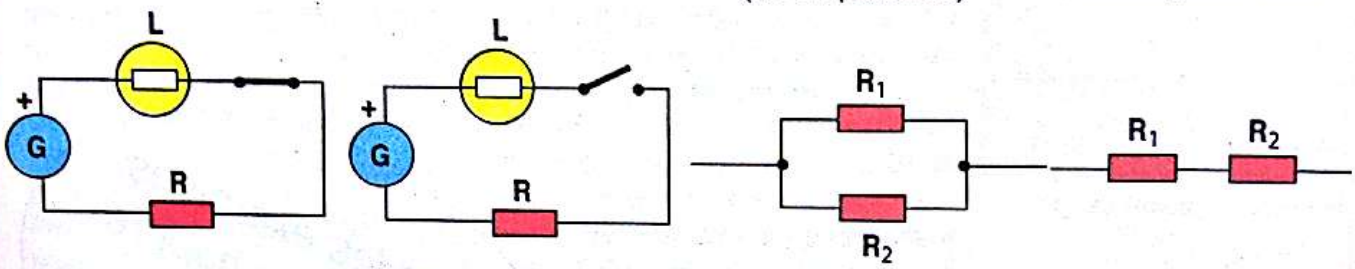
Connaître les symboles des appareils suivants

Générateur | Résistance | Lampe | Moteur



Distinguer les différents types de montages

Circuit fermé | Circuit ouvert | Montage en dérivation (ou en parallèle) | Montage en série



EVALUATION

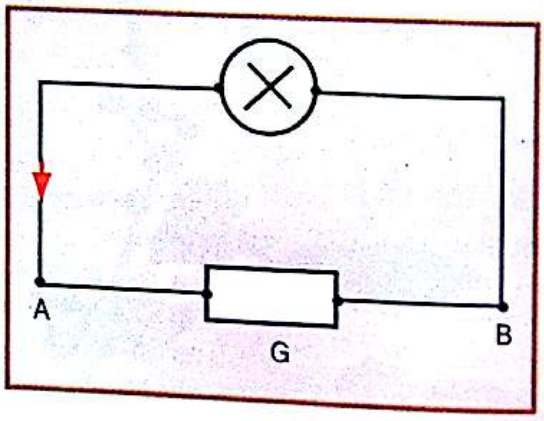
1°) Citer les effets du courant électrique et décrire une expérience mettant en évidence chacun de ces effets.

2°) a) Définir le courant électrique.

b) Le passage du courant électrique dans un conducteur est-il toujours dû à un déplacement d'électrons ?

3°) Quels sont les porteurs de charge mobiles dans un métal, dans un électrolyte ? Dans le conducteur métallique se déplacent-ils dans le sens conventionnel ?

4°) Dans la figure ci-dessous le sens du courant est indiqué par la flèche rouge :



a) Indiquer les pôles du générateur G

b) Indiquer le sens de déplacement des électrons dans le filament de l'ampoule.

5°) Qu'est-ce un nœud dans un circuit ? énoncer la loi des nœuds.

6°) Définir l'ampère-heure. Elle est l'unité de quelle grandeur ?

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

① *a) Calculer le nombre d'électrons libres que l'on peut espérer trouver dans un fil de cuivre de 1 m de long et de 1 mm^2 de section. On admettra qu'un atome de cuivre fournit en moyenne un électron libre.*

b) Si ces électrons se déplacent à la vitesse constante de 0,5 $mm.s^{-1}$ lorsque le circuit est fermé, au bout de combien de temps un électron parti d'une extrémité du fil arrivera-t-il à l'autre extrémité ? On donne Cu = 63,5 $g.mol^{-1}$ N = 6,02.10^{23} mol^{-1} masse volumique du cuivre = 8,9 $g.cm^{-3}$

Solution

a) Le volume du fil de cuivre est : $V = l \times S = 1.10^{-6} = 10^{-6}$ m^3 soit 1 cm^3 donc la masse de ce fil de cuivre est 8,9 g.
Cherchons le nombre d'atomes contenus dans 8,9 g de cuivre.
D'après la définition de la masse atomique, nous savons que : à 63,5 g de cuivre correspondent N atomes ; donc à 8,9 g de cuivre correspondent x atomes tels que :

$$x = \frac{N \times 8,9}{63,5} = 8,4.\ 10^{22} \text{ atomes}$$

Comme chaque atome donne un électron libre, nous avons $n = 8,4.\ 10^{22}$ électrons libres dans cette portion de fil, ce qui est un nombre considérable ; le cuivre est un très bon conducteur.

b) La distance d parcourue par les électrons en mouvement est liée à leur vitesse v par la relation d = v.t , t étant le temps mis par les électrons pour parcourir la distance considérée. On aura

donc $t = \frac{d}{v}$ soit $t = \frac{1}{0,5.10^{-3}} = 200$ s soit environ 33 min, ce qui vérifie que le déplacement ordonné des électrons est très lent. 33 min pour parcourir 1m de fil.

② *Soit un électrolyseur dans lequel plongent deux électrodes de graphite et rempli d'une solution aqueuse de chlorure de cuivre II, monté en série avec un générateur, un interrupteur et une lampe. Lorsque nous fermons le circuit, un dépôt de cuivre a lieu à la cathode. Pouvons-nous calculer le nombre d'électrons devant circuler dans le circuit pour obtenir un dépôt de 2 g de cuivre ? Si ce dépôt se fait en 30 min, quel aura été le débit d'électrons dans le circuit électrique ? On donne : M_{Cu} = 63,5 $g.mol^{-1}$ et N = 6,02.10^{23} mol^{-1}*

Solution

La solution contient des ions Cu^{2+} qui se dirigent vers la cathode où se produit la réaction :

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow \underset{\downarrow}{Cu}$$

donc pour obtenir 1 mole de cuivre, il doit passer 2 moles d'électrons

Scanned by CamScanner

soit $n_{e^-} = 2 \times 6{,}02.10^{22} = 1{,}2.10^{24}$ électrons

Combien de moles de cuivre représentent 2g de cuivre ? Nous savons que :

$m_{Cu} = M_{Cu} \times n_{Cu}$ avec : m_{Cu} = masse de cuivre,

n_{Cu} = nombre de moles de cuivre,

M_{Cu} = masse atomique du cuivre

Donc $n_{Cu} = \dfrac{2}{63{,}5} = 0{,}0315$ mole

Pour obtenir un dépôt de 2g de cuivre, le nombre d'électrons nécessaire est donc :
$n_e = 1{,}2.10^{24} \times 0{,}0315 = 3{,}8.10^{22}$ électrons. Le débit d'électrons est le nombre d'électrons circulant dans la partie métallique du circuit par unité de temps.

Donc : $D = \dfrac{n_e}{t} = \dfrac{3{,}8.10^{22}}{30 \times 60} = 2{,}2.10^{19}$ **électrons par seconde** ; on en déduit l'intensité

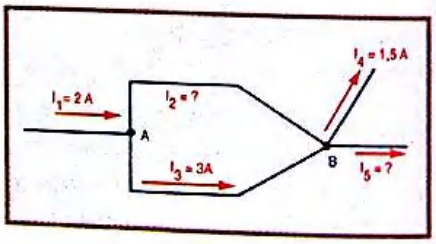
$$\mathbf{I = 2{,}2.10^{19} \times 1{,}6.10^{-19}\ C/s = 3{,}52\ A}$$

EXERCICES

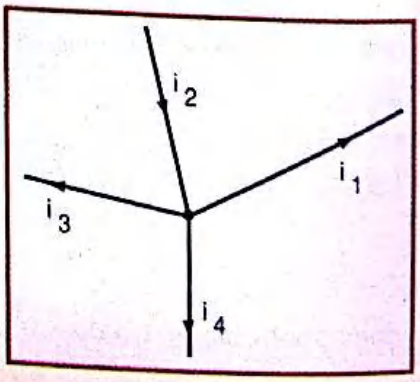
① *Calculer le nombre d'électrons transportés par unité de temps par un courant continu de 1A circulant dans un conducteur métallique.*

② *Exprimer la vitesse de déplacement des électrons dans un conducteur métallique en fonction de l'intensité I du courant, du nombre d'électrons libres n par unité de volume, de la section S du conducteur et de la charge e d'un électron.*
Données : $I = 3\ A$; $S = 1\ mm^2$; $n = 8{,}4.10^{28}\ e^-/m^3$;
$e = 1{,}6.10^{-19}\ C$.

③ *On considère le circuit suivant : il comporte un nœud A à trois branches et un nœud B à quatre branches. On demande de déterminer la valeur de l'intensité I_2 et le sens du courant correspondant ainsi que la valeur de l'intensité I_5.*



④ *On considère un noeud à quatre branches et les intensités algébriques i_1, i_2, i_3, i_4 définies sur la figure.*
On donne : $i_1 = 1A$; $i_2 = -1A$; $i_3 = 4A$ Indiquer le sens réel du courant dans chacune des branches après avoir calculé l'intensité i_4.



Scanned by CamScanner

2 NOTION DE TENSION ÉLECTRIQUE OU DIFFÉRENCE DE POTENTIEL (d.d.p)

PRÉALABLES

- Le principe des vases communicants.
- Le circuit électrique.
- L'intensité du courant.
- Le sens du courant.
- Le symbole du générateur de courant continu.

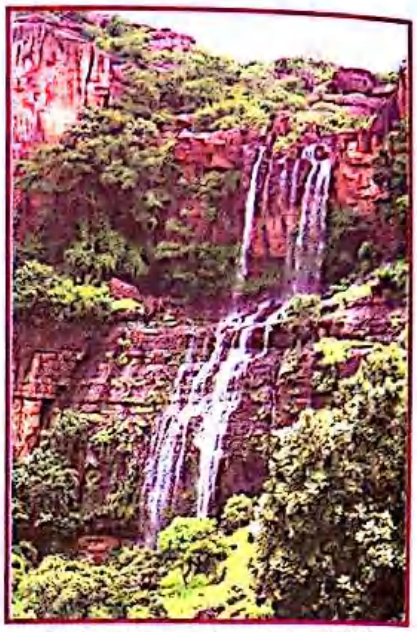
OBJECTIFS

- définir la tension entre deux points d'un circuit
- utiliser un voltmètre
- énoncer et utiliser les lois d'additivité des tensions (loi des branches)
- énoncer la loi des mailles

Scanned by CamScanner

1. INTRODUCTION

Chaque fois que nous voulons alimenter un appareil, nous nous posons la question à savoir : quelle tension pouvons-nous appliquer à cet appareil ?
Cette grandeur qui a une si grande importance pratique, va donc être précisée, dans ce chapitre, et nous donnerons divers moyens de la mesurer.
Les lois d'addition des tensions (ou différences de potentiel) devront être parfaitement connues.



Chute du manden - Siby (Mali)

De la même manière que l'eau d'une chute s'écoule de haut en bas parce qu'il existe une dénivellation entre les niveaux supérieur et inférieur, un courant électrique circule entre 2 points d'un circuit parce qu'une tension existe entre ces points.

2. DE LA MISE EN CIRCULATION DE L'EAU DANS UN CIRCUIT HYDRAULIQUE À CELLE DU COURANT ÉLECTRIQUE DANS UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

2-1 CIRCULATION DE L'EAU DANS UN CIRCUIT HYDRAULIQUE

a) Circulation limitée d'un courant d'eau dans un circuit hydraulique.
Deux réservoirs d'eau R_1 et R_2 de dimensions quelconques sont réunis par une conduite de manière que leurs plans d'eau soient au même niveau (Fig.1).

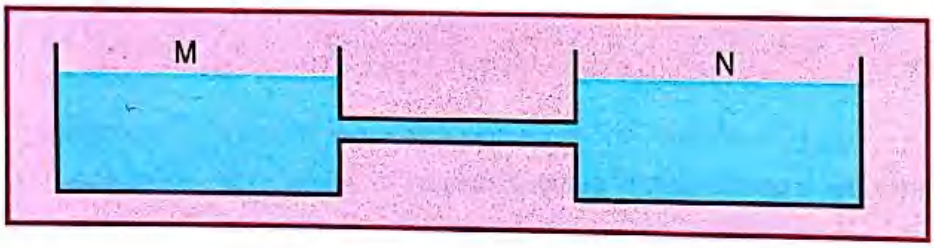


Fig. 1

Il ne peut y avoir de courant d'eau d'un réservoir à l'autre sans différence de niveau, sans différence de pression. Supposons maintenant que les deux plans d'eau dans les réservoirs sont à des niveaux différents : le plan M du réservoir R_1 est plus élevé que le plan N du réservoir R_2 (Fig.2). L'eau contenue dans le réservoir R_1 s'écoule vers R_2 jusqu'à ce que les deux nouveaux plans d'eau soient les mêmes (où jusqu'à ce que le réservoir R_1 soit vide).

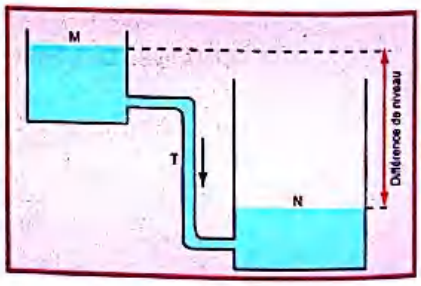


Fig. 2

Dès l'instant où il apparaît entre les plans M et N du circuit d'eau une différence de pression qui se traduit par une différence de niveau dans les plans d'eau, l'eau circule. Ce courant d'eau est de durée limitée.

- **Circulation durable d'un courant d'eau dans un circuit hydraulique**

Pour entretenir le courant d'eau, il faut recourir à une pompe P qui va prélever l'eau du réservoir R_2 et la renvoyer dans R_1 ; autrement dit, il faut entretenir la différence de niveau entre les deux plans d'eau.
La circulation de l'eau de R_1 vers R_2 dans la conduite T sera durable et même **permanente** tant que la pompe fonctionne (Fig.3).

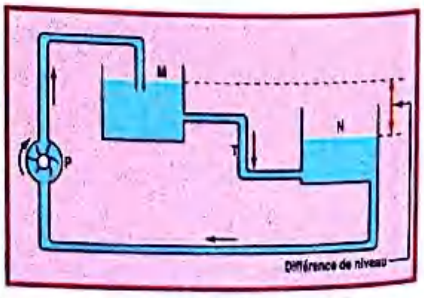


Fig. 3

Scanned by CamScanner

b) Circulation du courant électrique dans un circuit électrique

La nécessité d'avoir une différence de niveaux, pour obtenir un courant d'eau, suggère que la circulation d'un courant électrique dans un circuit est à une «différence d'électricité».

c) De l'électricité à l'électrocinétique

- **Circulation limitée du courant électrique dans un circuit électrique**

Soient deux conducteurs métalliques chargés, le premier C_1 positivement et le second C_2 négativement. A l'aide d'un troisième conducteur métallique C_3 non chargé on réunit les conducteurs C_1 et C_2 (Fig.4).

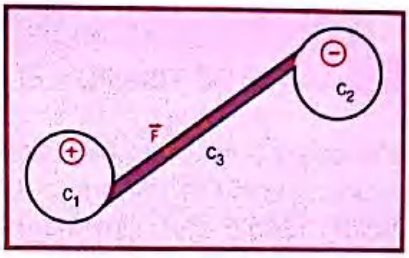


Fig. 4

Deux phénomènes (simultanés) ont lieu dans le circuit ainsi réalisé : D'une part, les électrons de C_3 sont repoussés par le conducteur C_2 chargé négativement et attirés par le conducteur C_1 chargé positivement. Les porteurs de charge contenus dans le conducteur C_3 vont se déplacer vers le conducteur C_1. D'autre part, les porteurs de charge du conducteur C_2 (attirés par C_1) vont également se déplacer vers C_1 à travers C_3. La charge positive de C_1 va être progressivement compensée et l'état final des trois conducteurs C_1, C_2 et C_3 sera un état d'équilibre où toutes les charges seront immobiles. Un courant électrique de très brève durée vient d'être constitué par ces mouvements des porteurs de charge ainsi décrits.

- **Circulation durable du courant électrique dans un circuit électrique**

Pour obtenir un courant électrique durable dans le circuit, il nous faut constituer un circuit électrique (Fig.5) comprenant par exemple :
un générateur de courant électrique G (pile, accumulateur etc.), muni de deux pôles, l'un chargé positivement P ou (+) et l'autre chargé négativement N ou (-) ; une chaîne de conducteurs D_1, D_2, D_3 réunissant les deux pôles du générateur ; un interrupteur K.

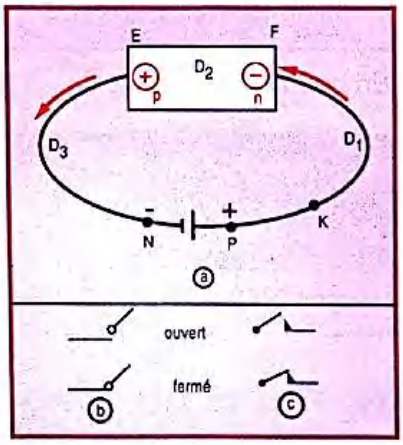


Fig.5 Symboles d'un interrupteur

Supposons que D_2 contienne à la fois des porteurs de charge P et N tandis que D_1 et D_3 sont de simples fils de liaison. Quand on ferme le circuit à l'aide de l'interrupteur K, les charges mobiles se mettent en mouvement comme dans les exemples précédents. Le générateur G a la propriété de remettre en circulation par son pôle négatif, les électrons qui arrivent à son pôle positif : le courant électrique ainsi produit aura donc une grande durée, et sera permanent.

2-2 CONCLUSION

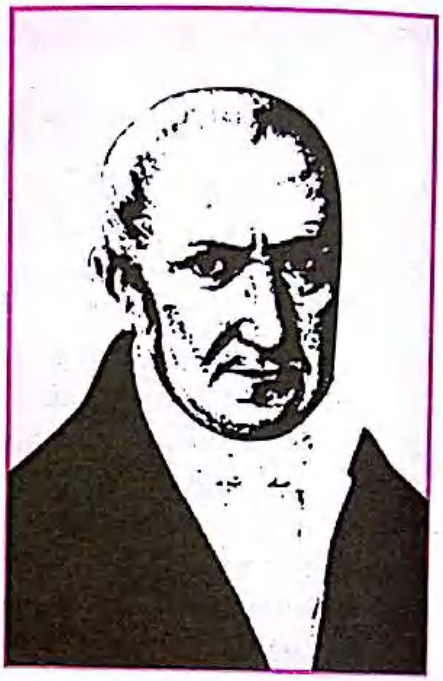
Dans les deux cas (circuit hydraulique et circuit électrique), pour la mise en circulation, la présence d'un générateur de mouvement (pompe, générateur de courant) est indispensable.

Scanned by CamScanner

3. DEFINITION DE LA TENSION ELECTRIQUE

3-1 DÉFINITION

La tension électrique, entre deux points quelconques d'un circuit électrique, traduit la différence d'état électrique, qui existe entre ces deux points.



Alessandro Volta
(1745 - 1827) physicien Italien

3-2 UNITÉ DE TENSION ÉLECTRIQUE

L'unité de tension en électricité est le **volt (Symbole : V)**. Le mot volt a pour origine le nom du célèbre physicien italien Volta (Alessandro Volta : 1745 - 1827) l'inventeur de la pile (voltaïque) qui porte son nom. Les sous multiples du volt tels que le millivolt (symbole : mV) et ses multiples comme le kilovolt symbole : (KV) sont également utilisés.
$1V = 10^3$ mV ; $1KV = 10^3$ V.

3-3 ORDRES DE GRANDEUR DE QUELQUES TENSIONS

En courant continu :

Pile ronde du commerce	1,5 V
Batterie d'automobile	12 V
Générateurs tournants	125 à 500 V

En courant alternatif :

Usages domestiques	127 à 220 V
Générateurs de centrales électriques	5 à 20 KV
Lignes de transport HT (Haute tension)	150 à 400 KV

3-4 RÔLE DU GÉNÉRATEUR

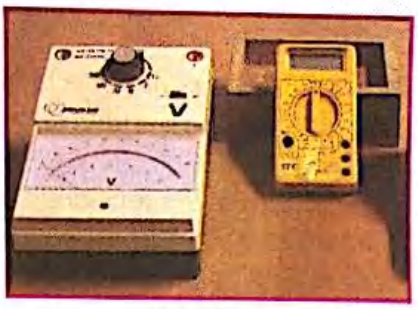
Dans les exemples précédents avec le circuit hydraulique, si la pompe ne fonctionne pas, l'eau n'est pas en mouvement. De même, s'il n'y a pas de générateur dans le circuit électrique, les électrons libres (porteurs de charge) des conducteurs ne se déplacent pas : il n'y a pas de courant électrique.
Le générateur joue le rôle d'une pompe faisant circuler les électrons. Son pôle positif, les repousse, tandis que son pôle négatif les attire.
Les deux pôles du générateur ne sont pas identiques du point de vue électrique.
De même que la pompe crée entre les plans d'eau des réservoirs une différence de pression, le générateur crée aussi entre ses pôles une différence d'état électrique : tension électrique. Tout générateur électrique présente entre ses bornes une tension. Cette tension existe même si le générateur ne débite pas dans un circuit.



Générateur

Scanned by CamScanner

Remarque : Un générateur électrique n'est pas un « magasin d'électrons ». Le générateur possède de l'énergie capable de mettre en mouvement les porteurs de charges des conducteurs constituant le circuit électrique.



Voltmètres

3-5 MESURE PRATIQUE D'UNE TENSION

L'appareil de mesure d'une tension est le **voltmètre**. Il ressemble beaucoup à l'ampèremètre, mais son branchement dans un circuit est tout à fait différent.

a) Branchement dans un circuit :

Pour mesurer la tension qui existe entre deux points C et D d'un circuit électrique, il faut relier les pôles du voltmètre à ces points. On dit que le voltmètre se branche en parallèle ou en dérivation entre ces deux points (Fig.6).
Tout comme l'ampèremètre, le voltmètre à courant continu est polarisé ; il faut donc respecter le sens correct de son branchement si l'on veut que l'aiguille dévie convenablement.

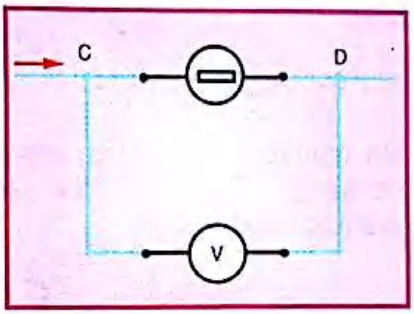


Fig. 6

b) Lecture de la tension

Le choix du calibre du voltmètre et la lecture sont analogues à ceux de l'ampèremètre. On utilise au départ le calibre le plus élevé de l'appareil, puis le calibre adapté.
Exemple de lecture : (photo). Le cadran porte D = 150 divisions ; le calibre utilisé est :
C = 15 V ; la lecture est L = 104. Si U est la tension à mesurer, alors



Photo cadran voltmètre

$$\frac{U}{L} = \frac{C}{D} \Leftrightarrow U = \frac{L \times C}{D} = \frac{104 \times 15}{150} = 10{,}4V$$

La tension électrique entre deux points d'un circuit est mesurée par un voltmètre branché en dérivation.

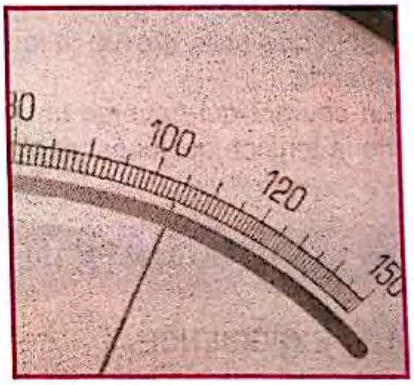


Photo lecture de cadran

3-6 NOTATION D'UNE TENSION

Une tension se désigne en général par la lettre U ; la notation V étant plutôt réservée aux potentiels. La tension entre deux points C et D d'un circuit pris dans cet ordre se note U_{CD}. Elle est représentée sur un schéma par une flèche qui par convention a son extrémité en C et son talon en D. (Fig.7 ; 8).

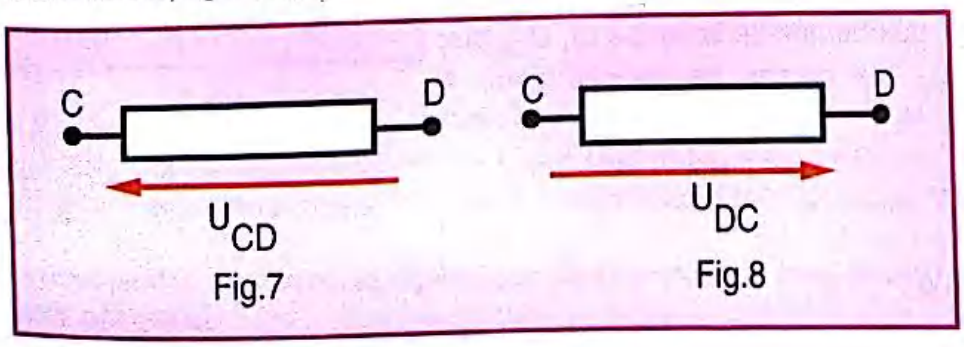


Fig.7 Fig.8

Fig. 8

Scanned by CamScanner

3-7 TENSION ET DIFFÉRENCE DE POTENTIEL (ddp)

Nous pouvons écrire que la tension entre les points C et D du circuit est égale à la différence de potentiel entre ces points : $\mathbf{U_{CD} = V_C - V_D}$. V_C et V_D sont les potentiels aux points C et D. En général seules les tensions sont connues.
Remarque : $V_C > V_D$: Le courant (sens conventionnel) va de C à D opposé à la flèche représentative de la tension U_{CD}

3-8 IMPORTANCE DE LA TENSION

a) Pour un générateur :

Un générateur entretien entre ses pôles une tension sensiblement constante. C'est elle qui permet la circulation du courant et la production d'énergie.

Sans tension ⟶ { Pas de courant ; Pas d'énergie

b) Pour un récepteur :

Un récepteur est toujours prévu pour fonctionner sous une tension déterminée appelée **tension nominale** (et dont la valeur est toujours inscrite généralement sur l'appareil par son constructeur).
Si la tension qui lui est appliquée est plus élevée que celle prévue, il y'a surtension et l'appareil risque de **se détériorer** et si cela advenait l'appareil est dit **«grillé»**. Si la tension qui lui est appliquée est plus faible que celle prévue, il fonctionne mal et ne peut rendre le service attendu.
Le courant qui traverse un appareil récepteur dépend exclusivement de la tension qui lui est appliquée.

Le courant qui traverse un appareil récepteur dépend exclusivement de la tension qui lui est appliquée.



4. LOI D'ADDITION DES TENSIONS

4-1 EXPÉRIENCE

Soit le montage de la figure 9 :
Une pile de 4,5 V alimente un circuit formé de deux lampes L_1 et L_2 différentes en série et d'un ampèremètre A. Les mesures des tensions U_{MN} aux bornes de la pile, U_{MD} aux bornes de la lampe L_1, U_{DB} aux bornes de la lampe L_2 et U_{BN} aux bornes de l'ampèremètre A donnent : $U_{MN} = 4{,}5$ V, $U_{L_1} = U_{MD} = 1{,}3$ V,

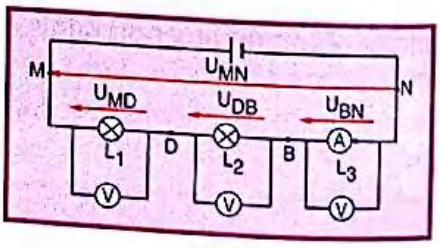


Fig. 9

$U_{L_2} = U_{DB} = 3{,}2$ V

et $U_A = U_{BN} \approx 0$ V.

On constate que : $\mathbf{U_{MN} = U_{MD} + U_{DB} + U_{BN}}$

Scanned by CamScanner

Conclusion

La tension aux bornes d'un ensemble de conducteurs placés en série est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun d'eux.
Une portion de circuit comportant des appareils associés en série est appelée une **branche**.



4-2 GÉNÉRALISATION : LOI DES BRANCHES

La tension U_{MN} entre deux points M et N d'un circuit est égale à la somme des tensions partielles affectées du :

- signe (+), si les « flèches-tension » ont même sens que la flèche U_{MN}
- signe (-) dans le cas contraire.

Pour obtenir sans risque d'erreur une relation traduisant la loi des branches, il suffit de faire appel à la relation de Chasles relative à n points alignés :

$\overline{NM} = \overline{NB} + \overline{BD} + \overline{DM}$

Dans la loi des branches, chacun de ces couples de points devient l'indice d'une tension : $U_{NM} = U_{NB} + U_{BD} + U_{DM}$

Exemple : Soit la branche de la figure 10 $U_{NM} = U_{DM} + U_{BD} + U_{NB}$

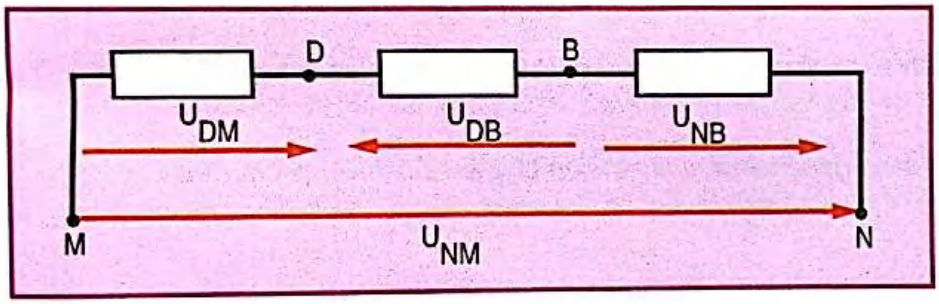


Fig. 10

$U_{NM} = U_{DM} - U_{DB} + U_{NB}$

Les flèches U_{DM} et U_{NB} ont même sens que la flèche $U_{NM}(+)$. La flèche U_{DB} est opposée à la flèche $U_{NM}(-)$.

4-3 LOI DES MAILLES

La loi d'addition précédente peut se généraliser à un nombre quelconque de points et en particulier à un **circuit fermé constituant une maille**. Exemple : Soit le circuit de la figure 11.

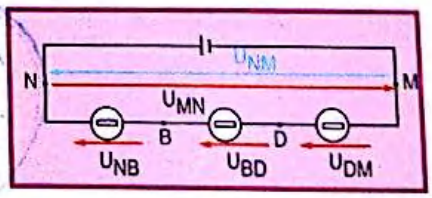


Fig. 11

On a : $U_{NM} = U_{NB} + U_{BD} + U_{DM}$ qui peut se transformer en : $U_{NB} + U_{BD} + U_{DM} - U_{NM} = 0$ ou encore $\mathbf{U_{NB} + U_{BD} + U_{DM} + U_{MN} = 0}$. En faisant, le « tour » de la maille on obtient une somme de tensions nulle.

Loi des mailles : La somme algébrique des tensions le long d'une maille est nulle.

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Tension ; Intensité ; Générateur ; Différence de potentiel ; Voltmètre; Volt (V) ; Branche ; Maille.

EVALUATION

1°) *Quelle est l'unité de tension électrique ? de différence de potentiel ?*

2°) *Compléter les phrases suivantes*

- On appelle tension électrique entre deux points A et B d'un circuit électrique, notée ....., la différence ..... où V_A et V_B sont appelés ..... respectivement aux points .....et ..... : V_A et V_B représentent les niveaux électriques du circuit aux points A et B.

- La différence $V_A - V_B$ est appelée ..... ou ..... entre les points A et B : U_{AB} = ...

3°) *Comment se branche un voltmètre aux bornes d'un dipôle ?*

4°) *Comment obtient-on la tension aux bornes d'un dipôle constitué de plusieurs dipôles en série ?*

5°) *Pour une portion de circuit sans générateur si la tension U_{AB} est positive, le courant circule dans quel sens ?*

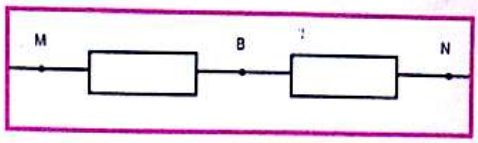
6°) *Soient quatre points A, B, C, D d'un réseau électrique tels que U_{AD} = 40V, U_{BC} = 35V, U_{CA} = - 23 V. Calculer les tensions U_{AC} , U_{AB} et U_{BD} .*



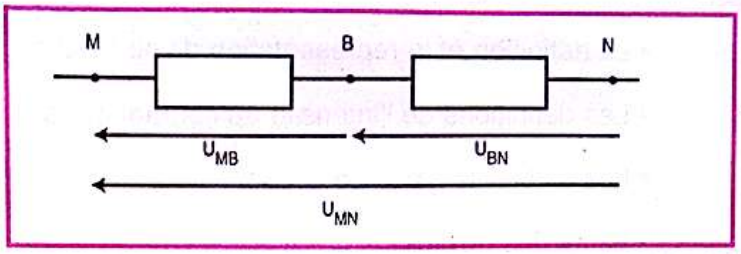
Scanned by CamScanner

EXERCICE RESOLU

Considérons la branche MN formée par l'association en série de deux conducteurs. On donne $U_{MN} = 12$ V et $U_{NB} = 6$ V. Déterminer la tension aux bornes du conducteur MB.



Solution



Commençons par représenter sur le schéma de la portion de circuit chaque tension par une flèche convenablement orientée. Appliquons la loi d'additivité des tensions. On a : $U_{MN} = U_{MB} + U_{BN}$ ou que $U_{MN} = U_{MB} - U_{NB}$ et $U_{MB} = U_{MN} + U_{NB}$.

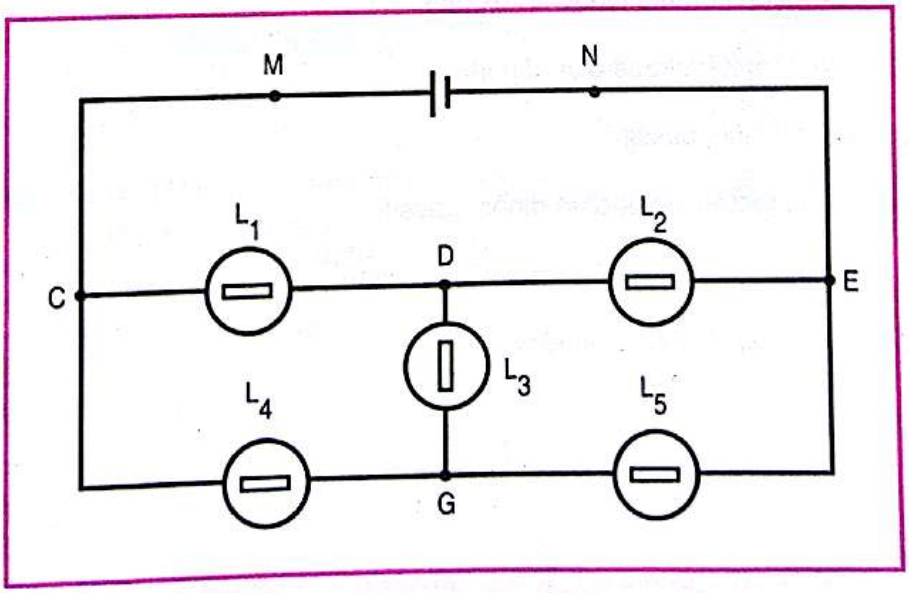
Application numérique : $U_{MN} = 12$ V, $U_{NB} = 6$ V $\Rightarrow$ **$U_{MB} = 18$ V.**

EXERCICE

Soit le montage ci-dessous comprenant un générateur (pile de 4,5 V) et cinq lampes associées comme indiqué sur le schéma. Les mesures de tension donne les valeurs suivantes :

$U_{MN} = 4,5$ V , $U_{DE} = 1,5$ V, $U_{GD} = 2,5$ V .

Calculer les tensions aux bornes des lampes L_1, L_4 et L_5.



Scanned by CamScanner

3 ÉTUDE DE DIPÔLES PASSIFS

PRÉALABLES

- La définition et la représentation d'une fonction linéaire.
- Les définitions de l'intensité du courant et de la tension.
- Les différents types de circuit.
- La loi des nœuds.
- L'additivité des tensions.
- La loi des mailles.

OBJECTIFS

- définir un dipôle
- identifier les différents types de dipôles
- définir la caractéristique d'un dipôle
- définir un dipôle passif
- tracer la caractéristique d'un dipôle passif
- énoncer la loi d'Ohm aux bornes d'un résistor
- appliquer la loi d'Ohm à un résistor.

Scanned by CamScanner

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES DIPÔLES

1.1 INTRODUCTION

Lorsqu'un élément de circuit (ou appareil électrique) est parcouru par un courant d'intensité I, il existe en général une tension U à ses bornes.
Pour placer un appareil électrique dans un circuit, il est nécessaire de connaître le courant qui va le traverser lorsqu'une tension U déterminée est appliquée à ses bornes.
Il existe une relation entre la tension aux bornes de l'appareil et l'intensité du courant qui le traverse (caractéristique courant-tension).
Cette relation permet de :

- déterminer si un appareil électrique peut être inséré dans un circuit, et/ou si la tension d'alimentation convient ;
- donner une classification des différents types d'appareils en fonction de leur comportement.

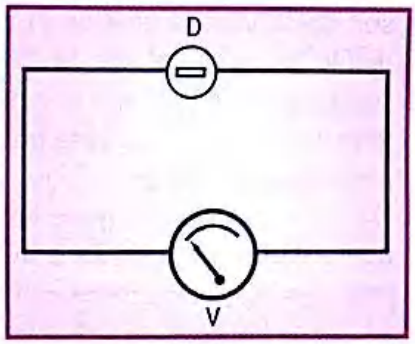


Fig. 1

1.2 DÉFINITIONS

Les appareils électriques que nous utilisons se branchent par l'intermédiaire de deux bornes ou pôles : prise électrique ordinaire, pile, ampèremètre, voltmètre, etc. Tout appareil électrique qui présente deux bornes ou pôles de branchement est un dipôle. Un dipôle qui présente une tension nulle entre ses bornes lorsqu'il n'est pas connecté à un circuit électrique est un dipôle passif. Un dipôle passif ne peut à lui seul assurer le passage d'un courant électrique dans un circuit. Il consomme l'énergie électrique qui lui est fournie par un générateur.
L'aiguille du voltmètre reste au zéro : le dipôle D est passif (fig.1)
Exemples de dipôles passifs : un rhéostat, un électrolyseur, une ampoule, etc.

1.3 REPRÉSENTATIONS D'UN DIPÔLE ET NOTATIONS

a) Représentation d'un dipôle

Un dipôle quelconque se représente en général par un rectangle muni de deux bornes. Si le dipôle est un appareil connu, on utilise son symbole normalisé (voir introduction Chapitre : Électricité). Les deux bornes du dipôle seront repérés par deux lettres, en général M et N ce qui permettra de les différencier, car les deux bornes ne sont pas toujours équivalentes.
Représentation de certains dipôles (Fig.2).


Un rhéostat

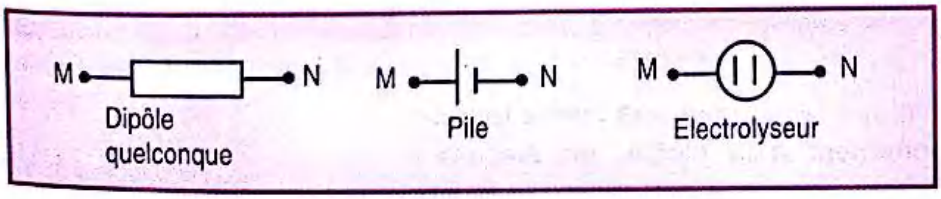
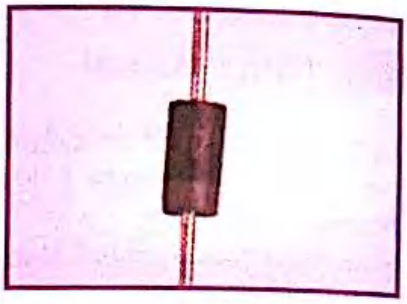


Fig. 2

Scanned by CamScanner

b) Notations

Lorsqu'un dipôle MN est traversé par un courant I, ce courant circule soit de M vers N, soit de N vers M. Nous orientons arbitrairement le dipôle en général de M vers N (Fig.3a) et notons i_{MN} l'intensité algébrique qui traverse le dipôle. Si le courant passe réellement de M vers N, l'intensité i_{MN} sera positive (Fig.3b). Dans le cas contraire, elle est négative (Fig.3c).
Dans les deux cas, avec cette convention, la borne M est appelée borne d'entrée du dipôle et N la borne de sortie du dipôle.



dipôle

Fig. 3

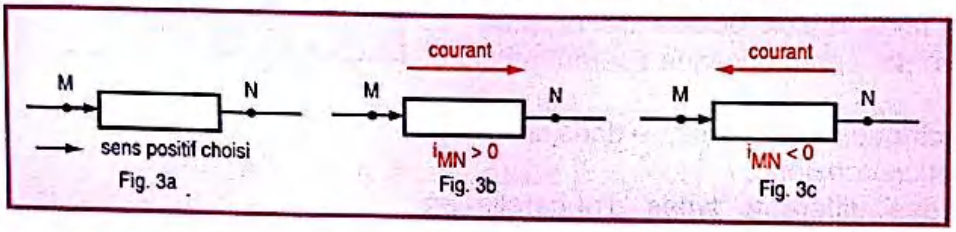


Fig. 3a — Fig. 3b — Fig. 3c

On définit de même la tension aux bornes du dipôle en choisissant par convention, soit U_{NM} (Fig.4a) comme valeur positive.
Toute étude de dipôle doit être accompagnée d'un schéma précisant les conventions choisies. Nous pourrons alors utiliser la notation i pour i_{MN} et u pour U_{MN} afin d'alléger dans certains cas les écritures.

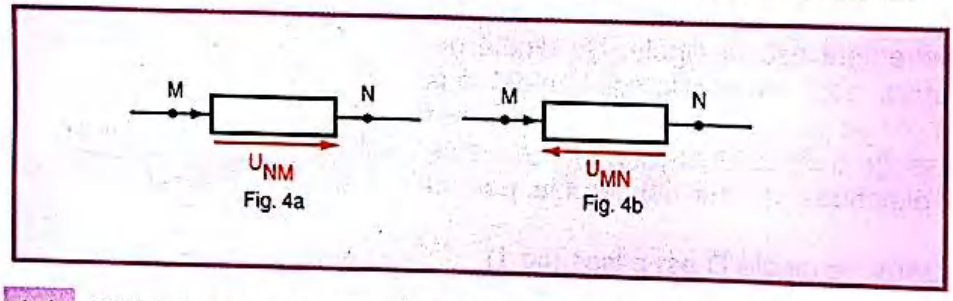


Fig. 4a — Fig. 4b

Fig. 4

1.4 NOTION DE CARACTÉRISTIQUE D'UN DIPÔLE

Tous les dipôles ne laissent pas passer le courant de la même manière lorsqu'ils sont intégrés dans un circuit électrique.

