

# PHYSIQUE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

## **1 LA LUMIERE**

Qu'est la lumière ? Ce problème a occupé l'esprit des plus grands savants de tous les temps et a aussi intéressé les personnes cultivées, avides de connaître les phénomènes naturels.

Pendant près de 300 ans, à partir de l'an 1600, les physiciens se sont demandé si la lumière était constituée de corpuscules très petits, plus, plus infimes que n'importe quelle particule de matière, ou d'ondes qui se propagent dans l'espace, comme les vagues sur l'eau et le son dans l'air.

Cela semble un problème élémentaire, facile à résoudre avec quelque expérience, puisque n'importe qui pourrait, sans trop de difficultés, faire la distinction entre le mouvement d'un corpuscule allant d'un endroit à l'autre, et, le mouvement ondulatoire, qui se propage en se dilatant tout autour de sa propre source. En réalité, on a des raisons d'être perplexe justement après avoir effectué différentes expériences, parce que certaines d'entre elles rendent acceptable l'idée des corpuscules et d'autres rendent acceptable l'idée des ondes.

Dans la présente leçon, nous décrirons les principaux phénomènes lumineux en nous limitant à en indiquer les faits.

Il n'est donc pas nécessaire d'établir si la lumière est formée d'une multitude de corpuscules ou bien d'ondes, parce que l'idée du RAYON LUMINEUX est suffisante et qu'elle a eu beaucoup de succès dans les descriptions des phénomènes naturels.

Les rayons de la lumière peuvent être vus pendant l'été, lorsque, après un orage, le soleil transparaît entre les nuages ; on peut également les

construire en faisant entrer dans une chambre noire un fil de lumière à travers un tout petit trou.

Ce sont des images qui donnent l'idée du rayon lumineux et mettent en relief sa propriété fondamentale suivante : **LE TRAJET DE LA LUMIERE EST TOUJOURS UNE LIGNE DROITE**, au moins jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle.

Afin de ne pas oublier tout à fait le problème **ONDE-CORPUSCULES**, nous pourrions comparer le faisceau de lumière qui traverse l'espace, à une bande de phoques avançant en ordre sur les vagues de la mer (Figure 1-a).

Chaque phoque représente un corpuscule de lumière, et représente également une onde lumineuse, du fait que, bien qu'il se déplace avec ses compagnons d'un point à l'autre de la surface de la mer et bien qu'il conserve toujours une direction bien définie, il ondule puisqu'il suit l'allure locale des vagues.

Les trois files rectilignes qui composent la bande, en se maintenant toujours en bon ordre, nous ramènent à l'idée du **RAYON** qui est représenté sur la Figure 1-b par une ligne droite en pointillé.

Cette comparaison est seulement figurative et ne peut donner aucune explication concernant la véritable nature de la lumière. Si nous voulons en savoir un peu plus, il nous faut examiner le comportement des rayons lumineux dans les cas les plus significatifs.

### **1 - 1 - VITESSE DE LA LUMIERE**

La lumière naît de la matière ; il y a 2000 ans, un poète Romain, Lucrèce, disait qu'elle "jaillit de l'intérieur profond des choses" ; mais elle vit bien et marche vite dans le vide.

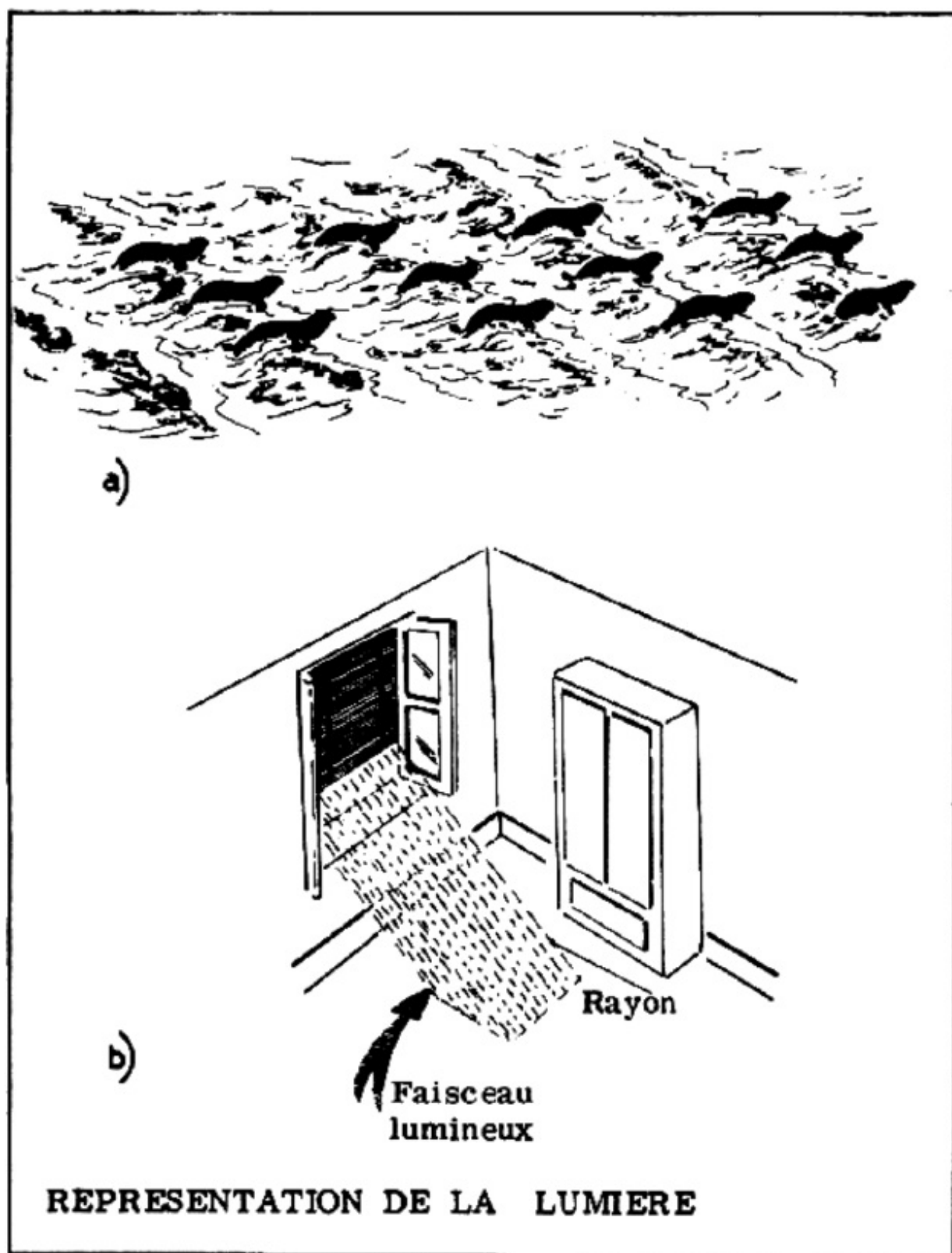


Figure 1



Particulièrement dans les espaces vides (ou presque vides) qui séparent les étoiles, il y a des torrents de lumière qui se croisent et vont dans toutes les directions, tous à la même fantastique vitesse.

Pendant longtemps on a pensé que la lumière s'éloignait de ses sources à une vitesse infinie ; c'est-à-dire que l'on pensait qu'elle se propageait instantanément d'un point à l'autre de l'espace, quelle que soit la longueur de son parcours.

Mais ceci est une erreur : la lumière met un certain temps pour aller d'un point à l'autre.

Pour pouvoir mesurer ce temps, il faut que la longueur du parcours soit très grande, au moins égale à la distance entre la Terre et la Lune. Ce fut par conséquent un astronome qui eut le premier, l'occasion de mesurer la vitesse de la lumière.

Vers la fin de l'an 1600 l'astronome Hollandais Roemer, qui effectuait des observations sur les mouvements de Jupiter et de quatre de ses satellites, releva que les satellites dans certaines conditions, avaient des retards notables, par rapport à leur "tableau de marche dans l'espace".

Le fait demandait une explication, parce que les astres, grands et petits sont toujours ponctuels.

Sur la Figure 2 est présenté avec quelques simplifications le problème qui occupait l'esprit de Roemer. Il réussit après de nombreuses observations, à déterminer avec une grande exactitude le mouvement d'un satellite de la planète Jupiter ; en outre, il savait que Jupiter et la Terre tournaient autour du soleil.

A l'aide de toutes ces données, en faisant de nombreux calculs très complexes, il avait pu établir le point où Jupiter et son satellite auraient dû se trouver un jour donné à une heure donnée, à une minute donnée.

