

LUMIÈRES & OMBRES

Ce chapitre n'est pas inscrit explicitement dans les programmes du B.O. Spécial N°11 du 26 novembre 2015, néanmoins il se doit d'être considéré comme préliminaire aux activités du domaine **SCIENCES ET TECHNOLOGIE** concernant le sous-domaine intitulé **La planète Terre** dans lequel on peut lire :

Situer la Terre dans le système solaire et caractériser les conditions de la vie terrestre	
<p>Situer la Terre dans le système solaire. Caractériser les conditions de vie sur Terre (température, présence d'eau liquide).</p> <ul style="list-style-type: none">» Le Soleil, les planètes.» Position de la Terre dans le système solaire.» Histoire de la Terre et développement de la vie. <p>Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit, autour du Soleil et cycle des saisons).</p> <ul style="list-style-type: none">» Les mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil.	<p>Travailler à partir de l'observation et de démarches scientifiques variées (modélisation, expérimentation...).</p> <p>Faire - quand c'est possible - quelques observations astronomiques directes (les constellations, éclipses, observation de Vénus et Jupiter...).</p> <p>Découvrir l'évolution des connaissances sur la Terre et les objets célestes depuis l'Antiquité (notamment sur la forme de la Terre et sa position dans l'univers) jusqu'à nos jours (cf. exploration spatiale du système solaire).</p>

D'autre part, le cycle 1 se trouve être un terrain propice aux activités concernant ce thème, tant dans "Faire l'expérience de l'espace" que dans "utiliser, fabriquer, manipuler des objets".

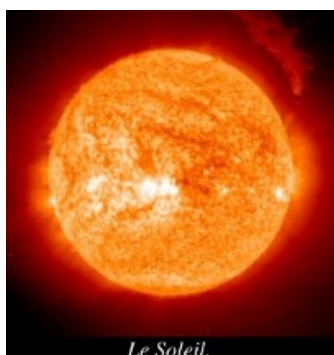
I. Les sources lumineuses.

La lumière est un rayonnement auquel notre œil est sensible. Elle est formée d'ondes électromagnétiques et sa nature corpusculaire, avancée par Isaac Newton, est contredite par le phénomène des interférences auxquelles elle est soumise. On peut caractériser une radiation lumineuse par sa fréquence f exprimée en hertz [Hz] ou par sa longueur d'onde λ (lambda) plus souvent exprimée en nanomètres [nm] (c'est à dire 10^{-9} m).

La lumière est produite par des sources primaires qui peuvent être chaudes (Soleil, bougie...) ou froides (laser) sinon elle est renvoyée par des sources secondaires. L'œil ne perçoit que la lumière qui lui entre à l'intérieur et qui active les cellules qui tapissent la rétine.

A. Les sources primaires.

Il existe des **sources primaires chaudes** (*incandescentes*) de lumière.



Les deux principales sources primaires évoquées par les élèves sont le Soleil et la lampe à incandescence (Joseph Swan – Thomas Edison 1879).

La température moyenne à la surface du Soleil est de $5\,500^{\circ}\text{C}$ (au niveau de sa photosphère, c'est à dire de sa couche externe de gaz qui produit ce qui est visible) alors qu'une lampe à incandescence passe de 20°C à environ 2500°C en 1/20ème de seconde à l'allumage.

Mais il y a bien d'autres sources chaudes auxquelles on ne pense pas forcément et qui peuvent être évoquées.

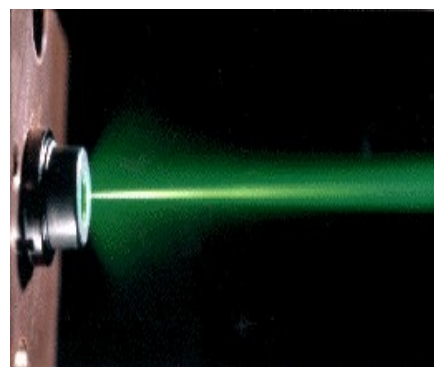


Ainsi les braises incandescentes d'un âtre procurent de la chaleur mais également de la lumière, au même titre que de la lave volcanique, qu'une allumette, du fer en fusion dans un haut-fourneau ou qu'une résistance de barbecue électrique.

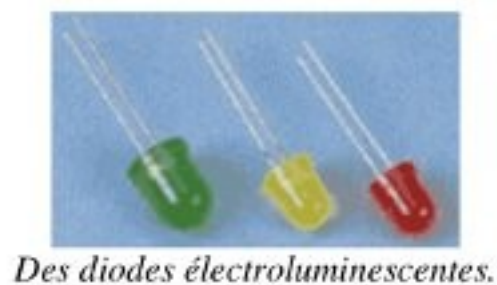


Les **sources primaires froides** (*luminescentes*) de lumière sont plus difficiles à trouver par les élèves.