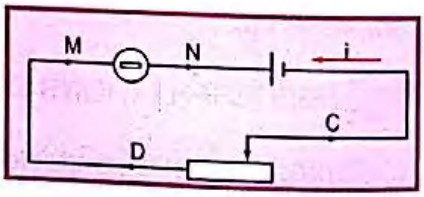


Fig. 5

• *Tous les appareils sont traversés par la même intensité dans un circuit série ; pourtant la tension aux bornes de chacun d'eux est différente. (Fig.5).*

$U_{MN} \neq U_{NC} \neq U_{DC}$ pour une même intensité i du courant dans chacun des dipôles (fig.5)

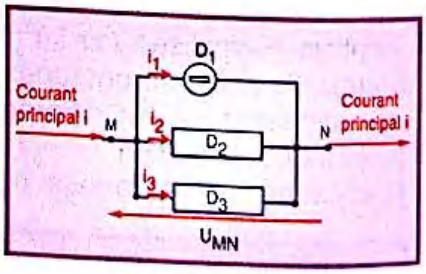


Fig. 6

• • *Dans un circuit parallèle, la tension aux bornes de chaque dipôle est la même ; pourtant l'intensité du courant dans chacune des branches est différente (Fig.6).*

Si les trois dipôles sont différents, $i_1 \neq i_2 \neq i_3$ pour une même tension appliquée. Étudions le comportement d'un dipôle, en mesurant l'intensité qui le traverse lorsqu'une tension u est appliquée à ses bornes. En faisant varier la tension exercée, nous obtiendrons une série de couples de mesures (i, u) caractérisant chacun des états de

Scanned by CamScanner

fonctionnement du dipôle. Reportons ces points sur un système d'axes gradués en intensité et en tension, l'ensemble de ces points forme une **courbe** appelée **caractéristique du dipôle.**

La courbe représentative de la fonction u = f(i) constitue la caractéristique courant-tension (i en abscisse et u en ordonnée) (Fig.7a). La courbe représentative de la fonction i = g(u) constitue la caractéristique tension-courant (u en abscisse et i en ordonnée) (Fig.7b).

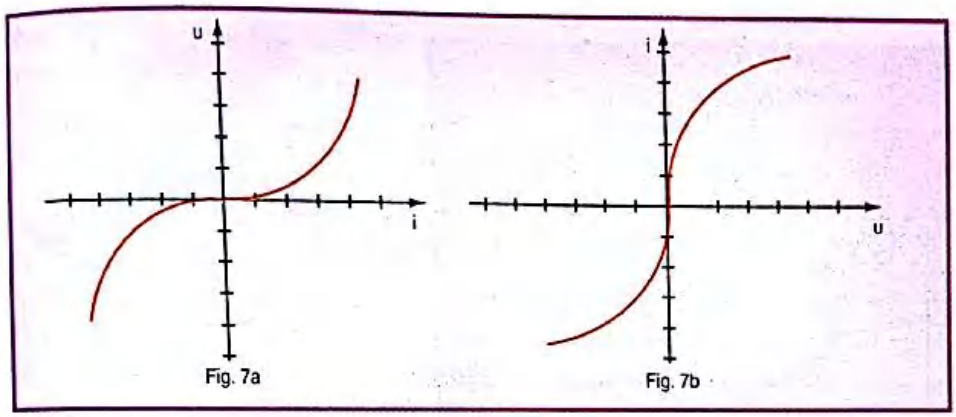


Fig. 7

La caractéristique d'un dipôle est la représentation graphique des états de fonctionnement (i, u) d'un dipôle.
Elle caractérise ce dipôle et permet de prévoir son fonctionnement.

1.5 CLASSIFICATION DES DIPÔLES PASSIFS

Les caractéristiques permettent une classification des dipôles.

• *Toutes les caractéristiques passent par l'origine* ; c'est une propriété des dipôles passifs. S'il n'y a pas de tension aux bornes, donc pas de courant, le point de coordonnées (u = 0, i = 0) est sur la caractéristique.

• • *Certaines courbes sont symétriques :* le dipôle a un comportement qui ne dépend pas du sens de branchement, **les deux bornes sont identiques**. C'est le cas de l'ampoule, la VDR, le conducteur ohmique. Ce sont des **dipôles symétriques non polarisés**. Leur fonctionnement est indépendant du sens du courant. Parmi les dipôles passifs symétriques, un seul possède une caractéristique entièrement **rectiligne** : c'est le **conducteur ohmique** encore appelé **résistance** ou **résistor.**



• • • *Certaines caractéristiques ne sont pas symétriques* ; pour ces dipôles le courant ne passe pas de la même manière dans un sens et dans l'autre : **les deux bornes ne sont pas identiques**. Ces dipôles sont **des dipôles passifs non symétriques**. Ce sont en général les **diodes** dont l'importance en électricité et en électronique n'est plus à démontrer.

Remarque
Pour tous les dipôles passifs, l'intensité qui traverse le dipôle et la tension à ses bornes sont toujours de même signe. La puissance

Scanned by CamScanner

électrique reçue par un dipôle passif p = u.i est toujours positive. Cela est caractéristique d'un dipôle passif ; on le qualifiera de **récepteur** car il reçoit une puissance électrique.
La connaissance de la caractéristique d'un dipôle permet de prévoir son état de fonctionnement : pour une intensité (ou une tension) donnée, une simple lecture sur le graphe permet de connaître la tension (ou l'intensité) correspondante.
On déduit de l'allure des caractéristiques obtenues, les propriétés essentielles pour chacun des dipôles ci-dessous.



CLASSIFICATION DES DIPÔLES			
N°	Dipôles symétriques	N°	Dipôles dissymétriques
1	Résistor	4	Pile
2	Varistance	5	Diode
3	Lampe à incandescence	6	Accumulateur
		7	Alimentation stabilisée

N.B. : Les dipôles 4; 6 et 7 ne sont pas passifs.



Ohm Georg Simon (1787 - 1854)
Physicien Allemand

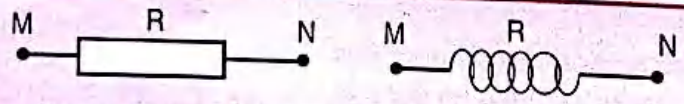
2. CONDUCTEUR OHMIQUE, RESISTANCE OU RESISTOR

2.1 CARACTÉRISTIQUE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE

a) Définition

Un conducteur ohmique est un dipôle passif symétrique dont la caractéristique est une droite passant par l'origine (Exercice 2 page 218). Un tel dipôle est encore appelé résistance ou résistor. On le représente communément par un rectangle.

b) Symboles (Fig.8)



Représentations symboliques d'un conducteur ohmique

Fig. 8

Exemples de conducteurs ohmiques : les fils métalliques (bobinés ou non), les lignes de transport de l'électricité, les résistances au carbone ou résistances radio.

Scanned by CamScanner

2.2 RÉSISTANCE ET CONDUCTANCE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE : LOI D'OHM

La tension aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse.

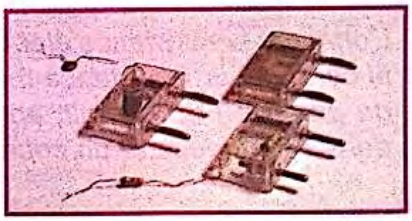


a) Résistance d'un conducteur ohmique

Considérons deux caractéristiques courant-tension.
L'équation de chacune des droites peut s'écrire : **u** = constante × i. La constante est le coefficient directeur de la droite ; elle est toujours positive et est notée R. On l'appelle la **résistance** du conducteur ohmique. Pour un conducteur ohmique donné, la résistance est une constante et est donnée par le constructeur.

b) Code des couleurs

Il est indispensable, lorsque l'on veut utiliser un composant électrique, d'avoir des informations sur les caractéristiques de l'appareil ; en l'occurrence la ou les tensions, intensités, puissances, etc. que l'appareil peut supporter sans se détériorer. Avec les énormes progrès de l'électronique, il est impossible d'inscrire des informations sur les composants électroniques à cause de leurs tailles de plus en plus miniaturisées. Ainsi on a recours dans le cas des conducteurs ohmiques à un code par couleurs. Des anneaux colorés (généralement placés aux extrémités du conducteur) permettent de déterminer la résistance du résistor. La lecture du code se fait de la série d'anneaux colorés les plus proches les uns des autres vers celui placé à l'autre extrémité du composant (Fig.9).



Résistances

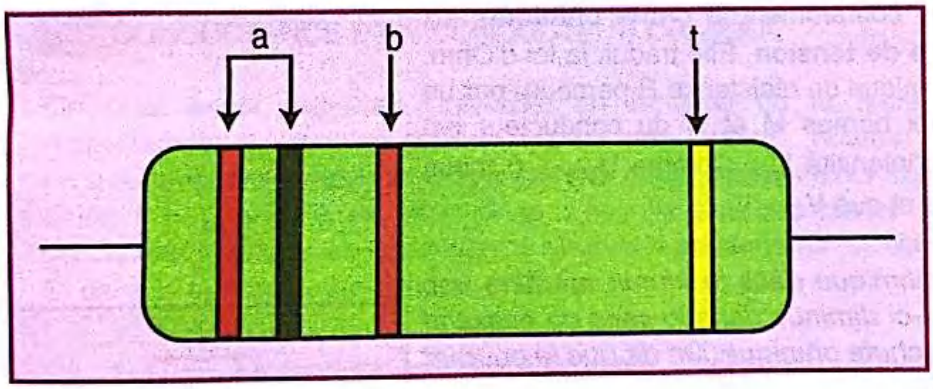


Fig. 9 Conducteur ohmique de résistance R

La résistance R du conducteur ohmique est donnée par la relation :

$R = a \times 10^{b}$ à t% près.

Pour a et b on a les conventions suivantes :

noir	marron	rouge	orangé	jaune	vert	bleu	violet	gris	Blanc
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Pour t :

marron	rouge	or	argent
1 %	2 %	5 %	10 %

Scanned by CamScanner

Pour le cas de la figure.9 on a pour **a** les couleurs rouge et noire, pour **b** le marron et l'or pour **t**. La résistance R du conducteur est $R = 20.10^{1} = 200\ \Omega$ à 5% près ou que $R = (200 \pm 10)\ \Omega$.

c) Loi d'Ohm



Soient U_R la tension aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R et I l'intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique, U_R étant une fonction linéaire de I on a $\mathbf{U_R = R \times I}$.
La tension aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. C'est la loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique : elle se traduit par la relation $\mathbf{U_R = R.I}$.

d) Unité de résistance

La tension étant exprimée en volts, l'intensité en ampères la résistance s'exprime en ohms (symbole : Ω) dans le système international. Ses multiples sont le kiloohm ($1K\Omega = 10^{3}\Omega$) et le mégaohm ($1\ M\Omega = 10^{6}\ \Omega$). Dans la loi d'Ohm relative à une résistance $U_R = R.I$, lorsqu'on pose $U_R = 1$ V et I = 1A, on a $R = 1\ \Omega$.

L'ohm est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur (résistance morte) lorsqu'une tension (ou différence de potentiel) de un volt, appliquée entre ces deux points produit dans ce conducteur un courant de un ampère.

La quantité $R \times I = U_R$ s'appelle couramment **la chute ohmique** aux bornes du conducteur ou **chute de tension**. Elle traduit la loi d'Ohm. Considérons un conducteur ohmique de résistance R parcouru par un courant I. La tension U_{MN} aux bornes M et N du conducteur est toujours du même signe que l'intensité I_{MN}. Comme $U_{MN} > 0$, nous avons donc $U_{MN} = V_M - V_N > 0$ et que $V_M > V_N$.

La présence du conducteur ohmique dans le circuit entraîne une diminution du potentiel : celui-ci diminue dans le sens de passage du courant : d'où l'expression chute ohmique. On dit que le courant descend les potentiels. (Fig.10)

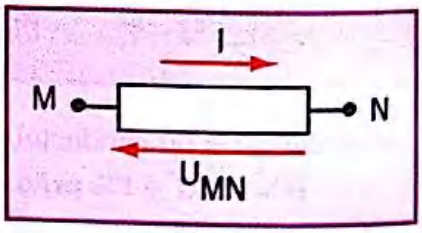


fig. 10

e) Application de la loi d'Ohm

On peut prévoir les états de fonctionnement d'un conducteur ohmique si on connaît sa résistance, sans avoir recours au tracé de la caractéristique. L'application de la loi d'Ohm permet de déterminer :
- l'intensité du courant connaissant la tension aux bornes du dipôle :

$$I = \frac{U_R}{R}.$$

- La tension aux bornes du dipôle connaissant l'intensité du courant qui le traverse : $U_R = RI$.

Scanned by CamScanner

Exemple : *Soit une résistance de 50 KΩ. Quelle est l'intensité du courant qui la traverse, lorsqu'on lui applique une tension de 15 V ; de 35 V ?*

D'après la loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique on a

$U_R = RI \Rightarrow I = \frac{U_R}{R}$.

Pour $U_R = U_{R_1} = 15$ V ; $R = 50.10^3$ Ω on a $I_1 = 3.10^{-4}$ A et pour $U_R = U_{R_2} = 35$ V on a $I_2 = 7.10^{-4}$ A.



Quelle tension faudrait-il appliquer aux bornes de ce conducteur pour obtenir un courant de 2 A ?

D'après la loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique on a $U_R = U_{R_3} = RI_3$ avec $I_3 = 2$ A

on trouve $U_{R_3} = 10^5$ V.

Quelle tension faudrait-il appliquer aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance 15 Ω pour obtenir le même courant de 2 A ?

La loi d'Ohm s'écrit $U_{R_4} = R' \times I_3 = 30$ V.

Une forte résistance « s'oppose » au passage du courant, alors qu'une faible résistance « facilite » le passage du courant.

2.3 CONDUCTANCE D'UN CONDUCTEUR OHMIQUE

On peut aussi exprimer l'intensité en fonction de la tension (caractéristique tension-courant) par une autre relation : i = u × constante. Cette constante étant le coefficient directeur de la droite i = g(u). Elle se note **G** et s'appelle la conductance du conducteur ohmique. La conductance s'exprime en **siemens** (symbole S) dans le système international. $i = G \times u$.

On a $G = \frac{1}{R}$. La conductance peut s'exprimer aussi en Ω^{-1}.



Conclusion

Un conducteur ohmique obéit à la loi d'Ohm si sa caractéristique est une droite passant par l'origine. La loi d'Ohm relative à un conducteur ohmique s'exprime sous deux formes équivalentes : u = Ri et i = Gu avec G = 1/R ; R s'exprime en ohms et G en Siemens.

Scanned by CamScanner

3. ASSOCIATION DE CONDUCTEURS OHMIQUES

3.1 ASSOCIATION DE DIPÔLES

Les associations de dipôles passifs, très pratiques, se rencontrent fréquemment dans tous les montages électriques. Les dipôles sont la plupart du temps, soit associés entre eux, soit à d'autres dipôles.

3.2 DIPÔLE ÉQUIVALENT D'UNE ASSOCIATION DE DIPÔLES (Fig.11)

Le dipôle équivalent à une association complexe de dipôles est le dipôle unique remplaçant tous les dipôles et assurant les mêmes conditions de fonctionnement.

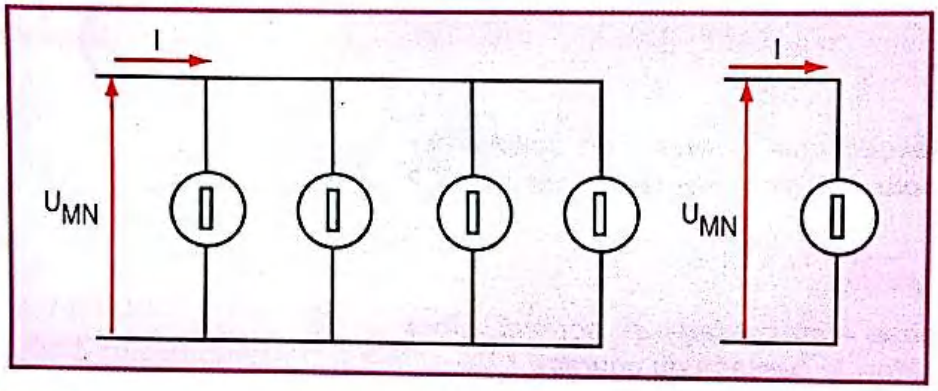


Fig. 11

3.3 CONDUCTEUR OHMIQUE ÉQUIVALENT D'UNE ASSOCIATION DE CONDUCTEURS OHMIQUES EN SÉRIE

Soient deux conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 disposés en série (fig.12).

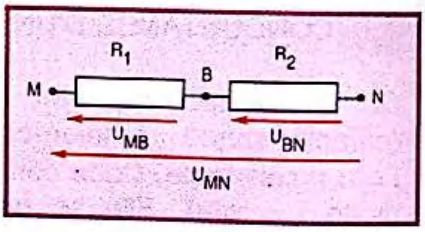


fig.12

a) Définition

Le dipôle équivalent à l'association de deux conducteurs ohmiques R_1 et R_2 en série, est le dipôle qui est parcouru par la même intensité I lorsqu'il est soumis à la tension U_{MN}. Remplacer l'ensemble (R_1 et R_2) par son dipôle équivalent ne change ni la tension, ni l'intensité.

b) Expression de la résistance R du conducteur ohmique équivalent de l'association de conducteurs ohmiques en série.

Soient des conducteurs ohmiques de résistances R_1 et R_2 en série (Fig.12). Les tensions aux bornes des résistances R_1 et R_2 sont respectivement $U_{MB} = u_1$, $U_{BN} = u_2$ et i l'intensité du courant qui traverse l'association.

La loi d'Ohm s'écrit pour chaque résistance : $u_1 = R_1.i$, $u_2 = R_2.i$

La loi d'additivité des tensions donne $u = u_1 + u_2 = (R_1 + R_2).i$

Scanned by CamScanner

Pour le conducteur ohmique de résistance R_e, équivalent à l'association ; la loi d'Ohm s'écrit u = R.i (2).
En posant $u = u_e$ il vient : $\mathbf{R_e = R_1 + R_2}$.

La résistance d'un conducteur ohmique équivalent à l'association de deux conducteurs ohmiques en série est égale à la somme des résistances de chacun des conducteurs de l'association.

Pour n conducteurs ohmiques en série

$$\mathbf{R_e = R_1 + R_2 + ... + R_n = \sum_{j=1}^{j=n} Rj.}$$

Remarque :
La résistance du conducteur ohmique équivalent, est supérieure à chacune des résistances des conducteurs ohmiques constituant l'association en série.
Dans le cas où $\mathbf{R_1 = R_2 = ...= R_n = R}$ on a $\mathbf{R_e = nR}$

3.4 CONDUCTEUR OHMIQUE ÉQUIVALENT D'UNE ASSOCIATION DE CONDUCTEURS OHMIQUES EN PARALLÈLE

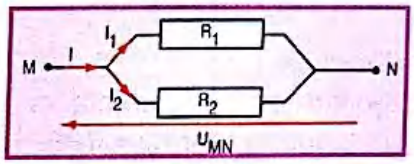


fig.13

Les deux conducteurs ohmiques de résistance R_1 et R_2 sont associés en parallèle (Fig.13).

a) Définition

Le dipôle équivalent à l'association de deux conducteurs ohmiques R_1 et R_2 associés en parallèle, est le dipôle qui est parcouru par l'intensité I du courant principal lorsqu'il est soumis à la tension U_{MN}.

Remplacer une association de conducteurs ohmiques en parallèle par son dipôle équivalent ne change ni la tension, ni l'intensité du courant dans le circuit principal.

La résistance du conducteur ohmique équivalent, est inférieure à l'une quelconque des résistances des conducteurs ohmiques montés en dérivation.



b) Expression de la résistance R du conducteur ohmique équivalent de l'association de conducteurs ohmiques en parallèle.

Les conducteurs ohmiques de conductances G_1 et G_2 sont disposés en parallèle (Fig.13). Les intensités aux bornes des conductances G_1 et G_2 sont I_1 et I_2 et la tension aux bornes de l'association (et de chaque conducteur) est $U = U_{MN}$.
La loi d'Ohm s'écrit pour chaque résistance : $I_1 = G_1.U$ et $I_2 = G_2.U$.
Le courant principal I est tel que $I = I_1 + I_2 = (G_1 + G_2).u$ (1).
Pour le conducteur ohmique de conductance G, équivalent à l'association, la loi d'Ohm s'écrit $I = G_eU$ (2).

En posant (1) = (2) il vient : $\mathbf{G_e = G_1 + G_2}$.

I et U sont proportionnels, le dipôle équivalent est un conducteur ohmique. Le conducteur ohmique équivalent à l'association de deux conducteurs ohmiques en parallèle est le conducteur ohmique dont la

Scanned by CamScanner

conductance est égale à la somme des conductances de chacun des conducteurs de l'association.

Sachant que $G = \frac{1}{R}$ on a aussi :

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots\ldots + \frac{1}{R_n} = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{1}{R_j}$$

Remarque :
La résistance du conducteur ohmique équivalent, est inférieure à l'une quelconque des résistances des conducteurs ohmiques montés en dérivation.

Dans le cas où $R_1 = R_2 = \ldots = R_n = R$ on a $R_e = \frac{R}{n}$.

Exemple :
Soient deux conducteurs ohmiques dont les résistances sont respectivement $R_1 = 1014\ \Omega$ et $R_2 = 2\ \Omega$. Calculer la résistance du dipôle équivalent à ces deux conducteurs ohmiques en série, puis en parallèle. Conclure.

R_1 et R_2 en série : $R_e = R_1 + R_2 = 1014 + 2 = 1016\ \Omega$.
R_1 et R_2 en dérivation :

$$G_e = G_1 + G_2 = \frac{1}{1014} + \frac{1}{2} = 5.10^{-1}\ S.\ R_e = \frac{1}{G_e} = 2\ \Omega = R_2.$$

En série le dipôle équivalent se confond pratiquement avec R_1 et en parallèle le dipôle se confond avec R_2.



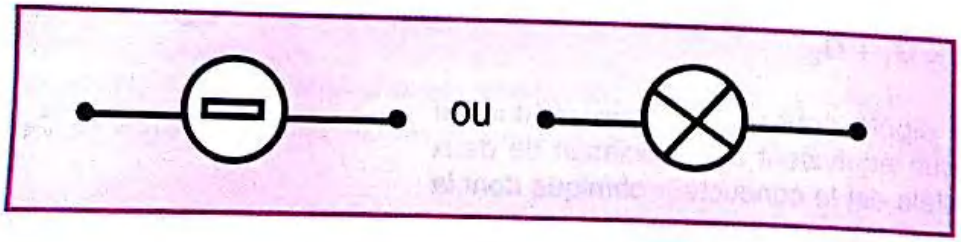
4. DIPÔLES PASSIFS NON LINÉAIRES

4.1 DIPÔLES PASSIFS À RÉSISTANCE VARIABLE

Certains dipôles, de par les composants utilisés sont destinés à fonctionner à température variable ; leur résistance varie d'une manière importante lorsque la température varie. Ils sont qualifiés de **dipôles passifs à résistance variable**, on dit aussi « **varistance** ». Leur caractéristique n'est pas linéaire mais elle est symétrique : les deux bornes du dipôle sont identiques et leur comportement est le même quel que soit le sens de passage du courant.

4.2 LAMPE À INCANDESCENCE

a) Symbôles (Fig.14)





Lampe à incandescence

Fig.14

Scanned by CamScanner

b) Caractéristique (Fig.15)

Lorsqu'une ampoule électrique est traversée par un courant d'intensité I, le filament de l'ampoule s'échauffe. La variation de température du filament va de la température ambiante à plus de 2000°C lorsque la lampe éclaire au maximum. Le tableau ci-dessous donne quelques résultats expérimentaux :

U (volts)	0,2	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,6	3,4	4
I(mA)	60	80	100	120	140	160	180	200	220
R (ohms)	3,3	5	8	10,8	12,1	13,1	14,4	16,5	18,2

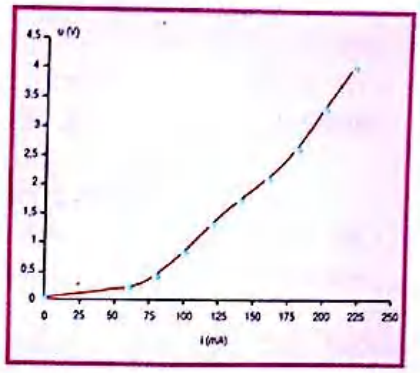


Fig.15 : représentation des données du tableau ci-dessus

Tous les points expérimentaux ne sont pas relevés à la même température ce qui explique la variation de la valeur de la résistance. On constate que la résistance augmente lorsque l'intensité du courant croit, ce qui correspond également à une élévation de la température du filament.

La résistance d'un conducteur métallique n'est constante que si la température reste constante.

Une lampe à incandescence n'est pas un dipôle linéaire, car sa résistance varie avec la température.

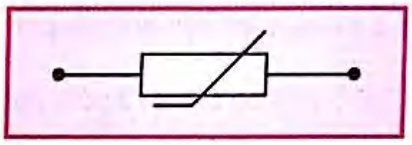
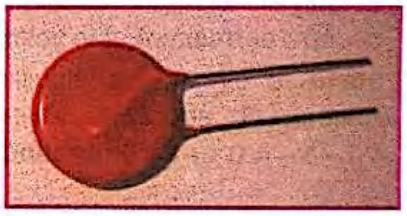


Fig.16

4.3 LA VDR OU VOLTAGE DÉPENDANT RÉSISTOR OU VARISTANCE

a) Description et symbole

La VDR est un dipôle passif, symétrique, non linéaire dont la résistance dépend de la tension qui lui est appliquée. Elle se présente généralement sous la forme de pastilles (disques plats) muni de deux parties de branchement. La VDR est constituée par un semi-conducteur, en général du carbure de silicium mélangé à un liant et porté à haute température ; les deux faces sont recouvertes d'un dépôt métallique qui assure le contact électrique. Les normes d'utilisation sont fixées par le constructeur et un code de couleurs permet de les reconnaître. La VDR est représentée symboliquement par le schéma de la figure 16.



Un VDR

b) Caractéristique de la VDR (Fig.17)

La VDR est un dipôle symétrique, la relation entre la tension U aux bornes de l'appareil et l'intensité I qui le traverse, n'est pas linéaire.
Les résultats expérimentaux montrent que le rapport U/I diminue lorsque U et I augmentent.

U (volts)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I(mA)	0	-	4	6	10	16	24	30	46	60	98
U/I	-	-	500	500	400	312	250	233	174	150	100

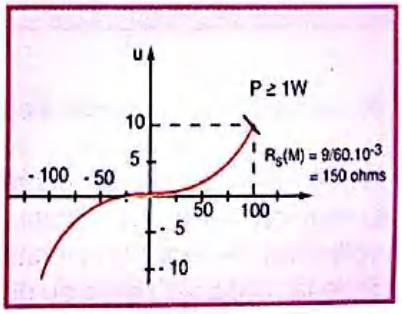


Fig. 17

Scanned by CamScanner

On définit en chaque point une résistance appelée **résistance statique** notée **Rs**, rapport entre les tension et intensité mesurées en ce point. La caractéristique de la VDR montre que la variation de tension est de moins en moins grande lorsque l'intensité augmente. Une augmentation d'intensité n'entraînera pratiquement pas de variation de tension si la VDR est utilisée dans la zone voulue.

. Autres dipôles à résistance variable

- les thermistances : la résistance dépend de la température
- les photorésistances dont la résistance dépend de l'éclairement.

5. LES DIODES

5.1 DESCRIPTION SOMMAIRE

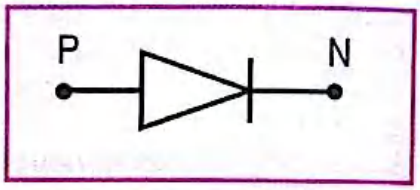


Fig 18 symbole d'une diode

Une diode se présente sous l'aspect d'un petit cylindre de quelques millimètres de diamètre, muni d'un anneau à une de ses extrémités, qui sert à différencier les deux bornes.
La diode est symbolisée par le schéma de la figure 18.



diode (D 8)

a) La diode est un dipôle passif.

Soit le circuit série de la fig.19a, constitué d'une pile, d'un résistor de protection, d'un interrupteur K et d'une diode PN. Un ampèremètre A et un voltmètre V permettent de mesurer l'intensité du courant dans le circuit et la ddp aux bornes de la diode.
La borne P de la diode est reliée à la borne (+) du générateur : Lorsqu'on ferme le circuit, l'ampèremètre indique le passage d'un courant permanent et le voltmètre une tension $V_P - V_N$ positive. Si l'on ouvre le circuit, les aiguilles de l'ampèremètre et du voltmètre reviennent au zéro. Aucun courant ne traverse la diode : $V_P - V_N = 0 \Leftrightarrow I = 0$: **la diode est un dipôle passif** (Fig.19a).

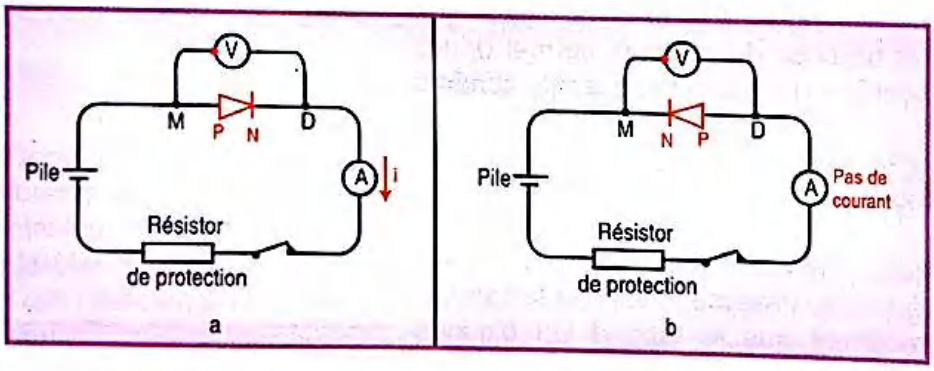


Fig. 19

b) La diode est un dipôle passif dissymétrique (Fig.19b)

La borne P de la diode est reliée au pôle positif de la pile :
Lorsqu'on ferme le circuit, les aiguilles de l'ampèremètre et du voltmètre dévient et reviennent rapidement au zéro. Lorsque la borne P de la diode est reliée au pôle positif du générateur, celle-ci n'est pas traversée par un courant permanent. $V_P - V_N < 0 \Leftrightarrow I = 0$. **La diode est un dipôle passif dissymétrique.**

Scanned by CamScanner

c) Polarisation directe, polarisation inverse

- Lorsqu'une diode est soumise à une tension U et qu'il y circule un courant permanent on dit que la diode est polarisée en direct. La tension $V_P - V_N$ aux bornes de la diode est positive : on note $U_{dir} = |V_P - V_N| = V_P - V_N$. L'état de fonctionnement de la diode (caractéristique) est noté (I, U_{dir}).

- Lorsque la diode est soumise à une tension U inverse, elle ne se laisse pas traverser par un courant permanent : on dit que la diode est polarisée en sens inverse ou que la diode est bloquée. La tension entre ses bornes est négative : $U_{inv} = |V_P - V_N| = V_N - V_P$. Son état de fonctionnement (caractéristique) est noté (I, U_{inv}).

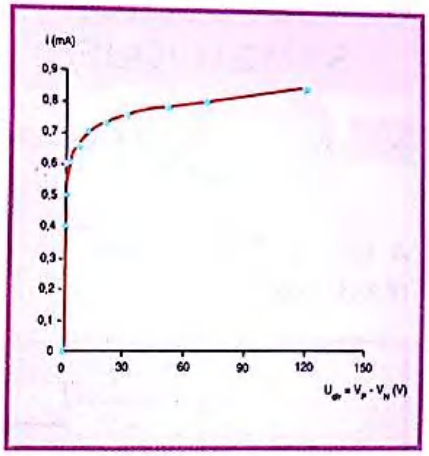


Fig 20

d) Caractéristique simplifiée d'une diode

Toutes les diodes au silicium ont le même type de caractéristique. La tension seuil est toujours voisine de 0,7 V.

- **Caractéristique directe** (Fig.20)
  Soit un système d'axes (intensité, tension) chaque point de fonctionnement de la diode polarisée en direct a pour coordonnées I et U_{dir}. L'ensemble de ces points détermine la caractéristique directe de la diode.

U (volts)	0	0	0,5	1,5	6	11	20	30	50	70	120
I(mA)	0	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,73	0,76	0,78	0,80	0,85

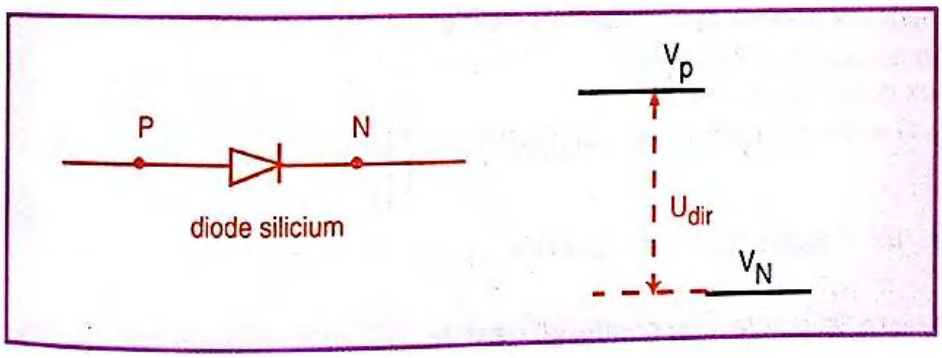


Fig. 21

Tant que la tension directe U_{dir} est inférieure à une certaine valeur U_s appelée tension seuil la diode n'est traversée par aucun courant. Pour la diode au silicium $U_s = 0,5$ V.

Remarque : la caractéristique passe par l'origine, ce qui est normal puisque la diode est un dipôle passif.

• **Caractéristique inverse** (Fig.21)
On peut négliger le très faible courant temporaire inverse qui traverse la diode de N vers P. Tous les points de fonctionnement ont pour

Scanned by CamScanner

coordonnées (I = 0, U_{inv}). Ils sont tous situés sur l'axe des tensions. La caractéristique inverse est un segment de droite confondu avec l'axe des tensions et passant par l'origine. La diode polarisée en inverse ne laisse pas passer le courant électrique qui la traverserait dans le sens de N vers P. Le sens NP est le sens non passant : la diode est bloquée.

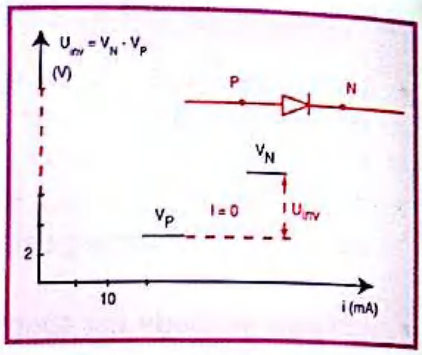


Fig. 22

Si $V_P - V_N < U_S$ alors I = 0 diode bloquée.

6. ASSOCIATION DE DIPÔLES PASSIFS SYMÉTRIQUES

6.1 ASSOCIATION EN PARALLÈLE D'UNE VDR ET D'UNE RÉSISTANCE

A une VDR, associons en dérivation un conducteur ohmique de résistance r.

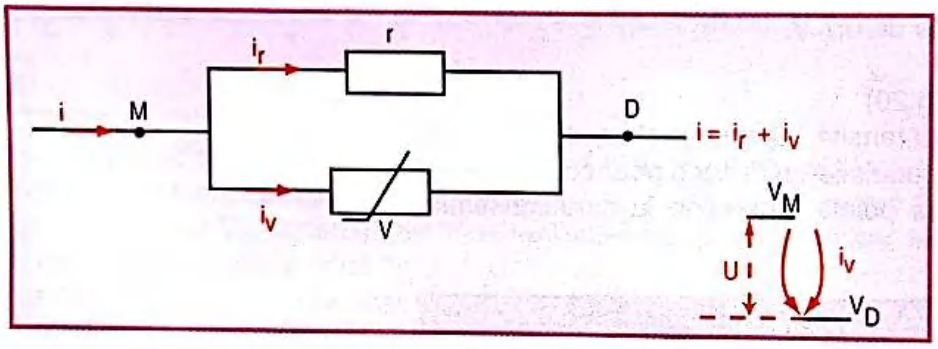


Fig. 23

- Le dipôle composite MD est formé de deux dipôles passifs symétriques placés en parallèle (par exemple résistor R et varistance v).
- Supposons que V_M soit supérieur à V_D (ou ce qui revient au même) que les courants aient le sens des flèches rouges. La tension $U = V_M - V_D$ est commune aux deux dipôles.
- Supposons par exemple que U = 5V (ordonnée du point K sur le graphique fig. 24).

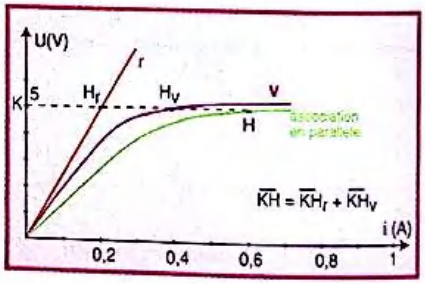


Fig. 24

- l'intensité i_v qui traverse la varistance est donnée par $\overline{KH_v}$ ($\overline{KH_v} = i_v = 0,4$ A)
- l'intensité i du courant qui traverse le dipôle composite MD est la somme de i_r et i_v

$i = i_r + i_v$
U est le même

i = 0,2 + 0,4 = 0,6 A. L'état de fonctionnement du dipôle composite MD est déterminé par le couple (0,6A ; 5V) ; ce point H a donc pour abscisse 0,6A et pour ordonnée 5V. On constate que ce point H est tel que : $\overline{KH} = \overline{KH_r} + \overline{KH_v}$ égalité qui traduit que pour la même tension les intensités s'ajoutent.

Scanned by CamScanner

- On peut construire point par point la caractéristique du dipôle MD. Elle passe par O, MD est donc un dipôle passif.

6.2 ASSOCIATION EN SÉRIE D'UNE VDR ET D'UNE RÉSISTANCE



- Le dipôle MD est formé de deux dipôles passifs symétriques placés en série : un résistor r et une varistance v.
- Les deux dipôles sont traversés par un courant de même sens et de même intensité i. Supposons que le courant descend les potentiels V_M vers V_D, avec $V_M > V_B > V_D$.
- Aux bornes du résistor, il apparaît la tension, U_r égale à la chute de potentiel $V_M - V_B$; $U_r = V_M - V_B$; de même aux bornes de la varistance $U_v = V_B - V_D$; aux bornes du dipôle composite MD on a : $U = V_M - V_D = (V_M - V_B) + (V_B - V_D) = U_r + U_v$.

$$U = U_r + U_v$$
i est le même

- La caractéristique (r) représente les variations de Ur en fonction de i, la caractéristique (v) les variations de Uv en fonction de i.
- Supposons que l'intensité du courant soit i = 0,2A.
  Sur le graphique $\overline{OQ} = 0,2$ A
  - la tension U_r est donnée par $\overline{QH_r} = 1$V
  - la tension U_v est donnée par $\overline{QH_v} = 2,5$V
  $U = U_r + U_v = 3,5$V. Le dipôle composite MD prend un état de fonctionnement caractérisé par le couple (i = 0,2 A ; U = 3,5 V). (fig. 25)

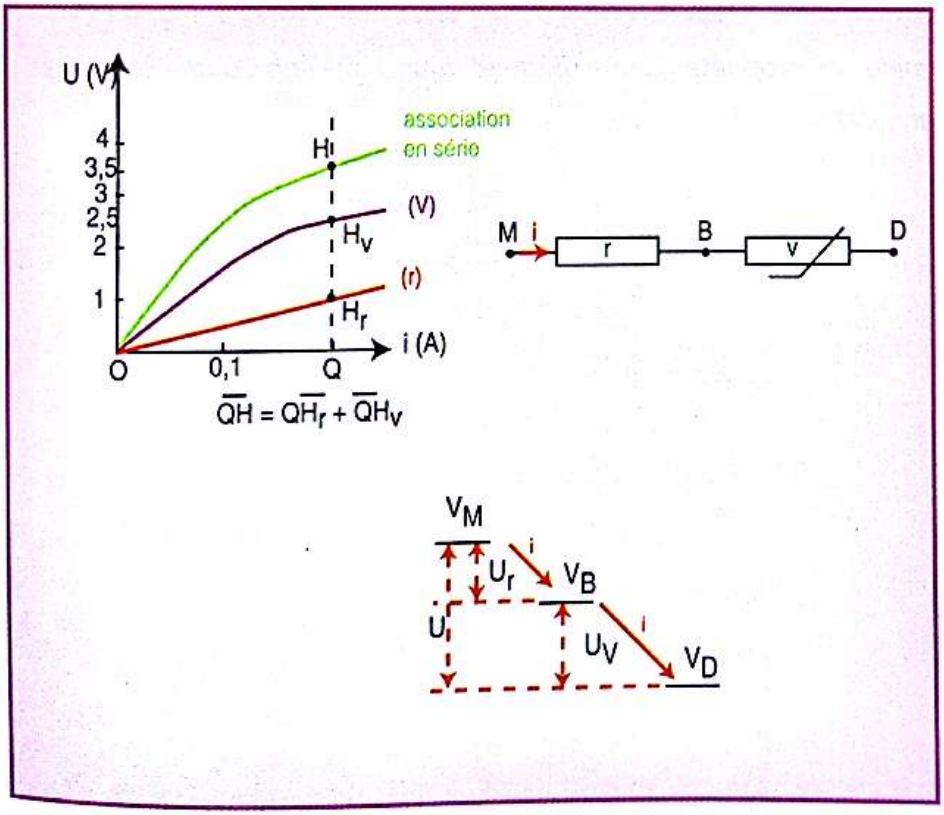


Fig. 25

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Dipôle, dipôle passif, diode, dipôle passif dissymétrique, dipôle passif symétrique, VDR (Voltage Dépendant Résistor), varistance, résistor, conductance, tension seuil.

EVALUATION

1°) Qu'est-ce un dipôle ? Quand dit-on qu'il est passif ?

2°) Un conducteur ohmique ne délivre aucune .....quand aucun courant ne le traverse : le conducteur ohmique est un dipôle .....
Quand on retourne un conducteur ohmique, le ..... et l'.....du courant restent inchangés : le conducteur ohmique est un dipôle.....

3°) U = RI est la .....relative à un .....ohmique. R s'exprime en .....(.....), U en .....(.....) et I en .....(A) dans le système international. Le conducteur ohmique est un dipôle I.....

4°) Dans quelles conditions une diode est-elle conductrice, non conductrice ?

5°) Comment fait-on pour déterminer les propriétés d'une diode et quand dit-t-on qu'une diode est polarisée dans le sens passant, dans le sens inverse.

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

① *Un conducteur ohmique possède une résistance R.*
1°) On applique à ses bornes une tension constante U_0 = 10 V. Exprimer l'intensité du courant qui le traverse. Comment varie cette intensité si R varie ? Calculer l'intensité pour R = 10 Ω, 100 Ω, 1000 Ω. Conclusion.
2°) Ce même dipôle est maintenu traversé par un courant d'intensité constante I_0 = 100 mA. Exprimer la tension U à ses bornes. Comment varie-t-elle si R varie ? Calculer cette tension pour R = 10 Ω, 100 Ω, 1000 Ω. Conclusion.

Solution

1°) Comment varie l'intensité I si R varie ?

De la loi d'Ohm sous sa forme U = RI, on déduit $I = \frac{U}{R}$ avec U = Constante = U_0 = 10 V

et R ∈]0, + ∞[. On a donc $I = \frac{U_0}{R}$. Si R augmente, l'intensité I diminue et inversement.