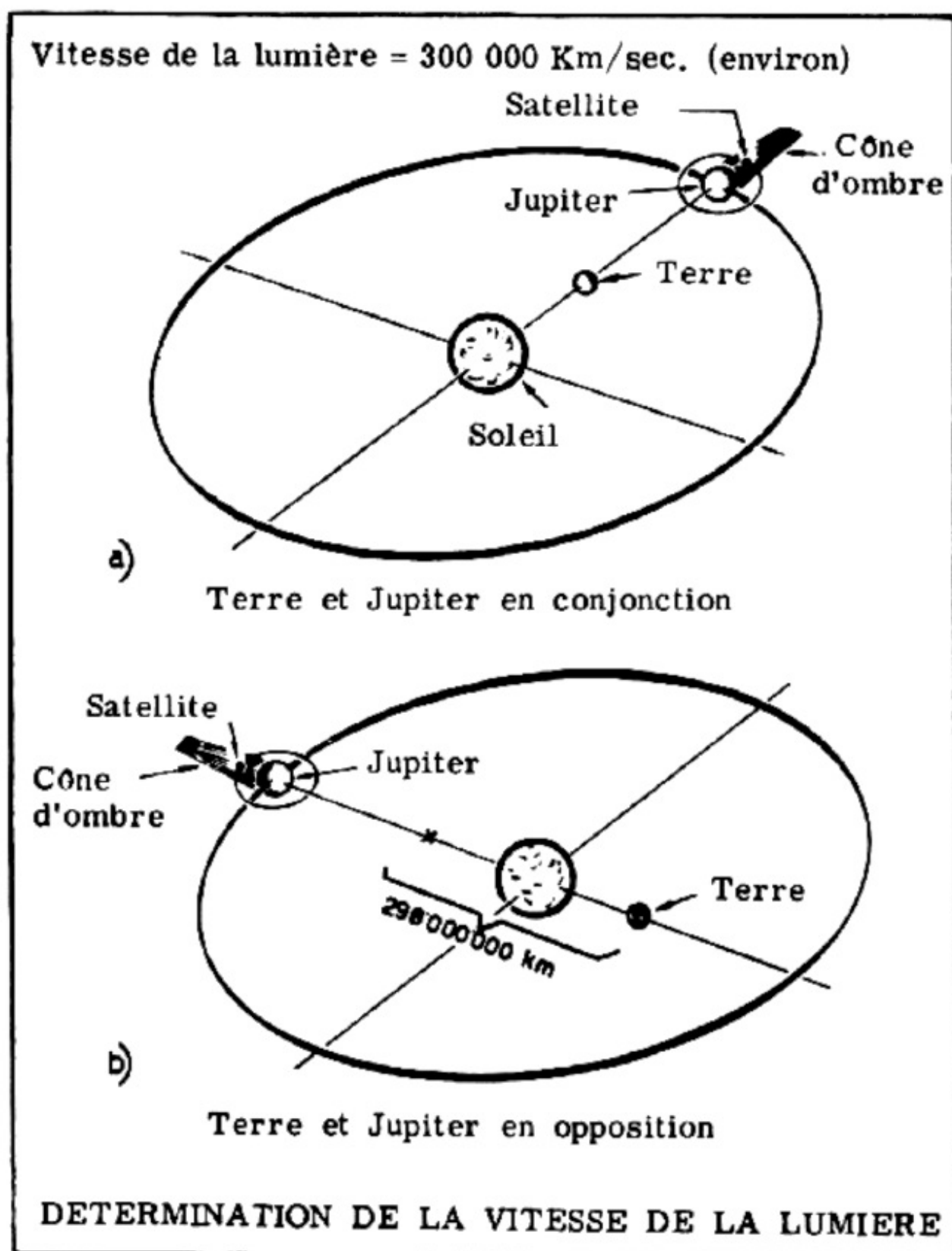


Figure 2

Roemer voulut vérifier expérimentalement, par l'observation astronomique, que tous ses calculs étaient exacts.

A cette fin, il attendait que la Terre et Jupiter soient en **CONJONCTION**, c'est-à-dire qu'ils soient tous deux alignés avec le soleil, du même côté, comme on le voit sur la Figure 2-a. Puis il nota l'instant exact où le satellite de Jupiter entrait dans le cône d'ombre derrière la planète ; cela est possible parce que, avec une longue vue, on voit, à partir de la Terre, le satellite disparaître en entrant dans la zone d'ombre.

En se basant sur ses méthodes de calculs, Roemer pouvait prévoir combien de temps, à partir de l'instant noté, aurait dû passer avant que la Terre et Jupiter soient de nouveau alignés, mais cette fois-ci **EN OPPOSITION**, c'est-à-dire en ayant le soleil au milieu (Figure 2-b) ; en outre, il pouvait indiquer l'instant où le satellite aurait disparu dans le cône d'ombre, après avoir constaté l'opposition de la Terre et de Jupiter.

Il attendit ; mais avec surprise, il vit que la disparition du satellite retardait notablement, au-delà de toutes prévisions. Le retard devait être de 1000 secondes. Roemer chercha la cause de ce retard, car il était certain de ce qu'il avait vu et également certain de l'exactitude de ses calculs.

Il réussit à découvrir le motif du retard en observant que la Terre, lorsqu'elle se trouve en opposition avec Jupiter, est plus loin de cette planète que lorsqu'elle se trouve en conjonction. L'augmentation de la distance, en passant de la conjonction à l'opposition, s'avéra être, d'après d'autres calculs, d'environ 298 millions de kilomètres.

Arrivé à ce point, le retard s'explique de manière évidente : si le parcours de la lumière envoyée par le satellite vers la Terre a été allongé de 298 000 000 km, et que le retard avec lequel on voit disparaître le satellite à partir de la Terre est de 1 000 secondes, cela signifie que les 1 000 secondes en plus représentent le temps que la lumière a mis pour parcourir 298 000 000 km en plus.

Telle fut la conclusion à laquelle Roemer arriva.

En se basant sur les indications précitées, on trouve facilement que LA LUMIERE SE PROPAGE DANS LE VIDE, ENTRE LES ASTRES, A LA VITESSE FANTASTIQUE DE 298 000 Km/s ; il suffit en effet, de faire la division  $298\,000\,000 : 1\,000 = 298\,000$  pour obtenir la vitesse de la lumière en kilomètres à la seconde.

Par la suite, après l'expérience de Roemer, d'autres mesures ont été faites dans des conditions différentes et avec des instruments perfectionnés et l'on a pu établir que la vitesse de propagation de la lumière dans le vide est légèrement supérieure à celle que Roemer avait trouvée, plus précisément elle est de 299 776 km/s, soit en arrondissant les chiffres 300 000 km/s comme indiqué sur la Figure 2.

## 1 - 2 - LES OBSTACLES DE LA LUMIERE

Il faut préciser que la lumière naît de la matière, c'est-à-dire des substances qui constituent les corps. La démonstration directe de cette affirmation nous est offerte par une simple ampoule électrique (Figure 3).

Le courant électrique passe dans l'ampoule, dans le but exclusif de réchauffer le fil de tungstène et de le porter à la température d'environ  $3\,000^{\circ}\text{C}$  (degrés centigrades).

Outre cette haute température et l'agitation consécutive des molécules du tungstène, la substance du fil reste inchangée. Pourtant elle émet de la lumière, qui s'éloigne dans toutes les directions sous forme de rayons.

Il est intéressant de voir comment le mécanisme secret des substances peut transformer la chaleur en lumière, mais il nous faut renvoyer cette étude à la prochaine leçon de physique, quand nous aurons examiné plus à fond la structure de la matière.



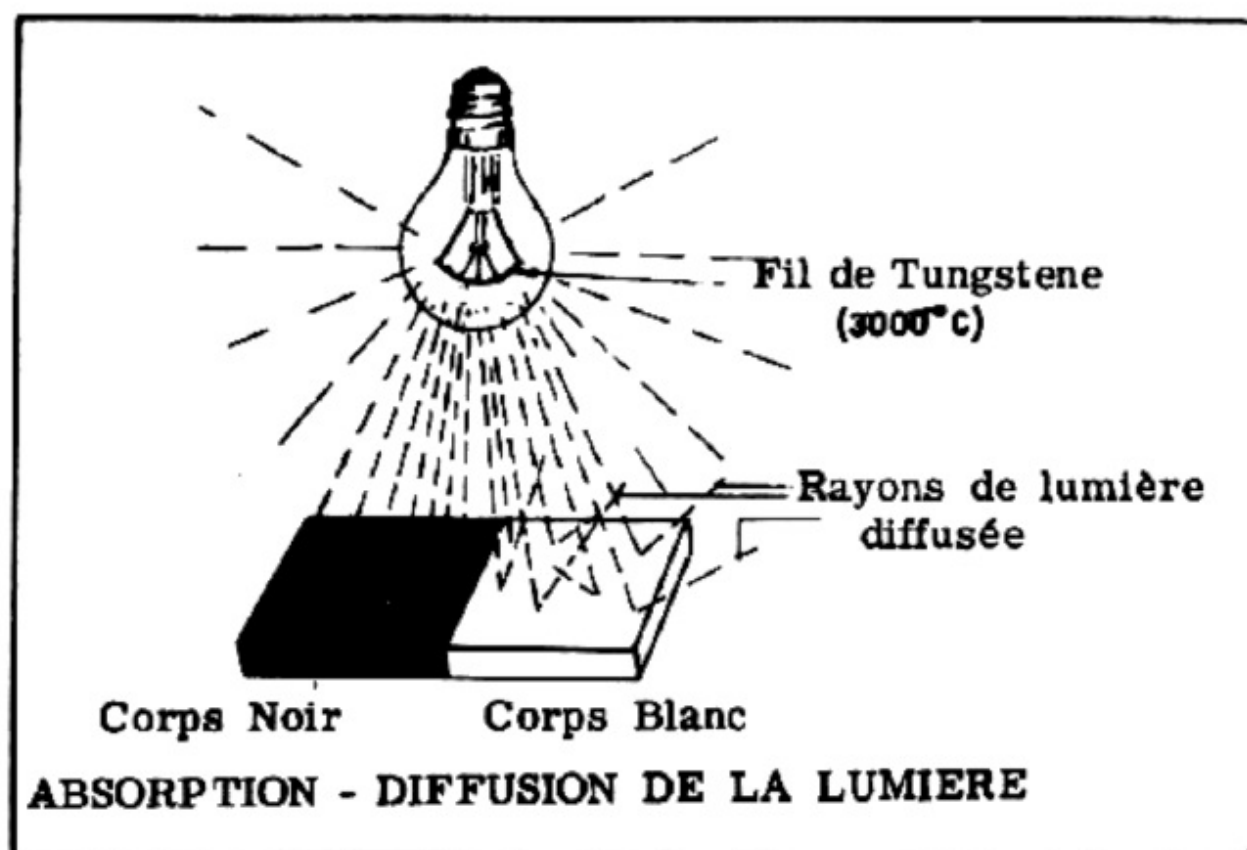


Figure 3

Pour le moment, nous devons nous contenter de suivre le chemin des rayons lumineux et de noter les circonstances qui les éloignent de leur parcours rectiligne naturel ou qui en modifient carrément la couleur.