Quand ils se réfèrent aux pratiques sociales de référence dans le chapitre sur l'énergie, ils citent les lampes « à économie d'énergie ».



Mais il y a aussi la lampe au néon, le laser, les diodes électroluminescentes et les affichages électroluminescents.



Et pour finir avec les sources primaires froides, le règne animal nous réserve parfois quelques surprises... avec les poissons abyssaux ou les lucioles.



B. Les sources secondaires.

Les sources secondaires de lumière ne produisent pas la lumière qu'elles émettent. Elles renvoient une partie ou la totalité de la lumière reçue d'une source primaire ou d'une autre source secondaire (réfléchissant ou diffusant cette lumière, ce que nous verrons ci-après).

La lumière renvoyée peut ne pas avoir les mêmes caractéristiques de couleur que celle de la source primaire, ainsi, tous les objets éclairés que nous voyons ou les planètes et leurs satellites sont des sources secondaires.

On distingue :

Les sources secondaires claires qui procurent une forte luminosité... (et emmagasinent peu la chaleur véhiculée par la lumière)

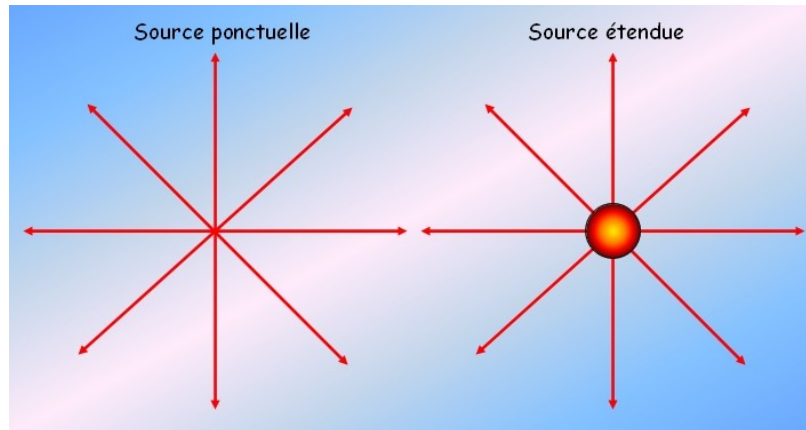


... et les sources secondaires plus sombres (qui emmagasinent la chaleur véhiculée par la lumière).



C. Les sources ponctuelles et les sources étendues.

Les **sources ponctuelles** sont les sources lumineuses auxquelles ont attribué dans leur représentation la dimension d'un point. Pour un observateur terrestre, une étoile est une source ponctuelle car il la voit ainsi, même si en réalité, cette étoile est plus imposante que notre propre Soleil. Mais son éloignement, et l'effet de perspective qui l'accompagne, la réduisent à un point.



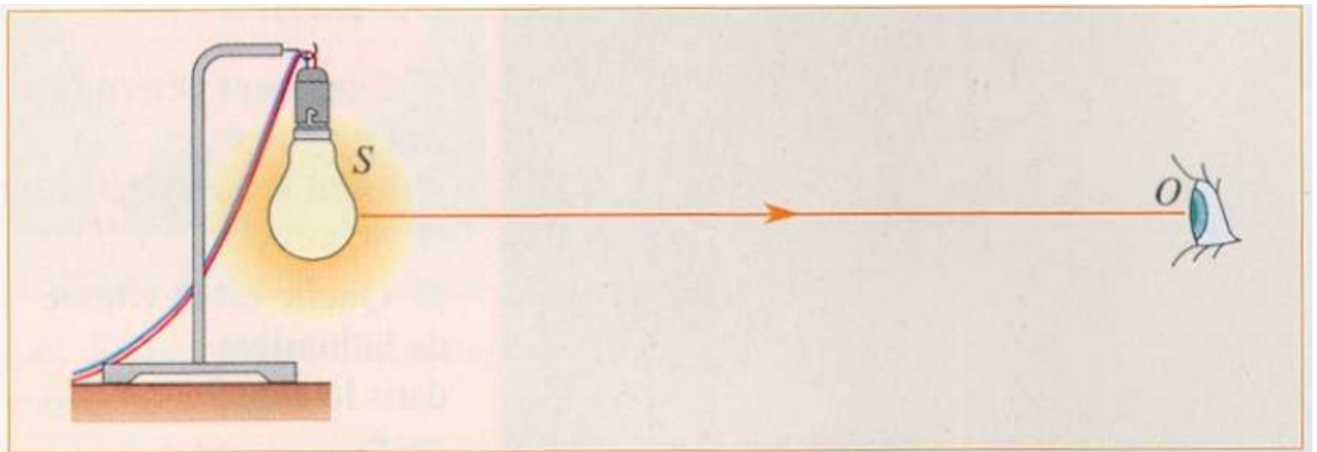
Les **sources étendues** possèdent dans leur représentation des dimensions plus importantes qu'un seul point. On considère qu'elles sont constituées d'une multitude de sources ponctuelles (ex : la flamme d'une bougie).