Les grandeurs I et R sont inversement proportionnelles. (On peut aussi tracer la courbe I = f(R))
Calculer I pour R = 10, 100, 1000 Ω

R = 10 Ω ⇒ $I = \frac{10}{10}$ ⇒ **I = 1 A** ; R = 100 Ω ⇒ **I = 0,1 A** et R = 1000 Ω ⇒ **$I = 10^{-2}$ A**

Pour une tension constante, pour diminuer l'intensité du courant dans un conducteur ohmique il faut augmenter sa résistance.

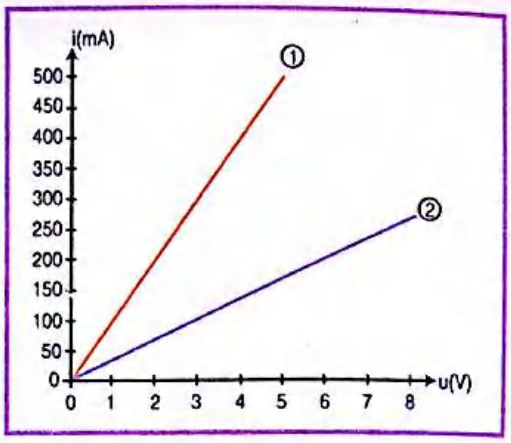
2°) La tension U aux bornes de R ?
L'intensité I du courant est constante : I = I_0 = 100 mA. On a **$U = RI_0$** .
Comment varie U si R varie ?
U et R sont des grandeurs proportionnelles, par conséquent si R↑, u↑ et inversement.
Valeurs de U ?
I_0 = 0,1 A : R = 10 Ω ⇒ **U = 1 A** ; R = 100 Ω ⇒ **U = 10 V** et R = 1000 Ω ⇒ **U = 100 V**.
Pour une intensité constante, pour augmenter la tension aux bornes d'un conducteur ohmique il faut augmenter sa résistance.

Scanned by CamScanner

(2) ***1°) La figure ci-contre représente les caractéristiques de dipôles.***

a) De quels dipôles s'agit-il ?
b) Calculer la conductance et la résistance de chacun d'eux.

2°) On dispose d'un conducteur ohmique ayant une résistance de 200 Ω.
Construire sa caractéristique.



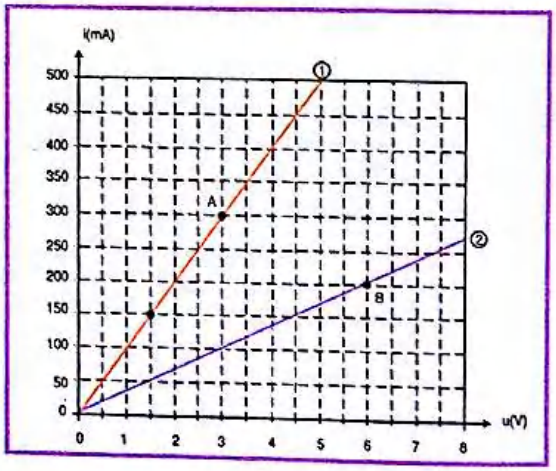
Solution

1°) a) Nature des dipôles

Les deux caractéristiques sont des portions de droite passant par l'origine, par conséquent **les deux dipôles sont des conducteurs ohmiques.**

b) Calcul des conductances G_1, G_2 et des résistances R_1, R_2.

Pour connaître la conductance des conducteurs ohmiques, il suffit de relever les coordonnées d'un point pris sur la droite et de calculer la valeur de la pente de la droite. Pour le dipôle (1) les coordonnées du point A sont $i_A = 300$ mA et $U_A = 3$ V.



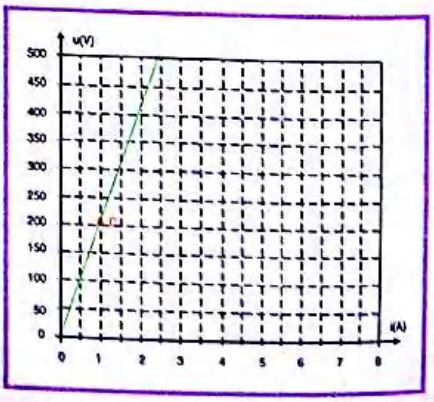
On en déduit que $G_1 = \frac{i_A}{U_A} = \frac{0,3}{3}$ et $\mathbf{G_1 = 0,1\ S.}$

De même pour le point B (200 ; 6).

On a $G_2 = \frac{0,2}{6}$ et $\mathbf{G_2 = 3,33.10^{-2}\ S.}$

Les résistances sont $R_1 = \frac{1}{G_1} = 10\ \Omega$ et $R_2 = 30\ \Omega$.

2°) Construction de la caractéristique pour R = 200 Ω la relation U = Ri s'écrit alors U = 200 × i. Pour tracer la caractéristique de ce conducteur ohmique, il suffit de donner à i une valeur i_3 ; de calculer la valeur correspondante U_3 de U ; de placer le point C de coordonnées (U_3, i_3) dans un repère d'axes (u, i) et de tracer la droite qui passe par l'origine O (0, 0) et le point C.
Posons $i_3 = 1$A on a $U_3 = 200$ V et C (200, 1).
Il faudrait veiller à limiter la caractéristique aux valeurs autorisées si elles sont connues.



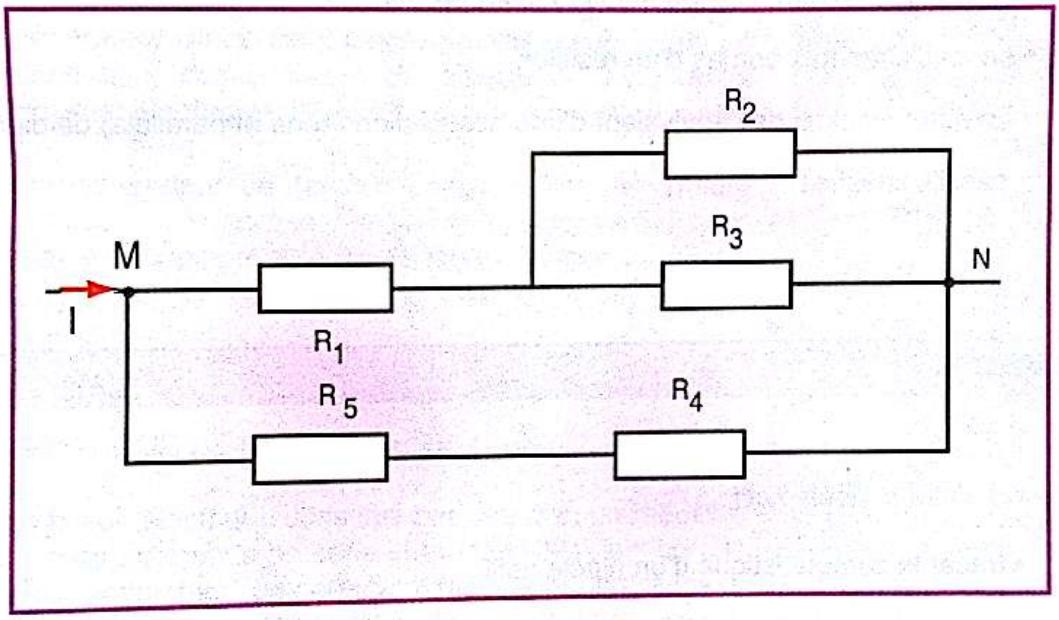
Scanned by CamScanner

EXERCICES

① *Soient trois conducteurs ohmiques de résistances respectives $R_1 = 10\ \Omega$; $R_2 = 20\ \Omega$ et $R_3 = 25\ \Omega$ branchés en série et parcourus par un courant d'intensité $I = 2$ A. Par quel dipôle unique peuvent-ils être remplacés ? Quelle est la tension aux bornes du dipôle équivalent ? Quelle était la tension aux bornes de chacun des trois conducteurs ohmiques ?*

② *1°) Un conducteur ohmique de résistance $R = 210\ \Omega$ est soumis à une tension de 35 V. Quelle est l'intensité du courant qui le traverse ?*
2°) On veut abaisser ce courant jusqu'à obtenir une intensité de 150 mA. Quelle résistance doit posséder le conducteur ohmique placé en série avec R, l'ensemble restant soumis à la tension de 35 V ?

③ *Entre deux points M et N d'un circuit sont placés différents conducteurs ohmiques comme indiqué sur le schéma ci-dessous :*



Calculer :

1°) La résistance du dipôle équivalent au montage entre M et N.
2°) L'intensité du courant dans chaque branche si la tension appliquée entre M et N est $U = 30$ V. On donne : $R_1 = 3\ \Omega$; $R_2 = 4\ \Omega$; $R_3 = 12\ \Omega$; $R_4 = 2\ \Omega$; $R_5 = 4\ \Omega$.

Scanned by CamScanner

4 ÉTUDE DE DIPÔLES ACTIFS

PRÉALABLES

- La définition d'un dipôle, d'un dipôle passif
- Identification des différents types de dipôles.
- La définition de la caractéristique d'un dipôle.
- Des exemples de dipôles passifs.
- Le tracé de la caractéristique d'un dipôle passif.
- La loi d'Ohm aux bornes d'un résistor.
- La détermination de l'équivalent d'une association (série et parallèle) de dipôles passifs linéaires.

OBJECTIFS

- définir un dipôle actif
- tracer la caractéristique d'un dipôle actif
- énoncer la loi d'Ohm aux bornes d'un générateur
- appliquer la loi d'Ohm à un générateur
- définir la force électromotrice
- énoncer la loi d'Ohm aux bornes d'un récepteur
- appliquer la loi d'Ohm à un récepteur
- définir la force contre électromotrice
- déterminer l'équivalent d'une association (série et parallèle) de générateurs.

Scanned by CamScanner

1. DÉFINITIONS

Un dipôle du type générateur (pile, accumulateur) possède une tension entre ses bornes en circuit ouvert : la tension à ses bornes a une valeur différente de zéro alors qu'aucun courant ne circule dans le dipôle. De tels dipôles sont des **dipôles actifs** ($U \neq 0$ et $i = 0$). Il fournit de **l'énergie électrique** au circuit. Un circuit comporte nécessairement au moins un dipôle actif et un dipôle passif (Fig.1).

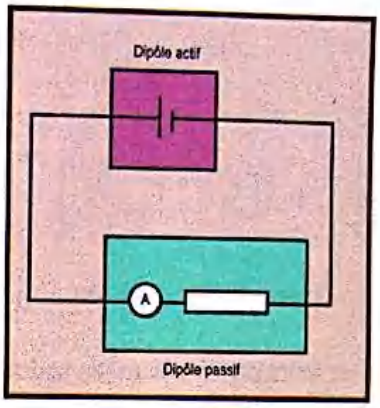


Fig. 1

2. PILE EN CIRCUIT FERME

Soit le circuit série, composé d'un conducteur ohmique, d'un ampèremètre et d'un interrupteur. Lorsqu'on ferme le circuit par l'intermédiaire de l'interrupteur, l'ampèremètre n'indique aucun courant dans ce circuit.

On insère dans ce circuit une pile, l'ampèremètre indique le passage d'un courant lorsqu'on ferme le circuit. On dit que la pile est un générateur de courant électrique ou tout simplement un *générateur.*

La pile ou un générateur de courant électrique est responsable de la mise en mouvement des porteurs de charge et donc de la circulation du courant électrique. Il fournit de l'énergie électrique au circuit.



piles plate et ronde

Une pile est un générateur de tension continue (ou de courant continu). Elle possède deux bornes : la borne P marquée (+) a un potentiel V_P supérieur au potentiel V_N de la borne N marquée (-). La tension $U_{PN} = V_P - V_N$ est positive. Si la pile débite un courant électrique, ce dernier sort par la borne P de la pile, le courant traverse donc la pile de N vers P.

2.1 CARACTÉRISTIQUE DE LA PILE (Fig.2)

On dispose d'un circuit électrique constitué par une pile, un rhéostat, un interrupteur, un ampèremètre en série et en dérivation aux bornes P et N de la pile, un voltmètre. L'ampèremètre mesure les intensités et le voltmètre les tensions correspondantes aux bornes de la pile. Lorsqu'on porte sur un système d'axes tension-courant on obtient aux incertitudes expérimentales près que la courbe obtenue est une droite ne passant pas par l'origine. Une pile est un dipôle actif linéaire.

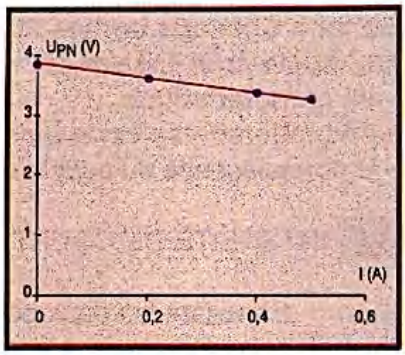
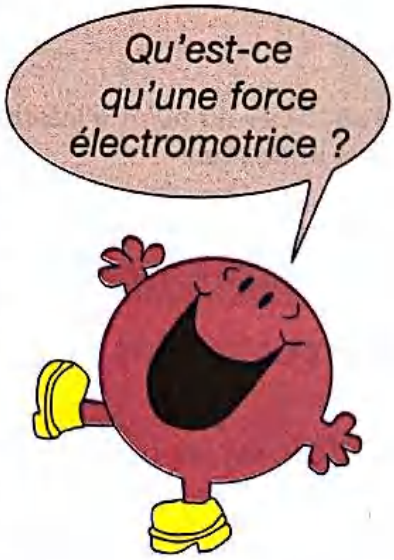


Fig. 2



2.2 FORCE ÉLECTROMOTRICE D'UNE PILE

Lorsque l'intensité I du courant, est nulle (circuit ouvert), le voltmètre indique une tension $V_P - V_N$ = constante, différente de zéro. Cette valeur particulière de la tension est un des paramètres de la pile ; c'est **la force électromotrice (en abrégé f.e.m.)** de la pile. Elle s'exprime en volt et est notée **E**. Lorsque une pile ne débite pas, la tension à ses bornes est égale à la force électromotrice de la pile.

2.3 ÉQUATION DE LA CARACTÉRISTIQUE

La caractéristique de la pile est un segment de droite ne passant pas par l'origine. Son équation est donc de la forme $U_{PN} = aI + b$ où a et b

Scanned by CamScanner

sont des constantes à déterminer. Pour I = 0 on a $U_{PN} = E = b$ donc b est une tension : c'est la fem E de la pile. L'équation de la caractéristique devient $U_{PN} = aI + E$. La constante a est le coefficient directeur de la droite ou encore le taux d'accroissement de la fonction $U_{PN} = aI + E$. Pour $I = I_1$ on a $U_{PN} = U_1$ et $U_1 = aI_1 + E$ (i).
Pour $I = I_2$ on a $U_{PN} = U_2$ et $U_2 = aI_2 + E$ (ii).

En faisant (ii) – (i) on trouve $U_2 - U_1 = a(I_2 - I_1)$ et $a = \frac{U_2-U_1}{I_2-I_1}$.

Par comparaison avec la loi d'Ohm u = Ri on constate que a est une résistance, donc s'exprime en ohm.
D'autre part on remarque que si $I_2 > I_1$ alors $U_2 < U_1$, par conséquent que le coefficient a est négatif. On pose a = - r, r étant positif. r est appelé la résistance interne de la pile. Elle est également un paramètre de la pile.
L'équation de la caractéristique de la pile est U = E – rI.
Elle exprime la loi d'Ohm aux bornes de la pile.



2.4 GÉNÉRALISATION

Un dipôle actif linéaire a une caractéristique linéaire dont l'équation est de la forme U = E - rI : E est la force électromotrice du générateur et r sa résistance interne.
La loi d'Ohm aux bornes du générateur s'écrit U = E – rI.
Un dipôle actif linéaire est caractérisé par :
- sa caractéristique
- l'équation de sa caractéristique
- la connaissance du couple de paramètres (E, r) écrit dans cet ordre.

2.5 INTENSITÉ DE COURT-CIRCUIT

En reliant les deux pôles d'une pile par un fil de connexion on la met en court-circuit. L'intensité du courant qui parcourt alors le circuit est l'intensité de court-circuit de la pile et est notée i_{cc}. La tension U_{PN}, aux bornes du générateur est alors nulle.

$U_{PN} = E - ri_{cc} = 0 \Leftrightarrow i_{cc} = \frac{E}{r}$. Le courant de court-circuit i_{cc} **est l'abscisse du point d'intersection de la caractéristique avec l'axe des intensités.**



3. LA PILE DANIEL (Fig.3)

3.1 DESCRIPTION

Dans un récipient (cuve) contenant du sulfate de zinc ($ZnSO_4$), est immergée une lame de zinc. Un autre récipient poreux (on peut utiliser un récipient en polystyrène : emballage de protection des appareils ménagers et électroniques lors de leur transport) plus petit, contient une solution de sulfate de cuivre ($CuSO_4$) dans laquelle

Scanned by CamScanner

plonge une lame de cuivre. Ce récipient est placé dans le premier. Lorsqu'on relie les deux lames aux bornes d'un voltmètre par l'intermédiaire de fils de jonction, ce dernier indique une tension. Cette tension est la force électromotrice de la pile. Sa valeur est environ 1,08 V. Un ampèremètre par le sens de la déviation de son aiguille indique le passage d'un courant qui va de la lame de cuivre vers la lame de zinc à l'extérieur de la pile. **La lame de cuivre est le pôle (+) de la pile, la lame de zinc son pôle (-).**

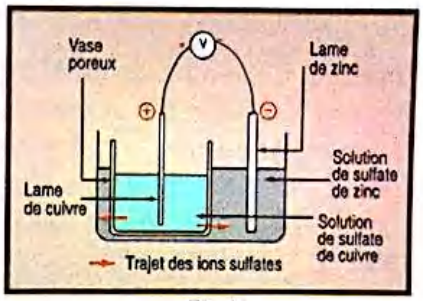


Fig. 3

3.2 INTERPRÉTATION

Dans une solution les porteurs de charges sont des ions. Le récipient poreux permet la circulation des ions entre les deux solutions. Les réactions chimiques qui ont lieu dans la pile sont :

Au pôle négatif le métal zinc perd des électrons : $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$.
Au pôle positif les ions cuivre reçoivent ces électrons du courant extérieur et se transforment en cuivre métal : $Cu^{+2} + 2e^- \rightarrow Cu$.
L'équation bilan de la réaction revient à :

$$Zn + Cu^{+2} \rightarrow Zn^{2+} + Cu.$$

Il y a consommation de zinc, dépôt de cuivre ; la concentration en ions zinc augmente et celle en ions cuivre diminue. Des ions traversent la paroi poreuse pour assurer la neutralité électrique des solutions. La pile est usée lorsque l'ensemble des réactions ne peut plus se réaliser.

3.3 CARACTÉRISTIQUE DE LA PILE DANIEL (Fig.4)

La caractéristique de la pile Daniel est une droite ne passant pas par l'origine. Elle est nettement plus inclinée que celle d'une pile ordinaire, ce qui montre que sa résistance interne est plus importante que celle de la pile ordinaire.

U (volts)	0,15	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9
I(mA)	62	55	45	39	30	25	20	14	10

On lit pour I = 0, $U_0 = E = 1{,}08$ V. Pour U = 0, $I = I_{cc} = 71$ mA donc $r = E/I_{cc} = 15{,}2\ \Omega$.

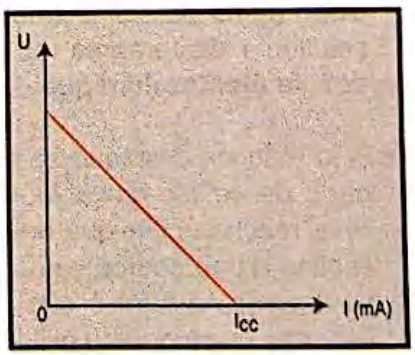


Fig. 4

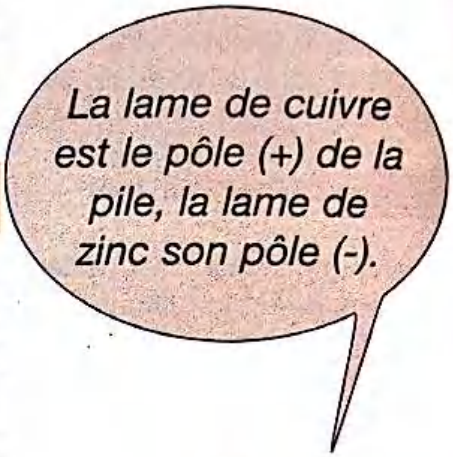
4. GENERATEUR PARFAIT ET GENERATEUR REEL

La loi d'Ohm aux bornes d'un générateur est U = E – rI. Si r = 0 on a U = E = constante : le générateur conserve tout le temps la même tension : **le générateur est dit parfait**. Seulement le générateur est lui-même constitué d'éléments qui sont des conducteurs ohmiques dont la résistance équivalente constitue la résistance interne r du générateur. L'expression rI de la loi d'Ohm représente la chute ohmique due au générateur. Le générateur de par sa résistance interne consomme lui-même de l'énergie électrique qu'il fournit. Par conséquent la tension aux bornes du générateur diminue au fur et à

Scanned by CamScanner

mesure du temps jusqu'à s'annuler. On dit que le générateur est épuisé. **Le générateur est un générateur réel.**

Remarque : Dans certains cas on peut restituer au générateur une partie de son énergie. L'opération constitue en la **charge** du générateur : c'est le cas des piles rechargeables, des accumulateurs, etc.



5. ÉLECTROLYSE

Toutes les réactions spontanées donnent lieu à une émission d'énergie. L'énergie se manifeste sous forme de chaleur, de lumière ou d'électricité. S'il n'y a pas libération d'énergie, la réaction ne se produit pas d'elle-même. Il est cependant possible de réaliser une réaction non spontanée en fournissant l'énergie nécessaire. L'électrolyse, procédé utilisé à cette fin, consiste à produire des changements chimiques en faisant passer un courant électrique à travers un électrolyte dissous ou fondu.



Soit la réaction :

$$n_2OX_1 + n_1réd_2 \rightleftharpoons n_2réd_1 + n_1OX_2$$

Elle se décompose en une étape de réduction avec gain d'électrons :

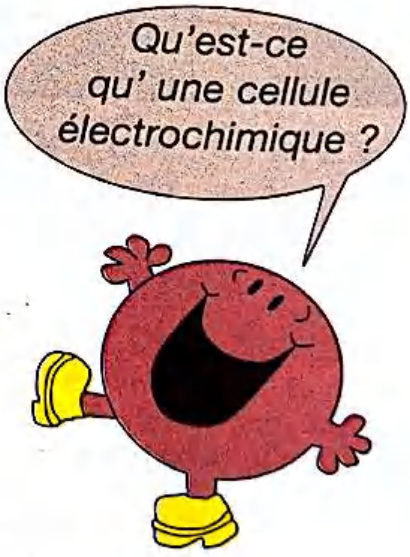
$$n_2OX_1 + n_1n_2e^- \rightleftharpoons n_2réd_1$$

et une étape d'oxydation avec perte d'électrons :

$$n_1réd_2 \rightleftharpoons n_1n_2e^- + n_1OX_2$$

- La première façon de réaliser la réaction en solution est de mettre en contact Ox_1 et $réd_2$. Nous aurons dans le milieu réactionnel un déplacement aléatoire d'électrons jusqu'à obtention d'un état d'équilibre entre les différentes espèces.

- La réaction peut se réaliser aussi en plaçant deux électrodes de platine, l'une dans la solution contenant OX_1 et l'autre dans celle contenant $réd_2$. Les deux solutions étant séparées par un diaphragme poreux permettant le passage des ions. L'ensemble : solution + diaphragme (ou pont salin) + électrodes **constitue une cellule électrochimique.**



- Si la réaction chimique se produit spontanément dans le sens 1, on parle de cellule galvanique ou voltaïque ou plus simplement pile. Si la réaction chimique ne se produit pas dans le sens 1 que sous l'action d'une source externe de courant appliquée aux électrodes, nous avons à faire à une cellule d'électrolyse. Une pile fournit de l'énergie électrique au milieu extérieur grâce à une réaction chimique spontanée qui se produit lorsque l'on réunit les deux électrodes.

- Par apport d'énergie électrique dans une cellule d'électrolyse on provoque une réaction chimique qui cesse dès que le courant cesse dans le milieu extérieur.

Scanned by CamScanner

	Anode	Cathode
Processus	Oxydation	Réduction
Pile	Pôle ⊖	Pôle ⊕
Cellule d'électrolyse	Pôle ⊕	Pôle ⊖



6. ASSOCIATION DE GENERATEURS

6.1 ASSOCIATION EN SÉRIE

On associe plusieurs piles dans le même sens, en série pour obtenir des tensions plus importantes. Soit un circuit formé par deux générateurs, de fem E_1 et E_2, de résistances internes respectives r_1 et r_2, montés en série : la borne positive d'un générateur est reliée à la borne négative de l'autre. La loi d'Ohm s'écrit :
$U_1 = E_1 - r_1 I$ et $U_2 = E_2 - r_2 I$. La tension U aux bornes de l'association est $U = U_1 + U_2 = (E_1 + E_2) - (r_1 + r_2)I$. Le générateur de force électromotrice E et de résistance r telles que $\mathbf{E = E_1 + E_2}$ et $\mathbf{r = r_1 + r_2}$ est le générateur équivalent aux deux générateurs.

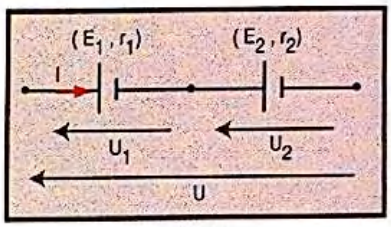


Fig. 5

Le générateur équivalent à un ensemble de générateurs en série est tel que sa fem est égale à la somme des f.e.m. des générateurs en série et sa résistance interne la somme des résistances internes des générateurs en série.

$$E = E_1+E_2+.....+E_n = \sum_{j=1}^{j=n} E_j \text{ et } r = r_1+r_2+.....+r_n = \sum_{j=1}^{j=n} r_j .$$

Dans le cas de générateurs identiques de force électromotrice E_1 et de résistance interne r_1, communes on a $\mathbf{E = nE_1}$ et $\mathbf{r = nr_1}$.

6.2 ASSOCIATION DE GÉNÉRATEURS IDENTIQUES EN PARALLÈLE OU EN DÉRIVATION

Les deux générateurs sont soumis à la même ddp et le courant dans chaque branche est $I_1 = I/2$. La loi d'Ohm pour chaque générateur de force s'écrit : $U = E - rI_1 = E - r\frac{I}{2}$.

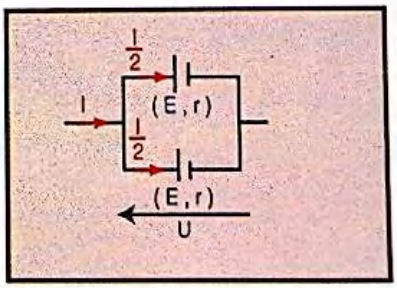


Fig. 6

Le générateur équivalent a même fem que les générateurs en parallèle et sa résistance interne est divisée par le nombre de générateurs identiques en parallèle.

$$E_e = E \text{ et } r_e = \frac{r}{n}$$

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Dipôle actif ; Générateur ; Pile ; Pile Daniel ; Force électromotrice ; Force contre électromotrice ; Électrolyseur.

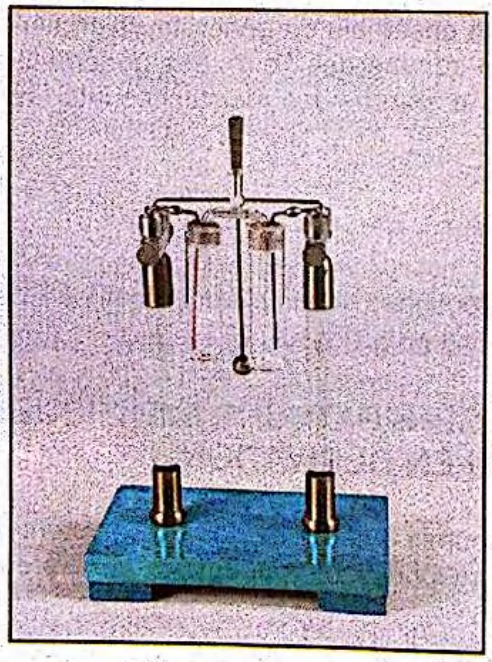
EVALUATION

1°) Qu'est-ce qu'un dipôle actif ? Citer des exemples.

2°) Quelles sont les grandeurs qui caractérisent un dipôle actif ?

3°) Comment mesure-t-on la f.e.m. d'une pile. Justifier la méthode.

4°) Qu'appelle-t-on courant de court circuit d'une pile ? Comment mesure t-on sa valeur ?

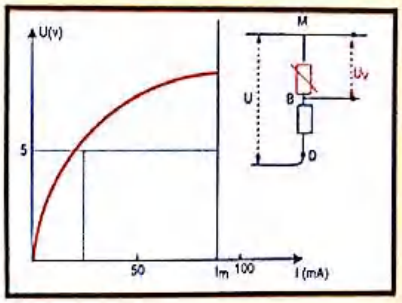


Pile de Daniel

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

(1) *On associe en série la varistance MB dont la caractéristique est ci-contre avec un résistor BD de résistance R = 60 Ω. On supposera $V_M - V_D > 0$ c'est-à-dire $U_{MD} > 0$.*

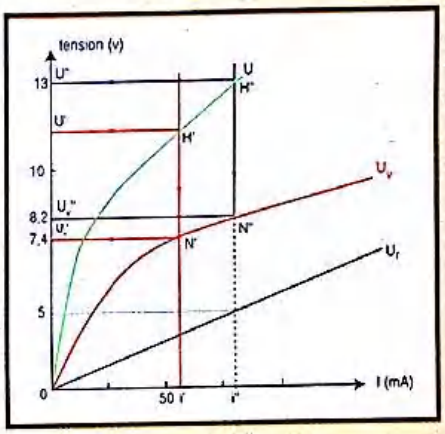


1°) Sur un papier millimétré, relever la caractéristique de MB (graduer l'axe des tensions de 0 à 15 V, l'axe des intensités de 0 à 100 mA, échelle 1 cm pour 1V, 1 cm pour 10 mA). Tracer ensuite la caractéristique du résistor BD (on supposera que le résistor peut être traversé par des courants d'intensité inférieure ou égale à 90 mA). En déduire la caractéristique du dipôle MD.

2°) La tension U_{MD} passe de la valeur U' = 11V à la valeur U" = 13V (c'est-à-dire que U_{AC} varie de 2V autour de la valeur moyenne 12V). Entre quelles valeurs U'_v et U''_v varie la tension U_{MB} ? Quelle application de la varistance peut-on en déduire ?

Solution

1°)



- On relève la caractéristique de MB à partir de la figure de l'énoncé. On pose : $V_M - V_B = U_v$ tension aux bornes de la varistance.
- La caractéristique du résistor BD étant rectiligne et passant par O, la détermination d'un point autre que O permet de tracer la courbe.

  Exemple : pour i = 50 mA et $U_r = V_D - V_B = Ri = 60 \times 5.10^{-3} =$ 3V.
- Les dipôles MB et BD étant en série sont traversés par la même intensité I. A l'état de fonctionnement de MB défini par (I, U_v) correspond l'état de fonctionnement de BD (I, U_r) et l'état de fonctionnement de MD $(I, U_v + U_r = U)$
- On construit la caractéristique de MD en remarquant que pour I donné $U = U_v + U_r$

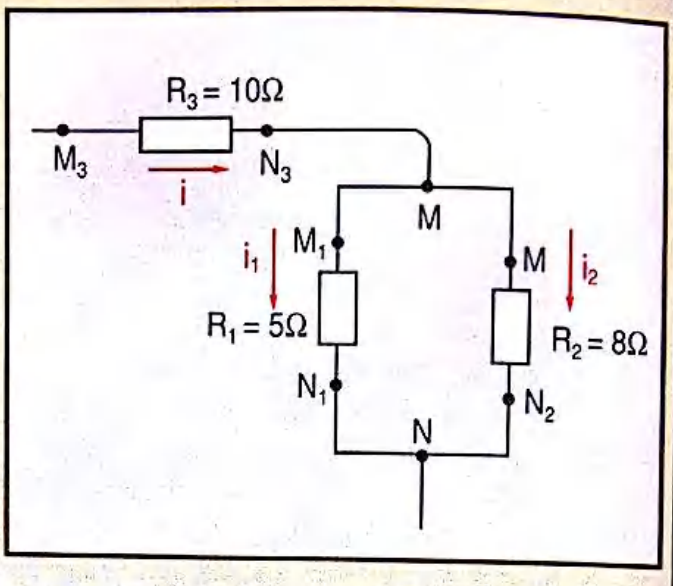
2°)

- Pour la tension U' = 11 V, le point de fonctionnement de la fonction de la caractéristique de MD est H' . L'intensité qui traverse les deux dipôles est l'abscisse de H' c'est-à-dire i'. Le point de fonctionnement correspondant de MB est N', de même abscisse i' que H'. L'ordonnée de N' est la tension U'v aux bornes MB. D'après le graphique, on trouve $U'_v = 7,4$ V
- De même à U" = 13V correspond le point H" pour MD, le point N" pour MB et la tension $U''_v = 8,2$V
- U_{MD} varie de U" – U' = 2V. U_{MB} varie de $U''_v - U'_v = 8,2 - 7,4 = 0,8$V
- Lorsque U_{MD} varie de 2V autour de la valeur 12V. Ce qui correspond à une variation de $\frac{2}{12} = 17\%$, U_{MB} varie de 0,8 autour de la valeur moyenne $\frac{8,2+7,4}{2} = 7,8$

  c'est-à-dire en valeur relative de $\frac{0,8}{7,8} = 10\%$.
- La tension aux bornes de MB varie donc moins que la tension aux bornes de MD. On peut se servir d'une varistance pour stabiliser une tension (en choisissant correctement les dipôles).

Scanned by CamScanner

② *Soit le montage suivant : M_1N_1 de résistance $R_1 = 5\ \Omega$; M_2N_2 de résistance $R_2 = 8\ \Omega$ M_3N_3 de résistance $R_3 = 10\ \Omega$*



1°) *Construire les caractéristiques de M_1N_1 et M_2N_2 (échelle 1 cm pour 1V, 1 cm pour 0,1A). En déduire la caractéristique du dipôle MN.*
Déterminer la résistance du dipôle MN. (on se limitera à l'intervalle [0 ; 0,8A] pour les intensités).

2°) *Construire dans le système d'axes précédent la caractéristique de M_3N_3. En déduire la caractéristique du dipôle M_3N. Déterminer sa résistance.*

3°) *On applique entre M_3 et N une tension de 7V, déterminer I, I_1 et I_2 :*
a) par le calcul
b) en utilisant les caractéristiques.

Solution

1°) Pour tracer la caractéristique du résistor, il suffit de déterminer un point de fonctionnement autre que l'origine O ; car la caractéristique est une droite passant par O.

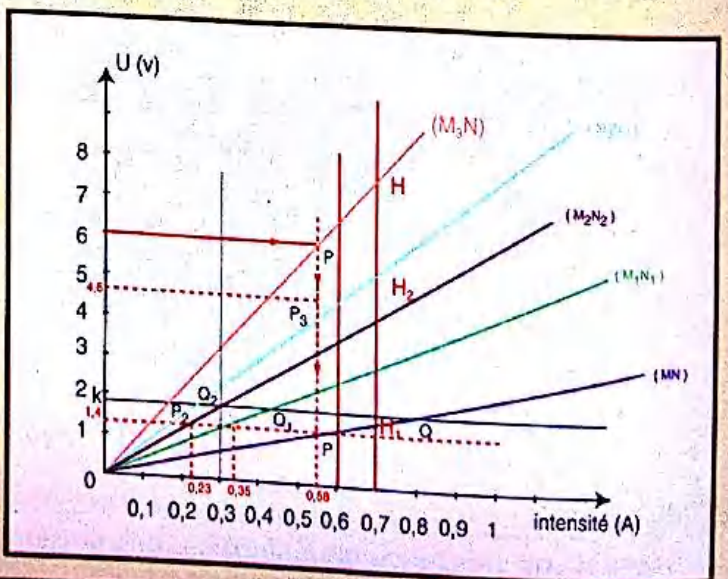
- pour M_1N_1 on peut considérer le point de fonctionnement de coordonnées : $i_1 = 0,5A$ et $U_1 = R_1i_1 = 0,5 \times 5 = 2,5V$. On trace ainsi (M_1N_1)
- pour M_2N_2 on peut considérer le point de fonctionnement de coordonnées $i_2 = 0,5A$ et $U_2 = V_M - V_N$ tel que $U_2 = R_2i_2 = 8 \times 0,5 = 4V$. On trace ainsi (M_2N_2).(voir figure)

• Les résistors M_1N_1 et M_2N_2 supportent la même tension $V_M - V_N$. La caractéristique du dipôle MN s'obtient à partir des caractéristiques de M_1N_1 et M_2N_2. Pour une tension donnée $i = i_1 + i_2$. Le point de fonctionnement Q à partir des points Q_1 et Q_2 par $\overline{KD} = \overline{KQ_1} + \overline{KD_2}$. La caractéristique (MN) (voir figure) est rectiligne, son équation est $V_M - V_N = Ri$ avec R résistance de MN.

• **Détermination graphique de R :**
Il suffit d'exploiter les coordonnées d'un point de la caractéristique de MN par exemple ($I = 0,5A$; $V_M - V_N = 1,5V$)

$$R = \frac{V_M - V_N}{I} = \frac{1,5}{0,5} = 3,0\Omega$$

• **Détermination par le calcul :**
Les deux résistors M_1N_1 et M_2N_2 sont en parallèle. Le dipôle MN est équivalent à un résistor de conductance G égale à la somme



Scanned by CamScanner

des conductances G_1 et G_2 des deux résistors M_1N_1 et M_2N_2 : $G = G_1 + G_2$

$$G = \frac{1}{R} \quad R = \frac{1}{G_1 + G_2} = \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{8}\right) = 3{,}07\ \Omega$$

2°) Caractéristique de M_3N_3 (voir la figure précédente)

- M_3N_3 et MN sont deux dipôles en série traversés par le même courant d'intensité i. D'autre part, $V_{M_3} - V_N = (V_{M_3} - V_{N_3}) + (V_M - V_N)$. La tension aux bornes du dipôle M_3N est égale à la tension aux bornes de M_3N_3 augmentée de la tension aux bornes de MN. La caractéristique de M_3N (voir figure) s'obtient à partir des caractéristiques de MN et M_3N_3.

- La caractéristique de M_3N est rectiligne d'équation $V_{M_3} - V_N = R'i$ avec R' résistance de M_3N

- **Détermination graphique de R'**
  Prenons un point de la caractéristique de M_3N ($I = 0{,}5A$; $V_{M_3} - V_N = 6{,}5V$) d'où

$$R' = \frac{V_{M_3} - V_N}{I} = \frac{6{,}5}{0{,}5} = 13\Omega$$

- **Détermination par le calcul :**
  Le dipôle MN est équivalent à un résistor de résistance $R = 3\Omega$, il est en série avec le résistor M_3N_3 de résistance R_3. Le dipôle M_3N est donc équivalent à un résistor de résistance :
  $R' = R + R_3 = 3 + 10 = 13\ \Omega$

3°) **a) Par calcul :**

On a : $V_{M_3} - V_N = 6\ V = R'i \Rightarrow i = \frac{V_{M_3} - V_N}{R'} = \frac{6{,}5}{13} = 0{,}5\ A$

- Pour calculer la tension entre M et N, évaluons d'abord $V_{M_3} - V_{N_3}$

$V_{M_3} - V_{N_3} = R_3 i = 10 \times 0{,}5 = 5V$

$V_{M_3} - V_N = (V_{M_3} - V_{N_3}) + (V_M - V_N) = 6{,}5 - 5 = 1{,}5V$

- Aux bornes de R_1

$$V_M - V_N = R_1 i_1 \Rightarrow i = \frac{1{,}5}{5} = 0{,}3\ A$$

- Aux bornes de R_2

$$V_M - V_N = R_2 i_2 \Rightarrow i_2 = \frac{1{,}5}{8} = 0{,}187A$$

b) D'après les caractéristiques (voir figure)

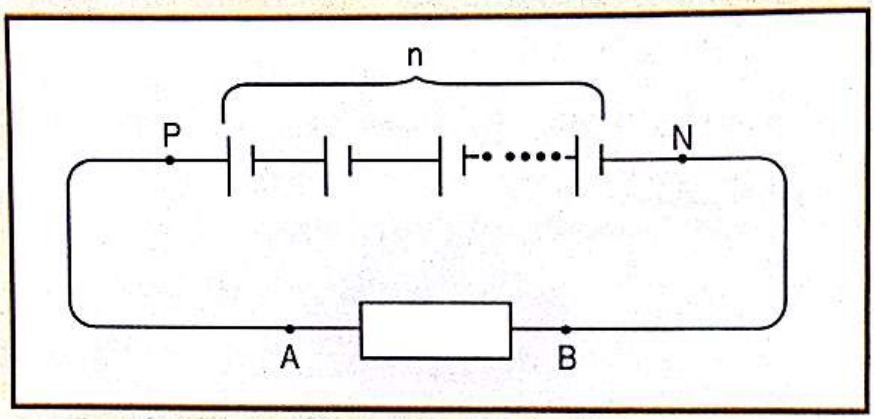
Pour $U_{M_3}N = 6\ V$ $I = 0{,}58\ A$ (point de fonctionnement P' de M_3N)
Pour $I = 0{,}58A$ $U_{M_3N_3} = 4{,}6\ V$ (point de fonctionnement P_3 de M_3N_3)
Pour $I = 0{,}58A$ $U_{MN} = 1{,}4V$ (point de fonctionnement P de MN)

Scanned by CamScanner

Pour $U_{MN} = 1,4V$ $i_1 = 0,35A$ (point de fonctionnement P_1 de M_1N_1)
Pour $U_{MN} = 1,4V$ $i_2 = 0,23\ A$ (point de fonctionnement P_2 de M_2N_2)

EXERCICES

① *On dispose d'un grand nombre de piles identiques (1,5V ; 1Ω). On branche n piles en série, dans le même sens. Cet ensemble débite dans un résistor AB, de résistance R = 10 Ω. Montrer que I augmente avec n.*



② *On dispose de piles de 1,5V de résistance interne de 1 Ω . On a besoin d'un générateur de 3 V de f.e.m. et de résistance interne égale au plus à 0,5 Ω . Prévoir le schéma du dispositif possible. Combien faudra-t-il utiliser de piles identiques ?*

Scanned by CamScanner

5 POINT DE FONCTIONNEMENT LOI DE POUILLET

PRÉALABLES

- Le circuit électrique.
- La mesure de l'intensité et de la tension à l'aide d'un ampèremètre et d'un voltmètre.

OBJECTIFS

- définir le point de fonctionnement
- déterminer graphiquement et analytiquement le point de fonctionnement
- Établir la loi de Pouillet
- Appliquer la loi de Pouillet à la résolution des exercices

Scanned by CamScanner

1. DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DE L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT

a) Branchons en parallèle, un voltmètre aux bornes d'un dipôle passif.(fig.1). Le voltmètre indique une tension de 2,5V aux bornes de la varistance. U_v = 2,5V. Nous disons que 2,5V est la tension de fonctionnement de la varistance (U_v) . Nous la notons U_F. $U_v = U_F$

b) Plaçons en série dans le circuit un ampèremètre. (fig.1).
Il indique une intensité i = 0,1A. Nous disons que 0,1A est l'intensité de fonctionnement du circuit. Nous la notons : i_F.

c) Chaque dipôle est caractérisé par un état de fonctionnement, on dit que le circuit prend un certain état de fonctionnement.