Nous pensons que tout le monde a observé au moins une fois ce qui se passe, lorsqu'on fait tomber un rayon de lumière colorée sur un CORPS BLANC.

Si la lumière est rouge le corps blanc nous paraît rouge, si elle est jaune le corps nous paraît jaune, si elle est verte le corps nous paraît vert et ainsi de suite.

Le blanc ne peut être perçu qu'à la lumière naturelle, qui est blanche, ou à la lumière presque blanche d'une ampoule.

Ces observations nous amènent à penser que la couleur des corps est due au moins en partie, au type de lumière utilisée pour l'éclairage.

Contrairement à ce qui se passe pour le corps blanc, on peut observer qu'un CORPS NOIR, mais d'un noir sans reflet, paraît toujours noir sous n'importe quelle lumière.

La perception du noir indique l'absence de lumière, comme on peut le constater dans une chambre totalement obscure, où les corps blancs, noirs et colorés sont tous noirs et ne peuvent être distingués les uns des autres. Par conséquent, quand on observe un corps noir sous différents types de lumière et que l'on constate qu'il ne prend jamais la couleur de la lumière qui l'éclaire, on arrive à la conclusion qu'il efface en lui-même toute trace de lumière.

D'un côté le corps blanc, qui se colore différemment selon l'éclairage, démontre que **LES SUBSTANCES PEUVENT RENVOYER LES RAYONS QUI LES FRAPPENT** : parce que le changement de couleur par rapport à la couleur blanche peut provenir de la seule vision des rayons colorés réfléchis par le corps. D'autre part, le corps noir, effaçant toute trace de lumière, démontre que **les SUBSTANCES PEUVENT ABSORBER LES RAYONS QUI LES FRAPPENT**.

Le premier phénomène dans lequel les rayons sont repoussés dans toutes les directions (Figure 3) est appelé **DIFFUSION** de la **LUMIERE**, le second phénomène, dans lequel les rayons sont absorbés (Figure 3), est appelé **ABSORPTION DE LA LUMIERE** ; **CES DEUX PHENOMENES SE PRODUISENT PLUS OU MOINS, CHAQUE FOIS QU'UN OBSTACLE MATERIEL SE TROUVE SUR LE CHEMIN DU RAYON**.

L'absorption et la diffusion de la lumière sont les causes principales de la coloration des corps ; en outre, elles permettent de démontrer facilement que, la lumière blanche est en réalité un mélange de lumières colorées.

Prenons par exemple deux objets, l'un rouge, l'autre vert. Pourquoi cette différence de couleur, puisque tous les deux sont éclairés par la même lumière blanche ?

Il est évident que l'objet rouge diffuse des rayons de lumière rouge, que l'observateur voit ; de même l'objet vert diffuse des rayons de lumière verte.

On pourrait penser que les substances des deux corps transforment la lumière blanche respectivement en rouge et en vert, mais il n'en est pas ainsi. LA LUMIERE BLANCHE CONTIENT EN ELLE-MEME, DE LA LUMIERE ROUGE, ORANGE, JAUNE, VERTE, BLEUE, TURQUOISE et VIOLETTE, AVEC TOUTES LES DIFFERENTES GRADUATIONS.

L'objet rouge présente cette couleur sous la lumière blanche parce qu'il absorbe toutes les lumières colorées sauf le rouge, qu'il renvoie, plus exactement, qu'il diffuse autour de lui.

De manière analogue, l'objet vert nous paraît vert parce qu'il absorbe toutes les lumières colorées constituant la lumière blanche, sauf la lumière verte qu'il diffuse autour de lui.

Il existe des substances qui ne constituent pas un obstacle décisif sur le chemin des rayons lumineux.

Considérons par exemple, le VERRE TRANSPARENT, de la Figure 4-a. Le rayon qui arrive sur la surface du verre, à savoir le RAYON INCIDENT, en entrant dans le verre est dévié vers le bas et n'est ni diffusé, ni absorbé, de façon appréciable, par la matière.

Il suit un nouveau chemin rectiligne, sort ensuite du verre, en reprenant sa direction initiale tout en restant déplacé vers le bas.

LA DEVIATION SUBIE PAR LE RAYON EN PASSANT DE L'AIR AU VERRE, ET ENSUITE DU VERRE DANS L'AIR, S'APPELLE EN GENERAL, LA REFRACTION.

Le phénomène de la réfraction se produit chaque fois qu'un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre milieu transparent.

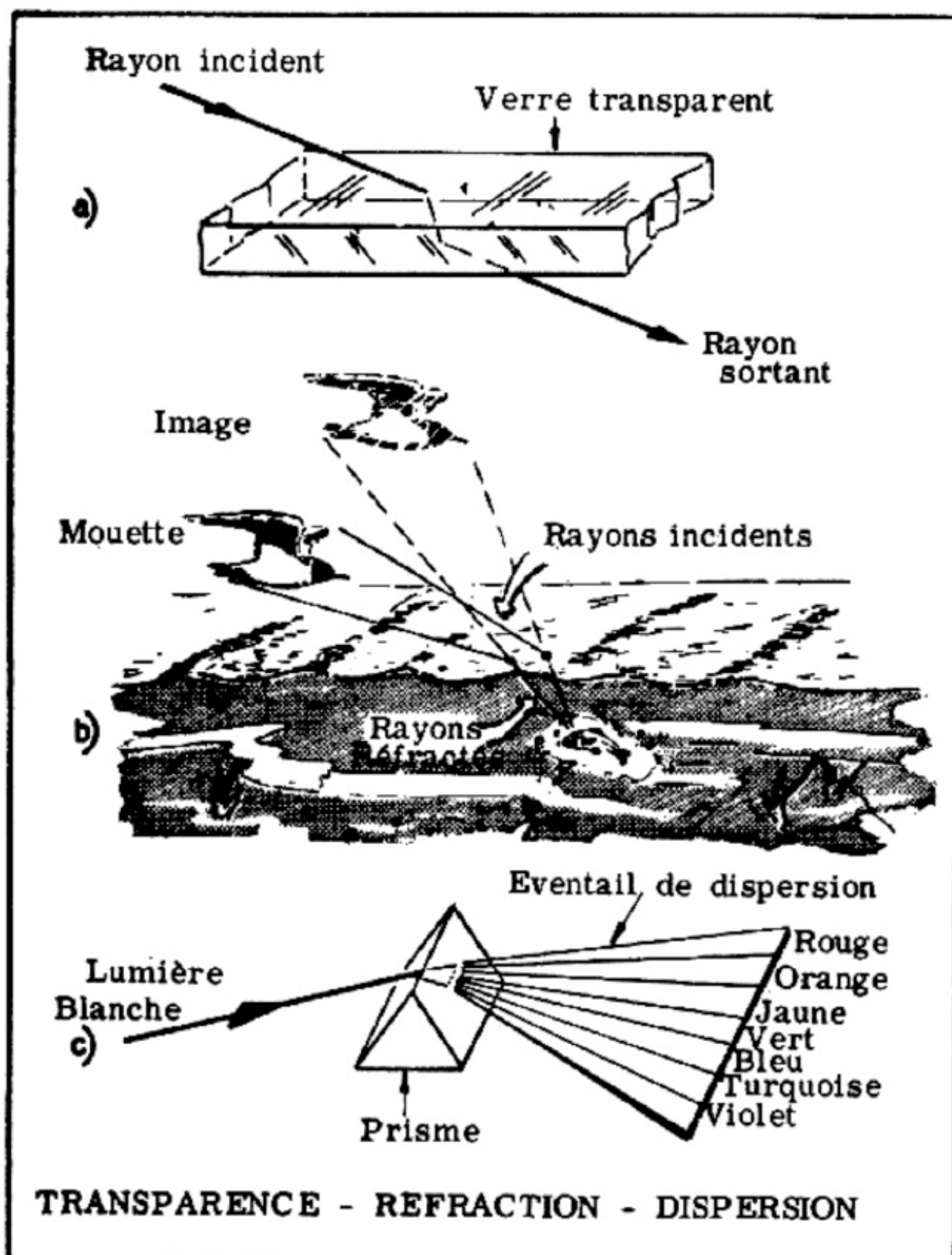


Figure 4

Par exemple, il se produit lorsque la lumière passe de l'air à l'eau, comme on le voit sur la Figure 4-b, en suivant le parcours des rayons qui vont de la mouette à l'oeil du poisson.

A ce sujet, il est intéressant de remarquer, qu'à cause de la déviation des rayons réfractés dans l'eau, le poisson voit l'image de la mouette déplacée vers le haut ; de ce fait, il ne peut pas percevoir l'imminence du danger le menaçant.

En examinant le cas du verre transparent de la Figure 4-a, nous avons vu que le RAYON SORTANT reprend la même direction que le rayon incident.

Il faut toutefois préciser que, ceci ne se produit que LORSQUE LES DEUX FACES OPPOSEES DU CORPS TRANSPARENT (la face frappée par le rayon incident et celle dont émerge le rayon sortant) SONT PARALLELES ENTRE ELLES.

Dans le cas contraire, comme par exemple dans celui du PRISME de la Figure 4-c, les rayons sortants changent totalement de direction.

L'expérience du prisme est toutefois intéressante pour une autre raison.

Si le rayon incident était d'une lumière colorée pure, c'est-à-dire d'une seule couleur, ou, comme on dit en langage scientifique, MONO-CHROME, à la sortie il n'y aurait qu'un seul rayon, d'inclinaison variable, selon la couleur.

La lumière violette subirait la plus grande déviation vers la base du prisme, comme on le voit sur la Figure 4-c. Les autres lumières colorées subiraient des déviations plus faibles en ordre décroissant allant du turquoise au bleu, au vert, au jaune, à l'orange et au rouge.