II. Caractéristiques de la lumière.

A. Propagation.

La lumière se propage dans toutes les directions en ligne droite dans un milieu transparent (milieu traversé par la lumière et qui la transmet sans la diffuser) et homogène (identique en tout point).

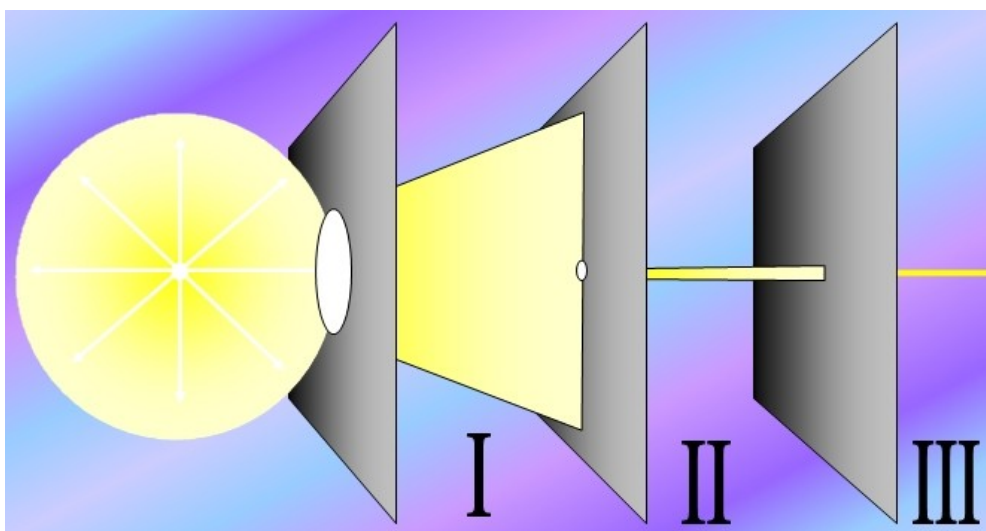
Elle se déplace aussi bien dans les milieux matériels (constitués d'atomes) que dans le vide (dépourvu de matière) .



Pour représenter la lumière on utilise le modèle du rayon lumineux indiquant le chemin pris par la lumière d'un point à un autre de façon rectiligne ; on trace un segment avec une flèche indiquant le sens de propagation.

Un ensemble de rayons lumineux constitue un faisceau lumineux. Pour le représenter, on le schématise par les 2 rayons qui bordent sa périphérie.

L'illustration suivante représente une source lumineuse ponctuelle (c'est le petit point blanc au milieu de la sphère) dont la lumière traverse successivement trois panneaux opaques troués :



À chaque passage, la lumière change de schéma pour devenir :

- I. Un faisceau.
- II. Un pinceau.
- III. Un rayon.

La lumière se propage dans le vide à une vitesse approximative de 300 000 km/s : c'est ce que l'on appelle la célérité, qui dépend du milieu dans lequel se propage la lumière . Dans l'air, la valeur de la célérité est sensiblement la même que dans le vide.

B. Les modifications de parcours.

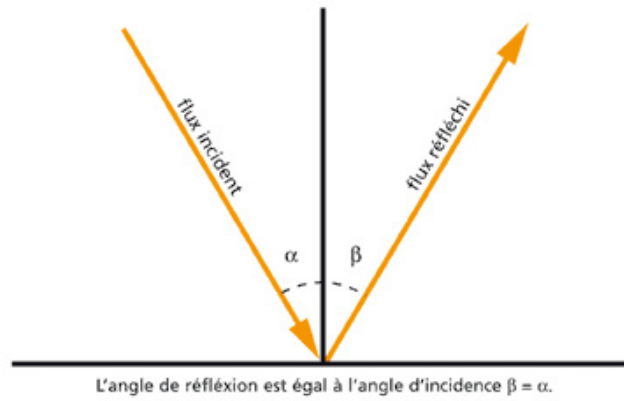
Lorsque la lumière se propage, elle est susceptible de rencontrer des corps qui modifient son trajet et certaines de ses caractéristiques.

1) La réflexion.

C'est un phénomène qui nous permet de nous voir dans un miroir ou dans l'onde d'un lac.



L'angle d'incidence d'un rayon de lumière sur la matière (miroir) et l'angle du rayon réfléchi sont symétriques par rapport à la perpendiculaire au plan de la matière (miroir), et pour le coup confondue avec la bissectrice de l'angle global formé par les deux rayons.