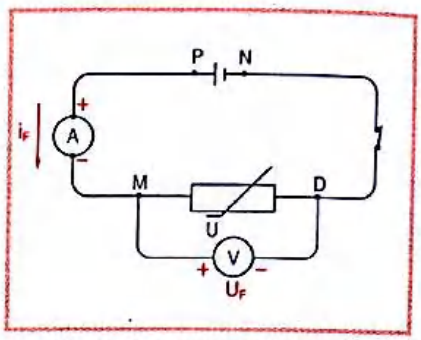


Fig. 1 Etat de fonctionnement d'un circuit

2. CARACTÉRISTIQUE DE L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT

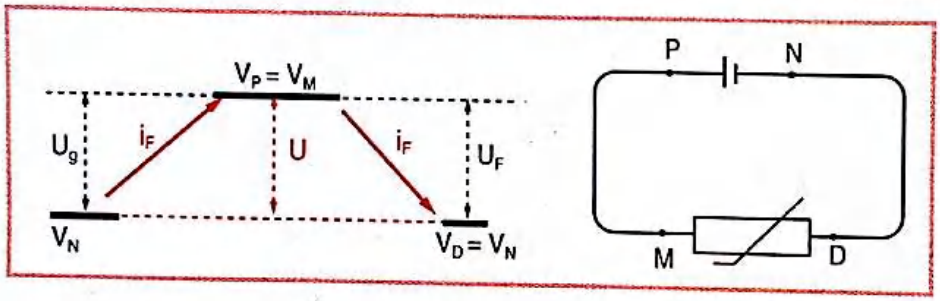


Fig. 2

• Le générateur et la varistance sont traversés par la même intensité i_F fig 2.
• De N à P, il y a une élévation de potentiel à travers le générateur dans le sens du courant : $V_P - V_N = U_g$
• De M à D, il y a une chute de potentiel à travers la varistance dans le sens du courant : $V_M - V_D = U_v$. Nous avons $V_P = V_M$ et $V_N = V_D$ d'où : $V_P - V_N = V_M - V_D \Rightarrow U_g = U_v = U_F$.
L'état de fonctionnement du circuit est tel que :

Les dipôles sont traversés par i_F et $U_g = U_V = U_F$



Pouillet Claude (1790-1868) physicien français

3. LE POINT DE FONCTIONNEMENT D'UN CIRCUIT

Soit un système de repère $(o,\vec{i},\vec{u})$, $(\overrightarrow{oi}, \overrightarrow{ou})$ d'axes
- $\overrightarrow{oi}$ est l'axe des abscisses gradué en ampères
- $\overrightarrow{ou}$ est l'axe des ordonnées gradué en volts.

Le point F de coordonnées (I_F, U_F) est le point de fonctionnement du circuit.

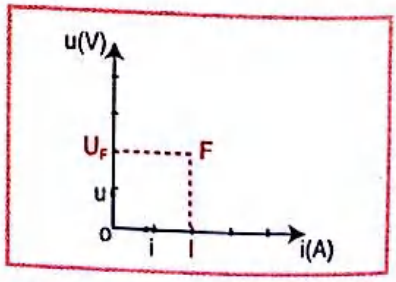


Fig. 3 point de fonctionnement d'un circuit

Scanned by CamScanner

3-1. DÉTERMINATION GRAPHIQUE DU POINT DE FONCTIONNEMENT

1°) Le point de fonctionnement est sur la caractéristique du dipôle passif (fig 4).

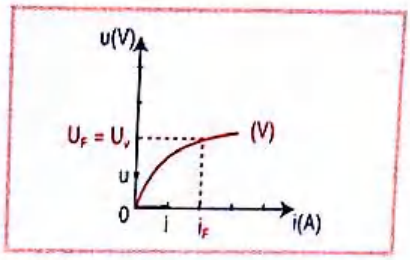


Fig. 4 point de fonctionnement sur la caractéristique du dipôle passif

a) Nous savons que la courbe qui représente les variations de U_v en fonction de l'intensité qui la traverse, est sa caractéristique dans le repère $(\vec{oi},\vec{ou})$ (fig 5).

b) Lorsqu'un dipôle actif, une pile par exemple, débite un courant d'intensité i_F, U_v (tension de la varistance, dipôle passif) prend la valeur U_F. Le point F de coordonnées (i_F, U_F) est donc un point de la courbe.

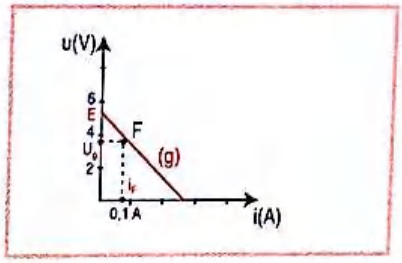


Fig. 5 point de fonctionnement sur la caractéristique de la pile

2°) Le point de fonctionnement est sur la caractéristique de la pile (dipôle actif)

a) Dans le repère $(\vec{oi},\vec{ou})$ traçons la courbe (g) qui donne les variations de U_g (tension du générateur, ici la pile) en fonction de l'intensité du courant à travers la pile. Elle représente la caractéristique de la pile.

b) Lorsque la pile impose l'intensité i_F, la tension U_g prend la valeur U_F. Le point F de coordonnées (i_F, U_F) est donc un point de la courbe (g).

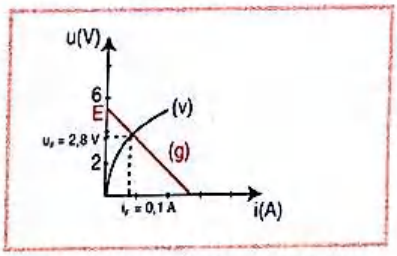


Fig. 6 (v) et (g) dans le même système d'axes

c) traçons (V) et (g) dans le même système d'axes (fig 6) : Le point F est à l'intersection de (V) et (g). Les coordonnées de F sont (i_F, U_F), i_F est l'intensité du courant électrique qui parcourt le circuit. $i_F = 0,1A$, $U_F = 2,8V$; F(0,1A ; 2,8V)

3-2. DÉTERMINATION PAR LE CALCUL DE L'ÉTAT DE FONCTIONNEMENT D'UN CIRCUIT QUI NE COMPREND QUE DES DIPÔLES LINÉAIRES : LOI DE POUILLET

1°) Soit un circuit comprenant en série : deux générateurs linéaires (E_1, r_1) ; (E_2, r_2) et deux conducteurs ohmiques R_1 et R_2 (fig.7).

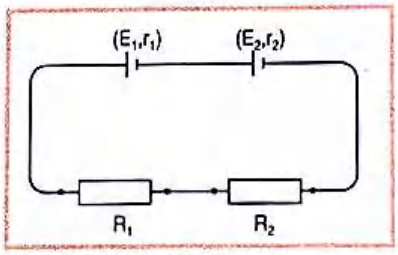


Fig. 7

2°) Les deux générateurs linéaires (en série) peuvent être remplacés par un générateur linéaire unique de paramètre $(E_1 + E_2, r_1 + r_2)$.

3°) De même les deux conducteurs ohmiques (en série) peuvent être remplacés par un conducteur ohmique de résistance $R = R_1 + R_2$ (fig. 8).

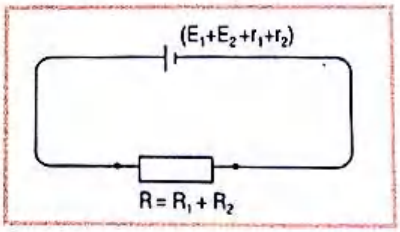


Fig. 8

4°) Le circuit ne comprend plus qu'un générateur linéaire et un conducteur ohmique. L'intensité du courant qui le traverse est :

$$i_F = \frac{E_1 + E_2}{r_1+r_2+R_1+R_2}$$

Scanned by CamScanner

5°) En faisant intervenir le générateur et le conducteur ohmique équivalents. On obtient : générateur (E,r) et le conducteur ohmique R :

$$I_F = \frac{E}{r+R}$$ **Loi de Pouillet**

MOTS CLES

Etat de fonctionnement ; Point de fonctionnement ; dipôle actif ; dipôle passif ; loi de POUILLET

EVALUATION

1°) Comment caractérise-t-on l'état de fonctionnement d'un circuit ?

2°) Qu'entend-t-on par point de fonctionnement d'un circuit ? Comment détermine-t-on graphiquement le point de fonctionnement d'un circuit ?

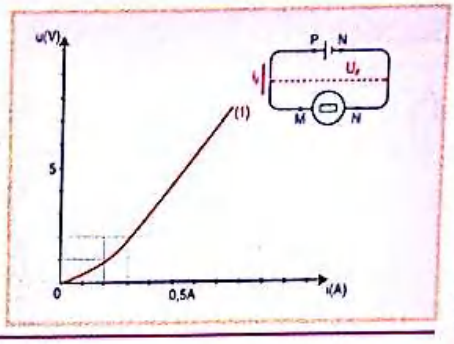
3°) Enoncer la loi de Pouillet. A quel type de circuit l'applique-t-on ?

4°) Quelle est la tension aux bornes d'une pile de f.e.m. E = 4,5 V de résistance r = 1Ω si elle débite un courant de 0,5 A ?

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

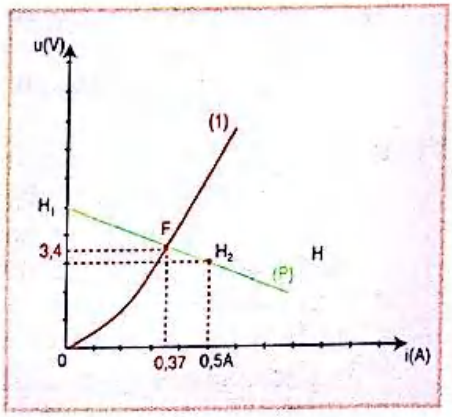
① *Soit un dipôle actif, une pile de paramètres (5V ; 4Ω). Ce dipôle débite dans une lampe à incandescence MN (caractéristique sur la figure). Déterminer le point de fonctionnement du circuit.*



Solution

Soit U_g la tension aux bornes de la pile, U_1 la tension aux bornes de la lampe. La pile et la lampe à incandescence sont traversées par I_F.

$$U_g = U_1 = U_F$$



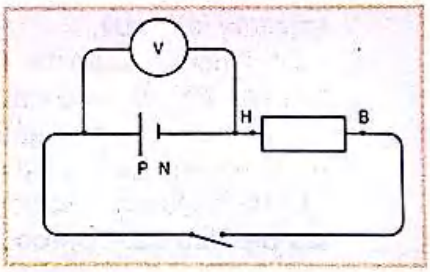
Les variations de U_1 en fonction de l'intensité sont données par la caractéristique de la lampe à incandescence (courbe(I)). La pile est un générateur linéaire, la caractéristique dans le repère est donnée par $U_g = E - ri$.

Pour tracer cette droite, il suffit d'en déterminer deux points.

- Pour i = 0 ; $U_g = E = 5V$ point H_1
- Pour i = 0,5 ; $U_g = 5 - (0,5 \times 4) = 3V$ point H_2

F est le point d'intersection de (I) et (P). Ses coordonnées sont sur le graphique (i_F ; U_F) = (0,37A ; 3,4V). Un courant d'intensité 0,37A traverse le circuit.

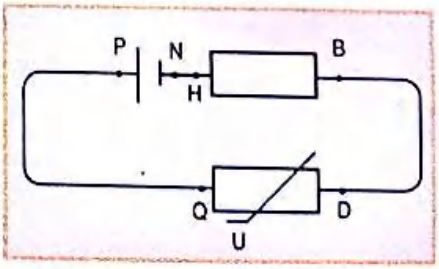
② *Un dipôle actif PN linéaire est associé à un résistor HB de résistance R = 45 Ω. Lorsque le circuit est ouvert figure ci-dessous U_{PN} = 6V. Lorsqu'on le ferme, U_{PN} reste égale 6V.*



1°) Que peut-on dire du dipôle actif PN ?
2°) Quelle est l'intensité du courant qui parcourt le circuit ?
3°) On ajoute au circuit précédent une varistance QD. Cette varistance est déterminée par l'ensemble des couples suivants :

I (mA)	10	20	40	60	80	100
U_F(V)	2,3	3,3	4,4	5,3	6,0	6,7

a) tracer la caractéristique (V) de la varistance (1 cm/ 20mA ; 1cm/1V).
b) Déterminer l'intensité du courant qui parcourt le circuit.



Scanned by CamScanner

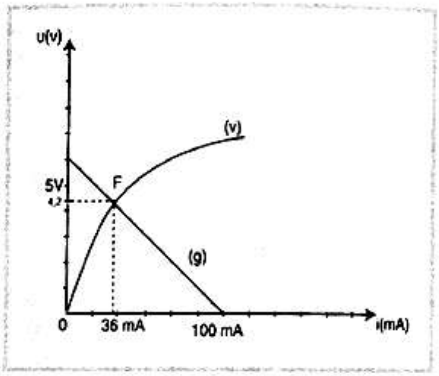
Solution

1°) L'équation de la caractéristique du dipôle actif est de la forme : $U = E - r\,i$.
Lorsque le circuit est ouvert $i = 0 \Rightarrow U_{PN} = U = E = 6V$.
Lorsque le circuit est fermé $i \neq 0 \Rightarrow U = U_{PN} = 6V$.
$-r\,i + E = -r\,i + 6 = 6 \Rightarrow r\,i = 0$ comme $i \neq 0$ cela donne $r = 0$.
Le dipôle actif a donc une résistance interne nulle, c'est une source de tension (6V ; 0Ω).

2°) Le circuit comprend un générateur monté en série avec un conducteur ohmique. L'intensité du courant qui traverse le circuit est donnée par la loi de Pouillet :

$$i = \frac{E}{r+R} = \frac{6}{0+45} = 0{,}13\ A$$

3°) a)

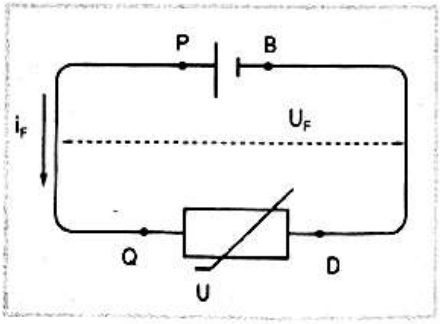


- Lorsque la varistance est traversée par i_F, $U_F = U_v$, le point de fonctionnement F appartient à la caractéristique (V) de la varistance.
- Lorsque le dipôle actif composite PB est traversé par i_F, $U_g = U_F$, le point de fonctionnement F appartient à la caractéristique (g) du dipôle PB.
L'équation de (g) est $U_{(g)} = 6 - 45\,i$. Pour construire la droite (g) il suffit d'en déterminer deux points :

$$H_1 \begin{cases} i = 0 \\ U_g = 6\ V \end{cases} \qquad H_2 \begin{cases} i = 0{,}1\ A \\ U_g = (-45 \times 0{,}1) \end{cases}$$

$+ 6 = 1{,}5$

b) Graphiquement, on lit $i_F = 36$ mA. C'est l'intensité qui traverse le circuit.



- Le dipôle composite PB comprenant le générateur linéaire PN et le conducteur ohmique HB peut être considéré comme un générateur linéaire de f .e.m. = 6V et de résistance interne $r + R = 0 + 45 = 45\ \Omega$
- L'état de fonctionnement de ce circuit est tel que :
les dipôles sont parcourus par i_F

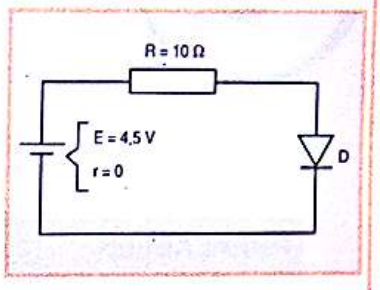
$$\mathbf{U_v = U_g = U_F}$$

U_v et U_g étant respectivement les tensions aux bornes de la varistance et du générateur équivalent PB. I_F et U_F étant les coordonnées du point de fonctionnement F.

Scanned by CamScanner

EXERCICES

(1) *On monte en série un générateur G (E = 4,5 V, résistance interne négligeable), un conducteur ohmique de résistance R = 10 Ω et une diode idéale sans tension de seuil D. (voir figure)*



a) Calculer l'intensité I du courant qui circule dans ce circuit.
b) Si on retourne la diode, un courant circule-t-il dans ce circuit ?
c) En remplaçant la diode par une diode idéale avec tension seuil de 0,5V, calculer l'intensité I du courant qui circule dans ce circuit.

---

(2) *Soit un circuit constitué d'un générateur G (f.é.m. E = 6 V et de résistance intérieure r = 1,5 Ω) et de trois conducteurs ohmiques ayant chacun une résistance de 10 Ω comme l'indique la figure 1.*

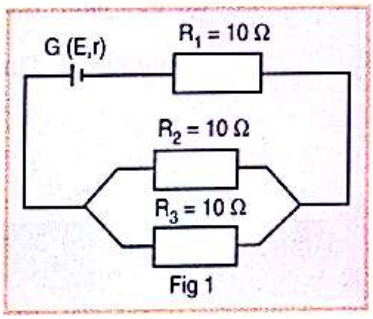


Fig 1

1°) Calculer l'intensité du courant dans le circuit principal et préciser son sens.

2°) On considère le même circuit constitué maintenant du même générateur G et les résistances R_1, R_2, R_3 et R_4 placées comme l'indique la figure 2 avec :
$R_1 = R_2 = R_3 = 10\ \Omega$ et $R_4 = 30\ \Omega$.
a) Calculer la valeur de l'intensité I dans le circuit principal.
b) Calculer la valeur des intensités I_3 et I_4 des courants traversant les résistances R_3 et R_4. La loi des nœuds est-elle vérifiée ?

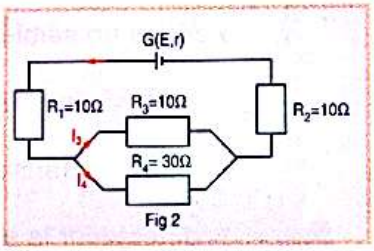


Fig 2

Scanned by CamScanner

6 NOTION D'ÉLECTRONIQUE

PRÉALABLES

- La définition d'un isolant, d'un conducteur.
- La définition d'une diode.
- Le symbole d'une diode.

OBJECTIFS

- définir un semi-conducteur à partir des conducteurs et des isolants (définition à partir de la notion de résistivité)
- définir un transistor
- déterminer le sens passant d'un courant dans une diode à partir d'un montage
- définir l'état de fonctionnement d'une diode (diode passante et diode bloquée)
- définir l'état de fonctionnement d'un transistor (transistor passant et transistor bloqué)
- citer quelques applications de la diode et du transistor

Scanned by CamScanner

L'électronique est une science dont l'essor date du vingtième siècle. Ce domaine si particulier de l'électricité ne s'intéresse pas aux courants comme tels, mais à l'information qu'ils permettent de véhiculer. Tout montage électronique comporte un capteur d'information qui transforme le signal physique en un signal électrique (courant ou tension), un dispositif plus ou moins complexe qui traite le message reçu et enfin une sortie vers un appareil d'utilisation.
Les montages électroniques nécessitent l'utilisation de divers composants ; nous présenterons les propriétés les plus importantes d'un certain nombre d'entre eux et quelques applications.
Grâce à ces montages, nous pourrons commander un relais, une sirène, un système d'éclairage à l'aide d'un très faible signal. Les signaux utilisables sont de nature très variée : électrique, lumineuse, thermique, mécanique, etc.

1. DEFINITION D'UN SEMI-CONDUCTEUR A PARTIR DES NOTIONS D'ISOLANTS ET CONDUCTEURS



1.1 ISOLANTS, CONDUCTEURS

Un isolant électrique est un milieu qui ne laisse pas passer le courant ; celui qui laisse passer le courant est dit conducteur électrique. Exemple l'eau, l'air, le cristal de chlorure de sodium. Ces milieux contiennent :
- des molécules électriquement neutres ;
- ou des ions fixes qui ne peuvent pas se mouvoir.

Le chlorure de sodium fondu ou en solution aqueuse, les métaux sont des conducteurs électriques. Tous ces milieux contiennent des porteurs de charge c'est-à-dire des particules chargées libres de se mouvoir.

- Les métaux contiennent des porteurs négatifs ou porteurs **n** qui sont les électrons libres.
- Le chlorure de sodium fondu contient des porteurs **n** (Cl^-) et des porteurs p (Na^+).
- Solution aqueuse de chlorure de sodium contient des porteurs **n** (Cl^-_{aq}) et des porteurs p (Na^+_{aq}).

Nous avons vu dans les chapitres antérieurs qu'un courant électrique est un déplacement de porteurs de charge : les porteurs n remontent vers le pôle +, les porteurs **p** remontent vers le pôle -. A part les électrons sortis de la matière qui se déplacent à grande vitesse dans les tubes à vide (plusieurs milliers de km/s) les porteurs ont un mouvement d'ensemble lent (de l'ordre du mm/s).

1.2 UN CAS INTERMÉDIAIRE : LES SEMI-CONDUCTEURS

- Le diamant est une macromolécule constituée d'atomes de carbone. Tous ses électrons sont liés c'est-à-dire qu'ils se déplacent en restant « **fidèles** » à certains noyaux de carbone.

Scanned by CamScanner

Le diamant ne possède aucun porteur de charge : **c'est un isolant.**

- Le silicium possède une structure un peu analogue à celle du diamant. Il faut signaler cependant que, dès la température ambiante (25°C) quelques électrons arrivent à acquérir suffisamment d'énergie pour quitter leur nuage électronique et devenir des électrons libres, créant ainsi un déficit électronique. Il apparaît une zone qui contient plus de protons que d'électrons : c'est un trou positif. **Le trou positif** porte la charge électrique +e. A une température, il apparaît autant d'électrons libres que de trous positifs. Fig.1

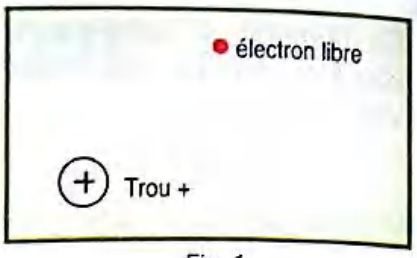


Fig. 1

Dans un circuit électrique, un cristal de silicium aura le comportement d'un conducteur :
d'une part ses électrons libres sont des porteurs n qui remontent lentement vers le pôle + .
Par ailleurs, on constate que des électrons qui n'ont pas suffisamment d'énergie pour se libérer définitivement ont la possibilité de remonter vers les pôles + en sautant dans un trou positif voisin. La zone d'où est parti cet électron devient un nouveau trou positif.
En M un électron quitte spontanément son site et se loge dans le trou N (fig.2). En M se crée un trou positif, en N se neutralisent l'électron et le trou + ; l'électron se trouve donc de nouveau lié. Tout se passe donc comme si le trou positif passait de N à M. Le trou positif se comporte comme un porteur p qui remonte vers le pôle - .

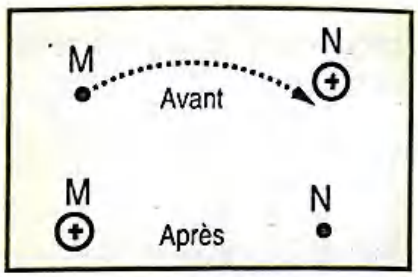


Fig. 2

- Le silicium possède des porteurs **n** et des porteurs **p** en nombre égal : à la température ordinaire (25°) il y a environ $1{,}5.10^{7}$ électrons libres ou trous positifs par mm^3. Ceci est très peu par rapport à 8.10^{19} électrons libres par mm^3 pour le cuivre. C'est pour cette raison que le silicium est un **semi-conducteur** alors que le cuivre est un conducteur.

1-3 DOPAGE

Considérons le silicium, élément de la 4e colonne du tableau de Mendeleïev (donc, 4 électrons sur sa couche périphérique), dont les liaisons dans le cristal se présentent comme dans la fig.(a).
Si le cristal contient par exemple n atomes de phosphore (élément de la 5e colonne, donc 5 électrons sur sa couche périphérique), ces atomes seront liés aux atomes de silicium, et il restera à chaque atome de phosphore un électron non apparié.(figure.b)
On dit que le silicium est « dopé au phosphore ».
Ces électrons non appariés sont mobiles et ainsi le cristal devient légèrement conducteur. On dit que le silicium **« dopé au phosphore »** est un semi-conducteur de type N (N comme négatif, à cause des électrons excédentaires). fig.(b).
Si au lieu du phosphore, le cristal contient p atomes de Bore (élément de la 3e colonne, donc 3 électrons sur sa couche périphérique), il manquera un électron à p liaisons du silicium. On dit dans ce cas, que le silicium possède **p trous**. Fig.(c).

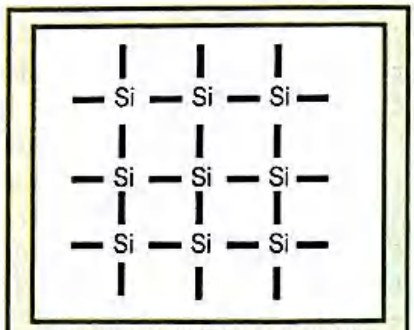


Fig. (a) Représentation simplifiée des liaisons dans un cristal de silicium

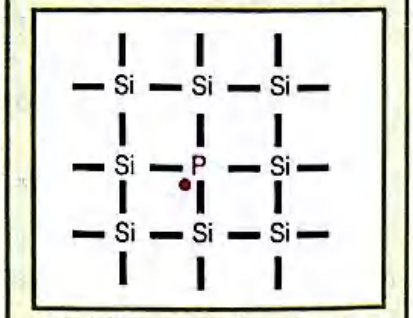


Fig. (b) Silicium dopé au phosphore = semi-conducteur N

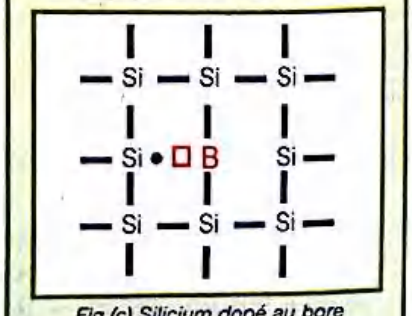
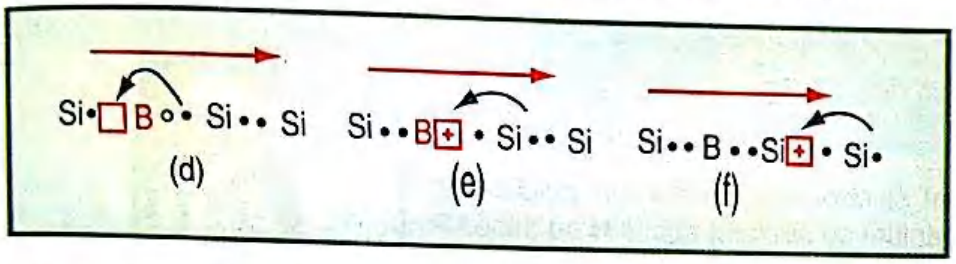


Fig.(c) Silicium dopé au bore = Semi-conducteur P

Scanned by CamScanner

Un trou peut être comblé par un électron d'une liaison voisine, créant ainsi un autre trou et donc une charge positive à cet endroit.
Cette mobilité des trous rend le cristal légèrement conducteur. Le silicium ainsi « **dopé au bore** » est **un semi-conducteur de type P** (p comme positif à cause du déficit électronique). Fig (d) ; (e) ; (f)



• Diodes à jonction PN

Une diode au silicium a la forme d'une pastille constituée de silicium « dopé » P sur une face et N sur l'autre face. Fig. (g)
Les quatre électrons de la face N voisins de la surface de séparation diffusent à travers cette surface et comblent les trous de la zone P. Il se crée ainsi une région de faible épaisseur (de l'ordre de 1µm), appelée **jonction**, chargée positivement du côté N et négativement du côté P. (fig. (h))
En appliquant une tension $U_{AB} > 0$ aux bornes de la diode, les électrons mobiles de la zone N se déplacent vers la zone P, et si $U_{AB} > 4{,}5V$ environ, ils peuvent traverser la jonction et combler les trous de la zone P. Les trous de cette zone se déplacent alors vers la zone N. Ces déplacements correspondent à un courant électrique, **et on dit que la diode est passante de P vers N.**
$U_{AB} > 0 \Rightarrow I \neq 0$ (fig. (j))

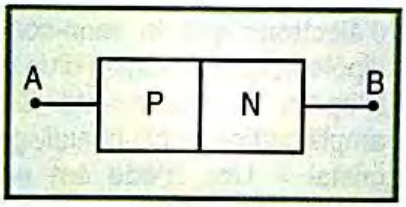


Fig. (g)

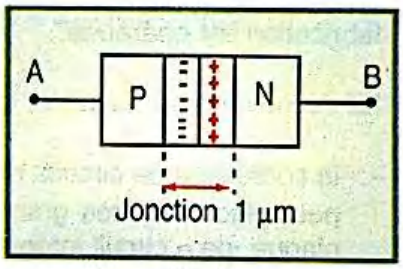


Fig. (h)

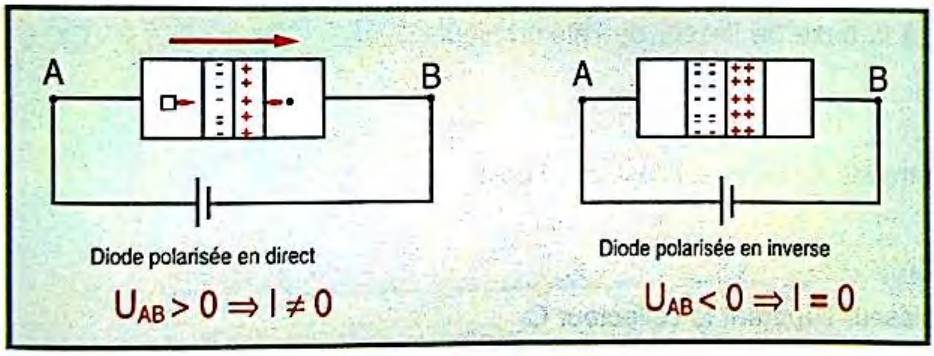


Fig.(j)

Si au contraire $U_{AB} < 0$, les électrons de la zone N se déplacent vers B ; des électrons du fil de jonction lié à A pénètrent dans la zone P et y comblent les trous. Les trous se déplacent donc vers A. Ainsi la jonction exerce sur les charges mobiles des zones P et N, des forces qui compensent celles du générateur. Très rapidement, il s'établit ainsi un équilibre et les déplacements de l'ensemble des charges cessent (le courant n'est donc, dans ce cas, que transitoire) et le courant devient nul. **On dit que la diode est bloquée.**
$U_{AB} < 0 \Rightarrow I = 0$ (fig. (j))

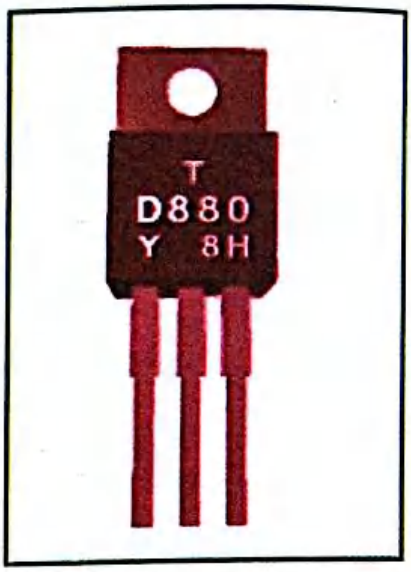


Diode à jonction
la position de l'anneau détermine la borne A (borne d'entrée) et la borne B (borne de sortie : du côté de l'anneau)

Scanned by CamScanner

2. ETUDE DE DEUX COMPOSANTS ELECTRONIQUES : LA DIODE ET LE TRANSISTOR (identification et schéma conventionnel)

2-1 LE TRANSISTOR



Un transistor

a) Définition

Un transistor est un composant électronique obtenu par jonction de semi-conducteurs dopés (germanium ou silicium) dopés **N** ou dopés **P** selon que l'impureté ajoutée contient plus d'électrons ou moins d'électrons que le semi-conducteur qui permet la commande d'un dipôle et l'amplification d'un phénomène (une intensité par exemple). D'après le dictionnaire Quillet, un transistor est une « triode amplificatrice sans chauffage, utilisant un semi-conducteur solide à cristal » Une triode est une ampoule, vide d'air contenant trois électrodes dont l'une émet des électrons par effet thermoélectrique, c'est une lampe qui nécessite un circuit de chauffage. La triode est encombrante, consomme beaucoup d'énergie électrique et sa fabrication est onéreuse.

La découverte du transistor a permis :

- la confection de circuits miniaturisés (en micro-électronique où on peut placer un très grand nombre de transistors sur un cm^2 de plaque de « circuit intégré ») ;

- la confection d'appareils portables consommant le minimum d'énergie et pouvant être alimentés par des piles. La « transistorisation » est à la base de l'essor de l'électronique.

b) Description

Le transistor possède trois électrodes ou bornes. C'est un tri pôle :

- Emetteur E
- Collecteur C
- Base B, de faible épaisseur séparant le collecteur C de l'émetteur E

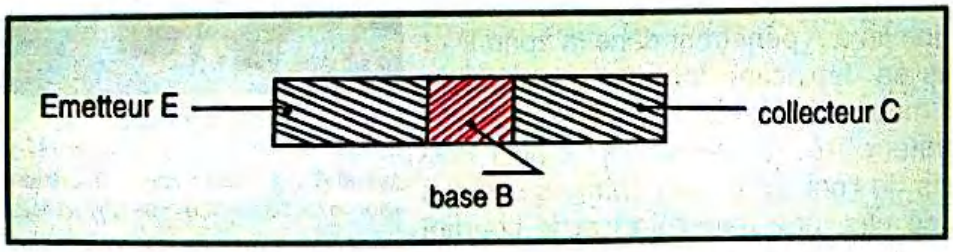


Fig. 7

L'émetteur et le collecteur n'ont pas la même concentration d'impuretés. **Vue du dessous,** les trois entrées des connexions forment un triangle isocèle dont le sommet est en B, un ergot repère

Scanned by CamScanner

l'émetteur fig.8. Parfois le collecteur est repéré par un point bleu **(N.P.N)** ou rouge **(P.N.P)**. Les plus petits transistors sont des cylindres tronqués.

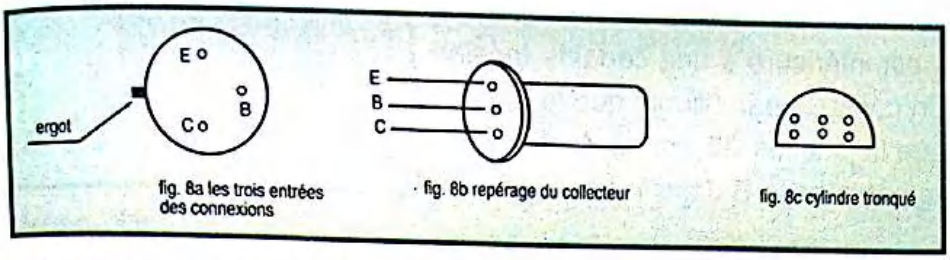


fig. 8a les trois entrées des connexions — fig. 8b repérage du collecteur — fig. 8c cylindre tronqué

Fig. 8

• Repérage des connexions. (Fig.9)

Le transistor à jonction est constitué d'un cristal de semi-conducteur qui a été « dopé » (c'est-à-dire dans lequel on a fait diffuser des impuretés convenablement choisies) de façon à ce qu'il apparaisse trois zones :

- Soit une zone P de quelques micromètres d'épaisseur sépare deux zones N. On a alors un transistor **NPN.**
- Soit une zone N de quelques micromètres d'épaisseur sépare deux zones P. On a alors transistor **PNP.**

Les schémas conventionnels permettent de distinguer les bornes :

- **la base** (B) est la borne reliée au trait épais qui schématise la zone intermédiaire n°2 dont le rôle est très important.
- **le collecteur** (C) est relié à la base par un trait qui n'est jamais fléché.
- **L'émetteur** (E) est relié à la base par un trait fléché.

Dans les schémas conventionnels, pour les deux types de transistor, la flèche va toujours d'une zone **P** vers une zone **N.**

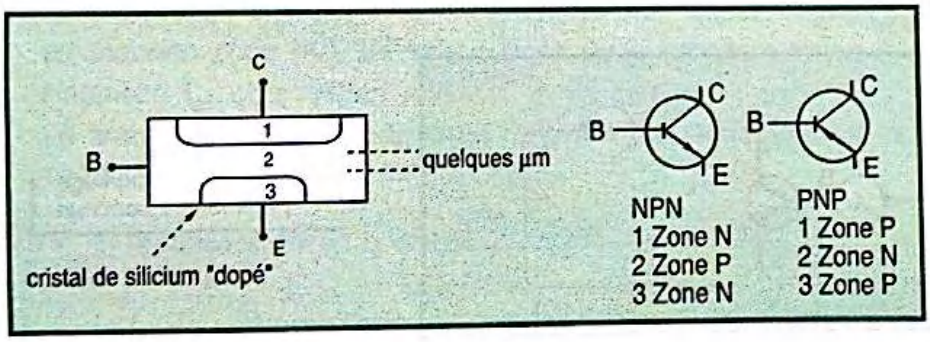


Fig. 9

2. 2 UTILISATION DU TRANSISTOR

a) Le circuit de base. (Fig.10)

Soit le montage ci-dessous permettant de relier la base **B** et l'émetteur **E** d'un transistor NPN à une alimentation continue variable (montage potentiométrique). Plaçons en série un résistor de protection pour limiter l'intensité. Le circuit qui relie **B** à **E** est appelé circuit de base. Nous constatons que le dipôle **BE** possède la même caractéristique qu'une diode, dont **B** serait le pôle **P** et **E** le pôle **N** :

Scanned by CamScanner

- le courant ne peut passer que de **B** vers **E**, en effet la flèche du schéma conventionnel indique le sens passant de la jonction base-émetteur. On note i_b l'intensité de ce courant.
- I_b est nulle, si la tension U_{BE} est inférieure à une certaine tension seuil U_S de l'ordre de 0,6V. On constate par ailleurs que la tension U_{BE} reste voisine de U_S lorsque la jonction **BE** est passante. i_b est l'intensité du courant qui entre par la base **B** dans le transistor.

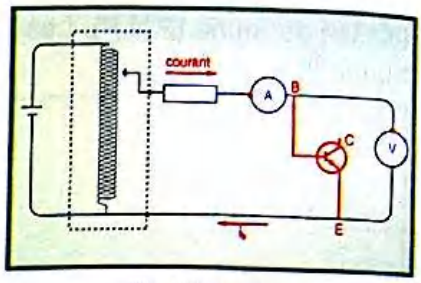


Fig. 10 montage d'un circuit de base

b) Le circuit de collecteur (fig.11)

A l'aide d'un circuit série comprenant une lampe à incandescence, un ampèremètre, une pile (4,5V) relions le collecteur à l'émetteur. Un **circuit de collecteur** est ainsi monté.

Nous constatons qu'aucun courant ne traverse le circuit, que la pile soit branchée dans un sens ou dans l'autre. Le courant ne peut passer entre **C** et **E** parce qu'il y a deux jonctions **CB** et **BE** de sens passants opposés entre **C** et **E**. (Rappelons que le sens passant d'une jonction va du semi- conducteur de type **P** vers le semi-conducteur de type **N**). Ainsi si **BE** est passante (sens de la flèche), **CB** est bloquée et inversement.

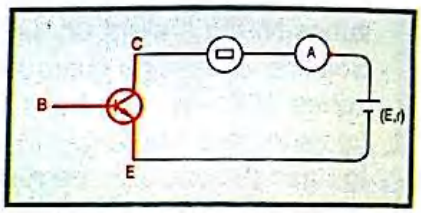


Fig. 11 montage d'un circuit de collecteur

c) Commande du circuit de collecteur par le circuit de base

• le montage à émetteur commun (Fig.12)
Branchons en même temps les deux circuits précédents (circuit de base et circuit de collecteur). Les deux circuits ont en commun la borne E pour cette raison, ce montage est appelé « **montage à émetteur commun** ».

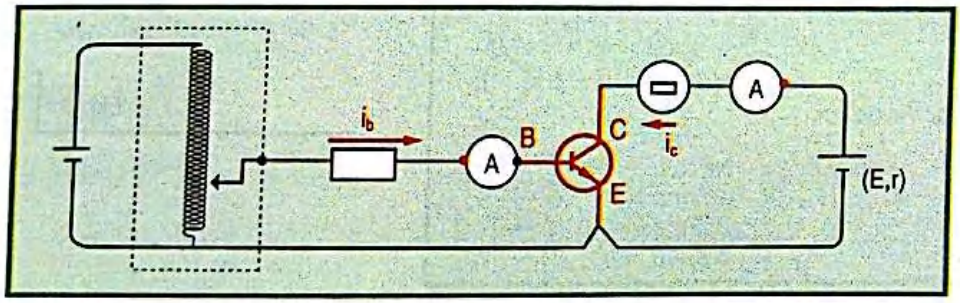


Fig. 12 montage à émetteur commun

Remarque : Les voltamètres placés en parallèle entre les bornes **B** et **E** et entre les bornes **C** et **E** ne figurent pas sur ce schéma.

• Transistor bloqué

Si $V_{BE} < U_S = 0,6$ V la jonction BE reste bloqué, le courant de base a une intensité nulle ($i_b = 0$). On s'aperçoit que le circuit de collecteur n'est traversé par aucun courant (si on note i_c, l'intensité du courant de collecteur, on a donc $i_c = 0$). On dit alors que le transistor est bloqué.

Scanned by CamScanner

Transistor bloqué : $U_{BE} < U_S$ et $i_b = 0$, $i_c = 0$, il se comporte comme un interrupteur ouvert.

2.3 TRANSISTOR EN FONCTIONNEMENT NORMAL

• Dès que la valeur seuil U_S est atteinte par U_{BE}, la jonction BE devient passant : le courant de base a pour intensité i_b. On s'aperçoit qu'il passe dans le circuit de collecteur, un courant allant de **C** vers **E**, c'est-à-dire partant de **B** vers **E** dans le sens de la flèche, d'intensité i_c. Le courant de base a bloqué la jonction BC : cet effet remarquable porte le nom d'effet transistor.

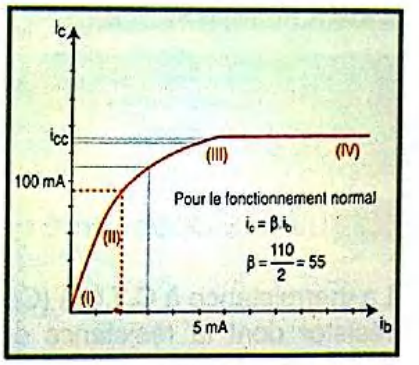


Fig. 13

• En variant i_b, on observe une variation proportionnelle de i_c dans un certain domaine noté (II) sur le graphique fig. 13. L'état de fonctionnement du transistor est dit normal.