La diversité des déviations des rayons sortants colorés indique que LA REFRACTION EST DE MOINS EN MOINS PRONONCEE AU FUR ET A MESURE QUE LES COULEURS PASSENT DU VIOLET AU ROUGE.

Si, au lieu d'une lumière monochrome, on utilise un rayon incident de lumière blanche (Figure 4-c), on peut observer que la lumière sortant du prisme s'ouvre comme un éventail, en révélant la présence dans la lumière blanche de toutes les couleurs allant du violet au rouge.

Le phénomène de la DECOMPOSITION et de la DISPERSION de la lumière blanche, est à la base de l'arc-en-ciel et du scintillement multicolore des cristaux : dans le cas de l'arc-en-ciel la fonction du prisme est accomplie par les innombrables gouttelettes d'eau qui, après un orage, sont transportées par les vents à haute altitude.

### 1 - 3 - REFLEXION - DIFFRACTION - POLARISATION DE LA LUMIERE

Jusqu'à présent, nous avons considéré trois types d'obstacles pouvant se présenter sur le chemin d'un rayon lumineux : le corps blanc (ou coloré) qui diffuse une partie ou toute la lumière incidente, le corps noir (ou coloré) qui absorbe toute une partie ou toute la lumière incidente ; le corps transparent qui entraîne la formation des phénomènes de réfraction, de décomposition et de dispersion de la lumière. Trois cas particuliers nous restent encore à examiner.

Le premier, très connu, est celui de la SURFACE REFLECHISSANTE, à savoir du MIROIR, illustré sur la Figure 5.

A ce propos, il nous suffit d'observer que le miroir, à la différence du corps blanc, ne se borne pas à renvoyer les rayons incidents dans une direction quelconque, mais qu'il dirige tous les RAYONS REFLECHIS, dans des directions bien définies obéissant toutes à une loi déterminée, connue sous le nom de LOI DE LA REFLEXION.

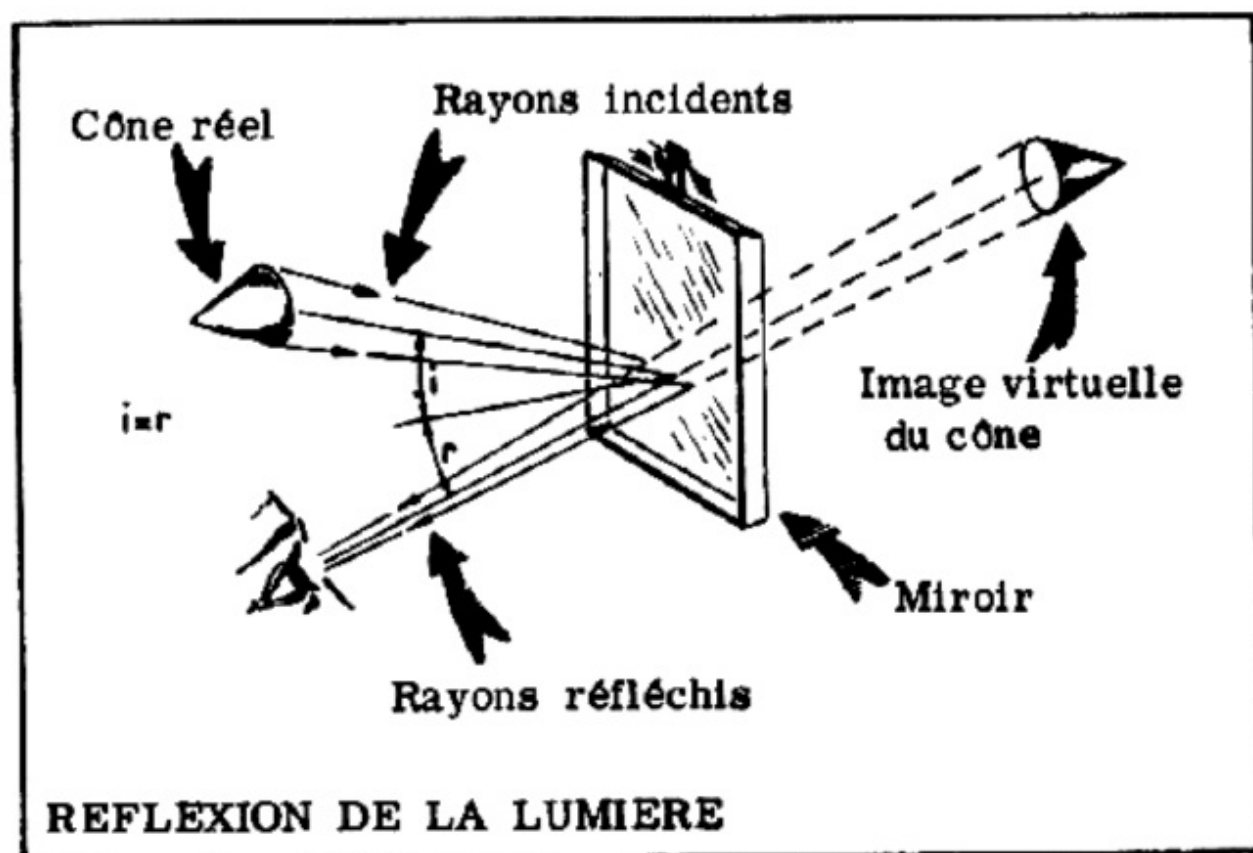


Figure 5

La loi de la réflexion est très simple : LE RAYON INCIDENT ET LE RAYON REFLECTÉ FORMENT AVEC LA PERPENDICULAIRE AU MIROIR AU POINT D'INCIDENCE, DEUX ANGLES APPELÉS RESPECTIVEMENT ANGLE D'INCIDENCE ( $i$ ) et ANGLE DE REFLEXION ( $r$ ), QUI SONT TOUJOURS ÉGAUX ENTRE EUX ( $i = r$ ).

L'œil qui reçoit les rayons réfléchis venant d'un objet tel que par exemple le cône de la Figure 5, est trompé tout comme l'œil du poisson dans le phénomène de la réfraction. En effet, il prolonge virtuellement les rayons réfléchis, de façon à reconstruire l'image de l'objet à l'intérieur du miroir.

Il s'agit d'une image illusoire, ou, comme on dit en physique, VIRTUELLE, reconstruite d'après notre perception visuelle et tournée vers l'objet RÉEL, tout comme une personne qui regarderait le visage d'une autre personne lui ressemblant à la perfection.

On utilise en général un terme plus mathématique que physique, en disant que l'objet réel et son image virtuelle dans le miroir sont SYMETRIQUES, ou qu'il y a symétrie entre l'objet et l'image du miroir.

L'idée de la symétrie des objets et de leurs images respectives dans le miroir peut être décrite très simplement.

En se référant à la base du miroir, on observe que l'objet et l'image se trouvent à la même hauteur ; l'objet d'une part et l'image d'autre part, se trouvent à la même distance de la surface du miroir ; l'objet et l'image se regardent et il s'avère donc qu'ils sont tournés l'un vers l'autre.

Examinons maintenant un autre phénomène, celui présenté sur la Figure 6. Ce phénomène ainsi que celui que nous étudierons immédiatement après, sont particulièrement intéressants, parce qu'ils démontrent que l'idée du RAYON LUMINEUX est acceptée avec quelques réserves, comme nous l'avons déjà dit au commencement de la présente leçon.

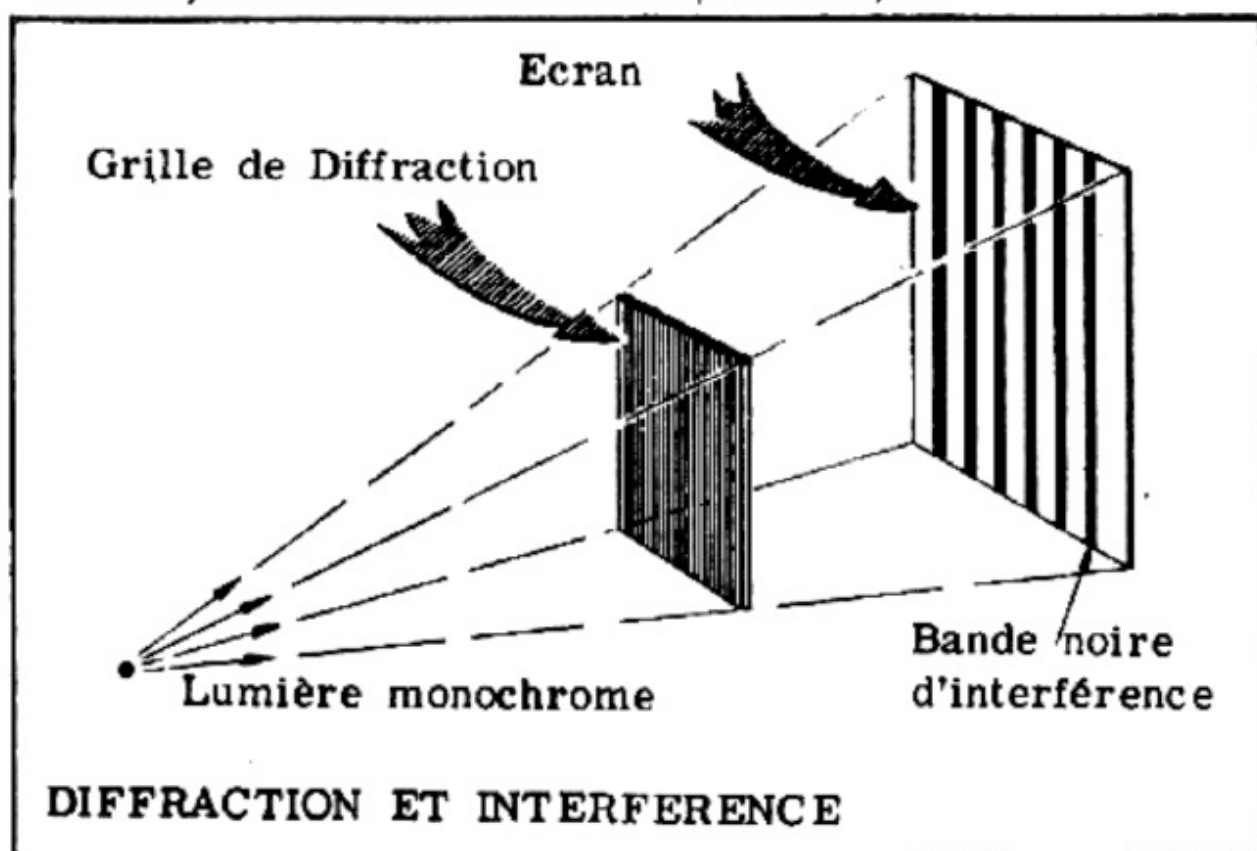


Figure 6

Dans l'expérience de la Figure 6, on fait tomber un cône de lumière *monochrome*, par exemple une lumière rouge, sur une plaque de verre rayée verticalement par de fines incisions, parallèles et très serrées.