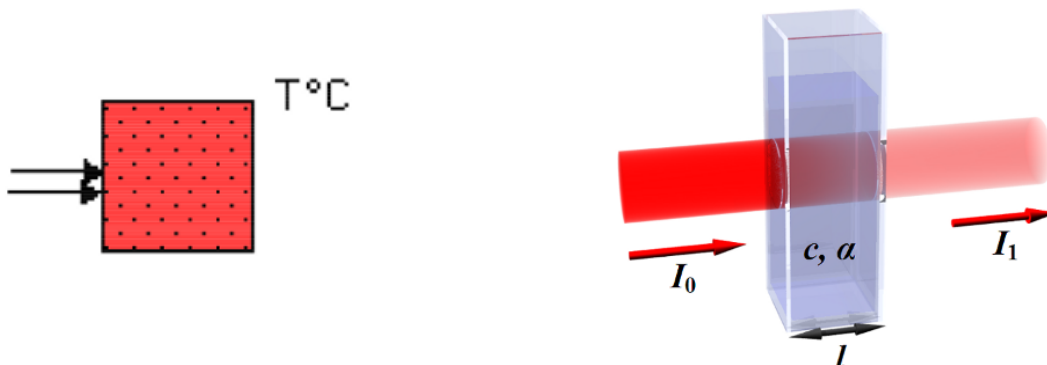


Bien maîtrisée, la réflexion peut susciter l'émotion dans plusieurs situations appréciables.

2) L'absorption.

Lorsqu'une lumière atteint une matière constituée de molécules, celles-ci reçoivent une onde électromagnétique de fréquence f située dans le domaine du visible. Si cette fréquence correspond à la fréquence de vibration des électrons des liaisons de la molécule, il y a absorption de la lumière.

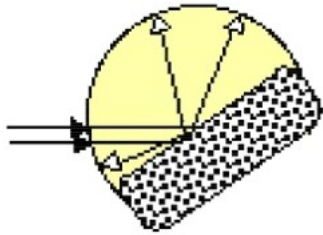
L'énergie lumineuse absorbée par la molécule est convertie en énergie de vibration et de rotation des atomes. Ceci provoque l'échauffement du corps absorbant. Celui-ci paraîtra coloré s'il ne restitue que certaines longueurs d'ondes et noir dans le cas où il ne restitue rien.



Si aucune absorption n'intervient, la molécule est transparente ou blanche.

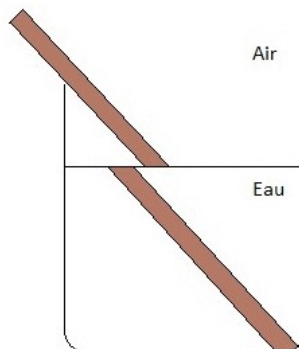
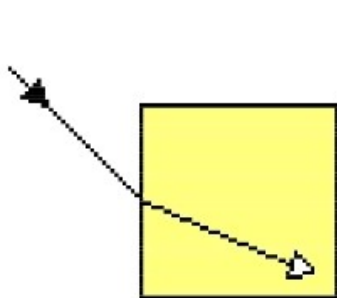
3) La diffusion.

Parfois, la lumière traversant de la matière opaque est renvoyée dans toutes les directions. La lumière ainsi diffusée porte les informations de la couleur de l'objet.

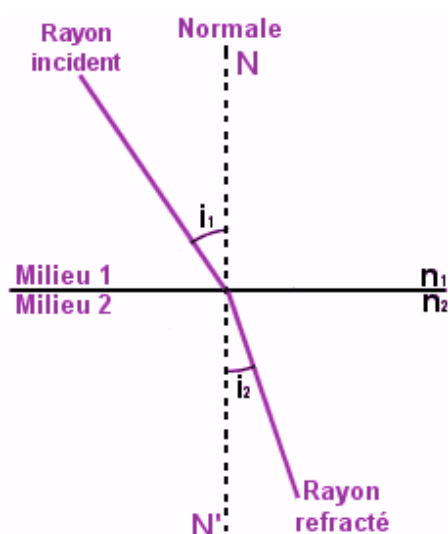


4) La réfraction.

Nous avons évoqué la vitesse de propagation de la lumière et mentionné qu'elle varie en fonction de la nature du milieu traversé. On caractérise ainsi chaque milieu dans lequel elle se propage par son indice de réfraction n .



Une brusque variation de cet indice introduit une réflexion partielle de la lumière et une **dévi**ation en profondeur de la lumière transmise que l'on appelle réfraction.



Dans l'illustration montrant un objet plongé partiellement dans l'eau, on peut constater que :

l'indice de réfraction de l'air est $n_1 = 1$

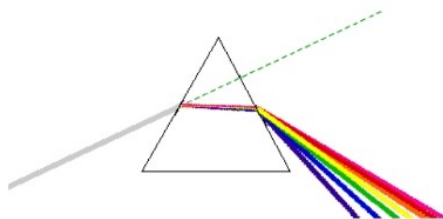
l'indice de réfraction de l'eau est $n_2 = 1,33$

D'après Descartes : $n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$

Grâce à cette relation, on peut prévoir l'angle de « brisure » de l'image renvoyée de l'objet en suivant le rayon incident.