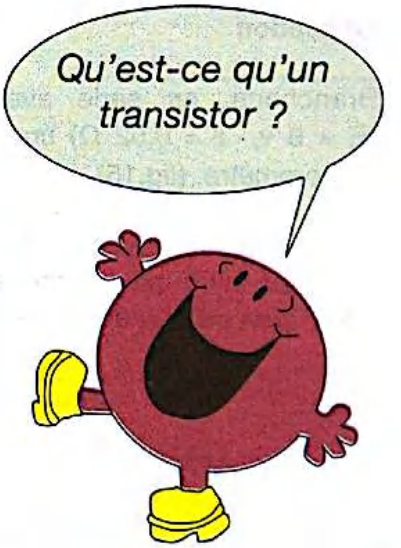
i_c est nettement plus important que i_b et le rapport $\frac{i_c}{i_b}$ est appelé gain en courant.

Transistor en fonctionnement normal : $i_c = \beta . i_b$ et $U_{BE} \approx U_S$ il est un amplificateur de courant.

2. 4 TRANSISTOR SATURÉ

- A partir d'une certaine valeur de i_b, le gain en courant diminue zone (III) fig. 13.

- Au delà de $i_b = 5$ mA dans le cas ci-dessus l'intensité du courant i_c se stabilise zone (IV). La valeur limite de i_c est très voisine de l'intensité i_{cc} obtenue en reliant C à E par un fil conducteur. Le transistor se comporte dans ces conditions comme un fil conducteur. Le transistor est dit saturé.



Transistor saturé : i_c dépend du circuit de collecteur
$U_{CE} \approx 0V$
Il se comporte comme un interrupteur fermé.

Retenons que :
Le comportement du dipôle (C, E) est commandé par le courant de base du transistor. Un transistor peut fonctionner :
- **en « tout ou rien » (transistor saturé ou bloqué)**
- **en amplificateur.**

Remarque
L'intensité du courant qui sort par l'émetteur du transistor soit i_E est égale à la somme des intensités i_b et i_c des courants qui entrent dans le transistor : $I_E = I_b + I_c$

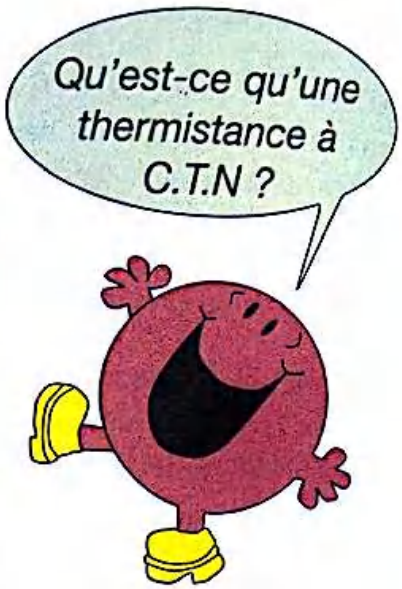
Scanned by CamScanner

Lorsque le transitor n'est pas saturé, on a :
$i_E = i_b + \beta . i_b = i_b(1+\beta)$, relation dans laquelle
β est grand devant 1; on peut donc écrire

$$i_E \approx i_c \approx \beta . i_b$$

Conclusion

Le transistor, commandé par un courant faible i_b, permet d'obtenir, dans une charge R_C, un courant i_c important. On dit que le courant i_b a été « amplifié ».



3. DIPOLES COMMANDÉS ET MONTAGES SIMPLES

3.1 DIPÔLE COMMANDÉ PAR LA TEMPÉRATURE

La thermistance à **C.T.N** à (Coefficient de Température Négatif) est un résistor dont la résistance décroît fortement quand la température augmente.

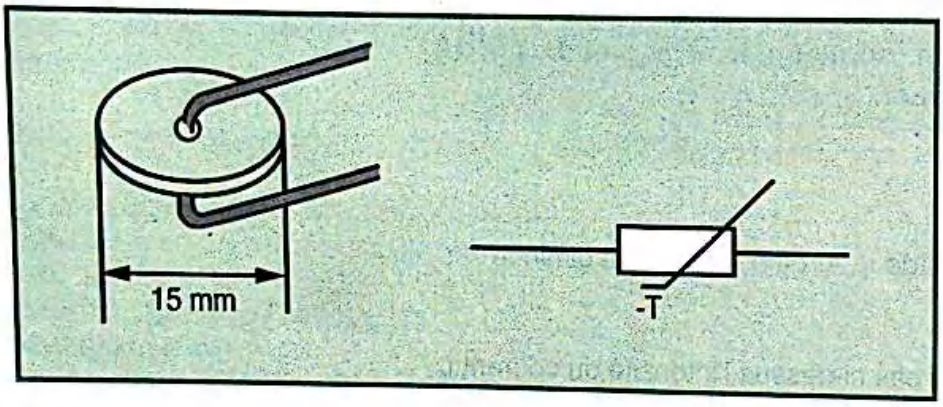


Fig. 14 Aspect et symbole d'une thermistance à C.T.N.

Utilisation

Branchons, en série avec la thermistance, un accumulateur (E = 6 v, r = 0,02 Ω) une résistance à 25°c R_{25} = 130Ω et un ampèremètre. (fig.15)

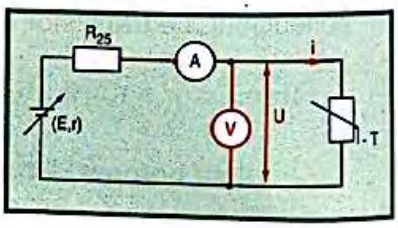


Fig. 15

Le dipôle générateur fournit une tension réglable de **0** à **6v**. Le résistor placé en série est indispensable pour limiter le courant lorsque la C.N.T aura subi un échauffement important. L'intensité du courant vaut

$$i = \frac{E}{R(\theta)+r}$$

i est donc fonction de la température. A chaque valeur de l'intensité lue sur l'ampèremètre, il correspond une température : nous avons réalisé **un thermomètre électrique**. Il est aussi possible de réaliser un dispositif sommaire d'alarme d'incendie : le dipôle commandé (sirène, lampe, etc.) fonctionnant lorsque la température dépasse une certaine valeur.

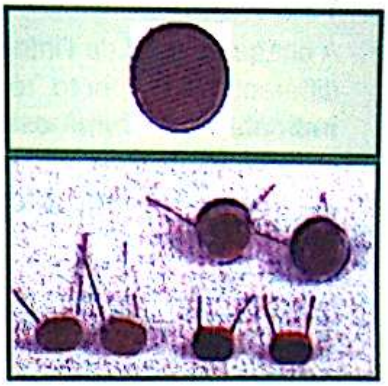
Scanned by CamScanner

Conclusion

La thermistance est un capteur qui permet de traduire une variation de température par une variation de courant.

3. 2 DIPÔLE COMMANDÉ PAR LA LUMIÈRE.

La photo résistance est un resistor dont la résistance varie avec la « quantité de lumière » qu'il reçoit ; cette quantité de lumière s'appelle éclairement (E) ou (Φ)



Photorésistances

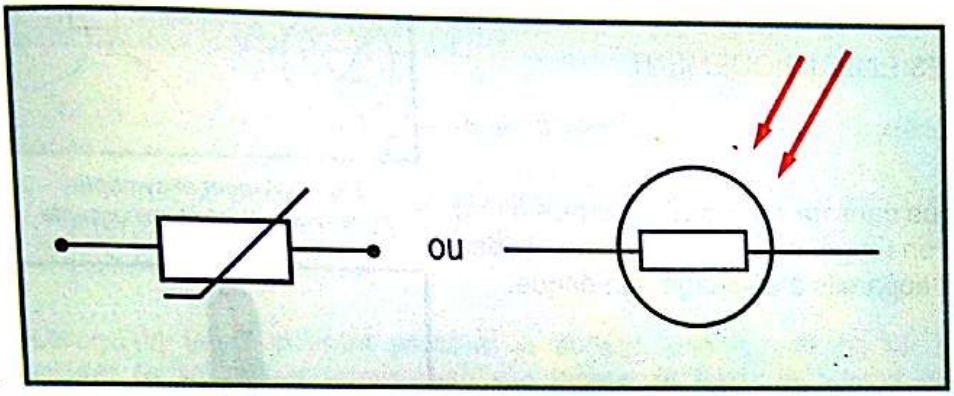


Fig. 16 Symbole d'une photo résistance

Une photo résistance est un dipôle commandé par la lumière.

Utilisation

Branchons en série avec la photo résistance, une pile ou batterie d'accumulateurs et un ampèremètre (fig.17)

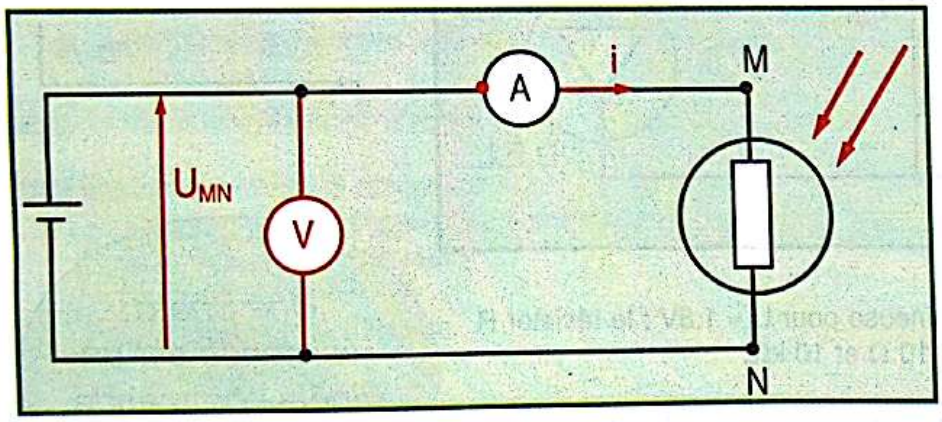


Fig. 17

- Quand la plaque sensible de la photo résistance est masquée par la main ou par du papier noir, le courant est pratiquement nul (inférieur au micro ampère).

- Quand la photo résistance est éclairée par la lumière du jour (ou d'une lampe électrique), le courant est compris entre quelques milliampères et quelques dizaines de milliampères (selon l'éclairement reçu.)

Scanned by CamScanner

- A chaque valeur de l'intensité mesurée correspond un éclairement différent de la photo résistance : nous avons réalisé ainsi un ***indicateur de luminosité***. Une photo résistance peut servir à commander le fonctionnement d'un transistor et indirectement celui d'une lampe ou d'un moteur.

Conclusion

La photo résistance est un capteur qui permet de traduire une variation d'éclairement par une variation de courant.

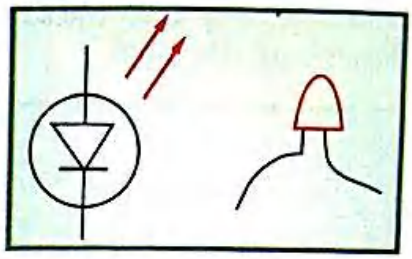


Fig. 18 Aspect et symbole d'une diode électroluminescente

3.3 DISPOSITIFS COMMANDÉS ÉLECTRIQUEMENT

a) La diode électroluminescente.

Elle ne laisse passer le courant que dans un sens. Mais soumise à une tension suffisante, elle s'illumine en rouge, en vert ... De telles diodes sont utilisées dans de nombreux appareils à affichage numérique.



Diode électroluminescente

Utilisation

Branchons en série avec la diode électroluminescente, un rhéostat, une pile et un ampèremètre (voir fig.19).

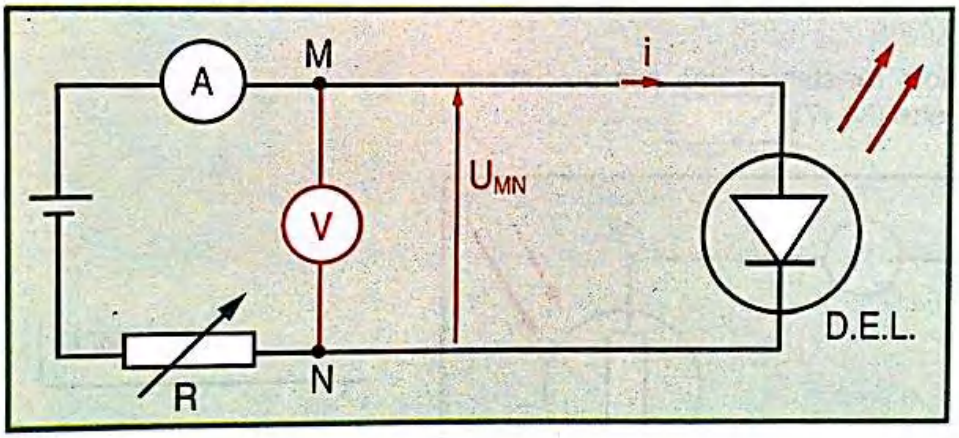


Fig. 19

La diode devient nettement lumineuse pour U ≈ 1,8V ; le résistor R a une résistance réglable entre 10 Ω et 10 kΩ.

Quelques résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

U (V)	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2
I (mA)	1,5	9	20	35	50	66	84



b) Le relais électromagnétique

C'est un appareil de commutation possédant dans le cas le plus simple, quatre bornes A ; B ; C et D, qui permet de faire le relais entre deux circuits. (fig.20)

Scanned by CamScanner

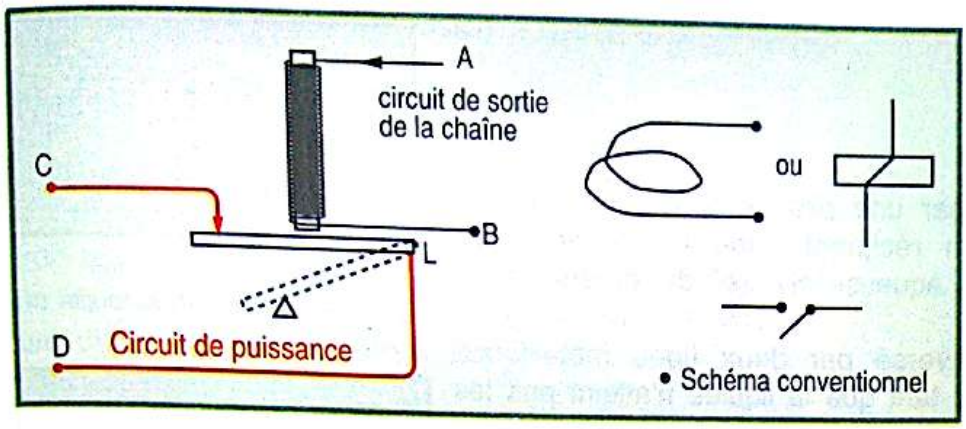


Fig. 20

- le circuit de sortie de la chaîne est alimenté par un courant continu d'intensité modérée ;
- le circuit de puissance peut être alimenté par un courant continu ou alternatif et peut comprendre des appareils électriques de puissance importante.

Lorsqu'un faible courant parcourt la bobine, une lamelle de fer L jouant le rôle d'un interrupteur est attirée et ferme le circuit de puissance où peut circuler un courant d'intensité très importante.
Un relais est caractérisé par :

- La tension d'enclenchement U_e : c'est la tension U_{AB} minimale (figure.20) nécessaire pour attirer la lame afin de fermer le circuit de puissance.
- La tension de désenclenchement U_d : pour $U_{AB} < U_d$ la lame n'est plus attirée, et le circuit de puissance est ouvert. Les tensions U_e et U_d sont généralement très voisines, mais on a toujours : $U_d < U_e$



3.4 CHAÎNES ÉLECTRONIQUES

Une chaîne électronique comprend :
- un capteur ou dispositif de commande
- un dispositif électronique
- une alimentation
- un appareil d'utilisation

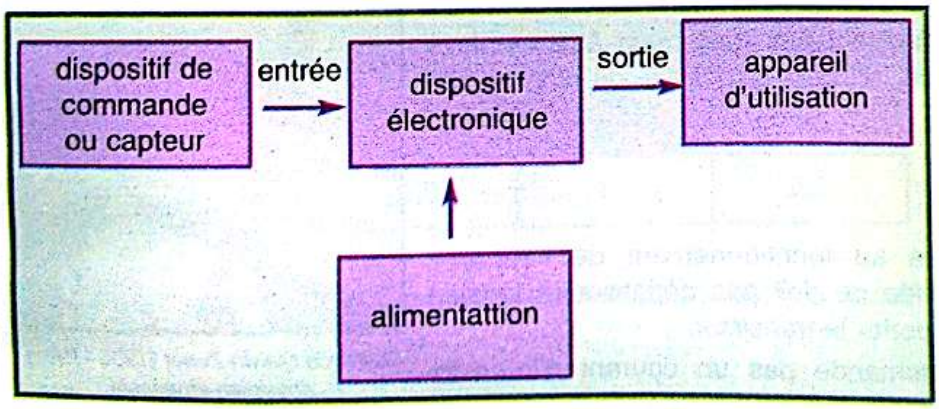


Fig. 21 Schéma d'une chaîne électronique

Scanned by CamScanner

Exemples de chaînes

a) Indicateur de niveau

• L'alimentation est assurée par une pile de 4,5V ; le dispositif d'utilisation, une lampe ; un récipient dans lequel on verse progressivement une solution aqueuse de sel de cuisine, donc conductrice.
Le support S, isolant et traversé par deux tiges métalliques (électrodes) reliées à B et M ; tant que le liquide n'atteint pas les électrodes (fig. 22) l'interrupteur K est ouvert. La lampe ne s'allume pas. L'arrivée du liquide, au niveau des électrodes, ferme le circuit et la lampe s'allume.
• Avec un liquide isolant, la détection pourra être obtenue grâce à un flotteur métallique lié au récipient par un fil conducteur soudé aux extrémités. (fig. 23)

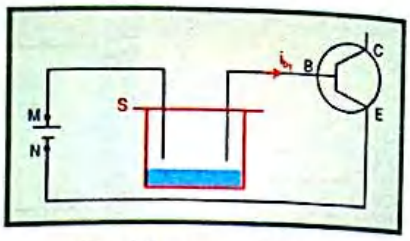


Fig. 22 Les parties non conductrices sont en rouge

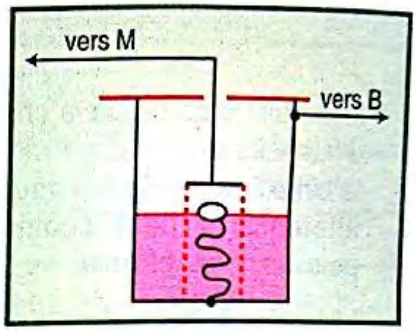


Fig. 23 Les parties non conductrices sont en rouge

Dans le dispositif de la figure 24, lorsque l'eau atteint les électrodes, le voyant lumineux s'allume.

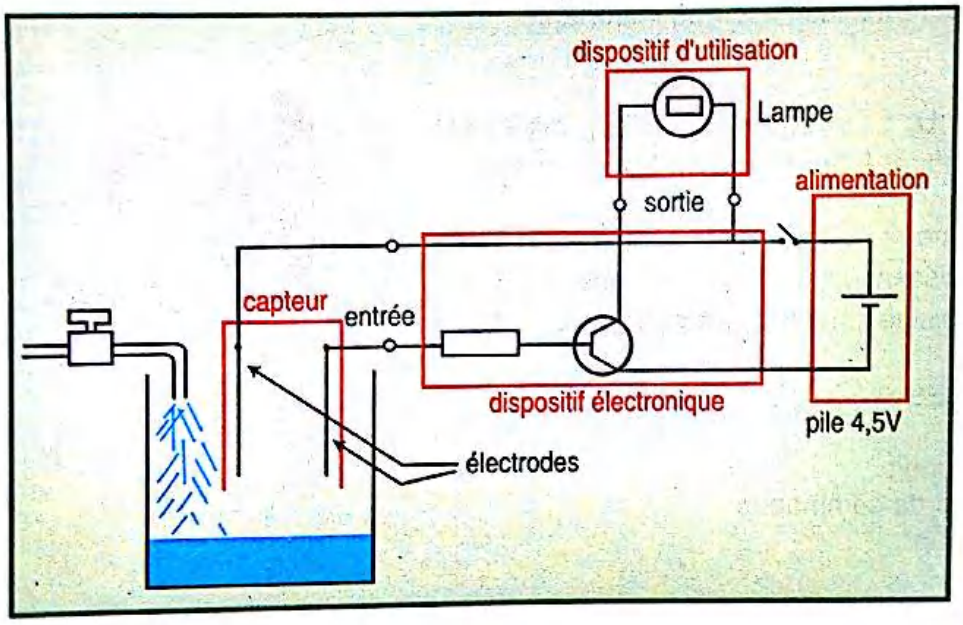


Fig. 24 Indicateur de niveau d'eau exemple de chaine électronique

Remarque :

Un même dispositif électronique peut éventuellement être employé avec des appareils d'utilisation et des dispositifs de commande différents.

Il suffit que :

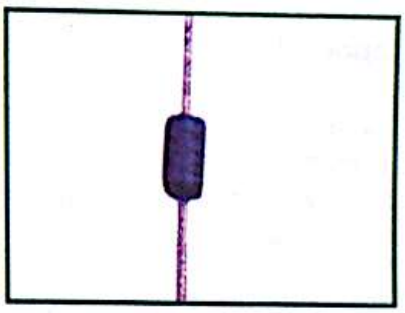
- L'alimentation soit adaptée au fonctionnement de l'appareil d'utilisation. Sa tension à vide ne doit pas dépasser la tension maximale U_{CE} que peut supporter le transistor.
- L'appareil d'utilisation ne demande pas un courant d'intensité supérieure à l'intensité maximale que peut supporter le transistor. Il faut éviter de mettre la sortie en court-circuit.



Clarence Melvin Zener (1905 -1993) physicien américain

Scanned by CamScanner

b) Détection d'une baisse de tension



Diode Zener

Le montage de la fig.25 comprend :

- un générateur de tension réglable de 12 à 15V
- une diode Zener de tension de Zener $U_z = 12V$
- trois résistors de résistance constantes $R_1 = R_3 = R_4 = 1k\Omega$.
- un résistor de résistance réglable R_2 (10, 20, et 30 kΩ)
- une diode électroluminescente D.E.L
- Deux transistors 2N1711.

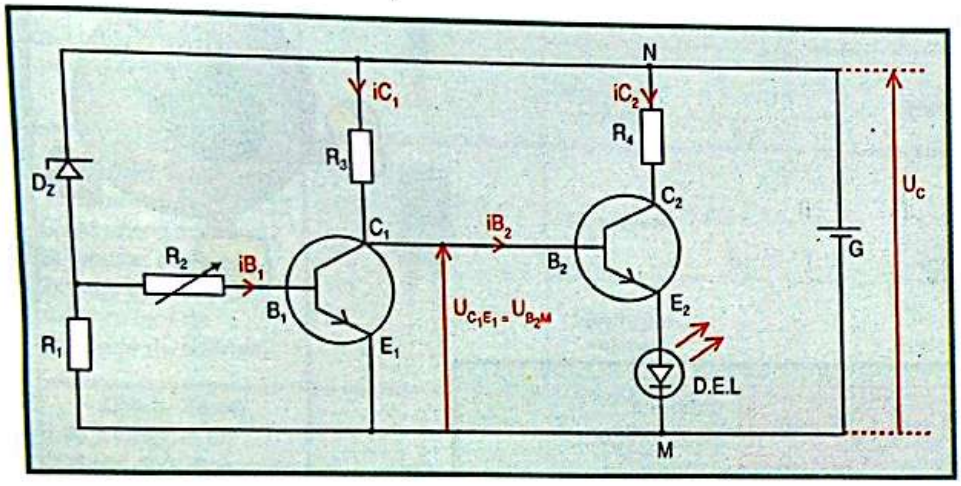


Fig. 25

Fonctionnement

- Quand $U_C = U_0 = 15V$ la D.E.L est éteinte. Toute diminution de U_C entraîne les diminutions de la tension aux bornes de R_1, du courant i_{B_1} et du courant i_{C_1}.
- La tension aux bornes de R_3 diminue aussi et la tension $i_{C_1E_1} = U_{B_2M}$ augmente ; l'augmentation de U_{C_2} qui en résulte provoque la luminescence de la D.E.L
- La valeur de U_C qui entraîne la luminescence, dépend de la résistance R_2 :

R_2 (kΩ)	30	20	10
U_C (V)	14,2	13,5	12,8
$U_0 - U_C$	0,8	1,5	2,2

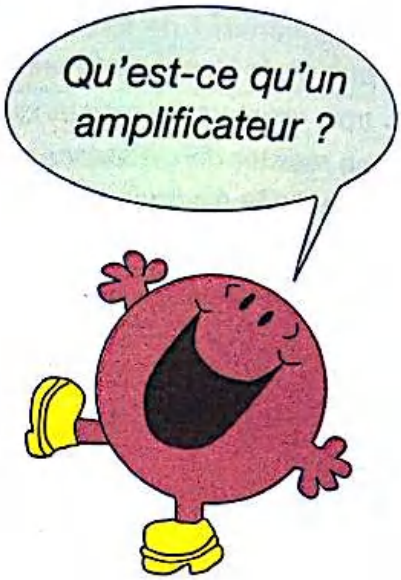
Le montage détecte une variation de U_C d'autant plus petite que R_2 est plus grande.



Scanned by CamScanner

Application :

Si la source placée entre N et M est une batterie d'accumulateurs, le montage permet d'alerter visuellement l'utilisation lorsque la tension U_C est devenue insuffisante pour assurer un usage correct (batterie déchargée).



c) Un poste récepteur radio :

Le montage du dispositif comprend :
- un générateur de tension (pile 4,5V)
- un écouteur téléphonique
- un rhéostat (MΩ)
- un conducteur ohmique
- un transistor
- un condensateur
- une diode
- une antenne
- un condensateur variable.

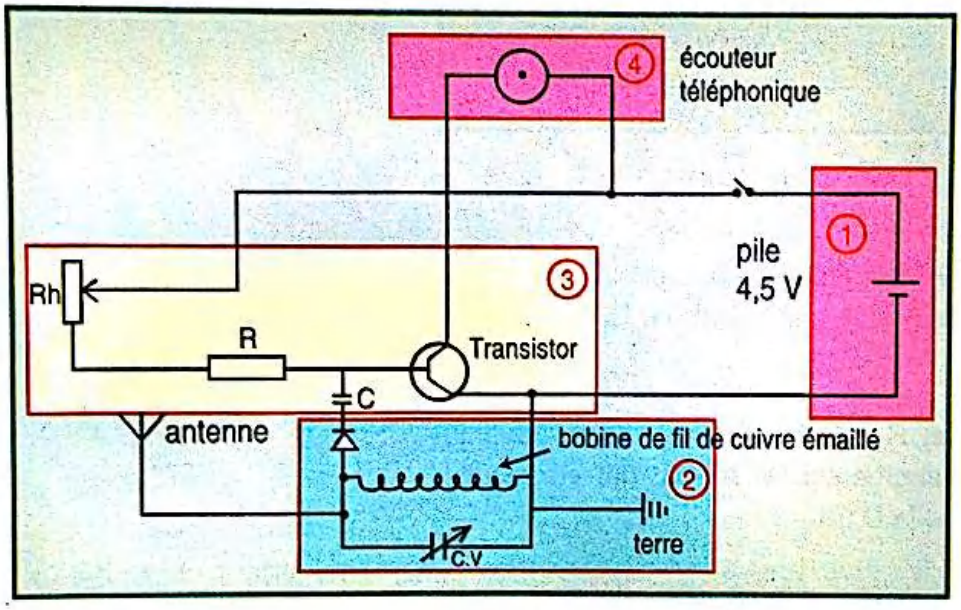


Fig. 26 Un poste récepteur radio

•• Un poste récepteur radio comprend :

(1) Une alimentation : une pile de 4,5V

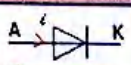
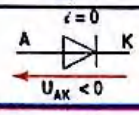
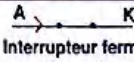
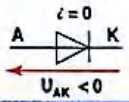
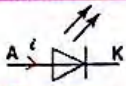
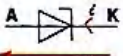
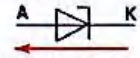
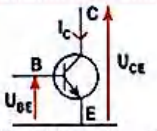
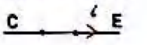
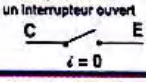
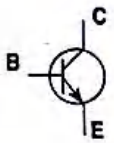
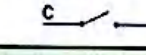
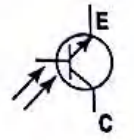
(2) Un capteur constitué d'une bobine de fil de cuivre émaillé, un condensateur réglable associé en parallèle, relié d'une part à la terre (éventuellement à une canalisation d'eau ou de gaz), d'autre part à une antenne constitué par un fil conducteur de plusieurs mètres de longueur et une diode.

(3) Un dispositif électronique **amplificateur** : en agissant sur le rhéostat (Rh) pour obtenir un bon fonctionnement de l'amplificateur (transistor ni bloqué, ni saturé) et sur le réglage du condensateur (c), l'écouteur téléphonique appareil d'utilisation transmet une émission radio.

Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Conducteur ; Isolant ; Semi-conducteur ; Dopage ; Semi-conducteur P ; Semi-conducteur N ; Diode ; Transistor (NPN et PNP) ; Thermistance ; Photorésistance ; Récepteur ; Amplificateur ; Collecteur ; Emetteur.

Composant	Photo	Mode de Fonctionnement	Modèle	représentation
Diode N'autorise le passage du courant que dans un seul sens.		Sens passant  $U_{AK} \geq 0$ $U_{AK} < 0$ $i = 0$ Sens inverse ou bloqué 	 Interrupteur fermé $U_{AK} = 0$  Interrupteur ouvert $U_{AK} < 0$	
Diode électro-luminescente (D.E.L) C'est une diode. mais la tension entre ses bornes est différente de zero lors du passage du courant.		Sens passant  $U_{AK} = 1,7\ V$ Sens Inverse ou bloqué  $i = 0$ $U_{AK} < 0$	 $U_{AK} = 1,7\ V$  Interrupteur ouvert $U_{AK} < 1,7\ V$	 D.E.L. rouge
Diode Zener Elle s'emploie en inverse donc passante. La tension entre ses bornes est constante et ne varie pas quelque soit l'intensité		Ne s'utilise qu'en sens inverse. La diode devient passant pour la tension Zener.  $U_{AK} < 0$	La tension Zener est indiquée sur le composant  U_{AK} = - tension Zener	
Transistor Lorsque U_{BE} atteint 0,7 V un transistor se comporte comme un interrupteur fermé entre ses bornes C et E.		 Si $U_{BE} = 0,7\ V$ $U_{CE} = 0$ Si $U_{BE} < 0,7\ V$ alors $I_C = 0$	U_{BE} = atteint 0,7 V  Le transistor se comporte comme un interrupteur fermé $U_{BE} < 0,7\ V$. Le transistor se comporte comme un interrupteur ouvert  $i = 0$	
Phototransistor C'est la lumière qui commande " l'interrupteur CE" (utilisé dans les télécommandes lumineuses).		Phototransistor éclairé : $U_{CE} = 0$ Phototransistor non éclairé : U_{CE} quelconque	Le phototransistor se comporte comme un interrupteur fermé  Le phototransistor se comporte comme un interrupteur ouvert 	

EVALUATION

**1°) Définir un transistor. Qu'est-ce un transistor NPN et PNP ?A quelle condition un transistor N.P.N. est-il bloqué ?*

2°) Qu'est-ce qu'une diode électroluminescente ? A quoi sert-elle dans le domaine des applications pratiques ?

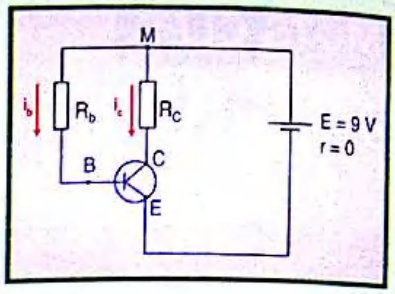
3°) La D.E.L. permet de déterminer le ..... d'un courant électrique. Dans le sens opposé au sens passant, la D.E.L. se comporte comme un ..... ouvert.

**4°) Quelles sont les fonctions essentielles qu'un transistor peut assurer dans un montage électronique ?*

**5°) Un récepteur radio et un électrophone utilise-t-ils le même type de capteur ? Si non, quel est le capteur utilisé dans chaque appareil et préciser son rôle.*

Scanned by CamScanner

EXERCICE RESOLU



Considérons un transistor NPN au silicium placé dans un circuit figure ci-contre :
Alimenté par un générateur maintenant entre ses bornes une tension constante de 9V. Pour $R_c = 1k\Omega$ $R_b = 290\ k\Omega$ $\beta = 150$ *et* $U_{BE} = 0,5$ *V. Calculer* i_b, i_c *et* U_{CE}

Solution

Nous avons $U_{ME} = U_{MB} + U_{BE}$ avec $U_{ME} = 9V$; $U_{MB} = R_b \times i_b$; $U_{BE} = 0,5V$

D'où $9 = 290.10^3.i_b + 0,5 \Rightarrow i_b = 29,3$ mA

Calculons i_c : on a $i_c = \beta i_b = 150 \times 29,3.10^{-6} = 4,39.10^{-3}$ A = 4,39 mA

Ainsi $U_{CE} = U_{ME} - U_{MC} = 9 - R_c.\ i_c = 9 - 10^3 \times 4,39.10^{-3} = 4,61$ V

Réponses aux questions d'évaluation précédées d'une « * »

1°) cours. Un transistor N.P.N. est bloqué si la tension positive U_{BE} entre la base et l'émetteur reste inférieure à un certain seuil (de l'ordre de 0,4V). Le transistor est également bloqué si la tension U_{BE} est négative.

2°) cours. La DEL est utilisée pour l'affichage numérique.

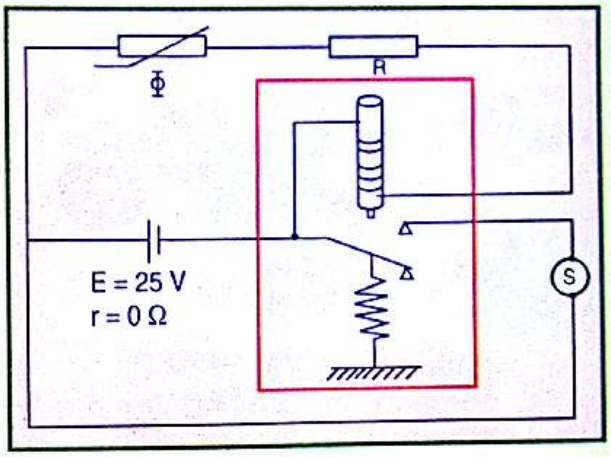
4°) Le transistor joue le rôle d'un interrupteur commandé (fermé si le transistor est conducteur et ouvert s'il est bloqué). Il peut jouer aussi le rôle d'un amplificateur dans le domaine où il n'est pas saturé.

5°) Pour la radio : une antenne : simple fil métallique qui capte les signaux reçus simultanément par plusieurs stations différents. Le tri se fait grâce à **un circuit d'accord**. C'est l'opération que l'on effectue lorsqu'on tourne le bouton qui commande la recherche de la station d'émission. Pour l'électrophone : le capteur est une aiguille dure en saphir ou en diamant (dans les appareils classiques) dont la pointe parcourt le sillon gravé sur le disque. Le passage de la pointe dans le creux du sillon, dont le profit est caractéristique du son à reproduire, fournit à la tête de lecture une information.

Scanned by CamScanner

EXERCICE

On veut utiliser une photo résistance pour déclencher une sirène de forte puissance dont le point de fonctionnement est (25V, 5A). La photo résistance a une résistance de 145kΩ dans la pénombre et de 375Ω lorsqu'elle est éclairée ; l'intensité limite à ne pas dépasser est de 18 mA.



1°) *Pourquoi n'est-il pas possible d'associer simplement la photo résistance et la sirène en série ?*

2°) *On utilise un relais selon le montage schématisé sur la figure ci-contre :*
Ses tensions de désenclenchement U_d et d'enclenchement U_c sont respectivement 3,5 V et 4 V. La résistance de la bobine est r = 295 Ω. Comment choisir la résistance R du conducteur ohmique pour un fonctionnement correct du dispositif ?

Scanned by CamScanner

MAGNÉTISME ET ELECTROMAGNÉTISME







INTRODUCTION

L'histoire du magnétisme commence en Asie Mineure au VI e siècle av.J.C.
Le premier aimant connu fut un minéral d'origine naturelle, la magnétite. Les mineurs de Magnésie du Méandre (colonie grecque en Asie Mineure actuelle Turquie) étonnaient les gens avec un pouvoir « surnaturel » qui consistait à soulever des anneaux en fer avec cet étrange minerai de fer nommé « pierre de Magnésie ».

Le mot français « magnétique » provenant du latin « magnéticus » (en grec : magnês lithos) fut son apparition vers 1617.

L'électromagnétisme a environ 150 ans. On a en effet réalisé seulement vers 1820-1850 que l'électricité et le magnétisme, deux phénomènes connus depuis longtemps mais considérés comme différents étaient en fait liés entre eux et devaient être décrits par une même théorie.

L'électromagnétisme a été découvert par Oersted, physicien Danois (en 1819).
Le 11 septembre 1820, Arago communiqua la description des expériences d'Oersted à l'Académie des Sciences de Paris.

Le lundi suivant, André Marie Ampère, physicien français expliquait les phénomènes magnétiques et établissait leurs lois.
L'électromagnétisme était né.

Scanned by CamScanner

1 CHAMP MAGNÉTIQUE

PRÉALABLES

Vecteurs
- Définition.
- Caractéristiques.

Forces
- Définition.
- Caractéristiques.
- Unités de forces, ses multiples et ses sous-multiples.

OBJECTIFS

- décrire l'action d'un aimant sur le fer, sur un autre aimant
- caractériser l'aimant par ses pôles
- définir le champ magnétique
- donner les caractéristiques (point d'application, ligne d'action, sens et intensité) du vecteur champ magnétique
- définir une ligne de champ
- représenter les spectres magnétiques d'un aimant droit, d'un aimant en U
- définir un champ magnétique uniforme
- décrire une expérience mettant en évidence l'existence du champ magnétique terrestre
- décrire la boussole.

Scanned by CamScanner

1. LES AIMANTS

1-1 GÉNÉRALITÉS

Les pierres d'aimant sont connues depuis la haute antiquité comme possédant deux propriétés essentielles : elles **attirent des morceaux de fer** (clou, limaille) et peuvent **s'orienter** à la surface de la Terre lorsqu'on les rend capables de tourner autour d'un axe.
Ces pierres sont des morceaux d'oxyde de fer Fe_3O_4, appelé **oxyde magnétique de fer** et sont des aimants naturels.
Le **magnétisme** est l'ensemble des phénomènes qui se rattachent à ces deux propriétés. Un aimant est un corps doué de propriétés magnétiques. Le magnétisme existe à l'état naturel pour cinq éléments seulement : le **fer**, le **cobalt**, le **manganèse**, le **gadolinium**, le **dysprosium** ainsi que pour de nombreux alliages de ces métaux.
Un barreau d'acier ne possède pas de propriétés magnétiques, mais il acquiert temporairement les propriétés des aimants lorsqu'on le frotte, toujours dans le même sens, avec un aimant naturel.
Les points de l'aimant où se manifestent les phénomènes d'attraction sont appelés les **pôles** de l'aimant.
Pour l'usage usuel et scientifique les pierres d'aimant sont taillées pour donner des aimants artificiels de formes géométriques variées : barreau aimanté (aimant droit), aiguille aimantée en forme de losange très allongé (souvent mobile sur pivot vertical et formant une boussole), aimant en U (ayant la forme de la lettre U majuscule), etc.
Ces aimants possèdent **deux pôles** (Fig.1).
Un aimant artificiel, mobile et en l'absence de toute autre substance ferromagnétique s'oriente toujours de la même manière : une des extrémités se dirige toujours vers le pôle nord tandis que l'autre indique le pôle sud.
L'extrémité dirigée vers le **pôle nord** est le pôle Nord de l'aimant ; l'autre le **pôle Sud**. Les pôles sont indiqués sur les aimants par les lettres **N** et **S**, gravées sur les extrémités et/ou par les colorations : rouge pour le pôle Sud, bleu pour le pôle Nord (Fig.1).

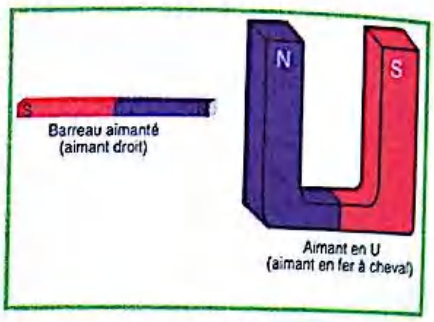


Fig.1



OErsted Jean-Christian (1777-1851) chimiste, physicien et homme de lettres Danois

Remarque
Lorsqu'on brise un aimant en deux morceaux, chaque morceau se comporte comme un aimant complet présentant deux pôles NS' et N'S. On peut répéter cette expérience autant de fois que l'on veut, on obtient toujours pour chaque fragment autant d'aimants complets.
Cela veut dire qu'il est impossible de séparer les pôles d'un aimant et que si l'aimantation ne se manifeste qu'aux pôles, **toute la matière est aimantée.**

1-2 ACTION D'UN AIMANT SUR UN AIMANT

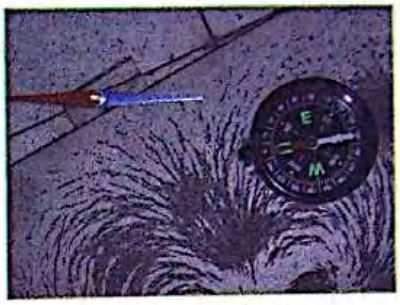
Lorsqu'on approche un pôle d'un aimant d'une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical on constate une rotation de l'aiguille aimantée de telle sorte à présenter au pôle de l'aimant approché son pôle de nom contraire à celui de l'aimant.
On peut constater que l'aiguille aimantée amorcera un mouvement de rotation lorsqu'on effectue par l'aimant un mouvement de rotation de



Aiguille aimantée sur pivot

Scanned by CamScanner

telle sorte que les pôles de noms contraires se retrouvent face à face. En faisant subir à l'aimant une rotation brusque, rapide de telle manière à vouloir présenter son autre pôle à l'aiguille aimantée, celle-ci tourne instantanément et présente au pôle de l'aimant son pôle de nom contraire.
On en déduit que deux aimants exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction ou de répulsion.
Les pôles de même nom se repoussent ; les pôles de noms contraires s'attirent.



Mise en évidence des Champs magnétiques

2. NOTION DE CHAMP MAGNÉTIQUE

2-1 MISE EN ÉVIDENCE

a) Expérience

Un aimant placé au voisinage d'un autre aimant subit une force d'attraction ou de répulsion. On dit que l'aimant crée autour de son voisinage un champ magnétique.
Ce champ est détecté et mis en évidence par un autre aimant.

b) Conclusions

- Les aimants créent des champs magnétiques dans leur voisinage.
- Les aimants subissent des forces quand ils sont placés dans des champs magnétiques.
- Un aimant est à la fois un détecteur et une source de champ magnétique.



Champ magnétique

c) Définition

On appelle champ magnétique ou induction, l'espace (la région, la zone) dans lequel s'exercent des forces magnétiques (un détecteur magnétique est soumis à une force).
Comme tous les champs (champ de gravitation, champ électrostatique, etc.) le champ magnétique est caractérisé en un lieu par un vecteur champ magnétique et noté couramment $\vec{B}$ ou $\vec{H}$.

d) Caractéristiques du vecteur champ magnétique

La direction du vecteur champ en un point de l'espace est la direction prise par une aiguille aimantée mobile placée en ce point. Son sens est celui du bipoint qui va du pôle Sud vers le pôle Nord de l'aiguille aimantée. Son intensité est B et s'exprime en Tesla (T).