Le verre, aux points où il est incisé devient presque opaque, il ne laisse donc pas passer la lumière. Entre chaque paire de rainures, il reste cependant une fente transparente, très étroite, à travers laquelle les rayons lumineux devraient passer librement.

Si le chemin des rayons était réellement libre, on devrait voir sur l'écran autant de petites stries éclairées et d'ombres qu'il y a de fentes transparentes et de rainures opaques ; mais cela ne se produit pas.

Sur l'écran, apparaissent des BANDES éclairées et obscures beaucoup plus larges et aussi beaucoup plus marquées qu'on ne s'y attendait.

Le nombre des bandes éclairées est inférieur au nombre des fentes transparentes du verre. On doit donc conclure que les rayons lumineux sortant du réseau à travers les nombreuses petites fentes, n'arrivent pas directement sur l'écran, et qu'ils ne se comportent donc pas du tout comme des rayons.

Le phénomène qui détermine ce singulier comportement de la lumière, pendant le passage à travers une fente très mince s'appelle LA DIFFRACTION DE LA LUMIERE.

La diffraction démontre que, LA LUMIERE N'AGIT PAS TOUJOURS COMME UN RAYON. Mais on ne peut pas penser que les rayons incidents sur les fentes du verre, soient totalement détruits, puisque la lumière arrive sur l'écran. Tout se passe comme si certains rayons se renforçaient et que d'autres s'affaiblissaient, en diminuant ou même en annulant l'effet lumineux recueilli par l'écran : en effet, on observe des bandes beaucoup plus éclairées et des bandes noires.

Le phénomène est semblable à celui du son, déjà décrit dans une précédente expérience (Physique 2 - Figure 10).

Dans cette dernière, deux sons pouvaient se renforcer ou s'affaiblir mutuellement, en interférant selon la position réciproque des ondes sonores respectives, le résultat étant un son plus intense ou plus faible ou encore, carrément le silence.

Dans le cas présent, deux ou plusieurs rayons s'additionnent donnant lieu à une lumière plus intense, ou se contrarient en déterminant une large bande noire ; ceci se passe à l'encontre de la loi de la propagation rectiligne des rayons lumineux.

La similitude avec l'interférence des ondes sonores suggère une idée nouvelle : **DANS LE CAS DE LA LUMIERE IL EXISTE AUSSI UNE INTERFERENCE D'ONDES ET LA LUMIERE EST DONC EN REALITE CONSTITUEE PAR DES ONDES LUMINEUSES.**

Dans la Figure 7, est présentée une autre expérience dont les résultats ont motivé une perplexité encore plus grande.

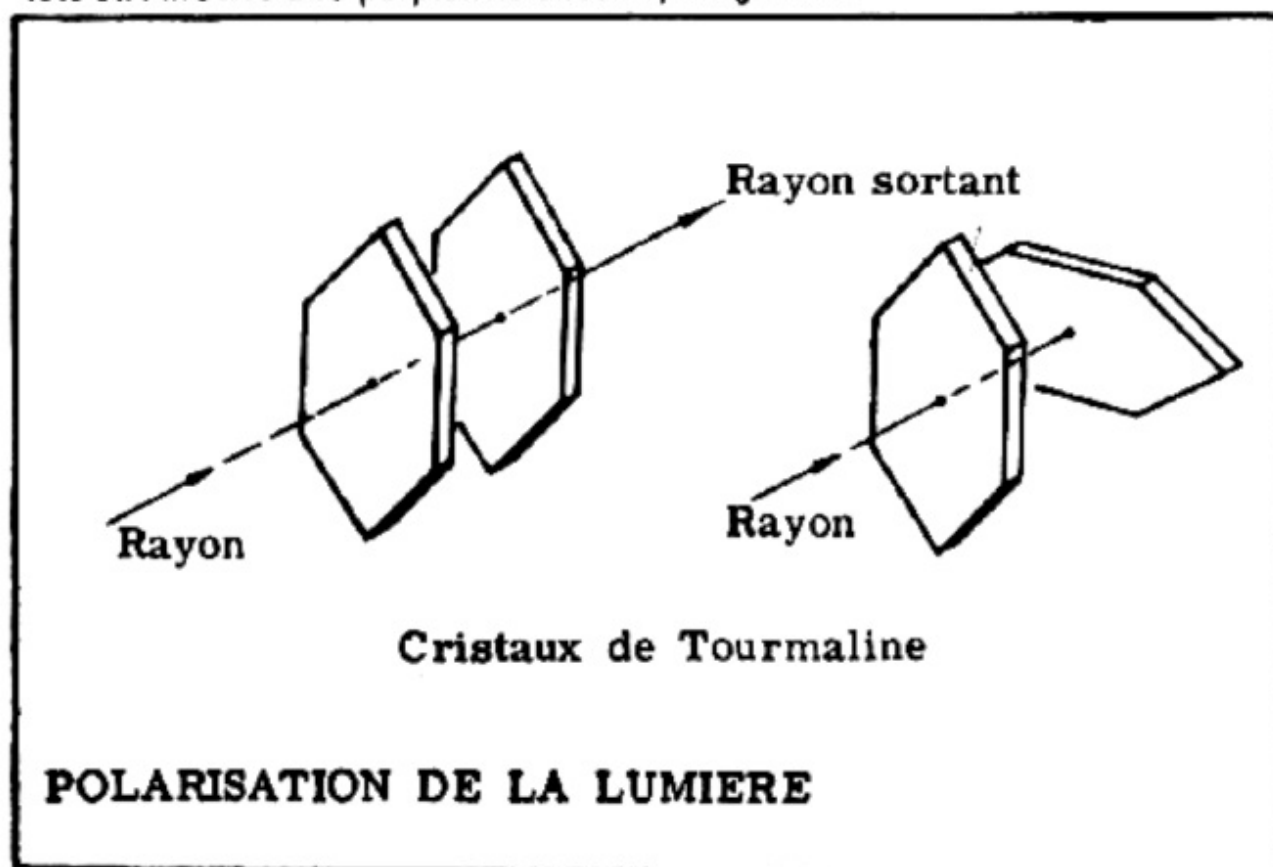


Figure 7



On avait observé que deux cristaux d'une substance transparente, LA TOURMALINE disposée dans une position donnée, laissent passer la lumière ; mais si on tourne l'un des deux cristaux, comme l'indique la Figure 7, la lumière sortante s'éteint.

Ce phénomène s'explique si l'on a recours à l'idée de l'onde lumineuse.

L'onde lumineuse peut vibrer en beaucoup de directions : verticalement, horizontalement et en une quelconque direction transversale.

Or, on suppose que le cristal de tourmaline ne transmet qu'un certain type de vibration lumineuse, orientée de façon bien définie par rapport au cristal.

Dans ces conditions, le rayon sortant du premier cristal ne peut traverser librement le second que si celui-ci se trouve dans la même position que le premier. En tournant l'un des deux cristaux, la lumière vibre d'une façon telle, qu'elle ne peut pas passer à travers le second cristal et elle est donc arrêtée par celui-ci qui se comporte alors comme un corps opaque.

L'effet produit par les cristaux de ce type et aussi par d'autres substances cristallines s'appelle la **POLARISATION DE LA LUMIERE**.

Sur la polarisation de la lumière est basé le fonctionnement de certains filtres pour appareils photographiques, que l'on utilise pour éliminer les reflets se formant sur les surfaces brillantes des objets et qui peuvent être indésirables, particulièrement dans les photographies en couleur.

#### **1 - 4 - ECLAIRAGE ET INTENSITE LUMINEUSE**

L'effet lumineux plus habituel, que tout le monde peut facilement observer, est l'éclairement des lieux ambiants et en général de tous les corps blancs et colorés se trouvant sous la lumière.

Cet effet s'appelle, dans le langage scientifique et technique l'ECLAIREMENT ou l'ECLAIRAGE.

**L'ECLAIRAGE DEPEND DE LA DISTANCE ENTRE LA SOURCE DE LUMIERE ET L'OBJET ECLAIRE.**

Pour le constater, il suffit d'approcher et d'éloigner une lampe de poche d'un objet déterminé : lorsque la lampe est près de l'objet celui-ci apparaît bien éclairé, lorsqu'au contraire, elle s'éloigne de ce même objet, celui-ci apparaît faiblement éclairé.

Pour démontrer ce fait d'une façon évidente et pour pouvoir également évaluer la diminution de l'éclairage, il suffit de considérer les deux surfaces de la Figure 8-a.

On éclaire d'abord la petite surface, qui est placée à la distance de 2,5m de la lampe ; puis on éclaire la grande surface placée sur les prolongements des mêmes rayons qui éclairaient la plus petite, mais à une distance double, soit 5m de la source de lumière. La lumière qui tombe sur les deux surfaces est toujours la même, mais dans le second cas, elle est distribuée sur une surface plus étendue, on doit donc constater que l'effet de l'éclairage est proportionnellement plus faible.