5) La dispersion.

Le Soleil émet une lumière polychromatique dont nous ne voyons qu'une partie du spectre continu. Cette partie visible par l'œil humain est le spectre de la **lumière blanche**, composé d'une infinité de lumière colorées appelées radiations correspondant aux couleurs de l'arc en ciel (rouge ; orange ; jaune ; vert ; bleu ; indigo ; violet). Le spectre peut être décomposé à travers un prisme (expérience de Newton avec un dioptre dispersif), se voir dans le reflet d'un cd ou se voir dans la brume d'une cascade.



Ce phénomène de dispersion provient du fait que lorsque la lumière traverse un milieu, les différentes fréquences constituant l'onde lumineuse ne se propagent pas à la même vitesse.

Il en résulte une séparation des radiations provoquant un phénomène comparable à l'arc en ciel qui n'est qu'une des variantes de cette dispersion.

6) Remarques sur les corps responsables de ces modifications.

Nous venons de constater qu'il y a plusieurs modifications apportées au parcours de la lumière selon les corps qu'elle rencontre.

On distingue en effet trois types de corps :

Les corps transparents : Les corps transparents laissent passer presque toute la lumière qui les frappe. Un observateur peut donc apercevoir la forme et la couleur d'un objet situé de l'autre côté. L'objet transparent n'absorbe et ne réfléchit qu'une faible partie de la lumière.

Les corps translucides : Les corps translucides laissent passer seulement une partie de la lumière qui les frappent. Un observateur peut donc percevoir la forme d'un objet situé de l'autre côté mais pas la couleur réelle de l'objet.

Les corps opaques : La lumière ne peut traverser les corps opaques. Elle est absorbée, réfléchi ou diffusée.

III. La couleur des objets.

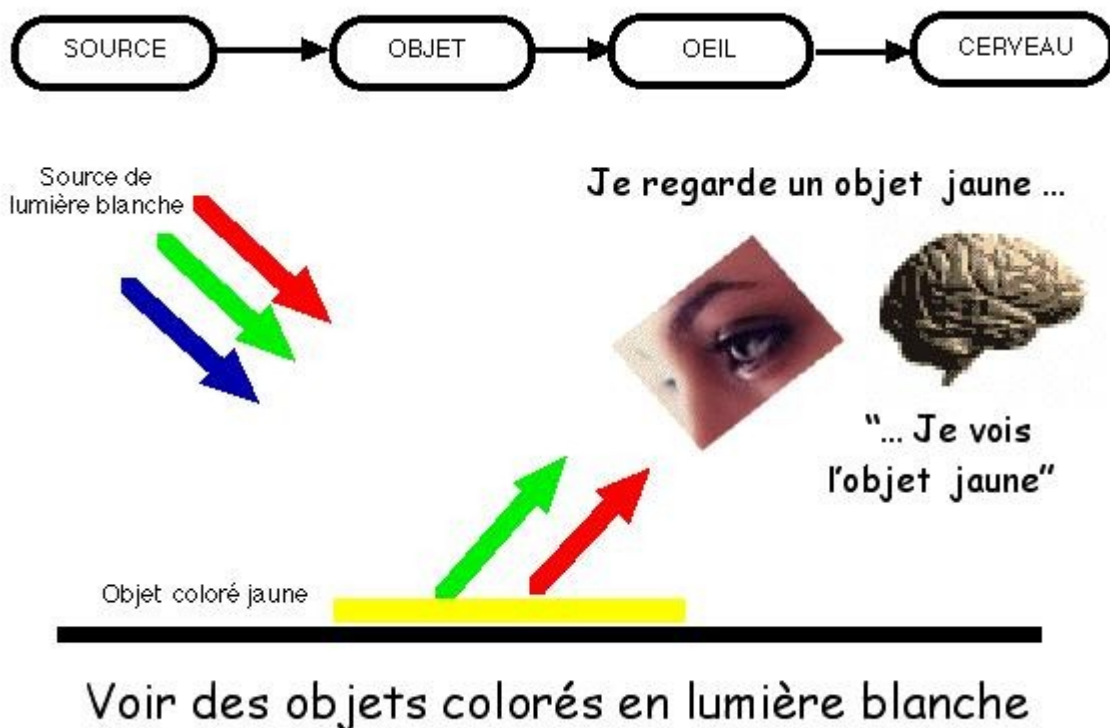
La plupart des objets sont des sources secondaires de lumière qui renvoient la lumière qu'ils reçoivent, celle-ci pénétrant dans l'œil de l'observateur, lui permettent de prendre conscience de l'existence des objets en question.