2-2 LIGNES DE CHAMP (Fig.2)

a) Définition

On appelle ligne de champ, la courbe tangente en chacun de ses points au vecteur champ magnétique, orientée dans le sens de celui-ci. La ligne de champ passant par le point G est tangente à l'axe d'une aiguille aimantée mobile placée en G et a le sens de S vers N.

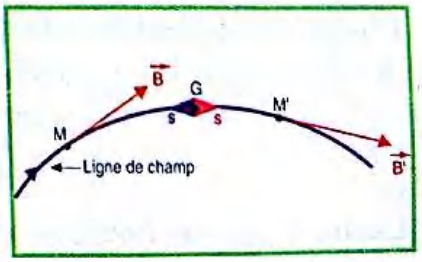


Fig.2

Scanned by CamScanner

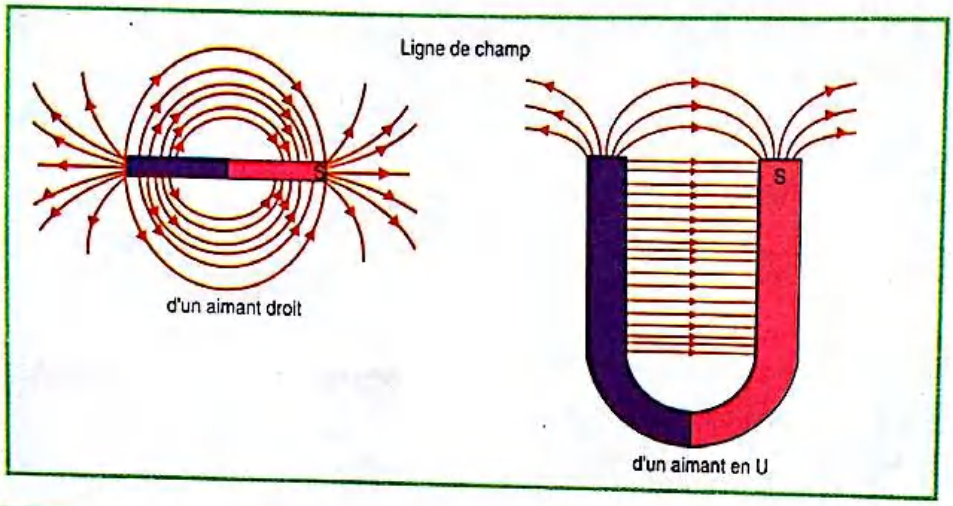
Lorsque les lignes de champ sont des droites parallèles, le champ est dit uniforme : le vecteur induction magnétique a même direction, même sens et même intensité en tout point de l'espace champ (Fig.2) : le champ entre les entre-fers d'un aimant en U est uniforme).



Fig 3

b) Topographie d'un champ magnétique

On peut en général matérialiser l'ensemble des lignes de champ appelé spectre magnétique d'un aimant en le plaçant sur un plan sur lequel a été préalablement étalé uniformément une mince couche de poudre (ou de limaille) de fer. La poudre de fer se rassemble en lignes de champ.



2-3 CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

a) Existence

Une aiguille aimantée mobile en dehors de tout autre champ s'oriente de telle manière à indiquer les pôles sud et nord de la Terre. Ceci prouve qu'autour de la Terre règne un champ magnétique appelé champ terrestre et qui est extrêmement utile à la navigation et à l'orientation.

b) Caractéristiques générales du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique terrestre est approximativement celui que créerait un aimant droit au centre de la Terre et dont l'axe serait incliné de $\theta = 11{,}5°$, par rapport à l'axe de rotation de la Terre (axe Nord – Sud géographique).

Le vecteur champ terrestre $\vec{B}_T$ en un point de la Terre est incliné par rapport à l'axe de rotation (axe des pôles) de la Terre.

L'angle D séparant les méridiens magnétique (plan défini par le point et le vecteur $\vec{B}_T$) et géographique (plan vertical passant par les pôles nord et sud) est appelé déclinaison magnétique.

La déclinaison varie avec le lieu, le temps et les conditions climatiques du lieu.

L'angle Î, que fait l'induction terrestre $\vec{B}_T$ avec le plan horizontal du lieu, est appelé inclinaison.

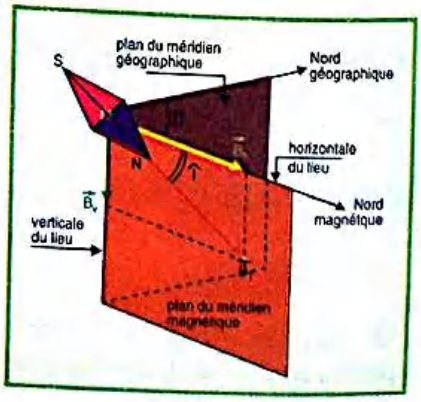


Fig.4

Scanned by CamScanner

c. Intensité de l'induction terrestre

Dans le méridien magnétique on peut décomposer le vecteur champ magnétique $\vec{B}_T$ en deux vecteurs : $\vec{B}_V$ composante verticale et $\vec{B}_h$ composante horizontale. $\vec{B}_T = \vec{B}_v + \vec{B}_h$.

La composante $\vec{B}_h$ est à l'origine des oscillations et de l'orientation de l'aiguille aimantée tandis que la composante $\vec{B}_v$ tend à abaisser le pôle Nord de l'aiguille. Son action peut être compensée par déplacement du centre de gravité de l'aiguille.

L'intensité B_h de $\vec{B}_h$ varie très peu avec le lieu et on a $\mathbf{B_h = 2.10^{-5}\ T}$.

Connaissant l'inclinaison $\hat{I}$ du lieu, on peut calculer la valeur de l'intensité B_T de $\vec{B}_T$: $\mathbf{B_h = B_T \cos \hat{I}}$.

Ainsi à Paris $\hat{I} = 64°$ et $B_h = 4{,}5.10^{-5}$ T.



3. LA BOUSSOLE

En 1303, un pilote de Positano, Flavio Gioia, imagine de mettre un aimant dans une boîte après l'avoir muni d'un pivot vertical, d'où de bossolo, puis, boîte.

La boussole est un instrument qui indique le nord magnétique à l'aide d'une aiguille aimantée mobile, fixée au centre d'un cadran.

La boussole permet, connaissant la déclinaison du lieu, de déterminer la direction du nord géographique et par conséquent de s'orienter.



Une boussole



Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Aimant ; pôles d'un aimant ; pôle sud ; pôle nord ; champ magnétique ; ligne de champ ; intensité d'un champ magnétique ; vecteur induction magnétique ; boussole.

EVALUATION

1°) - Qu'est-ce un champ magnétique ? Donner les caractéristiques d'un vecteur champ magnétique.

- Comment sont les lignes de champ d'un champ uniforme ?

- Le vecteur champ est-il constant ?

2°) - Décrire l'action d'un aimant sur un aimant.

- Quel est le moyen le plus simple pour reconnaître la face nord ou la face sud d'un aimant ?

- Le champ est-il plus intense au pôle nord ou au pôle sud d'un aimant droit ?

3°) Décrire une expérience mettant en évidence le champ magnétique terrestre, et donner ses caractéristiques générales.

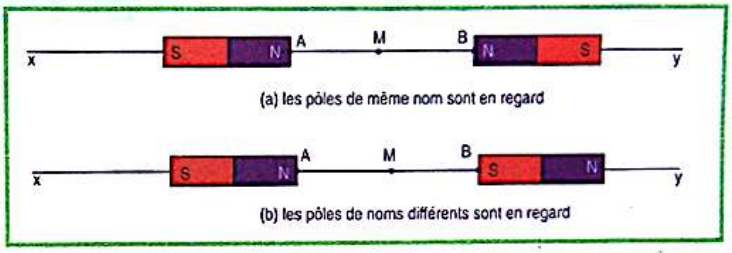
4°) Décrire une boussole et citer deux de ses applications.

- Une boussole est-elle suffisante et nécessaire pour s'orienter sur la Terre ?

Scanned by CamScanner

EXERCICE RESOLU

Deux aimants droits identiques sont placés sur un même axe en deux points A et B comme l'indique les figures (a) et (b).



Le champ magnétique $\vec{B}$ créé par chacun d'eux en un point M, milieu du segment AB a une intensité B = 0,03T.

Déterminer le sens, la direction et l'intensité du vecteur champ magnétique résultant au point M dans chacun des cas.

Solution

(a) $B_M = 0$ T

(b) $B_M = B_A + B_B = 0{,}06$ T

Faites la représentation de $\vec{B}_M$

Scanned by CamScanner

2 CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE

PRÉALABLES

- Action d'un aimant sur un aimant.
- Champ magnétique : définition, caractéristiques.
- Source et détecteur de champ magnétique (exemple).
- Lignes de champ : définition.
- Champ uniforme : définition.
- Champ magnétique terrestre : composantes et actions sur l'aiguille aimantée.

OBJECTIFS

- décrire l'expérience d'Œrsted
- citer les caractères généraux des champs créés par les courants
- citer les caractéristiques du champ créé par un courant rectiligne, par une spire, par une bobine, par un solénoïde
- définir un courant rectiligne, un courant circulaire
- écrire les expressions des intensités des champs magnétiques créés par un courant circulant dans un conducteur rectiligne, une spire, une bobine, un solénoïde
- représenter sur un schéma les vecteurs champ créés par un courant en un lieu donné
- indiquer sur un schéma les faces sud et nord d'une bobine, d'un solénoïde, parcourus par un courant

Scanned by CamScanner

1. MISE EN ÉVIDENCE DU CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR UN COURANT

1-1 EXPÉRIENCE D' ŒRSTED (1819) (Fig.1)

A l'absence de courant et de toute autre source de champ magnétique (autre que celle de la Terre) un fil conducteur est placé parallèlement au-dessus d'une aiguille aimantée mobile autour de son pivot vertical. La direction commune fil conducteur – aiguille aimantée et le sens de l'aiguille, indiquent alors les direction et sens de la composante horizontale de l'induction terrestre au point où se trouve l'aiguille aimantée (Fig.1a et 1b).

Lorsqu'on fait circuler un courant dans le fil conducteur on constate que l'aiguille aimantée dévie (Fig.1c).

On en déduit que le passage du courant crée au voisinage du fil conducteur un champ magnétique qui se superpose à celui du champ terrestre local.

On peut facilement vérifier les faits suivants :

Lorsqu'on supprime le courant dans le fil conducteur, l'aiguille revient à sa position d'équilibre (après quelques oscillations).

Lorsqu'on inverse le sens du courant, l'aiguille dévie en sens inverse.

La déviation de l'aiguille augmente lorsqu'on augmente l'intensité du courant dans le fil conducteur.

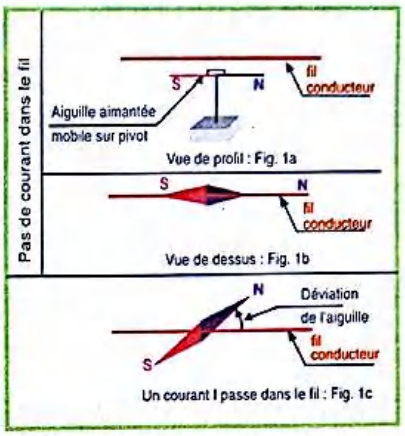
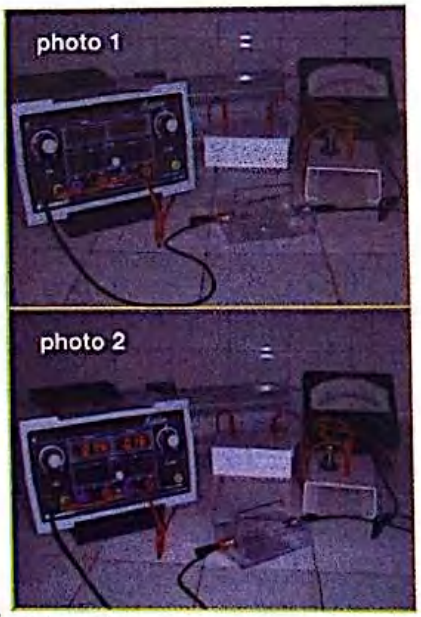


Fig.1

Conclusion :

Le passage d'un courant crée au voisinage de ce courant un champ magnétique.

Un aimant et un courant sont des sources (et des détecteurs) de champs magnétiques.



Photo(1) : pas de courant
(2) rotation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un courant électrique

1-2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRAUX DES CHAMPS MAGNÉTIQUES CRÉÉS PAR LES COURANTS

Le vecteur champ magnétique créé par un courant est tel que :

- son point d'application est le point de l'espace où l'on veut déterminer le champ au voisinage du courant ;
- sa direction est perpendiculaire au plan formé par le courant (ou le conducteur) et le point où on veut déterminer le champ ;

son sens est donné par la règle du bonhomme d'Ampère :

- le bonhomme est couché sur le fil, le courant lui entrant par les pieds et lui sortant par la tête ;
- il regarde le point où on veut déterminer le champ ;
- le sens du vecteur champ est dirigé vers sa gauche (tendue).

Scanned by CamScanner

2. CHAMPS MAGNÉTIQUES CRÉÉS PAR LES COURANTS



On peut en général matérialiser les spectres magnétiques des champs magnétiques créés par les différentes sortes de courant. Il suffit de disposer d'un plan P convenablement disposé par rapport au circuit et sur lequel est étalée uniformément une mince couche de poudre (ou de limaille) de fer.
Au passage du courant dans le circuit la poudre de fer se rassemble en ligne de champ et des caractères généraux d'un champ créé par un courant on déduit le vecteur champ magnétique au point considéré.

2-1 COURANT RECTILIGNE :

Lorsque le conducteur dans lequel circule le courant a la forme d'une droite le courant est dit rectiligne.

Induction magnétique créée par un courant rectiligne.

Le spectre magnétique met en évidence des lignes de champ circulaires centrées au point où le fil perce le plan horizontal (Fig.2). Le champ créé par un courant d'intensité I au voisinage d'un conducteur rectiligne en un point M distant de d du fil a pour intensité dans le vide (ou dans l'air) :

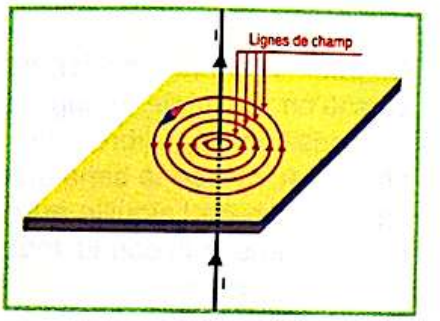


Fig.2

$$B = 2.10^{-7} \frac{I}{d}$$

Cette intensité est proportionnelle à l'intensité I du courant et inversement proportionnelle à la distance d du point M au fil.
Ainsi au centre du fil on peut écrire d = 0 et le champ infini ($B \to \infty$) et pour $d \to \infty$ on a B = 0.



Scanned by CamScanner

EXERCICE D'APPLICATION

(1.) *Soit un fil vertical f de très grande longueur (Fig.3).*

1. *Quelles sont les caractéristiques du champ magnétique créé par le fil s'il est parcouru par un courant d'intensité I = 15 A, de sens ascendant, en un point M situé à la distance d = 3 cm du fil (d = OM, O étant l'intersection du fil f avec le plan horizontal P passant par M).*
   La droite passant par OM est dirigée suivant un axe Sud-Nord, M étant vers le Nord.
2. *On place en M une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical.*
   Comment est orientée la petite aiguille aimantée ?
   a. Si le fil f n'est parcouru par aucun courant ?
   b. Si le fil f est parcouru par le courant I de la question 1 ?

On donne la composante horizontale de l'induction magnétique terrestre $B_h = 2.10^{-5}$ T.

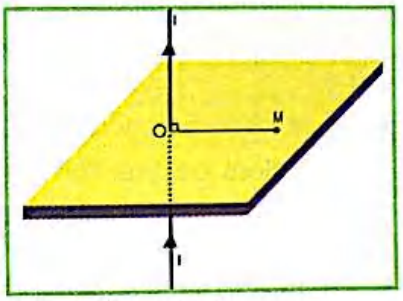


Fig.3

Solution

1. Caractéristiques du vecteur champ $\vec{B}_f$

Le champ magnétique est le champ créé par un courant rectiligne. Ses caractéristiques sont :

- Son point d'application est le point M.
- Sa direction est perpendiculaire au plan formé par le fil f et le point M. Ce plan étant vertical est dans le plan P.
- Son sens est lié à la position du point M et au sens du courant I par la règle du bonhomme d'Ampère : ce dernier est donc « debout sur le fil », le courant lui entre par les pieds et lui sort par la tête, il regarde le point M, sa main gauche tendue indique le sens de $\vec{B}$ (Fig.4a).

On en déduit ici que le champ $\vec{B}$ est rentrant ou fuyant.

On le représente au point M par un cercle à l'intérieur duquel on a placé une croix ⊗.



Son intensité est donnée par la relation $B = 2.10^{-7} \frac{I}{d}$.

Pour I = 15 A et $d = 3.10^{-2}$ m on trouve $B_f = 1.0 \times 10^{-4}$ T.

On a le choix entre les représentations des figures.4a et 4b.

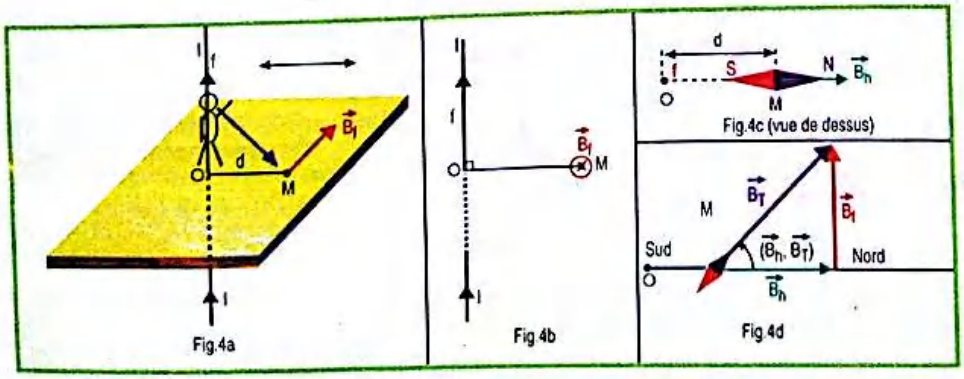


Fig. 4

Scanned by CamScanner

Remarque
On représente le champ sortant par un cercle à l'intérieur duquel, on a placé un point : ⊙.



2. Orientation de l'aiguille aimantée :

a. Le fil n'est parcouru par aucun courant $I = 0 \Leftrightarrow B_f = 0$: l'aiguille indique alors les direction et sens de la composante horizontale $\vec{B}_h$ du champ magnétique terrestre c'est-à-dire les direction et sens du vecteur $\overrightarrow{OM}$ (Fig.4c).
b. I = 15 A : l'aiguille aimantée en plus de la composante horizontale $\vec{B}_h$ du champ magnétique terrestre est soumise à l'action du champ magnétique $\vec{B}_f$ créé par le courant I dans le fil.
Elle s'oriente suivant les direction et le sens du vecteur champ résultant $\vec{B}_T$ tel que $\vec{B}_T = \vec{B}_f + \vec{B}_h$. De la position initiale de $\vec{B}_h$ l'aiguille tourne donc de l'angle orienté $(\vec{B}_h, \vec{B}_T)$ (Fig.4d).
La direction du champ $\vec{B}_f$ est perpendiculaire à la droite OM puisque perpendiculaire au plan formé par le fil et le point M, on en déduit que $\vec{B}_f \perp \vec{B}_h$ et que le triangle obtenu par la construction de la résultante est rectangle ($\vec{B}_T$ étant l'hypoténuse du triangle rectangle).
L'angle $(\vec{B}_h, \vec{B}_T)$ dont a tourné l'aiguille est donc tel que :

$$\text{tg}\,(\vec{B}_h,\vec{B}_T) = \frac{B_f}{B_h}.$$

Application numérique : $B_f = 1.0 \times 10^{-4}$ T, $B_h = 2.10^{-5}$ T
on trouve $\mathbf{(\vec{B}_h,\vec{B}_T) = 78{,}7°}$

2-2 COURANT CIRCULAIRE

a) Spire

Lorsque le conducteur dans lequel circule le courant a la forme d'un cercle le courant est dit circulaire et le conducteur est appelée une spire (circulaire).
Une spire peut avoir la forme d'un cercle ou la forme d'un rectangle (ou d'un carré).
Le plan de la figure géométrique de la spire est appelé plan de la spire.

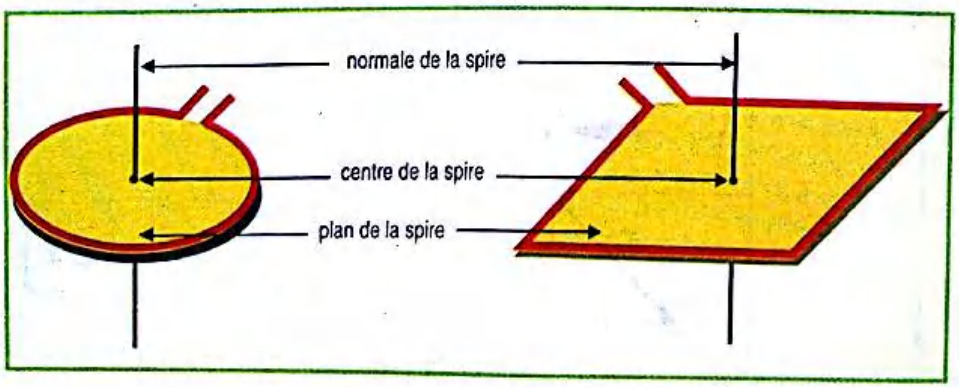


Fig. 5 Plan et normale de spires circulaire et rectangulaire disposées horizontalement

Scanned by CamScanner

Dans les cas des spires circulaire et rectangulaire la normale est l'axe de la spire (la droite perpendiculaire au plan de la figure géométrique et passant par le centre).

Induction magnétique créée par une spire parcourue par un courant I :

La direction du vecteur champ magnétique $\vec{B}$ créé par un courant à travers une spire sera déterminée par rapport à la direction de la normale ou par rapport au plan de la spire.

On ne s'intéressera qu'au champ créé à l'intérieur de la spire et surtout en son centre.

Le vecteur champ magnétique créé au centre d'une spire est perpendiculaire au plan de la spire ou parallèle à l'axe de la spire.

Les lignes de champ s'incurvent en arc de cercle au voisinage du fil conducteur (Fig.6).

L'intensité de l'induction magnétique créée en un point quelconque n'a pas une expression simple.

On démontre qu'au centre d'une spire circulaire le vecteur induction magnétique est normale au plan de la spire (ou parallèle à l'axe de la spire).

L'intensité B de l'induction au centre de la spire est $B = 2\pi.10^{-7}\frac{I}{R}$ dans le vide (et sensiblement dans l'air) avec I l'intensité du courant dans la spire et R le rayon de la spire.

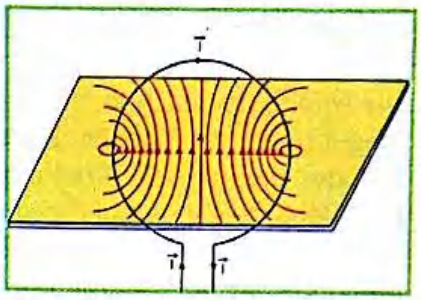


Fig.6 Lignes de champ à l'intérieur d'une spire (ou d'une bobine plate)

b) Bobine (circulaire)

Plusieurs spires juxtaposées constituent une bobine plate ou tout simplement bobine.

La bobine est constituée d'un fil conducteur (recouvert de vernis isolant) et régulièrement enroulé. Chaque enroulement est une spire.

Les spires sont dites jointives lorsqu'elles se touchent (il n'y a entre les spires voisines que l'espace occupé par l'épaisseur du vernis isolant). Dans le cas contraire les spires ne sont pas jointives.

Une bobine est caractérisée par le nombre N de spires qu'elle contient.

Les lignes de champ d'une bobine circulaire plate pénètrent à l'intérieur de la bobine par la face devant laquelle il faut se placer pour voir le courant tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.

La face devant laquelle il faut se placer pour voir le courant tourner dans le sens des aiguilles d'une montre est la face sud de la bobine, l'autre est la face nord.

Une aiguille aimantée placée au centre de la bobine parcourue par un courant (en dehors de toute autre source de champ) s'oriente selon l'axe de la bobine.

On en déduit qu'au centre de la bobine l'induction est normale au plan de la bobine et se dirige de la face sud vers la face nord de la bobine.

Son intensité au centre de la bobine est $B = 2\pi.10^{-7}\frac{N.I}{R}$, N désignant le nombre de spires de la bobine.

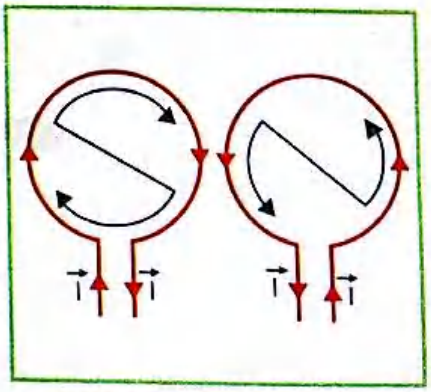


Fig.7 Faces Sud et Nord d'une spire, d'une bobine, d'un solénoïde

Scanned by CamScanner

c) Solénoïde

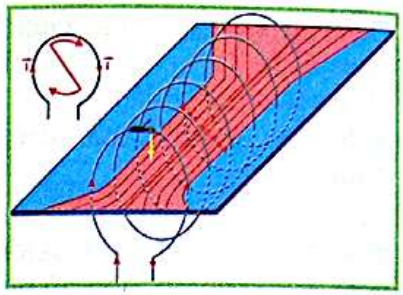
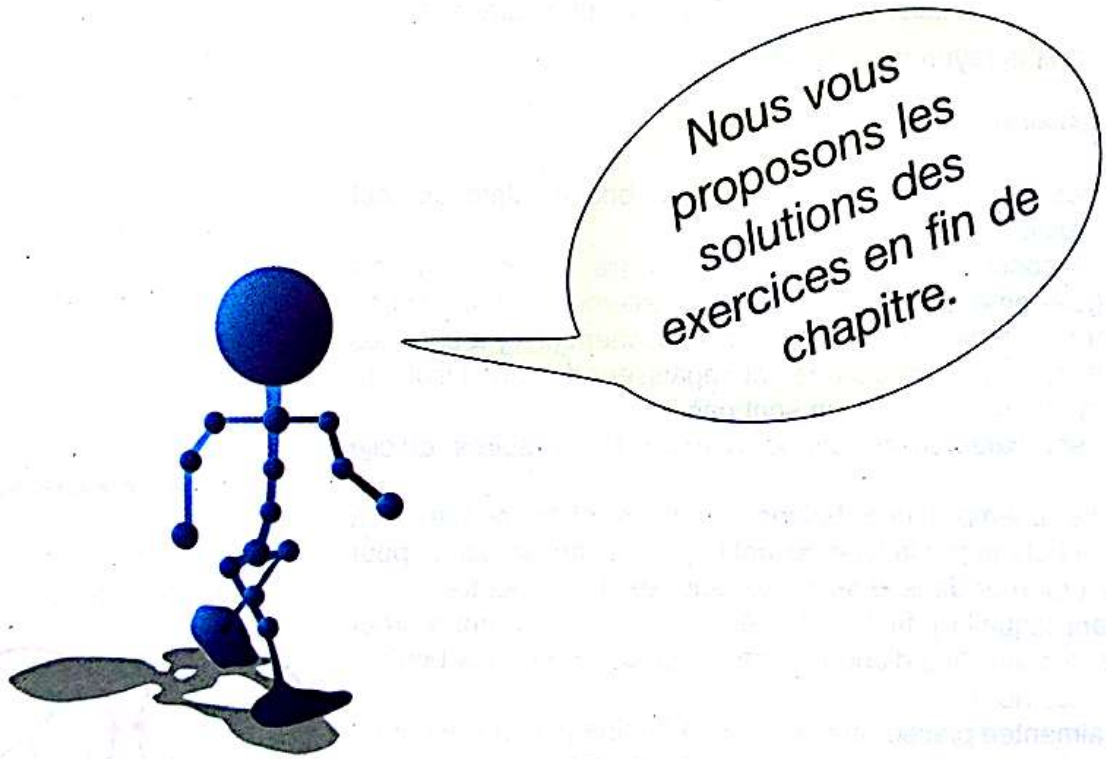


Fig.8 Spectre magnétique d'un solénoïde

Un solénoïde est une bobine dont le diamètre est faible devant la longueur. Il est constitué par un fil régulièrement enroulé sur un cylindre circulaire droit et long.
Le solénoïde est caractérisé par sa longueur l et son nombre de spires N. Lorsqu'on matérialise le spectre magnétique d'un solénoïde parcouru par un courant, on constate qu'à l'intérieur du solénoïde et loin des faces terminales, les lignes de champ sont des droites parallèles : à l'intérieur d'un solénoïde et loin des faces terminales, l'induction magnétique est uniforme.
À l'extérieur du solénoïde et à la sortie des faces terminales, les lignes de champ sont incurvées vers l'extérieur et se referment en englobant les spires du solénoïde (même aspect que les lignes de champ obtenues avec un barreau aimanté droit) (Fig.8).
Pour un solénoïde de longueur L, de nombre de spires N, parcouru par un courant d'intensité I la valeur de l'induction créée à l'intérieur du solénoïde a pour expression :

$$B = 4\pi.10^{-7}\,\frac{N.I}{L}.$$



Scanned by CamScanner

MOTS CLES

Bobine ; spire ; champ sortant ; champ rentrant ; solénoïde.

EVALUATION

1°) Décrire l'expérience d'Œrsted mettant en évidence le champ créé par un courant.

2°) Citer les caractéristiques du champ créé par un courant rectiligne, par une spire, par une bobine, par un solénoïde.

3°) Définir un courant rectiligne, un courant circulaire. Donner les expressions des intensités des champs magnétiques créés par un courant circulant dans un conducteur rectiligne, une spire, une bobine, un solénoïde.

4°) En voiture, lorsque l'on passe sous une ligne « haute tension » la réception radio contient des « parasites ». Pourquoi ? Expliquez.

Scanned by CamScanner

EXERCICES RESOLUS

(1) *Calculer l'intensité du champ créé à la distance d = 10 cm d'un fil parcouru par un courant d'intensité I = 30 A.*

Solution

Le champ créé par un fil parcouru par un courant d'intensité I à une distance d est donné par l'expression :

$B = 2.10^{-7} \frac{I}{d}$. Ici $I = 30$ A

$d = 10$ cm $= 10^{-1}$ m

alors $B = 2.10^{-7} \frac{30}{10^{-1}} = 2.10^{-7} . 30.10^{1} = 60.10^{-6}$ T $= 6.10^{-5}$ T

(2) *Quelle est l'intensité du courant rectiligne indéfini qui crée à 10 cm du fil une induction égale à 2.10^{-5} T.*

Solution

L'induction d'un courant rectiligne est donnée par l'expression : $B = 2.10^{-7} \frac{I}{d}$ où I est l'intensité du courant et d la distance du point considéré au fil.

$B = 2.10^{-7} \frac{I}{d} \Rightarrow I = \frac{B.d}{2.10^{-7}}$

A.N. :

$B = 2.10^{-5}$T

$d = 10$ cm $= 10^{-1}$ m

alors: $I = \frac{B.d}{2.10^{-7}} = \frac{2.10^{-5} \times 10^{-1}}{2.10^{-7}} = 10$ A $\Rightarrow$ $\underline{I = 10A}$

Scanned by CamScanner

EXERCICES

① *Un fil parcouru par un courant de 10 ampères est tendu horizontalement, parallèlement au méridien magnétique à 50 cm au-dessus d'une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical. Calculer la déviation de l'aiguille, sachant que la composante horizontale de l'induction magnétique est* $B_0 = 2.10^{-5} T$.

② *Une bobine plate circulaire comprenant N = 50 spires parallèles très voisines de rayon moyen R = 10 cm est parcourue par un courant de 20 A.*

Calculer l'induction magnétique au centre de cette bobine.

③ *Un solénoïde parcouru par un courant de 2 ampères a 50 cm de longueur et 10 cm de diamètre. Sachant qu'il est constitué de 200 m de fil conducteur enroulé régulièrement, calculer l'induction magnétique en son centre.*

Scanned by CamScanner

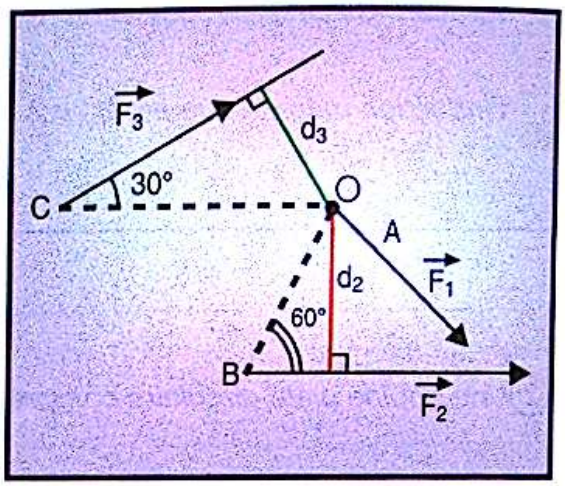
SOLUTIONS DES EXERCICES

I. STATIQUE

• Exercice 1

Le moment par rapport à un axe Δ d'une force $\vec{F}$, d'intensité F, dont la droite d'action est distante de l'axe de d s'écrit $\mathcal{M}_{F/\Delta} = F \times d$.

Pour la force $\vec{F}_1$, $d_1 = 0$ (la droite d'action de $\vec{F}_1$ rencontre l'axe) : le moment de cette force par rapport à Δ est nul $\mathcal{M}_{F_1/\Delta} = 0$.



Pour la force $\vec{F}_2$, $d_2 = OB \sin 60° = 10^{-1} \times \frac{\sqrt{3}}{2}$ m.

Le moment de cette force par rapport à Δ est :

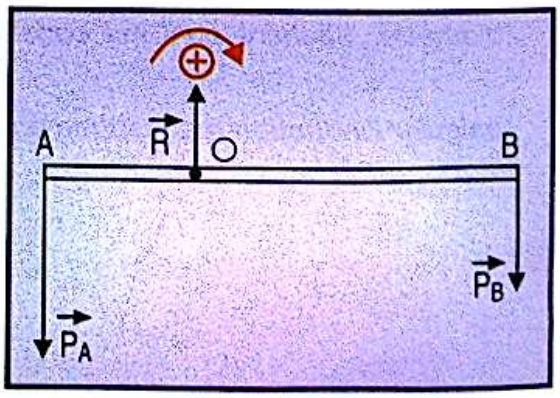
$$\mathcal{M}_{F_2/\Delta} = F_2 \times d_2 = 6 \times 10^{-1} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}52 \text{ N.m.}$$

Pour la force $\vec{F}_3$, $d_3 = OC \sin 30° = 1{,}5.10^{-1}$ m. Le moment de cette force par rapport à Δ est

$$\mathcal{M}_{F_3/\Delta} = F_3 \times d_3 = 4 \times 3.10^{-1} \times \frac{1}{2} = 0{,}60 \text{ N.m.}$$

• Exercice 2

1. La valeur de la masse m_B ?



Le système est la tige. Le milieu extérieur est constitué des deux masses m_A, m_B et de l'axe O (la masse de la tige étant négligeable, la terre ne fait pas partie du milieu extérieur).

La tige est donc soumise à trois forces $\vec{P}_A = m_A\vec{g}$, $\vec{P}_B = m_B\vec{g}$ et la réaction $\vec{R}$ de la tige, appliquées respectivement aux points A, B et C et dont les droites d'actions sont toutes verticales donc perpendiculaires à la tige en équilibre.

Scanned by CamScanner

Sachant que la tige est susceptible de rotation autour de O la condition d'équilibre du système est $\mathcal{M}_{\vec{P}_A/O} + \mathcal{M}_{\vec{P}_B/O} + \mathcal{M}_{\vec{R}/O} = 0$.

En choisissant comme sens positif de rotation le sens de rotation des aiguilles d'une montre, la condition d'équilibre devient $-P_A \times OA + P_B \times OB + 0 = 0$ (la droite d'action de la réaction de la tige rencontre l'axe de rotation).

On a alors $\boxed{m_B = m_a \times \frac{OA}{OB}}$.

Application numérique : OA = 25 cm, OB = 50 cm, m_A = 400 g et **m_B = 200 g.**

2. Nouvel équilibre et la position de C ?

La nouvelle masse en B est maintenant $m'_B = 100\ g < m_B = 200\ g$, ce qui veut dire que le nouveau moment $P_{B'} \times OB < P_B \times OB$ et donc que $P_{B'} \times OB < P_A \times OA$ il y'a déséquilibre et la tige va tourner du côté de l'extrémité A.

Il est donc possible de trouver sur OB un point C pour rétablir l'équilibre.

Position OC de C ?
La condition d'équilibre du nouvel équilibre revient à la relation :
$-P_A \times OA + P_C \times OC + P_{B'} \times OB = 0$ soit : $-m_A \times OA + m_C \times OC + m_{B'} \times OB = 0$

et $\boxed{OC = \frac{m_A \times OA - m_{B'} \times OB}{m_c}}$.

Application numérique :

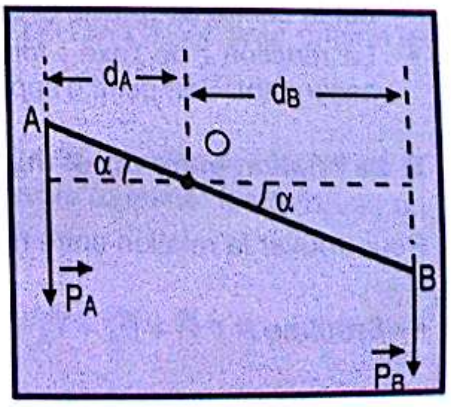
OA = 25 cm, OB = 50 cm, m_A = 400 g et $m_{B'}$ = 100 g.

$$OC = \frac{400.10^{-3} \times 25.10^{-2} - 100.10^{-3} \times 50.10^{-2}}{200.10^{-3}} = 10^{-2}\ \frac{4 \times 25 - 50}{2} = 25\ cm$$

3. La tige reste-t-elle en équilibre dans cette position ?

Les distances entre les droites d'action des forces $\vec{P}_A$ et $\vec{P}_B$ et l'axe de rotation sont maintenant d_A et d_B telles que $d_A = OA\cos\alpha$ et $d_B = OB\cos\alpha$.

Le rapport $\frac{d_A}{d_B} = \frac{OA}{OB}$ reste constant.



<u>La tige reste en équilibre dans la position α (équilibre stable ou indifférent).</u>

Scanned by CamScanner

• **Exercice 3**

1. Représentation des forces.

Système A : le milieu extérieur à A est composé du plan incliné, du fil et de la terre, par conséquent A subi trois forces :

- La réaction $\vec{R}$ du plan incliné (résultante des actions élémentaires de contact, repartie en surface) : force de direction perpendiculaire au plan incliné (les frottements sont nuls), de sens sortant (vers le haut). Son point d'application est le point G_A, centre de gravité des points de contact constituant la surface de contact.

- La tension $\vec{T}_A$ du fil (force de contact, localisée) : dont la ligne d'action est la direction du fil (direction de l'angle α) et dont le sens est rentrant dans le fil. Son point d'application est le point de contact du corps A et du fil.

- Le poids $\vec{P}_A$ de A (résultante des actions élémentaires à distance, repartie en volume) : force de direction verticale, de sens descendant. Son point d'application est le centre de gravité G_A de A.

Système B : le milieu extérieur à B est composé du fil et de la terre, par conséquent B subi deux forces :

- La tension $\vec{T}_B$ du fil : dont la ligne d'action est la direction du fil (direction verticale), de sens rentrant dans le fil et dont le point d'application est le point de contact b du corps B et du fil.

- Le poids $\vec{P}_B$ de B : force de direction verticale, de sens descendant. Son point d'application est le centre de gravité G_B de B.

Système poulie : le milieu extérieur à la poulie est constitué de la terre, des deux brins de fil, de l'axe de rotation O de la poulie. Par conséquent sur la poulie s'exercent quatre forces.

- La tension $\vec{T'}_A$ du fil (force de contact, localisée) : dont la ligne d'action est la direction du fil (direction de l'angle α) et dont le sens est rentrant dans le fil (vers A). Son point d'application est le point de contact de la poulie p et du fil.
- La tension $\vec{T'}_B$ du fil : dont la ligne d'action est la direction du fil (direction verticale), de sens rentrant dans le fil (vers B) et dont le point d'application est le point de contact du système (p, fil).
- Le poids $\vec{P}_p$ de p : force de direction verticale, de sens descendant. Son point d'application est le centre de gravité O de p.
- La réaction $\vec{r}$ de l'axe : force de direction verticale (les frottements sont nuls), de sens ascendant. Son point d'application est le centre de gravité O de p.

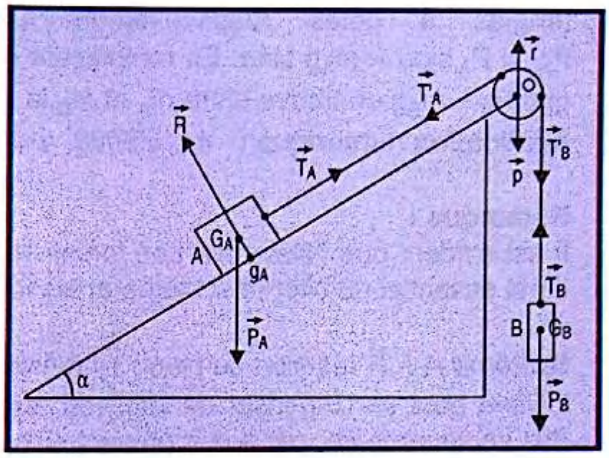
2. La relation entre m_A et m_B ?

Pour trouver la relation entre m_A et m_B, on écrit la condition d'équilibre du système.

- *Système A :* $\vec{R} + \vec{P}_A + \vec{T}_A = \vec{0}$

Scanned by CamScanner

- *Système B :* $\vec{P}_B + \vec{T}_B = \vec{0}$ (Les systèmes A et B ne sont pas susceptibles de tourner autour d'un axe ; la condition $\mathcal{M}_{\sum \vec{F}/\Delta} = 0$ n'est pas nécessaire).



- *Système poulie :* La poulie est susceptible de rotation autour de l'axe O et n'est pas susceptible de déplacement rectiligne, par conséquent sa condition d'équilibre est : $\mathcal{M}_{\vec{T}_B/O} - \mathcal{M}_{\vec{T}_A/O} = 0$ (On a adopté comme sens positif de rotation de la poulie le sens de chute du corps B et les moments de $\vec{p}$ et de $\vec{r}$ sont nuls car ces forces ont des lignes d'action qui rencontrent l'axe O).

Traduction des conditions d'équilibre par la méthode analytique.