A l'aide de quelques calculs de géométrie que nous ne rapporterons pas ici, on a démontré que, si la seconde surface est quatre fois plus grande que la première, lorsque toutes deux se trouvent dans la position de la Figure 8a, l'éclairement de la seconde surface est quatre fois plus faible que celui de la première.

En se basant sur cette simple expérience, on voit que l'éclairement diminue rapidement avec la distance, puisqu'en doublant celle-ci (de 2,5m à 5m) l'éclairement diminue de quatre fois.

Sur la Figure 8-b, on a présenté dans ces grandes lignes, une autre

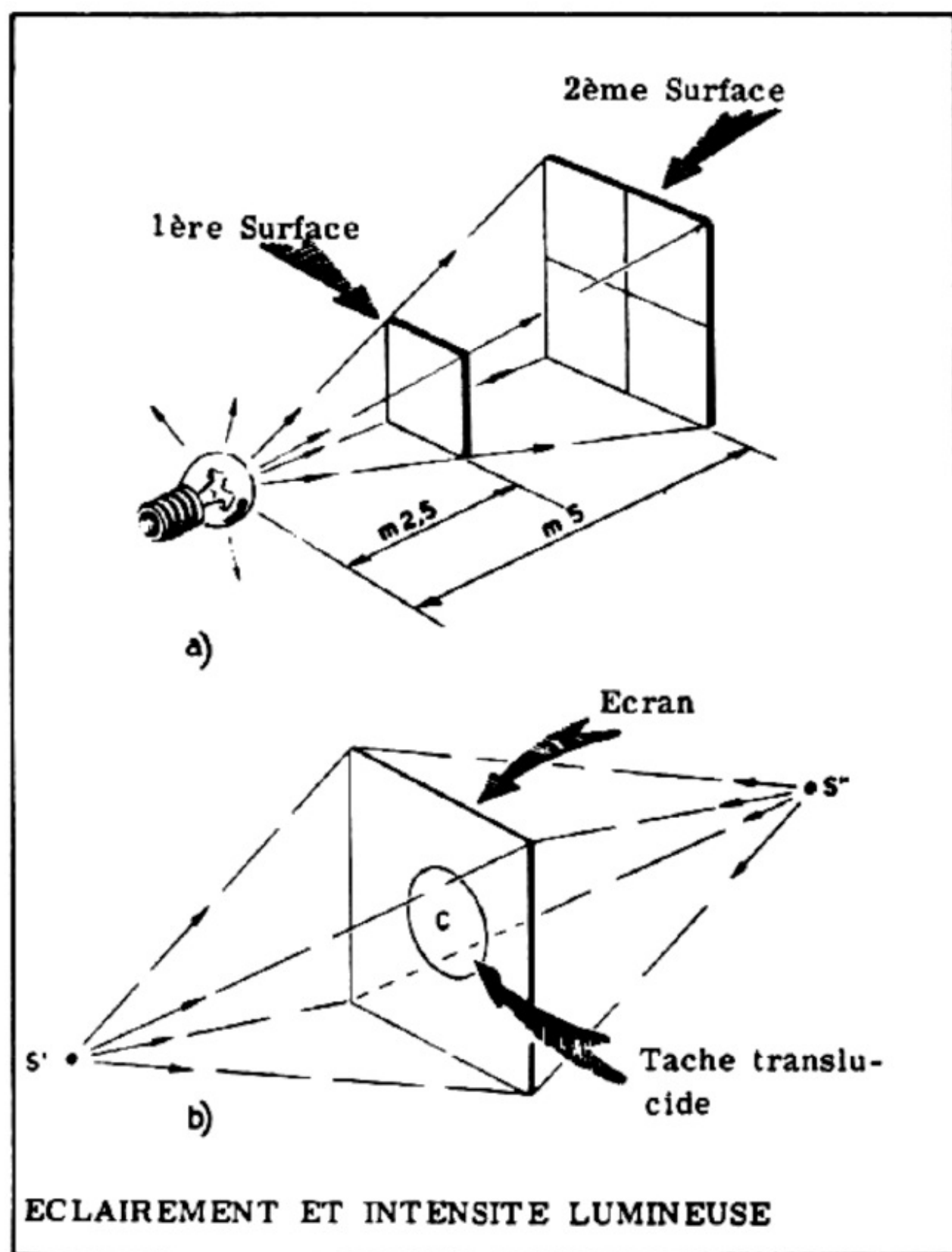


Figure 8

expérience qui sert à comparer la lumière de deux sources distinctes,  $S'$  et  $S''$ .

Pour bien comprendre cette expérience, il faut remarquer QUE L'ECLAIREMENT DEPEND AUSSI DE LA QUANTITE DE LUMIERE EMISE PAR LA SOURCE ET ENVOYEE DANS UN ESPACE DETERMINE.

Si la quantité de lumière est grande, l'éclairement apparaît fort. Si elle est petite, l'éclairement apparaît faible.

La quantité de lumière émise par une source dans un espace déterminé s'appelle l'INTENSITE LUMINEUSE DE LA SOURCE.

L'écran de la Figure 8-b sert justement à comparer les intensités lumineuses des deux sources  $S'$  et  $S''$ .

Cet écran doit être opaque sur toute la surface entourant la zone centrale C.

La zone C doit être TRANSLUCIDE, c'est-à-dire semi-transparente comme par exemple une tache d'huile sur une feuille de papier.

Si l'intensité lumineuse de la source  $S'$  est supérieure à celle de la source  $S''$  une certaine quantité de lumière filtre vers  $S''$ , à travers la zone C et permet de voir la tache translucide. La même chose se produira si l'intensité  $S''$  est supérieure à celle de  $S'$ .

TOUTEFOIS, SI LES DEUX INTENSITES SONT EGALES, L'ECLAIREMENT DE LA ZONE "C" EST EGAL DES DEUX COTES DE L'ECRAN ET PAR CONSEQUENT, AUCUNE LUMIERE NE FILTRE, NI D'UN COTE NI DE L'AUTRE. Le résultat est la disparition de la tache.

Par la disparition de la tache translucide, on peut donc établir le moment où deux sources ont la même intensité lumineuse.

## 2 — ENERGIE

Jusqu'ici en examinant les principaux phénomènes physiques, nous nous sommes toujours référés à quelque chose de tangible, présent dans toutes les expériences, à quelque chose que nous pouvons toucher et soupeser avec nos mains ou avec des instruments appropriés, lorsque nos sens n'y suffisaient pas. En bref, nous nous sommes toujours trouvés en face de la MATIERE, dont sont constitués tous les corps, grands et petits.

La matière peut se comparer aux briques, à la chaux, au ciment et à tous les éléments qui servent à bâtir une maison.

Mais une maison, pour servir à quelque chose et pour être animée doit être habitée. De même la matière, pour pouvoir servir de base aux différents phénomènes et être animée, comme nous la voyons dans ses innombrables transformations, doit aussi avoir ses habitants.

Jusqu'ici chaque fois que nous nous sommes référés à une expérience de physique, nous avons toujours dû indiquer la présence de la matière. Dans la première leçon de physique, nous avons précisé que la quantité de matière se mesure en déterminant la masse des corps. Puis, en voulant décrire les phénomènes, nous avons admis que les corps sont animés par des forces, qui sont la cause des mouvements.

L'idée que la force est la cause de l'animation dans le monde physique, est apparue immédiatement lorsqu'il a été question de produire ou de contrarier le mouvement des corps. Toutefois, cette idée a semblé moins évidente lorsqu'il a fallu expliquer la propagation des ondes et elle est devenue un peu nébuleuse, lorsqu'on a parlé de l'agitation moléculaire pour expliquer la chaleur.

Dans les phénomènes lumineux, l'idée de force a carrément disparu, bien que l'on continue à parler d'émission, de propagation et de vitesse de la lumière.



Pour poursuivre l'étude, il est maintenant nécessaire de connaître le véritable habitant de la matière, qui était jusqu'à présent caché sous l'aspect de la force : l'ENERGIE.

La matière est habitée et animée par l'énergie, tout comme la maison est habitée et animée par la présence de l'homme.

Le mot ENERGIE vient du grec et signifie "force agissante" ou encore "capacité d'accomplir un travail".

Par deux exemples, on peut donner une idée assez simple de cette capacité d'accomplir un travail, que l'on attribue aux corps et en général à la matière.