Ainsi, la couleur apparente d'un objet dépend de la lumière qu'il reçoit : la couleur propre d'un objet est la couleur de l'objet éclairé en lumière blanche.

En règle générale, la couleur est due au fait que l'objet absorbe une partie des radiations qui l'illuminent et qu'il diffuse celles non absorbées.

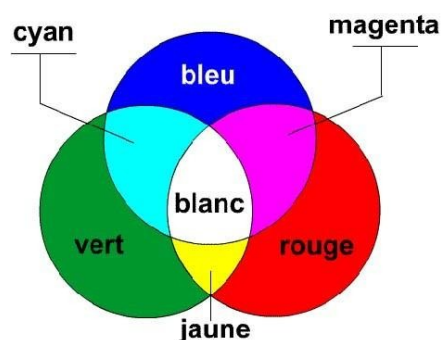
En lumière blanche, un objet apparaît blanc car il diffuse toutes les radiations. Il apparaît noir lorsqu'il absorbe toutes les radiations.

Un objet de couleur propre jaune absorbe les radiations de la lumière blanche et diffuse uniquement le rouge et le vert.



A. La synthèse additive.

Si l'on utilise un écran blanc dont on sait qu'il diffusera toutes les radiations sans en absorber, et qu'on l'éclaire simultanément avec 3 lumières monochromatiques (dites fondamentales) que sont le rouge, le vert et le bleu, on obtient d'autres couleurs appelées secondaires ou complémentaires que sont le jaune, le cyan et le magenta dans les zones d'intersection des faisceaux pris deux à deux.



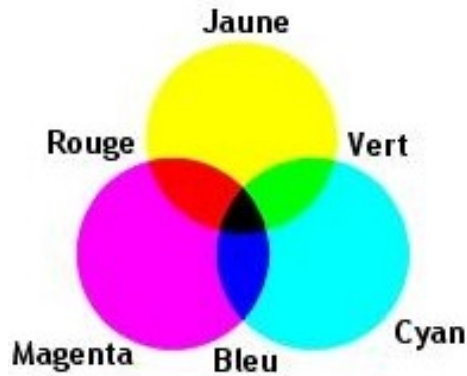
Ce principe dit « RVB » (pour Rouge, Vert, Bleu) est utilisé dans le rendu des couleurs en télévision, sur les écrans d'ordinateurs ou de smartphones.

C'est aussi ce principe qui prime dans l'exemple précédent de l'objet jaune perçu par l'œil sous un éclairage en lumière blanche.

L'intersection triple des faisceaux conduit d'ailleurs à l'obtention de la lumière blanche.

B. La synthèse soustractive.

C'est ce que l'on utilise en peinture et dans les imprimantes. En effet, les cartouches « couleurs » d'imprimantes vendues communément sont toujours jaune, cyan ou magenta. Les pigments constituant ces encres jouent le rôle de filtres « soustractifs » de lumière dont la combinaison à trois aboutit à l'absence de lumière diffusée, donc au noir.



IV. Les ombres.

L'ombre apparaît lorsqu'un objet opaque s'interpose sur le trajet de la lumière. Une partie de l'espace situé en arrière de l'objet par rapport à la source, ne reçoit pas de lumière de cette source.



S'il y a plusieurs sources de lumières, plusieurs ombres peuvent être générées. Du coup, il y a des zones de l'espace dont l'éclairage est moins intense que celui des zones environnantes.



A. L'ombre propre.

C'est la partie de l'objet qui ne reçoit pas de lumière de la source.

Dans l'espace interplanétaire, le vide environnant ne permet pas à de la matière de diffuser la lumière, ce qui conduit les objets opaques à avoir une ombre propre noire car la lumière y est absente. On ne voit plus l'objet dans son ombre propre.



Sur Terre, la multitude des sources secondaires apporte toujours un peu de lumière sur les objets, y compris dans la partie d'ombre propre issue après l'interposition du corps opaque sur le parcours de la lumière solaire. On continue de voir le corps d'une personne en contre-jour, mais on y constate une forte perte de luminosité.