- *Système A :* Le corps A est soumis à l'action de trois forces qui sont dans le même plan, le repère orthonormé choisi est alors à deux axes : $(\overrightarrow{G_Ax}, \overrightarrow{G_Ay})$ tel que l'axe $\overrightarrow{G_Ax}$ a pour origine le point G_A, sa direction est parallèle au plan incliné et son sens est le sens du vecteur-tension $\vec{T}_A$ (sens conforme au sens préalablement choisi) ; l'axe $\overrightarrow{G_Ay}$ a les direction et sens de la réaction $\vec{R}$. On a :

$$\text{o Selon l'axe } \overrightarrow{G_Ax} : \begin{cases} \text{Proj } \vec{P}_A/\overrightarrow{G_Ax} = -P_{AX} \\ \text{Proj } \vec{T}_A/\overrightarrow{G_Ax} = T_A \\ \text{Proj } \vec{R}/\overrightarrow{G_Ax} = 0 \end{cases} \Rightarrow T_A - P_{A_x} = 0 \ (1)$$

$$\text{o Selon l'axe } \overrightarrow{G_AY} : \begin{cases} \text{Proj } \vec{P}_A/\overrightarrow{G_Ay} = -P_{AY} \\ \text{Proj } \vec{T}_A/\overrightarrow{G_Ay} = 0 \\ \text{Proj } \vec{R}/\overrightarrow{G_Ay} = R \end{cases} \Rightarrow R - P_{A_y} = 0 \ (2)$$

(On retrouve le principe des actions réciproques).

- *Système B :* Le corps B est soumis à l'action de deux forces qui sont dans le même plan, le repère orthonormé choisi est alors à un axe : $(\overrightarrow{G_By})$ tel que l'axe $\overrightarrow{G_By}$ a pour origine le point G_B, ses direction et sens sont ceux de $\vec{P}_B$. On a selon cet axe $P_B - T_B = 0$ (3).

- *Système poulie :* $\mathcal{M}_{\vec{T}'_B/O} - \mathcal{M}_{\vec{T}'_A/O} = 0 \Rightarrow T'_B \times d - T'_A \times d = 0$ (4) avec d le rayon de la poulie. (4) donne $T'_A = T'_B$ (5) et sachant qu'un fil inextensible transmet les tensions on déduit $T'_A = T'_B = T_A = T_B = T$ (6).

Les relations suivantes : (1) devient $T - P_{A_x} = 0$ et (3) devient $P_B - T = 0$. En faisant (3) – (1) on obtient $P_B - P_{A_x} = 0$ (10).

Scanned by CamScanner

Remarquons que dans le repère $(\overrightarrow{G_Ax}, \overrightarrow{G_Ay})$ l'angle α du plan incliné est égal à l'angle $(\vec{P}, \vec{P}_{A_Y})$ (angles à côtés respectivement perpendiculaires) et par conséquent que $P_{Ax} = P_A \sin\alpha = m_A g \sin\alpha$. En remplaçant P_{Ax} par sa valeur dans la relation (10) et sachant que $P_B = m_B g$ on trouve entre m_A et m_B la relation $\mathbf{m_B = m_A \sin\alpha}$.
Application numérique : $m_A = 300g$, $\alpha = 30°$: $\mathbf{m_B = 150\ g}$.

Remarque :
Il est évident que l'élève n'a pas forcément besoin de faire une résolution autant détaillée. Il est essentiel de citer le système et les forces qui lui sont appliquées, par exemple écrire :

Système A : $\vec{R}$ réaction du plan ; $\vec{T}_A$ tension du fil; $\vec{P}_A$ poids de A, etc.
L'élève peut se dispenser de citer les caractéristiques (point d'application, direction, sens) des vecteurs-force, car une représentation schématique est généralement obligatoire ; il est tenu de préciser le ou les repères choisis.

- **Exercice 4**

Système M : $\vec{P}$ poids de M, $\vec{R}$ la réaction du plan incliné, $\vec{T}$ la tension du fil. Le mouvement susceptible de M est un mouvement rectiligne. La condition d'équilibre s'écrit donc : $\vec{P} + \vec{R} + \vec{T} = \vec{0}$.

On choisit comme sens positif celui qui fait monter M (et fait descendre M') et comme repère, le repère d'axes $(\overrightarrow{Gx}, \overrightarrow{Gy})$ (G centre de gravité de M).
Traduction de la condition d'équilibre dans le repère $(\overrightarrow{Gx}, \overrightarrow{Gy})$.

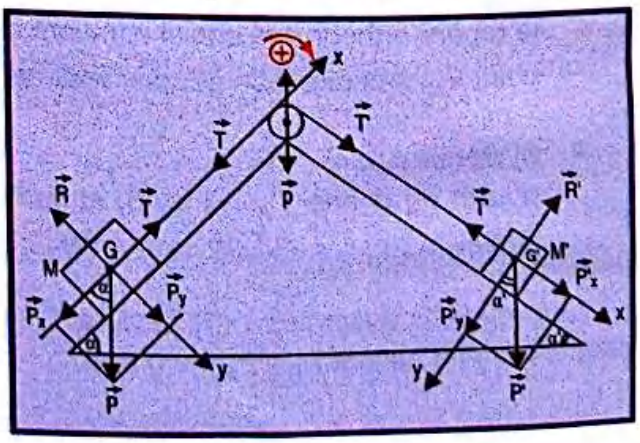
$$\vec{P}\begin{vmatrix} -P_x \\ P_y \end{vmatrix} + \vec{R}\begin{vmatrix} 0 \\ -R \end{vmatrix} + \vec{T}\begin{vmatrix} T \\ 0 \end{vmatrix} = \vec{0}\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}_{\overrightarrow{Gy}} \Leftrightarrow \begin{cases} -P_x + T = 0 \quad (1) \\ P_y - R = 0 \quad (2) \end{cases}$$

Système M' : $\vec{P'}$ poids de M', $\vec{R'}$ la réaction du plan incliné, $\vec{T'}$ la tension du fil. Le mouvement susceptible de M' est un mouvement rectiligne. La Condition d'équilibre s'écrit donc : $\vec{P'} + \vec{R'} + \vec{T'} = \vec{0}$.

On choisit comme repère, celui d'axes $(\overrightarrow{G'x}, \overrightarrow{G'y})$ (G' centre de gravité de M').
Traduction de la condition d'équilibre dans le repère $(\overrightarrow{G'x}, \overrightarrow{G'y})$.

$$\vec{P'}\begin{vmatrix} P'_x \\ P'_y \end{vmatrix} + \vec{R'}\begin{vmatrix} 0 \\ -R' \end{vmatrix} + \vec{T'}\begin{vmatrix} -T' \\ 0 \end{vmatrix} = \vec{0}\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix} \Leftrightarrow \begin{cases} P'_x - T' = 0 \quad (3) \\ P'_y - R' = 0 \quad (4) \end{cases}$$

Système poulie : Tensions $\vec{T}$ et $\vec{T'}$ des brins de fil, poids $\vec{p}$ de la poulie et réaction $\vec{R}$ de l'axe. La poulie est capable de tourner autour d'un axe O passant par son centre.
La condition d'équilibre est $\mathcal{M}_{\vec{T}/O} - \mathcal{M}_{\vec{T}/O} = 0$ (les droites d'action de $\vec{p}$ et de $\vec{R}$ rencontrent l'axe O). En adoptant r comme le rayon de la poulie on a $T' \times r - T \times r = 0$ ou $T' - T = 0$ (5).



Scanned by CamScanner

En faisant la somme des relations (1) + (3) + (5) on obtient :

$$(1) \rightarrow -P_x + T = 0$$
$$(3) \rightarrow P'_x - T' = 0 \Leftrightarrow P'_x - P_x = 0 .$$
$$(5) \rightarrow T' - T = 0$$

On a $P_x = P\sin\alpha = Mg\sin\alpha$ et $P'_x = P'\sin\alpha' = M'g\sin\alpha'$ et l'on en déduit que :

$$\frac{M'}{M} = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}$$

Application numérique :

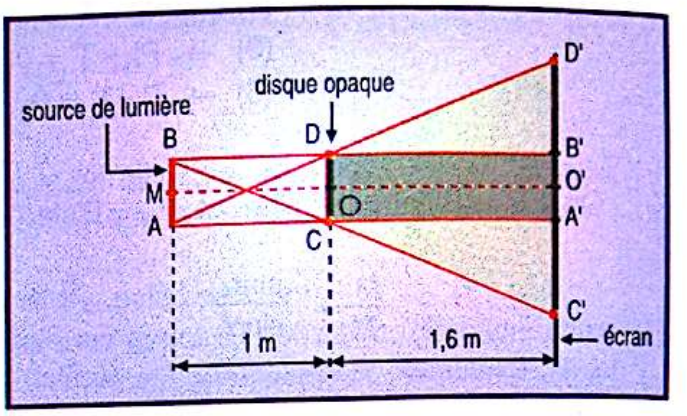
M = 150 g, $\alpha = 30°$, $\alpha' = 45°$.

On a $\mathbf{M' = M.\ \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'} = 150 \times \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 106\ g}$

Scanned by CamScanner

II. OPTIQUE

CHAPITRE 1



• Exercice 1

Sur la figure :
AB = diamètre de la source lumineuse. AB = 2 cm
CD = diamètre du disque opaque ; CD = 2 cm
OO' = distance du disque opaque à l'écran. OO' = 1,6 m
MO = distance de la source au disque opaque. MO = 1 m
C'D' = diamètre de la pénombre portée sur l'écran
A'B' = diamètre de l'ombre portée sur l'écran.
On applique le principe de la propagation rectiligne de la lumière.
AB = CD $\Rightarrow$ les quadrilatères ACDB et CA'B'D sont rectangles et donc AB = A'B'. Le rayon de l'ombre portée sur l'écran est $O'A' = \frac{A'B'}{2} = \frac{2}{2} = 1$ cm

Calculons A'C'
On considère les triangles rectangles ABC et A'C'C.

On a : $\text{tg}\,\alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{A'C'}{A'C} \Rightarrow A'C' = \frac{AB}{AC} \times A'C$

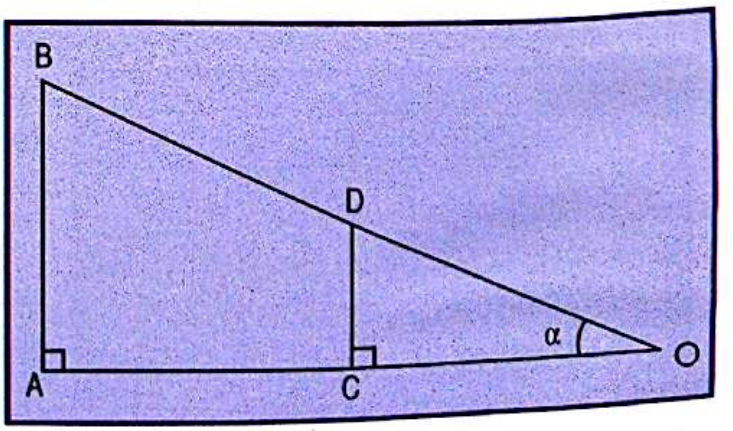
A.N. :

AB = 2 cm
AC = 1 m = 100 cm
CA' = 1,6 m = 160 cm

$A'C' = \frac{AB}{AC} \times A'C = \frac{2 \times 160}{100} = 3{,}2$ cm

Le rayon de la pénombre portée est O'C'
O'C' = O'A' + A'C' = 1 + 3,2 = 4,2 cm

• Exercice 2



AO = ombre de la tour AB
CO = ombre de la règle verticale CD

$\text{tg}\alpha = \frac{CD}{CO} = \frac{AB}{AO} \Rightarrow AB = \frac{CD}{CO} \times OA$

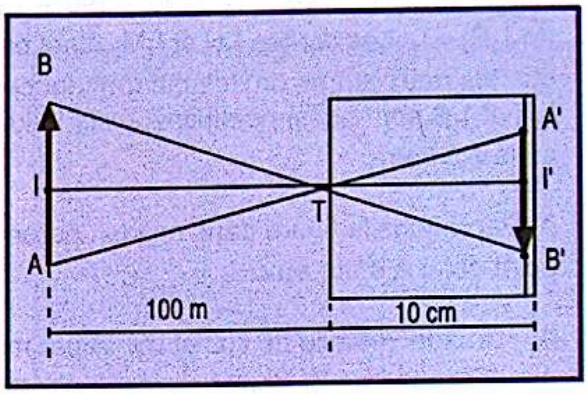
Scanned by CamScanner

AN :

$\left.\begin{array}{l} CD = 1\ m = 100\ cm \\ CO = 70\ cm \\ AO = 630\ cm \end{array}\right\} \Rightarrow \quad AB = \frac{100}{70} \times 630 = 900\ cm = 9\ m$

La hauteur de la tour est 9 m.

- **Exercice 3**



a) Soit A'B' l'image du monument AB ; dans les triangles (BIT) et (B'I'T),

on peut écrire : $\frac{BI}{B'I'} = \frac{IT}{I'T} \Rightarrow BI = B'I' . \frac{IT}{I'T}$

or $BI = \frac{BA}{2}$ et $B'I' = \frac{A'B'}{2}$

donc $\frac{AB}{2} = \frac{A'B'}{2} \times \frac{IT}{I'T} \Rightarrow BA = A'B' . \frac{IT}{I'T}$

AN :

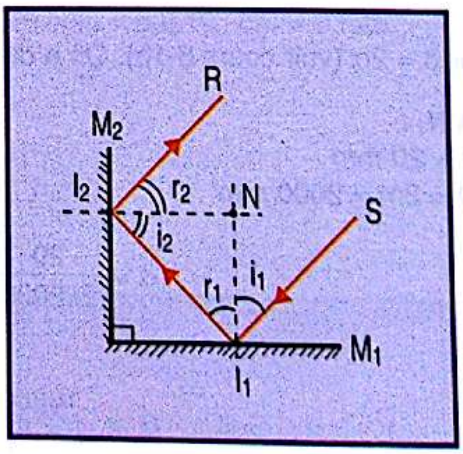
$\left.\begin{array}{l} A'B' = 2\ cm \\ IT = 100\ m \\ I'T = 10\ cm \end{array}\right\} \Rightarrow \quad AB = 2\ cm \times \frac{100m}{10cm} = 20m$

Le monument a une hauteur de 20m

b) Voir cours : un point B du monument envoie dans la chambre un pinceau limité par le trou T, qui fait une tache lumineuse B' sur le verre dépoli. Il en est de même pour tous les points du monument, et on obtient finalement une image renversée de celui-ci (voir fig.ci-dessus).

CHAPITRE 2

- **Exercice 1**



Sur la figure :

SI_1 = rayon incident sur le miroir M_1

i_1 = angle d'incidence (angle formé par le rayon incident SI_1 et la normale I_1N au miroir M_1)

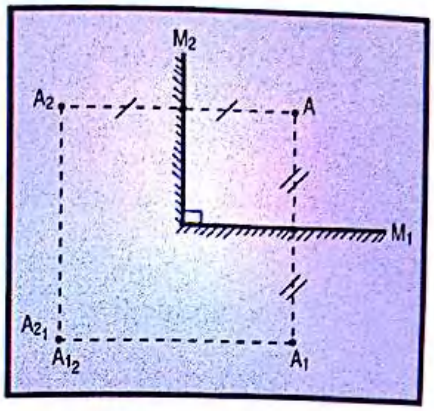
r_1 = angle de réflexion (angle formé par le rayon réfléchi par M_1 et la normale I_1N)

i_2 = angle d'incidence (angle formé par le rayon incident I_1I_2 et la normale I_2N au miroir M_2)

r_2 = angle de réflexion (angle formé par le rayon réfléchi I_2R par le miroir M_2 et la normale I_2N)

Il s'agit de montrer que le rayon I_2R et SI_1 sont parallèles.

Scanned by CamScanner



M_1 est perpendiculaire à $M_2 \Rightarrow$ les deux normales I_2N et I_1N sont perpendiculaires. Dans le triangle I_1NI_2 : $r_1 + i_2 + 90 = 180°$ (somme des angles intérieurs d'un triangle).

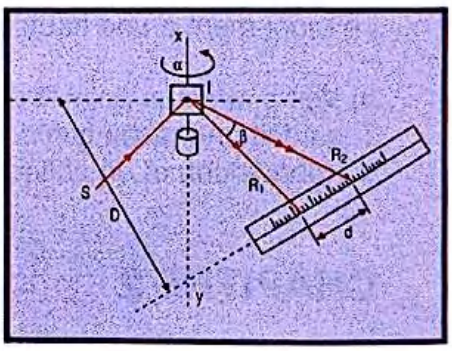
Alors $i_2 = 90 - r_1$.

D'après la 2e loi de Descartes pour la réflexion $i_2 = r_2$ et $i_1 = r_1$ donc : $r_2 = 90 - i_1$ Comme I_2N est perpendiculaire à I_2M_2 alors l'angle $(\widehat{M_2I_2R}) = 90 - r_2 = 90 - (90 - i_1)$ et par suite l'angle $(\widehat{M_2I_2R}) = i_1$. Les droites I_1N et I_2M_2 étant parallèles, on en déduit que les deux autres droites qui forment ces angles, c'est-à-dire I_2R et I_1S sont aussi parallèles, mais la lumière s'y propage en sens contraire.

b) Reprenons la figure dans un plan perpendiculaire aux deux miroirs M_1 et M_2 et plaçons un point objet A entre eux.

A_1 = image virtuelle de l'objet réel A par rapport au miroir M_1.
A_2 = image virtuelle de l'objet réel A par rapport au miroir M_2.
A_1 image virtuelle pour M_1, peut servir d'objet virtuel pour le miroir M_2 et donne ainsi une image virtuelle $A_{1,2}$ symétrique de A_1 par rapport au prolongement de M_2.
De même l'objet virtuel A_2 donne, par M_1, une image virtuelle $A_{2,1}$, symétrique de A_2 par rapport à M_1. $A_{1,2}$ et $A_{2,1}$ sont confondus et cette image multiple ne peut servir d'objet virtuel pour M_1 ou M_2 parce que située en arrière de chacune des faces non réfléchissantes des miroirs. Il n'y a donc que trois points images qui forment, avec l'objet un rectangle.

- **Exercice 2**



Si la règle graduée est perpendiculaire à un des rayons réfléchis le triangle IR_1R_2 est alors un triangle rectangle et la distance D est pratiquement égale à ce rayon. On peut écrire

$$\text{tg } \beta = \frac{R_1R_2}{IR_2} = \frac{d}{D} \text{ ; } \beta \text{ étant très petit, tg } \beta \approx \beta = \frac{d}{D}$$

or $\beta = 2\alpha$ (voir cours 8-1b). On a donc : $2\alpha = \frac{d}{D} \Rightarrow \alpha = \frac{d}{2D}$

A.N. :
d = 20 mm
D = 2m = 2000 mm

$$\alpha = \frac{20}{2\times2000} = \frac{1}{200} = 0{,}005 \text{ rad}$$

$$\text{Soit} \quad \alpha = \frac{10800\times0{,}005}{3{,}14} = 17'11''$$

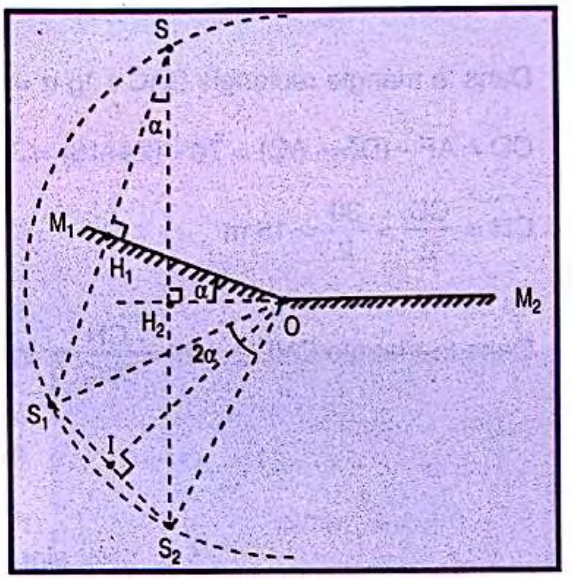
Remarque :
Ne pas confondre les minutes et les secondes d'angles avec les minutes et secondes de temps.

Scanned by CamScanner

Leur conversion se fait de la même manière, mais les symboles des unités sont différents :

- Une apostrophe (') et deux apostrophes (") pour les minutes et les secondes d'angles.
  1° = 60' et 1'= 60"
- min (souvent on écrit mn) et s pour les minutes et secondes de temps.
  1h = 60 min et 1 min = 60 s

• Exercice 3



a) Le miroir M_1 donne de S une image virtuelle S_1, symétrique de S par rapport à son plan. De même M_2 donne de S, l'image virtuelle S_2, symétrique de S par rapport à son plan. Donc $OS = OS_1 = OS_2$ et **S , S_1 et S_2 sont sur un même cercle de centre O et de rayon R = d = 50 cm.**

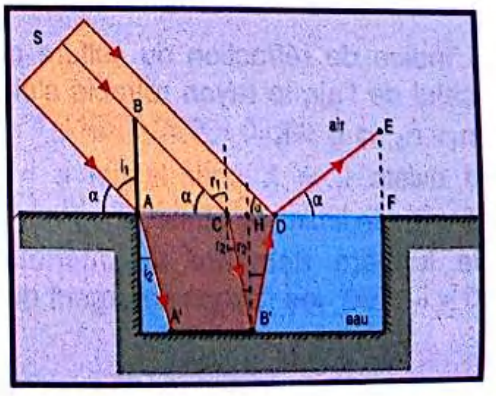
b) L'angle $(\widehat{S_1SS_2}) = \alpha$ (angles à côtés perpendiculaires).
L'angle $(\widehat{S_1OS_2}) = 2\alpha$ (angles au centre interceptant le même arc que l'angle au sommet).
Dans le triangle isocèle S_1OS_2, OI est en même temps bissectrice et médiane ; donc S_1IO est un triangle rectangle en I et $\sin\alpha = \frac{S_1I}{S_1O}$; α étant très petit $\sin\alpha \approx \alpha$ (rad) alors $\alpha = \frac{S_1I}{S_1O}$.

On a : $S_1S_2 = 2S_1I = a$; $S_1I = \frac{a}{2}$; $S_1O = R = d \Rightarrow \alpha\,(rad) = \frac{a}{2d} \Rightarrow a = 2\alpha d$

A.N.: $\alpha = 20' = \frac{3{,}14\times20}{180\times60} = 5{,}8.10^{-3}$ rad et $a = 2\times5{,}8.10^{-3}\times50 = 5{,}8.10^{-1}$ cm ≈ 6 mm.

CHAPITRE 3

• Exercice 1



1°) Sur la figure :
AB = 12 m = poteau vertical planté sur le bord du bassin.
A'B' = ombre du poteau sur le fond horizontal
EF = 18 m = hauteur de l'œil au sol de l'observateur
AF = 70 m = largeur du bassin, c'est-à-dire la distance entre le poteau et la verticale de l'œil de l'observateur.

$tg\alpha = \frac{3}{4}$

Scanned by CamScanner

2°) a) L'œil de l'observateur doit se trouver dans le plan SBA passant par AB et parallèle aux rayons solaires, c'est-à-dire le plan défini par le poteau et le centre du soleil.

b) Profondeur du bassin. Il s'agit de trouver HB' = h ?

Considérons le triangle DFE : $\text{tg}\,\alpha = \frac{EF}{DF} \Rightarrow DF = \frac{EF}{\text{tg}\alpha} = \frac{18}{\frac{3}{4}} = \frac{18\times4}{3} = 24$ m

Dans le triangle rectangle BAC : $\text{tg}\,\alpha = \frac{AB}{AC} \Rightarrow AC = \frac{AB}{\text{tg}\alpha} = \frac{12}{\frac{3}{4}} = \frac{12\times4}{3} = 16$ m

$CD = AF - (DF + AC) = 70 - (24+16) = 30$ m

$CH = \frac{CD}{2} = \frac{30}{2} = 15$ m

Dans le triangle CHB' : $HB' = \frac{CH}{\text{tgr}_2}$ or $\text{tgr}_2 = \frac{\sin r_2}{\sqrt{1-\sin^2 r_2}}$ (voir rappels Maths)

$n_1 \sin r_2 = n_2 \sin r_2$

$n_1 = 1$ indice de l'air
$n_2 = \frac{4}{3}$: indice de l'eau $\Rightarrow \sin r_1 = n_2 \sin_2 \Rightarrow \sin r_2 = \frac{\sin r_1}{n_2}$

Cherchons $\sin r_1$. On a : $\sin r_1 = \frac{\text{tgr}_1}{\sqrt{1+\text{tg}^2 r_1}}$ (voir rappels maths)

On a : $\alpha + i_1 = 90°$ or $\text{tg}\alpha = \frac{3}{4}$ et $i_1 = r_1$ alors $\text{tgr}_1 = \frac{4}{3}$ et donc, on trouve :

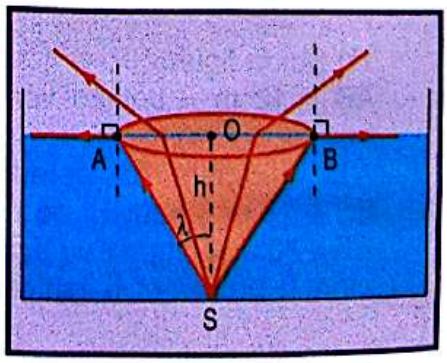
$\sin r_1 = \frac{4}{5}$ d'où $\sin r_2 = \frac{3}{5}$ et $\text{tgr}_2 = \frac{3}{4}$

La profondeur du bassin est alors $h = HB' = \frac{15}{\frac{3}{4}} = \frac{15\times4}{3} = 20$ m

- **Exercice 2**

L'indice de réfraction du sulfure de carbone est supérieur à celui de l'air, le rayon réfracté s'éloigne donc de la normale : $n_1 > n_2 \Rightarrow i_2 > i_1$

Il existe $i_1 = \lambda$ pour lequel $i_2 = 90°$ (émergence rasante). λ = angle limite de réfraction. Pour $i_1 > \lambda$, il y a réflexion totale ; la lumière demeure à l'intérieur du liquide. Donc pour $0 < i_1 < 90°$ les rayons émergent du liquide.



Scanned by CamScanner

L'ensemble de ces rayons se trouvent à l'intérieur du cône SAB. Ce cône forme un cercle à la surface du liquide, et le rayon de ce cercle est R = AO.

La surface de ce cercle est donnée par l'expression $S = \pi R^2$. L'angle $\widehat{ASO} = \lambda$ = angle limite de réfraction. SO = Normale à la surface.

Dans le triangle ASO on a : $\text{tg}\,\lambda = \frac{AO}{OS} = \frac{R}{h} \Rightarrow R = h\,\text{tg}\,\lambda$

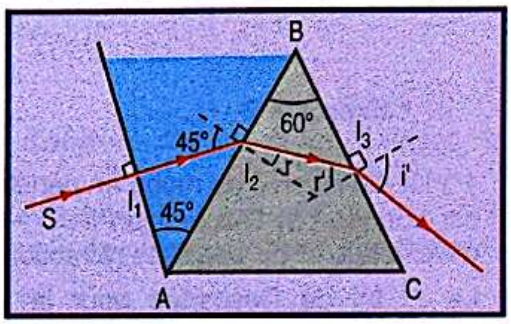
La 2e loi de Descartes pour la réfraction donne : $n_1 \sin\lambda = n_2 \sin 90°$ (cours) $\Rightarrow$

$$\sin\lambda = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1{,}63} = 0{,}613 \Rightarrow \lambda = 37{,}8°$$

$h = 10$ cm et $R = h\,\text{tg}\,\lambda \Rightarrow S = \pi R^2 = \pi\,(h\,\text{tg}\,\lambda)^2 = 3{,}14\times(10\times0{,}776)^2 = 189\ \text{cm}^2$

CHAPITRE 4

• Exercice 1



1) Pour que la déviation soit minimale il faut que le rayon lumineux soit également incliné sur les deux faces du prisme.
Les formules du prisme au minimum de déviation (chap.4 : 4-2) donnent :

$i = i'$ (1)

$r = r' = \frac{A}{2}$ (2)

$\sin i = n \sin r$ (3)

$D_m = 2i - A$ (4)

D'où numériquement :

$$r = r' = \frac{A}{2} = \frac{60}{2} = 30°$$

(3) $\Rightarrow \sin i = 1{,}414\times\sin 30 = 1{,}414\times\frac{1}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow i = 45°$ et la déviation minimale

$D_m = 2i - A = 2\times45 - 60 = 90 - 60 = 30°$.

2) Limites entre lesquelles doit se trouver l'angle d'incidence pour que le faisceau puisse sortir du prisme sans réflexion intérieure.

Si $i = 90° \Rightarrow \sin r = \frac{\sin i}{n} = \frac{1}{1{,}414} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow r = 45°$

$r' = A - r = 60 - 45° = 15°$ $\quad \sin i' = n \sin r' = 1{,}414\times\sin 15° = 1{,}414\times 0{,}259 = 0{,}366$

$\sin i' = 0{,}366 \Rightarrow i' \approx 21°30'$

D'après le principe de retour inverse de la lumière si $i' = 21°30'$ alors $i = 90°$.

Scanned by CamScanner

Donc tout rayon tel que $i < 21°30'$ subira une réflexion totale sur la 2e face et ne pourra pas sortir du prisme alors $21°30' < i < 90°$

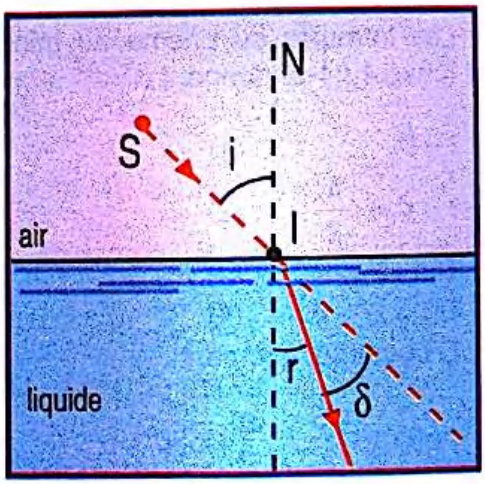
3) a) Marche du faisceau à travers le système (voir figure)
b) Déviation du faisceau à travers le système.

SI_1 est perpendiculaire à la 1ère face $\Rightarrow$ pas de déviation ; ce rayon arrive en I_2 sous une incidence de 45° et la 2e loi de Descartes pour la réfraction donne en ce point :
$n'\sin 45° = n\sin r$ avec $n' = 1{,}333$;
$n = 1{,}414 = \sqrt{2}$

$$1{,}333 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}\sin r \Rightarrow \sin r = 0{,}667 \text{ et } r = 41°51'$$

$r' = A - r = 60 - 41°51' = 18°9' \Rightarrow r' = 18°9'$
Au point I_3 : $n\sin r' = \sin i' \Rightarrow 1{,}414 \times \sin 18°9' = \sin i'$
$\sin i' = 1{,}414 \times 0{,}311 = 0{,}440 \Rightarrow i' \approx 26°$
Déviation du faisceau à travers le système
$D = i + i' - A = 45 + 26 - 60 = 11°$

- **Exercice 2**



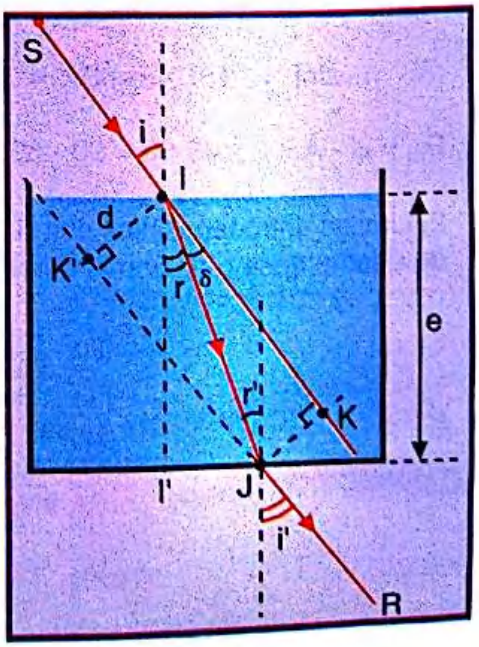
1°) La déviation δ du rayon en pénétrant dans le liquide est donnée par l'expression $\delta = i - r$ avec i = angle d'incidence et r = angle de réfraction (chap.3 : 1-2)
La 2e loi de Descartes pour la réfraction donne :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{n_1 \sin i}{n_2}$$

A.N. : $n_1 = 1$
$i = 45°$
$n_2 = 1{,}5$

$$\sin r = \frac{1.\sin 45}{1{,}5} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{1{,}5} = 0{,}471 \Rightarrow r = 28°8'$$

La déviation $\delta = 45° - 28°8' = 16°52'$



2°) Dans cette question le liquide joue le rôle d'une lame à faces parallèles d'épaisseur **e** = 20 cm. D'après le chapitre 4–3 : Un rayon incident qui frappe sous une incidence i une lame à faces parallèles d'épaisseur e subit une translation **d**. Le rayon émergent est parallèle au rayon incident. Il s'agit de calculer ce déplacement **d** connaissant **e**.

Considérons la figure ci-contre :

Scanned by CamScanner

K est le projeté orthogonal de J sur la direction du rayon incident SI.
K' celui de I sur la direction du rayon émergent JR.

On a : IK' = JK = d.

La normale en I coupe le fond de la cuve en I'. I I' = e.

Dans le triangle rectangle IJK on a : $\frac{JK}{IJ} = \sin\delta \Rightarrow JK = IJ\sin\delta$, mais $\delta = i - r$ donc :

$$JK = d = IJ \sin (i - r)$$

Dans le triangle rectangle II'J on a : $\frac{II'}{IJ} = \cos r \Rightarrow IJ = \frac{II'}{\cos r}$ puisque II' = e alors $IJ = \frac{e}{\cos r}$

En portant cette valeur dans l'expression de d on trouve :

$$d = e\frac{\sin(i-r)}{\cos r}$$

A.N. :

$\delta = i - r = 16°52'$

$r = 28°8'$

e = 20 cm

On trouve d = 6,58 cm

3°) La cuve fonctionne maintenant comme un prisme d'angle α d'indice n. La déviation du rayon lumineux par ce prisme a pour valeur : $D = (i - r) + (i' - r') = d + i' - r'$. (Chap.4 : 3)

Pour que la déviation D soit égal à δ, il faut que $i' = r' = 0$ c'est-à-dire que la déviation du rayon lumineux est perpendiculaire au fond de la cuve. Or l'angle du prisme $\alpha = r + r'$ (Chap.4 : 3).

Puisque $r' = 0$ alors $\alpha = r = 28° 8'$

4°) La déviation est minimum lorsque : $r = r' = \frac{\alpha}{2}$ (chap.4 : 4-2). $\Rightarrow \alpha = 2.r$ puisque $r = 28° 8'$ alors : $\alpha = 2 \times 28° 8' = 56° 16'$.

CHAPITRE 5

- **Exercice 1**

Le problème se traite algébriquement à partir des formules des lentilles minces :

. position :

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \quad (1)$$

. grandissement :

$$\gamma = \frac{p'}{p} \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{f'} = \frac{f' - p'}{p'f'} \text{ et } p = \frac{p'f'}{f'-p'} \quad (1')$$

$$(2) \Rightarrow p' = \gamma p \quad (2')$$

Scanned by CamScanner

Portons (2') dans (1') il vient :

$p\,[\gamma p + f'(\gamma - 1)] = 0$ dont les solutions sont :

- $p = 0$
- $p = -f'\dfrac{\gamma - 1}{\gamma}$

1er cas $\gamma = -4$ (image renversée et agrandie)

2e cas $\gamma = +4$ (image droite et agrandie)

Dans le 1er cas $p_1 = -20\dfrac{(-4-1)}{(-4)} = -25$

$20\text{ cm} = f' < |p_1| < 40\text{cm} = 2f'$

$p'_1 = \dfrac{p_1 f'}{p_1 + f'} = \dfrac{-25\times 20}{-25+20} = \dfrac{-500}{-5} = +100\text{ cm} > 0$ **l'image est réelle**

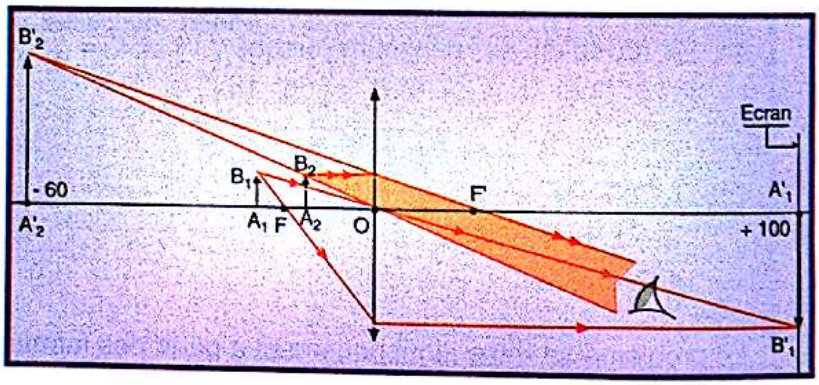
Dans le 2e cas $p_2 = -20\dfrac{(4-1)}{4} = -15\text{ cm}$

$20\text{ cm} = f' > |p_2| = 15\text{ cm}$

$p'_1 = \dfrac{-15\times 20}{-15+20} = \dfrac{-300}{+5} = -60 < 0$ **l'image est virtuelle**

Complétons ces calculs par une représentation graphique (construction des images et de l'objet).

$(p,p') = \left\{ \begin{array}{l} 1°)\ (-25\ ;\ +100) \\ 2°)\ (-15\ ;\ -60) \end{array} \right\}$



- **Exercice 2**

a) solution algébrique :

Les formules des lentilles (voir exercice.1) permettent d'écrire :

$p[\gamma p + f'(\gamma - 1)] = 0$ (1)

$\dfrac{p'}{p} = -4$ (2)

D'autre part $|p| + p' = AA' = 5$ ou $p' - p = 5$ (3)

On obtient 3 équations à 3 inconnues p, p' et f'. p = 0 est une solution à écarter.

Scanned by CamScanner

Remplaçons γ par sa valeur, on obtient :

$-4p + f'(-4-1) = 0$ (I)

$p' - p = 5$ (II)

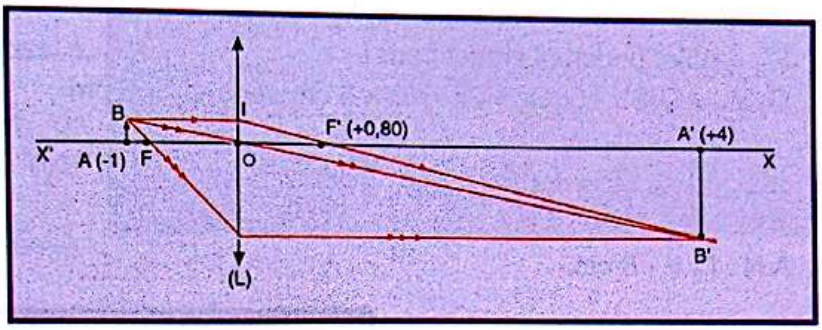
$p' = -4p$ (III)

II et III donnent $-5p = 5$ d'où

$p = -1m$ et $p' = +4$ m

(I) $\Rightarrow +4 - 5f' = 0$ soit

$$f' = \frac{4}{5} = +0{,}80 \text{ m}$$



Il faut donc utiliser une lentille convergente ($f' > 0$) de 80 cm de distance focale placée à $p' = 4$ m de l'écran.

b) Solution graphique

- on place sur X'X (axe principal) deux points A et A' distants de 5 m
- perpendiculairement à l'axe on prend $\overline{AB} = 1$ et $\overline{A'B'} = -4$
- on joint B' à B qui coupe X'X en O centre optique de la lentille (L)
- la parallèle à X'X issue de B coupe L en I.
- IB' coupe X'X en F' d'où $f' = |\overline{OF}|$

• Exercice 3

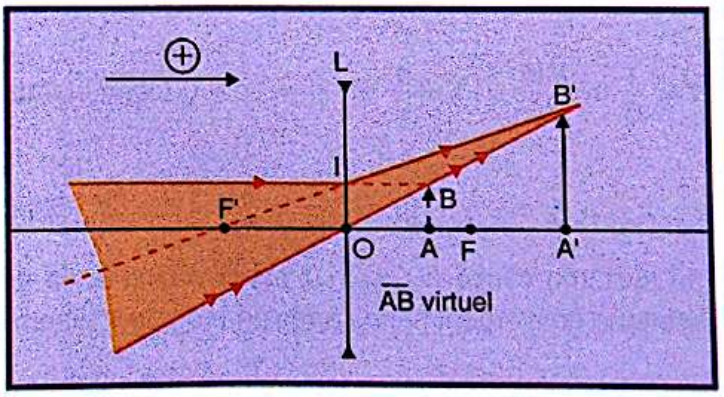
AB virtuel, A'B' droite et réelle

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow p' = \frac{pf'}{p+f'} \quad \text{or} \quad P = +3 \text{ cm et } f' = -5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow p' = \frac{+3\times(-5)}{3-5} = \frac{-15}{-2} = +7{,}5 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{p'}{p} = \frac{+7{,}5}{+3} = 2{,}5$$

$$\Rightarrow \overline{A'B'} = \overline{AB} \times \gamma = 1\times 2{,}5 = 2{,}5 \text{ cm}$$



• Exercice 4

$$1°)\ \frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p'_1 = \frac{p_1 f'_1}{p_1 + f'_1}$$

$$p'_1 = -100 \text{ cm et } f'_1 = +20 \text{ cm} \quad \Rightarrow p'_1 = \frac{(-100)\times 20}{-100+20} = +25 \text{ cm}$$

$O_1S'_1 = 25$ cm ; S'_1 est à $25 - 20 = 5$ cm du foyer image F'_1 de L_1

Scanned by CamScanner

2°) $O_1O_2 = 20$ cm, donc O_2 est confondu avec F'_1 : le centre optique de L_2 est confondu avec le foyer image de L_1.

Soit S'_2 l'image de S'_1 par rapport à L_2 ; S'_2 est aussi image de S par rapport au système formé par les deux lentilles L_1 et L_2.

S'_1 = objet ponctuel virtuel pour L_2 :

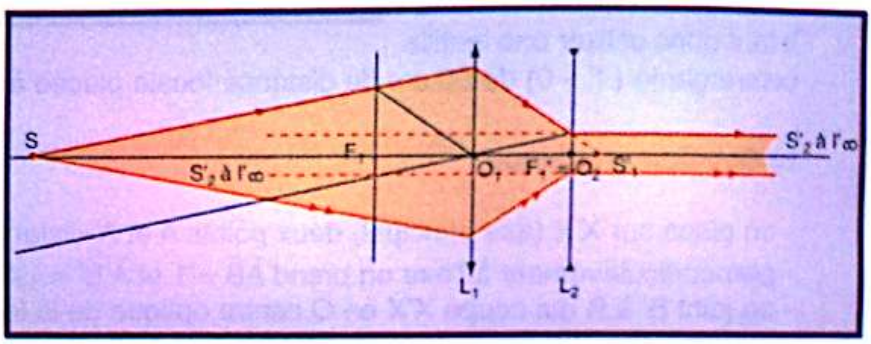
$O_2S'_1 = O_1S'_1 - O_1O_2 = 25 - 20 = 5$ cm donc $p_2 = 5$ cm

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'_2} = \frac{p_2+f'_2}{p_2f'_2} \Rightarrow p'_2 = \frac{p_2f'_2}{p_2+f'_2}$$

A.N.: $f'_2 = -5$ cm

$$p'_2 = \frac{(5)\times(-5)}{5-5} = \frac{25}{0} = \infty$$

Le faisceau émergent est cylindrique : donc le système $[(L_1, L_2), S]$ est un collimateur.



