

2 recettes de fabrication des couleurs

Recette n° 1

Plus appréciée dans le milieu du théâtre et du cinéma

Ingrédients : 1 spot vert, 1 spot rouge et 1 spot bleu. Possibilité d'ajouter selon votre goût un citron, une tomate ou un poivron.

Prenez les spots vert et rouge, réglez-les à la même intensité et superposez-les. Que se passe-t-il?

Réitérez l'opération avec les spots rouge et bleu et bleu et vert. Que se passe-t-il alors?

Prenez ensuite votre citron et positionnez-le devant le spot vert, puis le rouge, puis le bleu, puis devant la lumière blanche. Faites la même chose avec la tomate. Que se passe-t-il?



Recette n° 2

Plus appréciée par les peintres et les dessinateurs

Ingrédients : trois tubes de peinture 1 magenta (rouge primaire), 1 cyan (bleu primaire) et 1 jaune primaire.

Prenez la même quantité de jaune et de magenta. Mélangez bien puis incorporez encore la même quantité de cyan. Qu'obtenez-vous?

Tirez ensuite un papier de n'importe quelle couleur dans une pochette remplie de papiers de toutes les couleurs.

Essayez de la retrouver à l'aide de la peinture.

Notions abordées

- * Synthèse additive et soustractive des couleurs
- * Lumière absorbée et réfléchie
- * Couleurs primaires



Conclusion

Quelle recette choisir?

En superposant les trois spots (rouge, vert et bleu) de même intensité, on obtient du blanc.

C'est la synthèse additive.

Lorsqu'on mélange la même quantité de peintures magenta, cyan et jaune, on obtient du noir.

C'est la synthèse soustractive (plus difficile, car il faut être très précis sur les proportions et la qualité de la peinture).

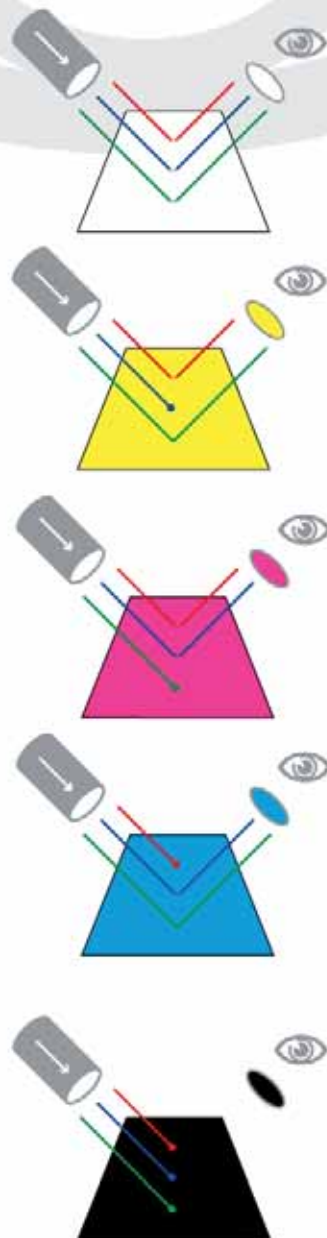
En utilisant l'une ou l'autre des recettes et en changeant les proportions des couleurs de base, on peut obtenir une multitude de couleurs.

En théorie (Isaac Newton et Thomas Young, physiciens anglais du XVIII^e siècle), on peut créer toutes les nuances avec ces trois couleurs dites **primaires** pour la synthèse additive, et **fondamentales** pour la synthèse soustractive.



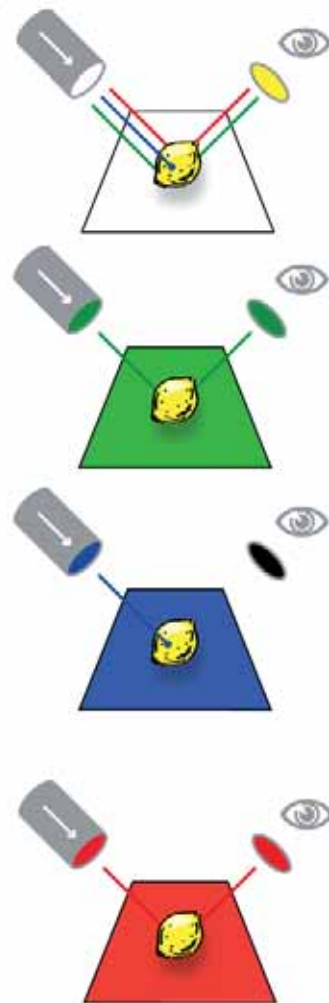
en savoir +

Pourquoi la synthèse additive donne-t-elle du blanc et la soustractive du noir ?



Revenons à nos citrons !

De quelle couleur voit-on un citron jaune sous une lumière verte ? Quelques explications en images.