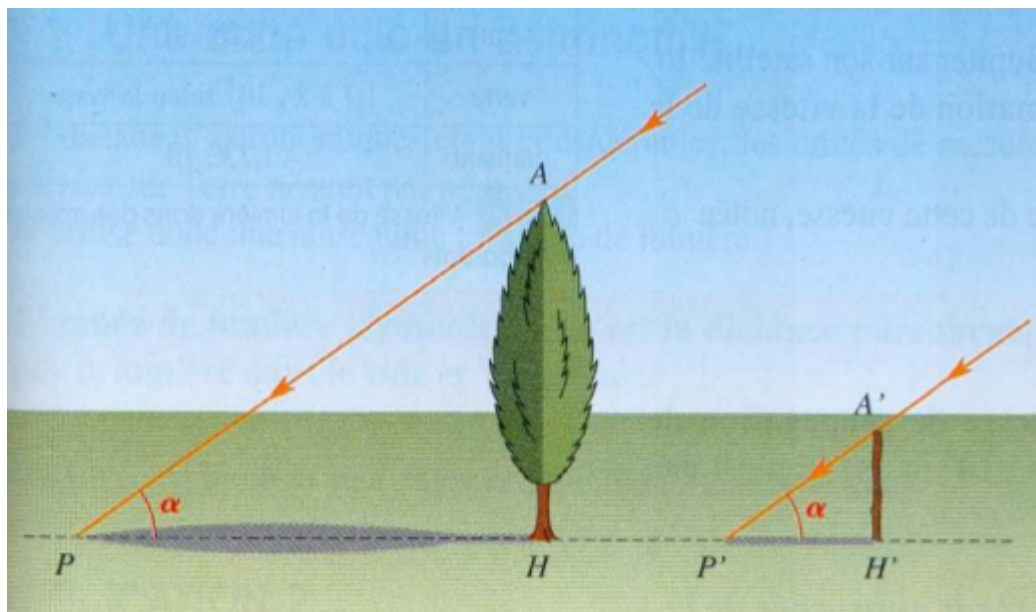
B. L'ombre portée.

C'est l'ombre projetée d'un corps opaque sur une surface, donc la zone de cette surface qui, placée derrière l'objet par rapport à la source, ne reçoit pas de lumière de celle-ci car elle est interceptée par le corps.



La taille et la forme de l'ombre portée dépendent : de la forme, la taille et la position de l'objet par rapport à la source de lumière, mais aussi de l'emplacement et de l'inclinaison de l'écran.

Depuis l'antiquité, la prise de conscience de l'ombre portée a permis de faire progresser la géométrie et l'architecture.



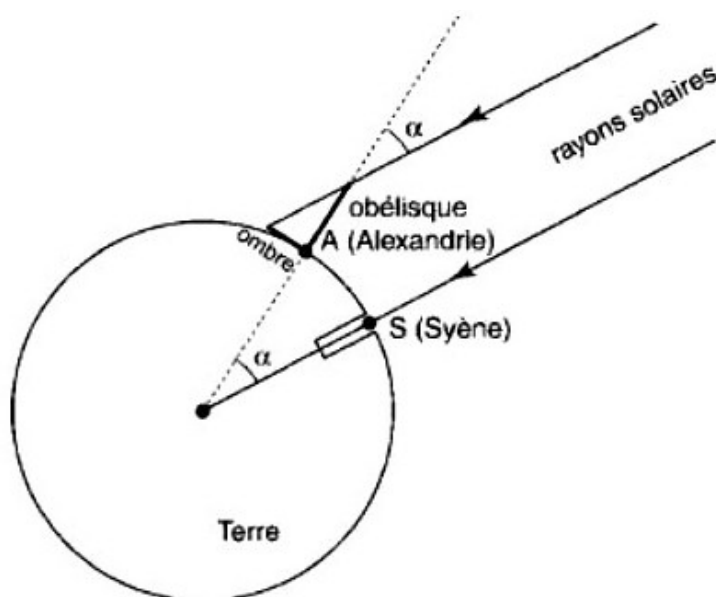
Thalès de Milet [encore lui] (625 – 547 av.J.C.), par son axiome, apporte un bel outil basé sur la propagation rectiligne de la lumière et sur la proportionnalité géométrique, ce qui facilite la détermination de dimensions dans des conditions ne l'autorisant pas forcément. Dans l'exemple de l'arbre et du piquet, en mesurant la hauteur du piquet et la longueur des ombres, il est possible de connaître la hauteur exacte de l'arbre (sans être obligé d'envoyer un enfant de poids léger sur la dernière feuille pour dérouler une bobine de fil...).

En effet :