- **Exercice 5**

$f'_2 = x$ inconnu.

$$f'_1 = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{5} = 0{,}2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

$$C = C_1 + C_2 \text{ avec } C_2 = \frac{1}{f'_2}$$

$$f' = \frac{1}{C} \text{ et } \frac{A'B'}{AB} = -1 = \frac{p'}{p} \text{ ou } p' = -p > 0 \text{ (objet et image réels)}$$

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} = -\frac{1}{p'} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{2}{p'} = \frac{1}{f'} \Rightarrow p' = 2f'$$ Objet et image sont symétriques par rapport au système mince (L_1, L_2) (c'est la méthode de détermination de la distance focale d'un système convergent mince appelée méthode Silbermann)

$AA' = AO + OA' = -p + p' = 2p' = 4$ m $\rightarrow$ $p' = +2$ m et $f' = +1$m

$C = C_1 + C_2 \rightarrow C_2 = C - C_1$

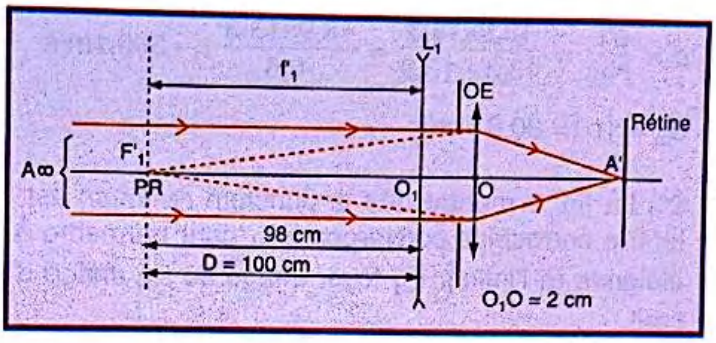
$$\frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{1} - 5 = -4 \text{ m}$$

$$\boxed{x = f'_2 = -\frac{1}{4} = -0{,}25 \text{ m} = -25 \text{ cm}}$$

Scanned by CamScanner

CHAPITRE 6

• Exercice 1



(Remarque : la figure n'est pas à l'échelle)

a) Pour obtenir la correction, on utilise une lentille divergente de foyer image F'_1 confondu avec PR

$$F'_1O_1 = F'_1O - O_1O$$

$$= D - O_1O = 100 - 2 = 98 \text{ cm}$$

$f'_1 = O_1F'_1 = -98$ cm ; la convergence correspondante est

$$C_1 = \frac{-1}{0{,}98} = -1{,}02 \text{ dioptrie}$$

b) Déterminons la position du point objet réel dont l'image virtuelle par rapport à la lentille correctrice est le PP de l'œil nu.

$[O - PP] = 10$ cm

$[O_1 - PP] = 10 - 2 = 8$ cm

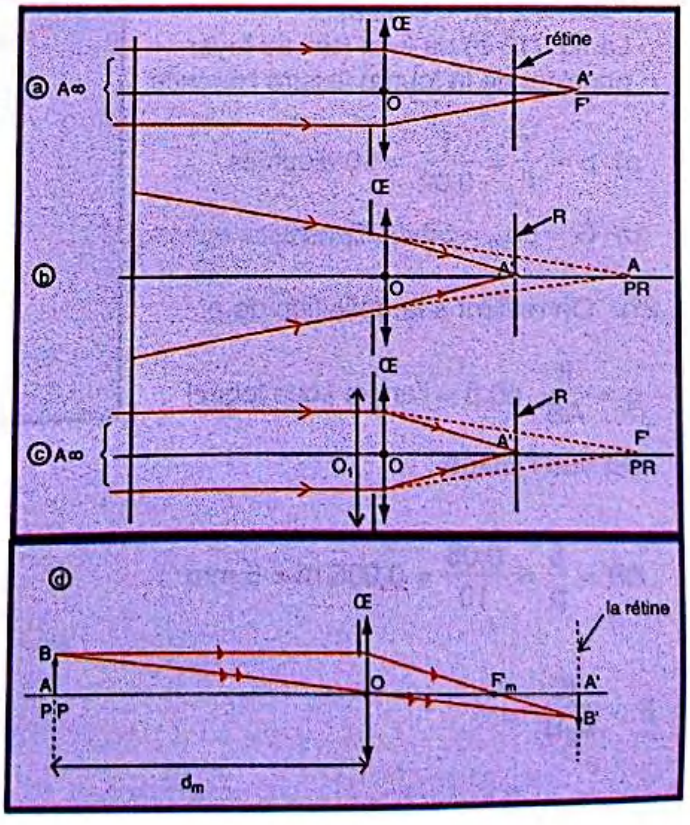
$[O_1 - (PP)] = p'_{O_1} = -8$ cm

$$p_{O_1} = \frac{p'_{O_1}(-f'_1)}{f'_1 - p'_{O_1}} = \frac{(-8)(-98)}{-98+8} = \frac{784}{-90}$$

$p_{O_1} = -8{,}71$

et $d_m = |p_{O_1}| + O_1O_2 = 8{,}71 + 2 = 10{,}71$ cm

• Exercice 2



1°) C = 67 δ correspond à l'état de repos de l'œil

$$\Rightarrow f' = OF' = \frac{1}{67} = 14{,}9 \text{ mm} = \overline{OA'}$$

La rétine R est à 1 mm de F'

$OR = 14{,}9 - 1 = 13{,}9$ mm fig.(a)

$C_{max} = 67 + 8 = 75$

$$\Rightarrow f'_{min} = \frac{1}{75} = 13{,}3 \text{ mm} = OF'_m \text{ fig.(d)}$$

Objet au PP : $p = -d_m < 0$

Image en R :

$p' = \overline{OR} = 13{,}9$

$f' = f'_{min} = 13{,}3$ mm

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{f'} = \frac{f' - p'}{p'f'}$$

Scanned by CamScanner

$$p = \frac{p'f'}{f'-p'} = \frac{13,9\times13,3}{13,3 - 13,9} = \frac{13,9\times13,3}{-0,6} = -308,1\text{mm}$$

$d_m = |p| = 30,81$ cm

2°) La fig. b montre que le punctum remotum est virtuel. La fig.c indique l'utilisation d'une lentille correctrice convergente L_1 pour permettre à un œil hypermétrope de voir des objets éloignés (à l'infini). F'_1 foyer image de L_1, image d'un point A à l'infini est objet virtuel pour l'œil.

$OF'_1 = p = O_1F'_1 - O_1O = f'_1 - 2$ (f'_1 en cm)

$OA' = OR = p'$ = position de l'image de F'_1 par rapport à l'œil.

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'_{max}} \Rightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{f'_{max}} = \frac{f'_{max} - p'}{p'f'_{max}}$$

$$p = \frac{p'f'_{max}}{f'_{max} - p'} = \frac{13,9\times14,9}{14,9 - 13,9} = \frac{13,9\times14,9}{1} = 204,6\text{ mm} = 20,46\text{ cm}$$

$f'_1 = p + 2 = 20,46 + 2 = 22,46$ cm

$f'_1 = 22,46$ cm

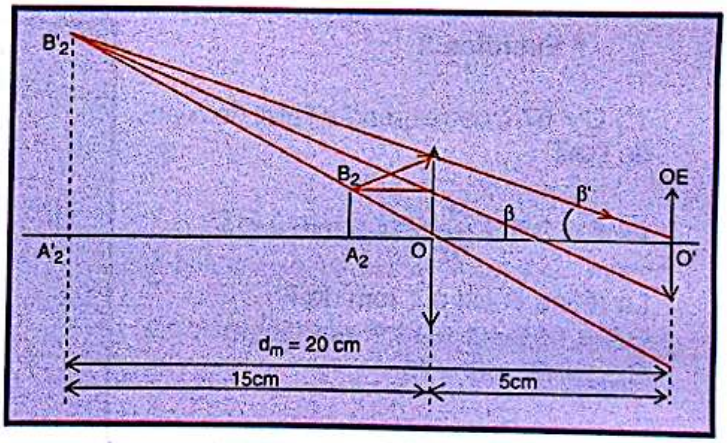
- **Exercice 3**

1°) $p = -2f' \Rightarrow p' = 2f'$ et $\lambda = \frac{p'}{p} = -1$ (image égale à l'objet mais renversée)

$D = p' + |p| = 4f' = 8$ cm

$\Rightarrow f' = 2$ cm $= 0,02$ m

La fig. (13-b) du livre (œil au foyer principal de la loupe) illustre l'énoncé



a) $p \approx \frac{1}{f'} = \frac{1}{0,02} = 50$ dioptries

b) $G = pd_m = 50\times0,20 = 10$

2°) On revient à la définition de p

$p = \frac{\beta}{AB}$ où β = l'angle sous lequel est vue l'image

$$AB = \frac{\beta}{p} = \frac{0,05}{10} = 0,005\text{ m} = 5\text{ mm}$$

$$P = \frac{\beta'}{A_2B_2} = ?$$

Scanned by CamScanner

$$tg\beta' = \frac{A'_2B'_2}{O'A_2} \approx \beta'$$

$$\frac{A'_2B'_2}{A_2B_2} = \left|\frac{p'}{p}\right|$$

$\overline{OA'_2} = -15\ cm = p'$; $p = \overline{OA_2}$

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{f'} \Rightarrow p = \frac{p'f'}{f'-p'} = \frac{-15\times2}{2+15} = -\frac{30}{17}\ cm$$

$$A'_2B'_2 = A_2B_2 \times \left\| \frac{p'}{p} \right\| = A_2B_2 \times \frac{15}{30} \times 17 = 8{,}5A_2B_2$$

$$\beta' = \frac{8{,}5\times A_2B_2}{0{,}20} \text{ et } P = \frac{8{,}5\times A_2B_2}{0{,}20\times A_2B_2}$$

$$P = \frac{8{,}5}{0{,}20} = 42{,}5 \text{ dioptries}$$

- **Exercice 4**

1°) $P = \left(\frac{\beta}{AB}\right) = \frac{\beta}{A_2B_2}$ $(A_2B_2 \rightarrow A'_2B'_2$ au PP$)$

$$P = \frac{0{,}05}{10^{-3}} = 0{,}05\times10^{3} = 50$$

$$G = Pd_m = 50\times0{,}10 = 5 \left(G = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\beta}{AB}\times\frac{AB}{\alpha}\right)$$

2°) Si l'œil est placé au plan focal de la loupe, la puissance est intrinsèque

$$P = \frac{1}{f'} \Rightarrow f' = \frac{1}{P} = \frac{1}{50} = 0{,}02\ m$$

$\underline{f' = 2\ cm}$

3°) $MN = \frac{\epsilon}{P} = \frac{5.10^{-5}}{50} = 10^{-5}\ m = 10\ \mu m$

Scanned by CamScanner

• **Exercice 5**

1) $f'_1 = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{100} = 0{,}01\ m = 1\ cm$

$A_1 = F_2 \Rightarrow p'_1 = O_1F'_1 + F'_1F'_2 = f'_1 + \Delta = 1 + 16 = 17\ cm$

p_1 est tel que $\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p_1 = \frac{p_1' f_1'}{f'_1 - p'_1}$

$$p_1 = \frac{17\times1}{1-17} = \frac{17}{-16} = -1{,}062\ cm$$

$$\gamma_1 = \frac{A_1B'}{AB} = \frac{P'_1}{p_1} = \frac{17}{-1{,}062} \approx -16$$

2) $G = Pd_m\ ;\ G_c = \frac{P}{4}$

$P = |\gamma_1| P_2$ où P_2 = puissance de l'oculaire

où $P_2 = \frac{\beta}{A_1B_1}$ avec β = diamètre angulaire de l'image définitive

La mise au point étant faite à l'infini

$$P_2 = \frac{1}{f'_2}\ ;\ G_c = \frac{P}{4} = \frac{|\gamma_1| P_2}{4} = \frac{|\gamma_1|}{4G_c}$$

AN : $f'_2 = \frac{|\gamma_1|}{4G_c} = \frac{16}{4\times160} = \frac{1}{40} = 0{,}025\ m$

$f'_2 = 2{,}5\ cm$

• **Exercice 6**

La distance focale f'_1 :

$P = \gamma_1 P_2 = \frac{\Delta}{f'_1 f'_2}$ (puissance intrinsèque dans le cas présent, l'œil étant au F'_2)

Données :
- $F'_1O_2 = F'_1F'_2 + F_2O_2 = \Delta + f'_2 = 21\ cm$

$\Rightarrow \quad \Delta = 21 - 3 = 18\ cm = 0{,}18\ m$
- $P = 1200$
- $f'_2 = 30\ mm = 0{,}03\ m$

Scanned by CamScanner

$$P = \frac{\Delta}{f'_1 f'_2} \Rightarrow f'_1 = \frac{\Delta}{f'_2 P} = \frac{0,18}{0,03\times1200} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ m}$$

$f'_1 = 0,005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$

2°) Il s'agit de déterminer les positions

a) $p_1(M) = O_1M$ correspondant à $A' \equiv PP$ (image définitive)

b) $p_1(N) = O_1N$ correspondant à $A'' \equiv PR$ (image définitive)

a) * Calculons $p'_2 = O_2A' = O_2(PP)$

$d_m = \overline{F'_2A'} = \overline{F'_2O_2} + \overline{O_2A'} = \overline{F'_2O_2} - \overline{O_2A'} = f'_2 - p'_2 \Rightarrow p'_2 = f'_2 - d_m = 3-18 = -15 \text{ cm}$

** calculons $p_2 = O_2A_1$: où A_1 est l'image objective correspondant à l'image définitive $A' \equiv PP$

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p'_2 f'_2}{f'_2 - p'_2} = \frac{-15\times3}{3+15} = -2,5 \text{ cm}$$

** * Calculons enfin $p_1 = O_1M$ où M est le point objet dont les images successives sont A_1 et $A' \equiv PP$

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p_1 = \frac{p'_1 f'_1}{f'_1 - p'_1}$$

$$p'_1 = O_1A_1 = O_1F'_1 + F'_1F_2 + F_2O_2 + O_2A_1$$
$$= f'_1 + \Delta + f'_2 + p_2$$
$$= 0,5 + 18 + 3 - 2,5 = 19 \text{ cm}$$

$$p_1 = \frac{19\times0,5}{0,5-19} = \frac{9,5}{-18,5} = -0,5135 \text{ cm}$$

b) • Calculons $p'_2 = O_2A'' = O_2PR$

$D = \overline{F'_2A''} = \overline{F'_2O_2} + \overline{O_2A''} = \overline{F'_2O_2} - \overline{O_2A''} = f'_2 - p'_2$

$\Rightarrow p'_2 = f'_2 - D = 3 - 40 = -37 \text{ cm}$

•• Calculons $p_2 = O_2A'_1$ où A'_1 est l'image objective correspondant à l'image définitive : $A'' = PR$

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p'_2 f'_2}{f'_2 - p'_2} = \frac{-37\times3}{3+37} = -\frac{111}{40} = -2,775 \text{ cm}$$

*** Calculons $p_1 = O_1N$: où N est le point objet placé devant l'objectif et dont les images successives sont A'_1 et $A'' \equiv PR$

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p_1 = \frac{p'_1 f'_1}{f'_1 - p'_1}$$

$$p'_1 = O_1A'_1 = O_1F'_1 + F'_1F'_2 + F'_2O_2 + O_2A'_1$$
$$= f'_1 + \Delta + f'_2 + p'_2$$
$$= 0,5 + 18 + 3 - 2,775 = 18,725 \text{ cm}$$

$$p_1 = \frac{18,725\times0,5}{0,5-18,725} = \frac{18,725\times0,5}{-18,025} = -0,5194 \text{ cm}$$

$p_1 = -0,5194 \text{ cm}$

Scanned by CamScanner

$\overline{NM} = p_1(M) - p_1(N) = -0,513 + 0,519 = 0,006 \text{ cm} = 60.10^{-4} \text{ cm} = 60 \mu m$

La figure.17 chap.6-7 nous permet de traiter cette question. $\frac{MO_1}{O_2O_1} = \frac{AB}{a}$ où a est

le demi-diamètre du diaphragme $\Rightarrow$ $AB = a\frac{MO_1}{O_2O_1}$

$$2(AB) = 2a\frac{MO_1}{O_2O_1} = 0,4\times\frac{0,513}{21,5} = \frac{2,052}{21,5} = 0,0095 \text{ cm}$$

$$= 0,4\times\frac{0,519}{21,5} = \frac{2,076}{21,5} = 0,0096 \text{ cm}$$

dimension de l'objet $\approx 95 \mu m$

4°) L'image doit être réelle

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{f'_1} \Rightarrow p_1 = \frac{p'_1 f'_1}{f'_1 - p'_1}$$

$$\frac{1}{p'_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{f'_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p'_2 f'_2}{f'_2 - p'_2}$$

$p'_1 = O_1A$

$p_2 = O_2A_1 = O_2O_1 + O_1A_1 = O_2O_1 + p'_1 = p'_1 - O_1O_2$

$p'_2 = 100 \text{ cm}$

$$p_1 = \frac{0,5p'_1}{0,5-p'_1}$$

$$p'_1 - 21,5 = \frac{100\times3}{3-100} = \frac{300}{-97} = -3,092$$

$p'_1 = 21,5 - 3,092 = 18,408$

$$p_1 = \frac{0,5\times18,408}{0,5-18,408} = -0,514$$

L'objet doit être placée à 5,14 mm de O_1

$$Y_1 = \frac{p'_1}{p_1} = \frac{18,408}{-0,514} = -35,813$$

$$Y_1 = \frac{p'_2}{p_2} = \frac{100}{18,408 - 21,5} = \frac{100}{-3,092} = -32,63$$

$$Y = Y_1 Y_2 = \frac{A_1B_1}{AB} \times \frac{A'B'}{A_1B_1} = \frac{A'B'}{AB} = -35,813\times(-32,63) = 1168$$

Scanned by CamScanner

III. ELECTRICITE

CHAPITRE 1

• Exercice 1

Nous savons que la quantité d'électricité transportée par n électrons est Q = ne. Or, d'après la définition de l'intensité, nous avons aussi Q = i.t, d'où $n = \frac{i.t}{e} = \frac{1}{1,6.10^{-19}} = 6,25.10^{18}$ électrons/s i = 1 A ; t = 1s

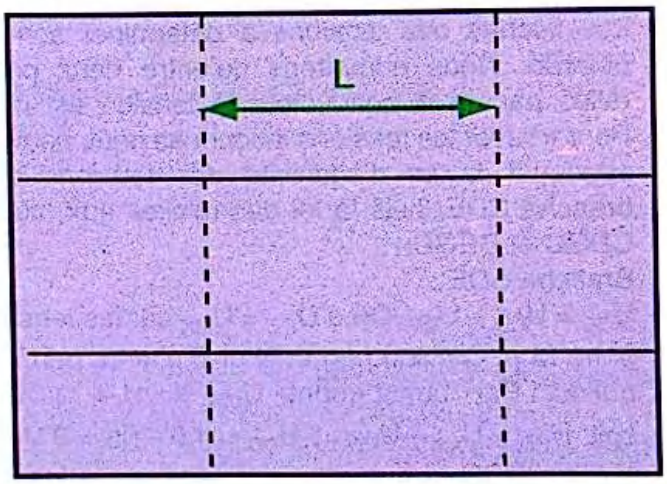
Donc un courant électrique continu de 1A correspond au passage de $6,25.10^{18}$ électrons par seconde dans chaque section droite du conducteur considérée.

• Exercice 2

Considérons une portion de conducteur de longueur L, son volume est L × S. Elle contient donc n × L × S électrons libres. Ces électrons transportent au cours de leur déplacement une quantité d'électricité.

Q = n.L.S.e

Donc l'intensité I du courant circulant dans le conducteur est $I = \frac{Q}{t} = \frac{nLSe}{t}$



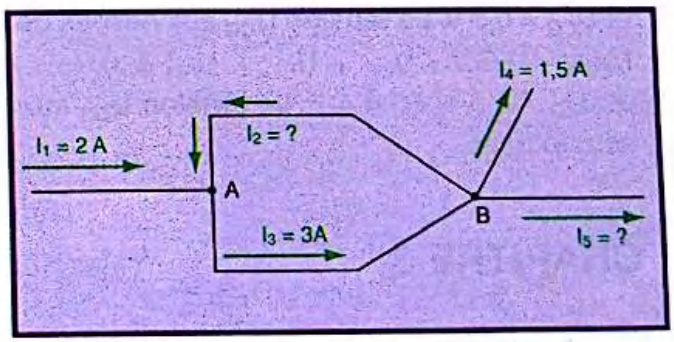
le rapport $\frac{L}{t}$ représente la vitesse de déplacement des électrons. Nous aurons donc

$I = n.v.S.e$ soit $v = \frac{I}{n.S.e}$

$v = \frac{3}{8,4.10^{28}.10^{-6}.1,6.10^{-19}} \approx 2,2.10\text{-}4\ m.s^{-1}$

ce qui est une vitesse très faible.

• Exercice 3



Au nœud A la somme des intensités qui arrivent est égale à la somme de celles qui repartent. Nous voyons sur le schéma qu'il arrive un courant de 2A et qu'il repart un courant de 3A. Ce qui nous donne le sens du courant I_2 : il se dirige vers le nœud puisque $I_3 > I_1$

Donc nous avons au nœud A $I_1 + I_2 = I_3 \Rightarrow I_2 = I_3 - I_1 = 1A$

Au noeud B nous connaissons maintenant le sens de tous les courants. Il suffit donc d'appliquer la loi des nœuds.

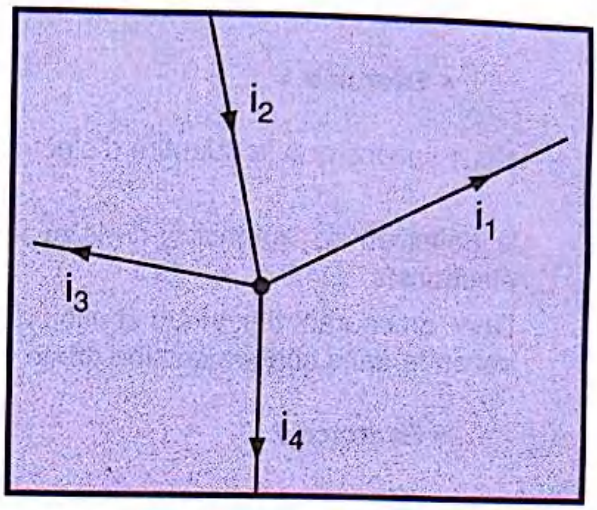
$I_3 = I_2 + I_4 + I_5$

Soit $I_5 = I_3 - I_2 - I_4 = 3 - 1 - 1,5 = 0,5A$

Scanned by CamScanner

• **Exercice 4**

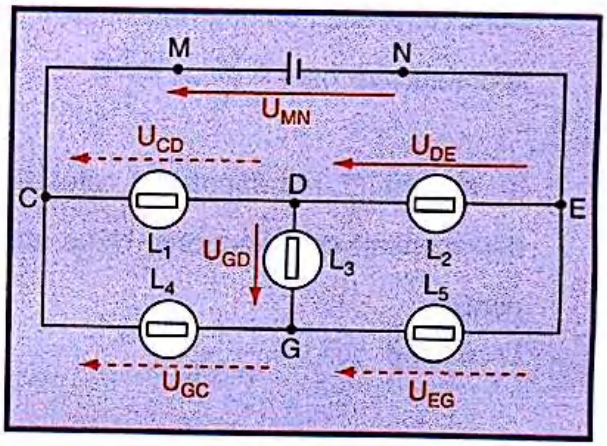
Nous appliquons la loi des nœuds aux intensités algébriques : $I_2 = i_1 + i_3 + i_4$
Soit $i_4 = i_2 - i_1 - i_3 = -1 - 1 - 4 = -6A$. Nous pouvons dire:
Branche 1 : le courant circule du nœud vers l'extérieur
Branche 2 : le courant circule aussi du nœud vers l'extérieur
Branche3 : même sens que pour la branche 1 et 2
Branche 4 : le courant se dirige vers le nœud.



CHAPITRE 2

• **Exercice 1**

Commençons par indiquer sur le schéma les tensions par des flèches respectant leur signe. Les flèches des tensions à déterminer sont en pointillé. Nous admettons qu'entre deux points reliés par un fil conducteur la tension est nulle. Pour trouver les tensions inconnues nous pouvons appliquer la loi d'additivité des tensions à la branche CDE, puis la loi des mailles aux mailles CDGC et DEGD.



Branche CDE :
$U_{CE} = U_{CD} + U_{DE}$. On a $U_{CE} = U_{MN}$ car les tensions entre M et C d'une part et N et E d'autre part sont nulles. Par conséquent $U_{MN} = U_{CD} + U_{DE}$, soit $U_{CD} = U_{MN} - U_{DE} \Leftrightarrow$ **$U_{CD} = 4,5 - 1,5 = 3$ V.**
Maille CDGC : La somme des tensions le long de la maille est nulle. $U_{CD} + U_{DG} + U_{GC} = 0$ soit à partir des sens sur le schéma : $U_{CD} - U_{GD} - U_{CG} = 0 \Leftrightarrow U_{CG} = U_{CD} - U_{GD} = 3 - 2,5$ et **$U_{CG} = 0,5$ V. La tension U_{CG} aux bornes de la lampe L_4 est positive dans le sens choisi.**
Maille DEGD : $U_{DE} + U_{EG} + U_{GD} = 0 \Leftrightarrow - U_{DE} + U_{EG} - U_{GD} = 0 \Leftrightarrow U_{EG} = U_{DE} + U_{GD}$ et $U_{EG} = 1,5 + 2,5 = 4$ V. **La tension U_{EG} aux bornes de la lampe L5 est positive dans le sens choisi.**

CHAPITRE 3

• **Exercice 1**

La résistance R du dipôle équivalent.
Les trois dipôles sont en série, le dipôle équivalent leur correspondant a pour résistance $R = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow$ **$R = 55\ \Omega$.**
La tension aux bornes de R.
Le dipôle équivalent est parcouru par le même courant d'intensité I = 2 A. L'application de la loi d'Ohm au dipôle équivalent donne $U_R = RI$ et **$U_R = 110$ V.**

Scanned by CamScanner

Les tensions aux bornes des trois dipôles
Pour $R_1 = 10\ \Omega$ on a $\mathbf{U_1 = R_1 I = 20\ V}$
Pour $R_2 = 20\ \Omega$ on a $\mathbf{U_2 = R_2 I = 40\ V}$
Pour $R_3 = 25\ \Omega$ on a $\mathbf{U_3 = R_3 I = 50\ V}$.

On vérifie bien que $U_R = U_1 + U_2 + U_3$ et que le dipôle équivalent assure le même état de fonctionnement que les trois dipôles réunis.

• Exercice 2

1°) L'intensité I dans R
L'application de la loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique de résistance R donne :

$u = Ri \Rightarrow \mathbf{I = \frac{U}{R} = 0{,}16\ A}$.

2°) La résistance R' du conducteur associé
Le dipôle équivalent à l'association en série est $R_e = R + R'$. L'application de la loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique équivalent donne : $u = (R + R')I'$ avec $I' = 150$ mA, la nouvelle intensité dans le circuit et U = 35 V. On déduit que $R + R' = \frac{U}{I'}$ et $\mathbf{R' = \frac{U}{I} - R}$.

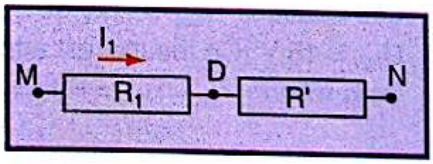
On trouve $\mathbf{R' = 23{,}33\ \Omega}$.

• Exercice 3

1°) La résistance R du dipôle équivalent

Le dipôle équivalent au montage est un conducteur ohmique, de résistance R, dans lequel circule le courant principal d'intensité I lorsque celui-ci est soumis à la ddp U = 30 V.
Les résistances R_2 et R_3 sont en parallèle ; le dipôle équivalent à cette association, a pour résistance R', telle que $\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Leftrightarrow R' = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$.

R_1 est en série avec l'association (R_2, R_3) c'est-à-dire R' ; le dipôle équivalent à cette association, a pour résistance R", telle que $R" = R_1 + R'$.



On a $R" = R_1 + \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} \Leftrightarrow R" = \frac{R_1(R_2 + R_3) + R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$.

Le circuit indiqué se résume maintenant à l'association (R_4, R_5) en parallèle avec R". R_4 et R_5 sont en série ; le dipôle équivalent à cette association, a pour résistance R'_1, telle que
$R'_1 = R_4 + R_5$.
On a en définitive un circuit constitué des dipôles de résistance R" et R'_1 en parallèle :

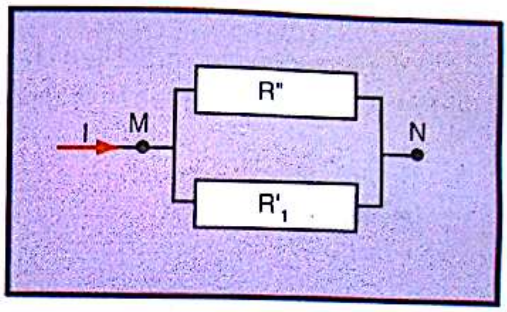
le dipôle équivalent final a pour résistance R_e, telle que : $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R"} + \frac{1}{R'_1}$ c'est-à-dire

M.E-D.N.E.S.G
LE BIBLIOTHECAIRE

Scanned by CamScanner

$$R_e = \frac{R'_1 \times R''}{R'_1 + R''}$$

En remplaçant R'_1 et R" par leur valeur on a :



$$R_e = \frac{\frac{(R_4+R_5)\times[R_1(R_2+R_3)+R_2R_3]}{R_2+R_3}}{(R_4+R_5) + \frac{R_1(R_2+R_3)+R_2R_3}{R_2+R_3}}$$

$$\Leftrightarrow R_e = \frac{(R_4+R_5)[R_1(R_2+R_3)+R_2R_3]}{(R_2+R_3)(R_4+R_5)+R_1(R_2+R_3)+R_2R_3}$$

Application numérique : $R_e = \frac{6\times[(3\times16)+48]}{(16\times6)+(3\times16)+48} \Leftrightarrow \mathbf{R_e = 3\ \Omega}$.

2°) Les intensités des courants dans les branches

Les points M et D sont des nœuds. Le courant principal I arrivant en A se divise en I_1 dans la branche comprenant R_1 et l'association (R_2,R_3) et I_2 dans la branche comprenant l'association (R_4, R_5). De même en D, I_1 se partage en I_3 dans R_2 et I_4 dans R_3. La loi des nœuds appliquée en ces points donne : $I = I_1 + I_2$ et $I_1 = I_3 + I_4$: la connaissance de I est donc indispensable.
La loi d'addition des tensions donne : $U = U_{MD} + U_{ND}$
La loi d'Ohm donne : $U = R_eI = R''I_1 = R'_1 I_2$; $U_{MD} = R_1I_1$; $U_{ND} = R'I_1 = R_2I_3 = R_3I_4$.

La question 1. donne les résultats suivants : $R' = \frac{R_2\times R_3}{R_2+R_3} = 3\Omega$; $R'_1 = R_4 + R_5 = 6\ \Omega$ et

$R'' = \frac{R_1(R_2+R_3)+R_2\times R_3}{R_2 + R_3} = 6\ \Omega$.

De la relation $U = R_eI$ on tire $I = U/R_e = 30/3 = 10$ A. De $U = R''I_1$ on a $I_1 = U/R'' = 30/6 = 5$ A et de $U = I_2$ on trouve $I_2 = U/ R'_1 = 30/6 = 5$ A.
Les relations $U_{MD} = R_1I_1$ et $U = U_{MD} + U_{ND}$, donnent alors respectivement $U_{MD} = 15$ V et $U_{ND} = 15$ V (Ce résultat est attendu car $R_1 = R'$).
De la relation $U_{ND} = R_2I_3 = R_3I_4$ on déduit $I_3 = U_{ND}/R_2 = 15/4 = 3{,}75$ A et $I_4 = U_{ND}/R_3 = 15/12 = 1{,}25$ A.

Conclusion : $I_1 = I_2 = 5$ A ; $I_3 = 3{,}75$ A et $I_4 = 1{,}25$ A et on vérifie bien : $I = I_1 + I_2 = 5 + 5 = 10$ A et $I_1 = I_3 + I_4 = 3{,}75 + 1{,}25 = 5$ A.

Scanned by CamScanner

CHAPITRE 4

• Exercice 1

- L'association PN est équivalente à un générateur linéaire de f.e.m. nE de résistor nr.

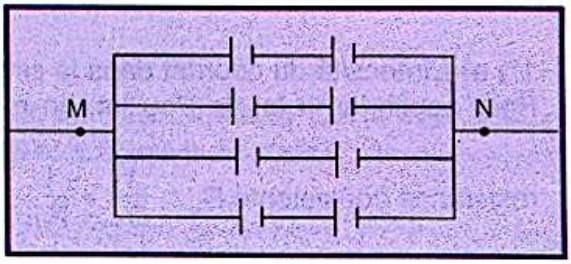
- D'après la loi de Pouillet : $i = \frac{nE}{nr + R}$

- Divisons par n le numérateur et le dénominateur : $i = \frac{E}{r + \frac{R}{n}}$

On se rend compte que plus **n** devient grand, plus $\frac{R}{n}$ devient petit, donc plus I augmente.

On voit donc que les associations de générateurs permettent d'obtenir un courant de plus grande intensité.

• Exercice 2



Pour passer de 1,5V à 3V, il faut deux piles en série, branchées dans le même sens. Mais la résistance interne est alors multipliée par deux. Pour obtenir une résistance interne plus faible, il faut utiliser un montage en dérivation qui ne change pas la valeur de la f .e.m. . Pour passer de 2Ω à 0,5Ω il faudra utiliser quatre branches. D'où le montage proposé qui utilise huit piles. Pour chaque pile E,r, on a dans chaque branche :

$$E' = 2E = 3\ V$$
$$r' = 2r = 2\ \Omega$$

Donc pour l'ensemble : $E'' = E = 3V$

$$r'' = \frac{r'}{4} = \frac{2}{4} = 0{,}5\ \Omega$$

CHAPITRE 5

• Exercice 1

a) L'intensité I qui circule dans le circuit.
La diode est branchée dans le sens passant. On peut appliquer la loi de Pouillet :

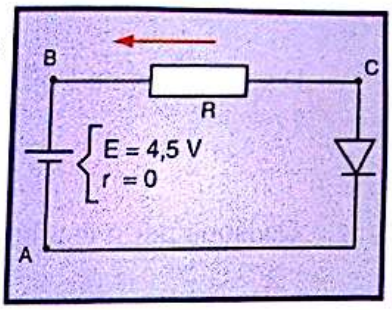
$I = \frac{E}{R+r}$ puisque r = 0, alors $I = \frac{E}{R}$

A.N. : $E = 4{,}5\ V$
$R = 10\ \Omega$

Scanned by CamScanner

D'où : $I = \frac{4,5}{10} = 0,45\ A = 450\ mA$

b) Si on retourne la diode, aucun ne pourrait circuler dans le circuit car dans ces conditions, elle serait branchée dans le sens inverse et elle équivaudra à un interrupteur ouvert.
c) L'intensité du courant si la diode est remplacée par une diode idéale.
- On applique la loi d'ohm aux bornes du générateur :
$U_{AB} = E - rI = E$ car $r = 0 \Rightarrow U_{AB} = E = RI$ (1)



- La tension aux bornes d'une diode idéale conductrice est égale à sa tension seuil quelle que soit son intensité.
$\Rightarrow U_{CA} = U_S$ avec U_S = tension seuil. Puisque $U_{BA} = U_{BC} + U_{CA}$ et $U_{BC} = RI$ (loi d'ohm), alors $U_{BA} = RI + U_S$ (2)
En comparant (1) et (2) on trouve : $RI + U_S = E$

$$\Rightarrow I = \frac{E - U_S}{R} = \frac{4,5-0,5}{10} = 0,4\ A = 400\ mA$$

L'intensité I = 400 mA

- **Exercice 2**

1°) a) L'intensité du courant dans le circuit principal.
Pour appliquer la loi de Pouillet, on remplace l'ensemble (R_2, R_3) en parallèle par une sa

résistance équivalente R_e : $\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_e = \frac{R_2R_3}{R_2+R_3}$

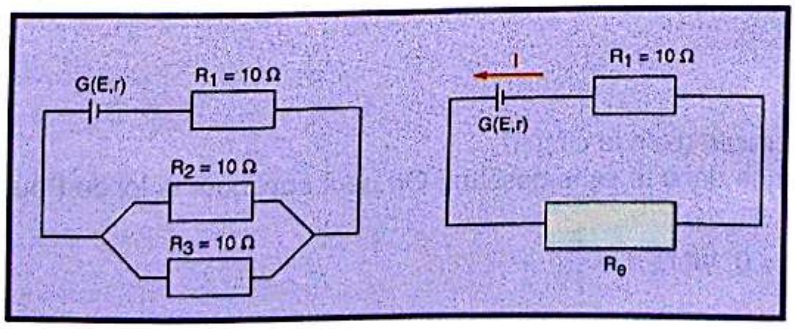
La loi de Pouillet donne : $I = \frac{E}{\sum R} = \frac{E}{r+R_1+R_e}$

A.N.: $E = 6V$
$r = 1,5\ \Omega$
$R_1 = 10\ \Omega$

$$R_e = \frac{R_2R_3}{R_2+R_3} = \frac{10\times10}{10+10} = 5\ \Omega \text{ et } I = \frac{6}{1,5+10+5} = \frac{6}{16,5} \approx 0,36\ A$$

b) Le sens de ce courant sort par le pôle (+) du générateur.

c)



Scanned by CamScanner

2°) a) Comme dans la première question on détermine la résistance équivalente R_e à l'ensemble (R_3,R_4). On trouve : $R_e = \frac{R_3R_4}{R_3+R_4}$

En appliquant la loi de Pouillet, on trouve la nouvelle intensité $I = \frac{E}{\Sigma R} = \frac{E}{r+R_1+R_2+R_e}$

A.N.: $E = 6V$

$R_1 = 10\Omega$

$R_2 = 10\Omega$

$r = 1,5\ \Omega$

$R_e = \frac{R_3R_4}{R_3+R_4} = \frac{10\times30}{10+30} = \frac{300}{40} = 7,5\ \Omega$ et $I = \frac{E}{r+R_1+R_2+R_e} = \frac{6}{1,5+10+10+7,5} \approx 0,21A$

b) On a maintenant un problème de courants dérivés. Puisque R_e est connu, on utilise :

$I_3R_3 = I_4R_4 = R_eI$

A.N. : $R_e = 7,5\ \Omega$; $I = 0,21$ A

$I_3R_3 = I_4R_4 = R_eI = 7,5 \times 0,21 \approx 1,58$ V $\Rightarrow$ $I_3 = \frac{1,58}{10} \approx 0,16$ A ; $I_4 = \frac{1,58}{30} = 0,05$ A

La loi des nœuds est vérifiée car $I_3 + I_4 = I$ $0,16 + 0,05 = 0,21$

CHAPITRE 6

- **Exercice 1**

1°) L'intensité du courant dans la photo résistance ne doit pas dépasser 18mA alors que la sirène fonctionne sous 5A. Ces deux dipôles ne sont pas adaptés l'un à l'autre : ils ne peuvent être associés an série.

2°) Lorsqu'on éclaire la photo résistance diminue et l'intensité du courant, sans dépasser 18 mA doit être suffisante pour enclencher le relais. L'intensité minimale pour enclencher le relais est :

$$i = \frac{U_e}{r} = \frac{4}{295} = 0,0135\ A = 13,5\ mA$$

L'intensité peut être comprise entre 13,5 mA et 18 mA. Si E = 25V est la tension délivrée par l'alimentation stabilisée :

$$i = \frac{E}{R+r+R_\phi}$$

soit pour $13,5.10^{-3}A < i < 18.10^{-3}A$

$$13,5.10^{-3} < \frac{25}{R+295+375} < 18.10^{-3}$$

$$718,88 < R < 1181,85$$

Dans la pénombre $R_\phi = 145\ k\Omega$, l'intensité qui circule dans la bobine est égale à

$$i = \frac{25}{145.10^3 + 295 + 670} = 1,71.10^{-4}\ A$$ (on prend : $R = 670\ \Omega$)

La tension aux bornes du relais est alors égale à :

$U = ri = 295.1,71.10^{-4} = 5,04.10^{-2}$ V

Cette tension est très inférieure à U_d : la sirène s'arrête de fonctionner.

$U_d = 3,5V$

Scanned by CamScanner

IV. MAGNÉTISME ET ELECTROMAGNÉTISME

• Exercice 1

Le champ créé par un courant d'intensité I à travers un fil à la distance d est donné par l'expression :

$$B_c = 2.10^{-7}\frac{I}{d}$$

I = 10 A

d = 50 cm = 50.10^{-2} m

Donc : $B_C = 2.10^{-7}.\frac{10}{50.10^{-2}} = \frac{2}{5}.10^{-5}\ T = 0,4.10^{-5}\ T = 4.10^{-6}\ T$

L'aiguille déviera suivant la résultante des champs B_C et B_0 tel que : $tg\ \alpha = \frac{B_C}{B_0}$

A.N. :

$B_C = 4.10^{-6}$ T

$B_0 = 2.10^{-5}$ T

D'où : $tg\ \alpha = \frac{4.10^{-6}}{2.10^{-5}} = 2.10^{-1} = 0,2 \Rightarrow \alpha = 11°19'$

L'aiguille déviera de 11°19'

• Exercice 2

L'induction au centre d'une bobine de N spires est donnée par : $B = 2\pi 10^{-7}\frac{NI}{R}$

A.N. :

N = 50 spires

I = 20A

R = rayon moyen = 10 cm = 10^{-1} m

D'où : $B = 2\times3,14\times10^{-7}\times\frac{50\times20}{10^{-1}} = 2\times3,14\times10^{-3} = 6,28.10^{-3}$ T

• Exercice 3

Soit I = 200 m = longueur du fil conducteur

Désignons par l_1 la longueur de fil pour faire une spire : $l_1 = 2\pi R = \pi D$ avec D = diamètre du solénoïde. Si N est le nombre de spires,

$N = \frac{I}{l_1}$ L'induction magnétique au centre est donnée par $B_C = 4\pi 10^{-7}\frac{N}{L}.i$

avec L = longueur du solénoïde. En remplaçant N par sa valeur dans l'expression de B_C on a :

$B_C = 4\pi 10^{-7}\frac{I}{l_1 L}.i = 4\pi 10^{-7}\frac{I}{\pi DL}.i = 4.10^{-7}\frac{I}{DL}\ i$

A.N. :

I = 200 m

D = $10.10^{-2} = 10^{-1}$ m

L = 50 cm = 50.10^{-2} m = 5.10^{-1} m

i = 2A

On trouve $B_C = 3,2.10^{-3}$ T

M.E-D.N.E.S.G
LE BIBLIOTHECAIRE
LYCEE MAMADOU SARR

Scanned by CamScanner



Scanned by CamScanner