Pour imprimer en soustractive une photo qui a été prise en additif ?

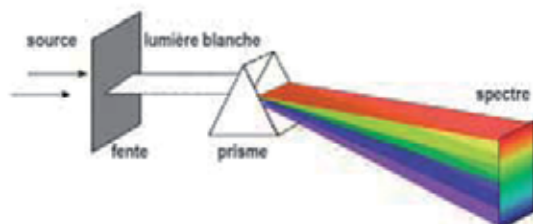
Pour imprimer une image la plus proche possible de l'originale, on superpose 3 clichés obtenus avec de l'encre cyan, magenta et jaune, et on ajoute du noir pour plus de contraste : on appelle cela de l'impression en **quadrachromie**. Malheureusement, le résultat est souvent plus fade que la photo d'origine !

Un blanc qui cache toutes les couleurs de l'arc-en-ciel

Les couleurs de l'arc-en-ciel

Pour cette expérience, on utilise un banc d'optique tel qu'on peut les voir dans les laboratoires de recherche.

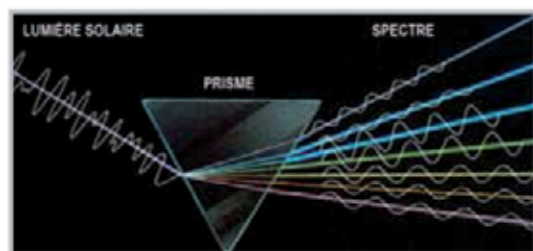
On envoie de la lumière blanche dans un prisme.



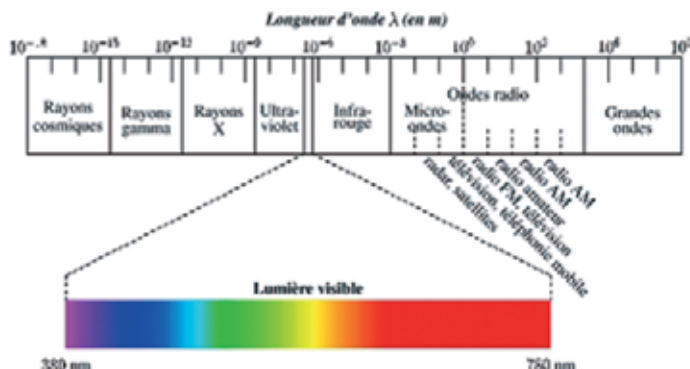
À la sortie du prisme, on obtient ce que l'on appelle le **spectre de la lumière** allant du rouge au violet, en passant par tous les dégradés. Exactement comme ce que l'on peut voir sur un arc-en-ciel bien formé !

Comment le prisme transforme-t-il une lumière blanche en lumière colorée ?

La lumière blanche est en fait le résultat du mélange de toutes les couleurs (cf. fiche n° 1), c'est d'ailleurs cette expérience qui a permis de le prouver ! Quand il passe par la première face du prisme, le faisceau lumineux est dévié une première fois (*réfraction* : cf. fiche n° 4), puis il est dévié une deuxième fois sur la deuxième face.



Or, chaque couleur (*longueur d'onde*, cf. schéma ci-dessous) est déviée différemment, le rouge est moins dévié que le violet.



Notions abordées

- * Décomposition de la lumière blanche
- * Aspect ondulatoire de la lumière
- * Ondes électromagnétiques
- * Lien entre couleurs, longueurs d'ondes et énergie



Quelle chaleur !

Une plaque noire et une plaque blanche sont éclairées par un spot blanc assez puissant. Au bout de deux heures, on se rend compte que la plaque noire est plus chaude que la blanche.

En effet, le noir absorbe toutes les couleurs (cf. fiche n° 1) et cette absorption se manifeste par un dégagement de chaleur.

Le noir, qui dégage le plus de chaleur, a absorbé de la lumière, donc de la chaleur (ce qui n'est pas le cas du blanc). Ceci prouve que les couleurs sont liées à des **énergies**, et on verra que chaque couleur correspond à une énergie donnée.



Force rouge & force bleue

Mettre chaque couleur à sa place dans le puzzle du spectre de la lumière.

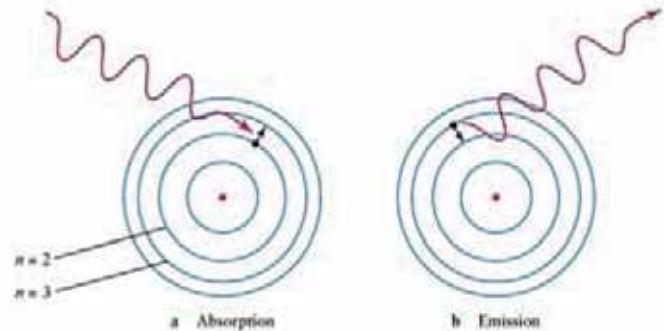
Cela permet de découvrir à quelle énergie et à quelle longueur d'onde correspond chacune des couleurs. Le rouge est peu énergétique alors que le bleu l'est beaucoup.