$$\frac{AH}{A'H'} = \frac{PH}{P'H'} \quad AH = A'H' \times \frac{PH}{P'H'}$$

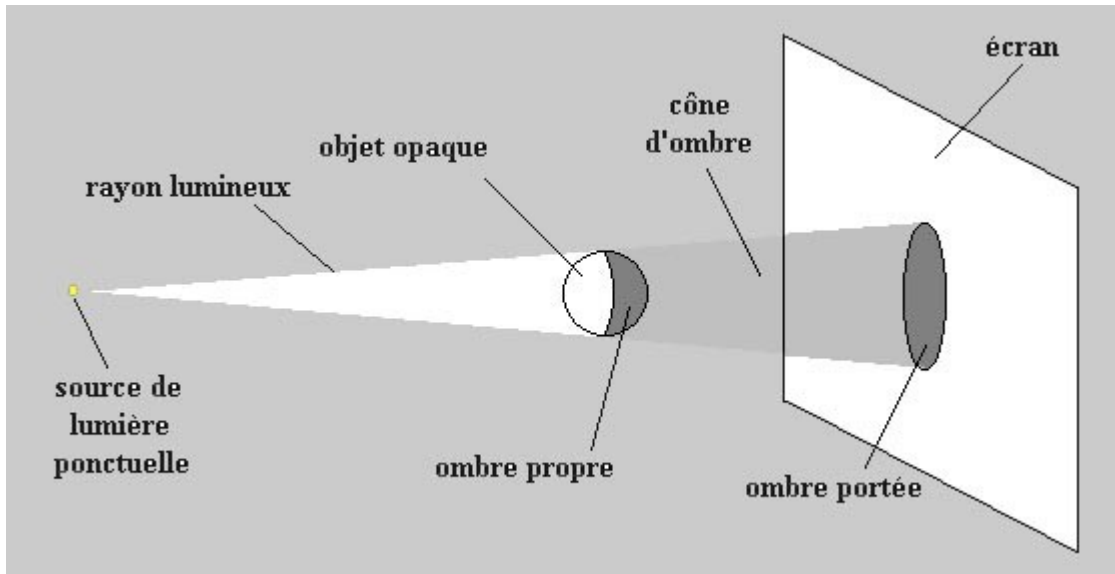
$$\text{Hauteur}_{\text{arbre}} = \text{Hauteur}_{\text{piquet}} \times \frac{\text{Longueur}_{\text{ombre arbre}}}{\text{Longueur}_{\text{ombre piquet}}}$$

Plus tard, Ératosthène de Cyrène (275 – 195 av. J.C.), en utilisant la propriété des triangles semblables issue de l'axiome précédent, a pu calculer le rayon de la sphère terrestre [et par là montrer également la rotondité de la Terre].



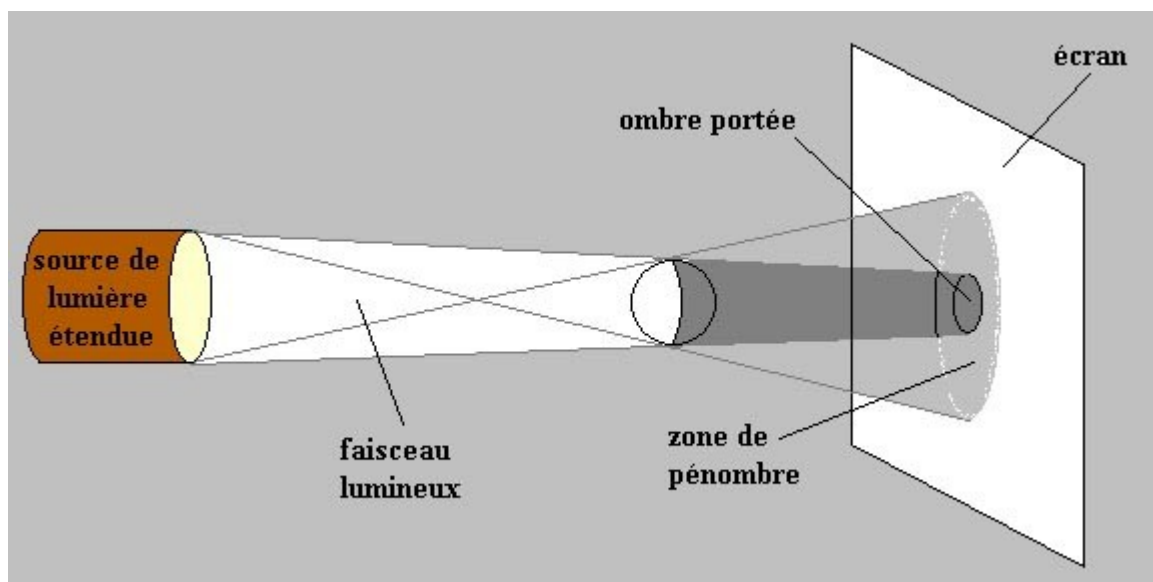
C. Le cône d'ombre.

C'est la zone de l'espace située entre l'ombre propre et l'ombre portée d'un corps opaque. Le schéma suivant résume les trois notions sur l'ombre qui viennent d'être mentionnées.



D. La pénombre.

Lors de l'utilisation d'une source de lumière étendue, celle-ci correspond à une multitude de sources ponctuelles. De multiples faisceaux balayent le corps opaque, ce qui change l'aspect du rendu et ajoute une nouvelle zone par rapport à ce que nous avons déjà abordé.



La pénombre est une zone de l'espace qui est alors partiellement éclairée mais également une zone de la surface qui accueille l'ombre portée qui est également partiellement éclairée.