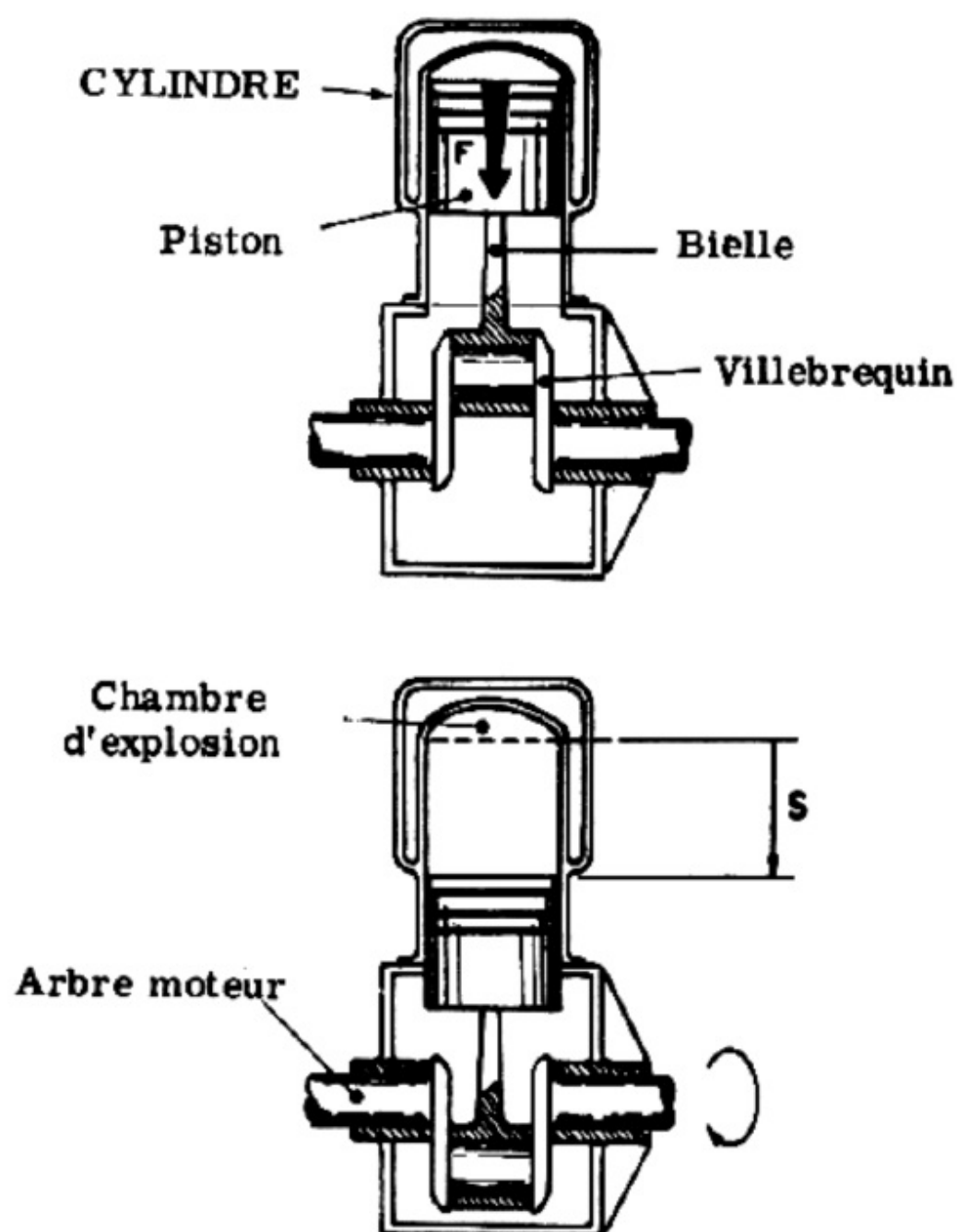
Un ressort comprimé ou tendu, lorsqu'on le libère peut déplacer un objet, actionner un mécanisme, c'est-à-dire il peut travailler. Par exemple, le ressort d'une montre travaille en faisant tourner les mécanismes, par conséquent, les aiguilles du cadran.

Dans le moteur à explosion (Figure 9), l'allumage du mélange d'essence et d'air, comprimé dans la chambre d'explosion, détermine une très forte pression, qui travaille en poussant le piston vers le bas et qui, par l'intermédiaire du système bielle-vilebrequin, fait tourner l'arbre du moteur.

Ce qui pousse à accomplir le travail du ressort ou du mélange essence-air, c'est le mystérieux habitant de la matière, à savoir l'ENERGIE.

## **2 - 1 - TRAVAIL – PUISSANCE**

Habituellement, les physiciens ne se bornent pas à mettre en lumière les faits, ou à illustrer par un simple discours les différents aspects des phénomènes naturels. Bien au contraire, pour les physiciens, la connaissance pure n'a pas beaucoup d'importance, si elle n'est pas accompagnée par une série de mesures effectuées en laboratoire ou à l'extérieur, pour prouver



$$\text{Travail} = \text{Force} \times \text{Déplacement}$$

### TRAVAIL DU MOTEUR A EXPLOSION

Figure 9

qu'ils sont arrivés à des conclusions exactes et pour bien délimiter les concepts.

L'idée de l'énergie naquit d'un médecin Allemand, **MAYER**, dans la seconde moitié du siècle dernier, au cours d'un voyage dans les mers de Chine.

Le navire sur lequel il était embarqué avait été touché par un terrible typhon, comme cela se produit souvent dans ces mers.

La violence des vents et la terrible agitation des vagues paraissaient jaillir du tréfonds de l'air et de l'eau, comme si un esprit puissant, caché dans la grande étendue de la mer et du ciel, s'était réveillé en fureur.

Le danger vaincu et de retour dans sa patrie, Mayer ne put oublier l'impression de peur qu'il avait eue, mais comme cela se produit parfois dans l'esprit des savants, à partir de cette impression, une nouvelle idée germa, à savoir que, dans toutes les choses dormait une force : **L'ENERGIE** analogue à celle des mers de Chine.

Cette idée fut reprise par les physiciens contemporains, qui la développèrent méthodiquement dans les laboratoires.

L'énergie lorsqu'elle est en action, laisse une trace souvent bien visible, c'est-à-dire qu'elle travaille.

Le **TRAVAIL** accompli peut représenter l'énergie elle-même, comme dans le thermomètre dont nous avons parlé dans la leçon précédente : la colonne de mercure en montant de  $14,5^{\circ}\text{C}$  à  $15,5^{\circ}\text{C}$ , représentait la chaleur, ou plutôt une certaine quantité de chaleur.

La similitude entre énergie et chaleur, travail et dilatation du mercure n'est pas seulement occasionnelle. Parce que, comme nous le verrons dans la prochaine leçon, **LA CHALEUR EST EFFECTIVEMENT ENERGIE ET LA DILATATION DU MERCURE EST TRAVAIL.**

Mais habituellement, on désigne sous le terme de travail le **TRAVAIL MECANIQUE**, à savoir, **LE DEPLACEMENT** d'un corps obtenu par une **FORCE** bien définie.

Considérons par exemple sur la Figure 9, le déplacement **S** du piston dans le moteur à explosion, déplacement produit par la force **F**, exercée par la pression des gaz qui se forment à la suite de l'allumage du mélange essence-air.

Le travail fourni par le moteur (au moyen de la conversion en mouvements rotatifs par le système bielle-vilebrequin) est en substance le travail du piston.

Or, on peut facilement calculer le travail du piston si on connaît la **COURSE**, à savoir le déplacement (désigné par commodité par la lettre **S**) et la force (désignée par la lettre **F**) qui agit sur le même piston après l'explosion.

Pour fixer les idées, supposons que la course **S** soit de 0,1 m (10 cm), que la force **F**, soit de 75kg. On calcule le travail en multipliant la force par le déplacement. Donc, dans le cas supposé nous aurons :

$$75 \times 0,1 = 7,5 \text{ kilogrammes} \times \text{mètre.}$$

Lorsque le produit kilogramme x mètre est égal à 1, on a le **TRAVAIL UNITAIRE**, à savoir l'unité de mesure du travail que l'on représente par le symbole **Kgm** et qui porte le nom de **KILOGRAMMETRE**.

En physique on utilise presque toujours des unités de mesures plus petites que le kilogrammètre, soit plus précisément le **JOULE**, qui est un peu plus d'un dixième de kilogrammètre, ou bien l'**ERG** qui est un peu plus d'un cent millionième de kilogrammètre.

**NOTE :** Depuis la dernière réunion du Comité International

des Poids et Mesures, le kilogrammètre est prohibé et l'unité de travail est le JOULE.

L'unité de poids (ou de force) est le NEWTON ; la valeur du Joule est de 1 newton-mètre (1 kilogrammètre = 9,81 Joules) et l'ERG =  $10^{-7}$  joules.

Ces mêmes unités de mesures, joule, erg, servent à indiquer soit les quantités de travail, soit les quantités d'énergie. On ne doit pas s'en étonner, car comme nous l'avons déjà vu, on peut considérer l'énergie comme du travail en instance. D'autre part, on peut considérer que le travail est l'aspect manifeste et mesurable de l'énergie.

En ce qui concerne le travail mécanique, il faut préciser que le produit force  $\times$  déplacement, qui en donne la mesure, n'est valable que si toute la force considérée produit le déplacement du corps et si tout le déplacement provient de la même force. A savoir si force et déplacement ont la même direction ; c'est le cas dans la Figure 9.

Sur la Figure 10, la force agit vers le haut et le déplacement est horizontal, il ne se produit pas de travail mécanique.

Cela semblerait inexact, mais si l'on considère le travail physique de la seule force  $F$  nécessaire pour soutenir la valise, on doit conclure que le porteur ne travaille pas, ou plutôt que, malgré la peine qu'il se donne, il n'accomplit pas un travail dans le sens indiqué par les physiciens.

La force  $F$  et le déplacement  $S$  sont respectivement verticale et horizontal, c'est-à-dire qu'ils forment un angle de  $90^\circ$ . Par conséquent, on ne peut pas dire que le déplacement  $S$  soit dû à la force  $F$  et le travail de cette force est donc égal à zéro.

En effet, le porteur travaille lorsqu'il soulève la valise, parce que la force  $F$  et le déplacement vertical de la valise ont la même direction.



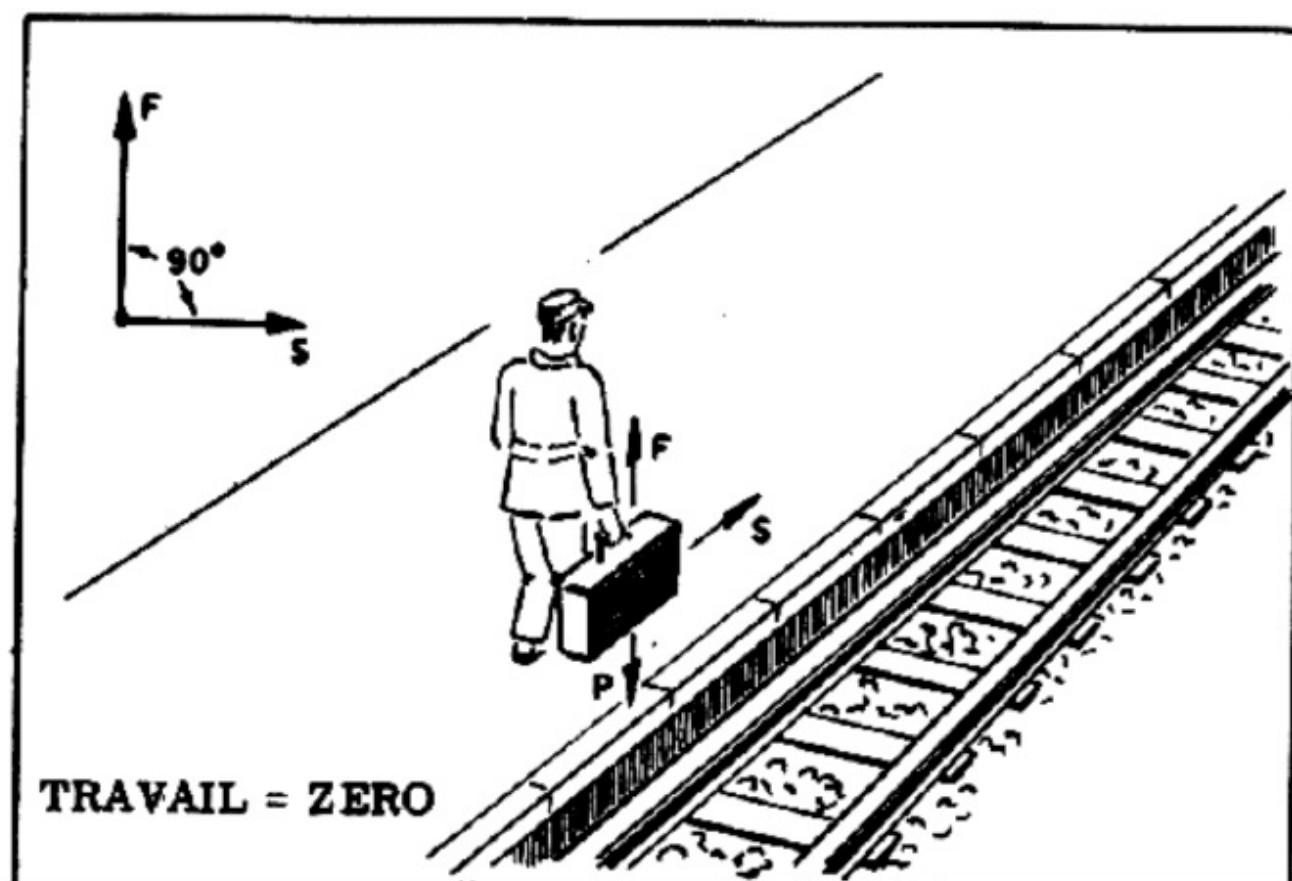


Figure 10

A ce moment, il fournit une énergie pour vaincre le poids ( $P$ ). Mais, lorsqu'à la fin de son parcours il pose la valise à terre, cette même énergie est restituée et l'on arrête les comptes par un résultat nul. En effet, il suffit d'observer que la valise se trouve de nouveau au niveau de la terre, tout comme avant.

Naturellement le porteur de bagages doit travailler d'une autre façon parce que la valise ne se déplace pas spontanément d'un point à l'autre; même en restant toujours dans le même plan. En particulier, il doit fournir de l'énergie pour mettre la masse de la valise en mouvement et pour vaincre la résistance de l'air.

Par conséquent, même s'il ne travaille pas dans le sens physique, quand il tient la valise soulevée, (même s'il se donne de la peine pour cela),

on doit lui reconnaître un autre travail, celui qu'il produit en se déplaçant lui-même d'un endroit à l'autre.

Pour compléter ces observations sur le travail, et en particulier sur le travail mécanique, il faut remarquer que, en général, le passage de l'énergie au travail demande toujours un certain temps.

Ce temps peut être de très courte durée, comme dans le cas illustré sur la Figure 11, où l'on voit un poids qui, en tombant, frappe violemment une noix et la casse, ou il peut être aussi de durée très longue, comme par exemple, dans les horloges à balancier, où la détente du ressort peut durer plus d'une année.

La longueur de la durée ne dépend pas de la quantité globale d'énergie disponible.

Dans les bombes thermonucléaires, l'énergie disponible est énorme.

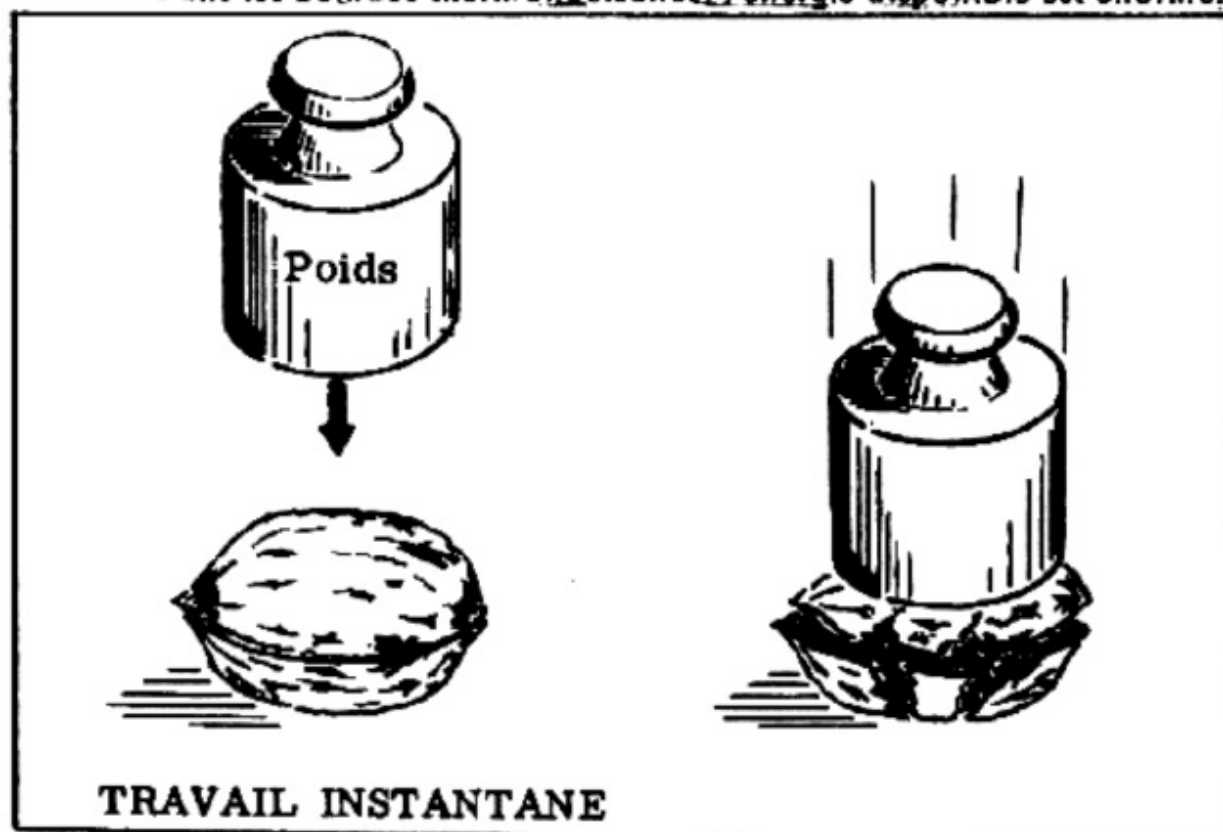


Figure 11

Mais le travail qui se produit lors de l'explosion est presque instantané. Dans les piles atomiques, l'énergie est aussi grande, mais le travail est fourni en un temps très long, c'est-à-dire qu'il est dosé de façon à rendre possible l'utilisation convenable de cette énergie.

Généralement, l'élaboration de l'énergie est réglée, sur un temps assez long, sauf quand elle est destinée à des fins de construction.

La quantité d'énergie qui devient travail en un temps déterminé, par exemple en une seconde, est appelée **PUISSANCE**.

Pour bien comprendre ce qu'est la puissance, revenons à l'exemple du moteur à explosion (Figure 9).

Supposons par exemple, que le moteur tourne à 1800 tours par minute.

En une seconde, il doit faire 30 tours ( $1800 : 60 = 30$ ), et en même temps le piston descend 30 fois sous la poussée des gaz produits par l'explosion.

Nous avons calculé précédemment le travail produit, pendant une course du piston, et, avons trouvé, qu'il était de 5,7kgm. Nous pouvons donc maintenant facilement déterminer le travail global accompli en une seconde, en multipliant 7,5kgm par le nombre des courses, à savoir par 30.

Le produit  $7,5 \times 30 = 225$  kgm/s donne la mesure de la puissance développée par le moteur dans un cylindre, en l'exprimant en **KILOGRAM-METRE A LA SECONDE** (kgm/s).

Mais, dans les applications de la mécanique, on utilise presque toujours comme unité de mesure de puissance, **LE CHEVAL VAPEUR** (au lieu du kilogrammètre par seconde). D'autre part, en électrotechnique et en électronique, on utilise une troisième unité de puissance, le **WATT**.

Le cheval vapeur peut avoir différentes valeurs suivant le système que l'on utilise : dans le système anglais, il est appelé HORSE POWER (symbole HP) et il vaut 76,043kgm/s. Dans le système continental, il vaut 75,172kgm/s et son symbole est  $ch$ . Dans le système technique, il vaut 75kgm/s et son symbole est  $ch$ , ou aussi CV.

Le watt qui sera utilisé dans les leçons de physique du présent cours, équivaut à 0,102 kgm/s, il est égal à un joule par seconde et il est représenté par le symbole W.

Au cours de la prochaine leçon de physique, nous étudierons les principales transformations de l'énergie et nous examinerons la structure de la matière, qui est la demeure naturelle de l'énergie.