On découvre aussi que les couleurs ne sont qu'une infime partie du spectre au milieu des ultraviolets, infrarouges...

Surfer sur les couleurs !

Le puzzle du spectre de la lumière permet de constater que le rouge a une **grande longueur d'onde** et le bleu une **petite longueur d'onde**. La lumière est en effet constituée d'ondes, comme des vagues. On les appelle des **ondes électromagnétiques** et chaque couleur est portée par une onde spécifique.

Ce que l'on appelle couramment **lumière visible**, ce sont les longueurs d'ondes visibles pour l'œil humain (400 à 800 nanomètres dans le vide). Mais il y a d'autres ondes électromagnétiques dont les longueurs d'ondes vont de 10^8 à 10^{-8} nm (des grandes ondes aux rayons cosmiques).



Et au niveau de l'atome ?

Lorsque la lumière est émise ou absorbée par un objet, de l'énergie est échangée entre la lumière et la matière sous forme de paquets d'énergie : **les photons**. Un photon émis peu énergétique correspondra à la couleur rouge, alors qu'un photon très énergétique correspondra à du bleu. Lorsqu'un photon correspondant à du rouge est absorbé par la matière, cette dernière émet un électron lent ; lorsque le photon correspond à du bleu, l'électron émis est rapide.

Chauds les panneaux !

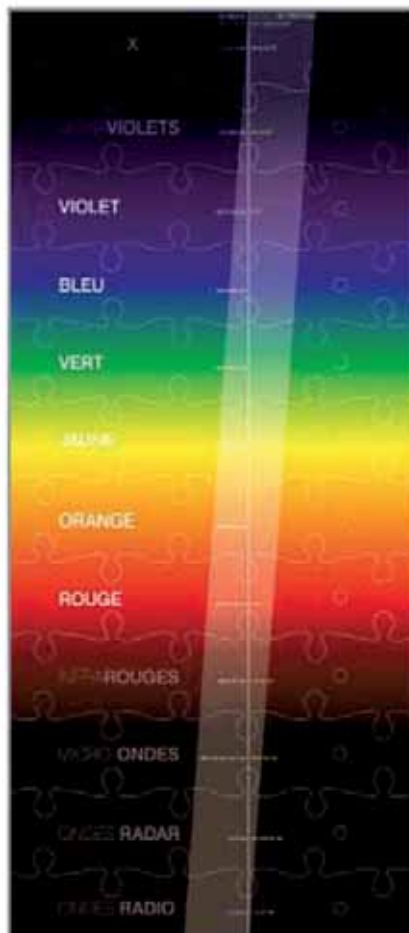
La lumière transporte de l'énergie. Cette dernière peut être mise à profit en chauffant des maisons et en faisant fonctionner nos ordinateurs.

Chauffage

Les panneaux solaires thermiques piègent la chaleur des rayonnements solaires et la transfèrent à un fluide qui conduit la chaleur (eau ou air).

Électricité

Il existe des composants électroniques appelés cellules photovoltaïques qui ont la faculté d'absorber l'énergie des photons qui leur arrivent dessus en émettant des électrons (donc du courant). Les cellules sont réunies dans des molécules solaires photovoltaïques (panneaux solaires) qui peuvent être fixes ou mobiles pour suivre le soleil (30% d'énergie en plus).



>>>

Le spectre de la lumière
longueurs d'ondes
et énergie de photons
(les valeurs des longueurs
d'ondes indiquées sont
celles dans le vide)



en SAVOIR +

Lumière sur les ombres

Notions abordées

- * Propagation rectiligne de la lumière
- * Ombre et pénombre
- * Ombres propres et ombres portées

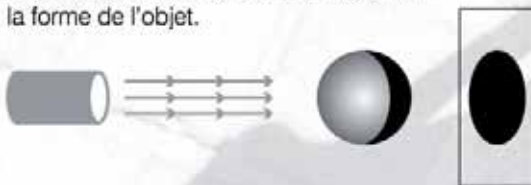
Une ombre qui s'incruste!

Une peinture phosphorescente (cf. fiche n° 9) permet de contempler son ombre figée sur un mur pendant quelques secondes.

Dans l'air, la lumière se propage en ligne droite :



Mais lorsqu'elle rencontre un objet opaque, ce dernier empêche la lumière de passer, créant ainsi une ombre où l'on reconnaît la forme de l'objet.



Sur la face non éclairée de l'objet se dessine une ombre dite **propre** et sur l'écran derrière, une ombre **portée**.

Ombre ou pénombre?

Le noir total est très rare (la lune, par exemple, apporte parfois beaucoup de lumière).

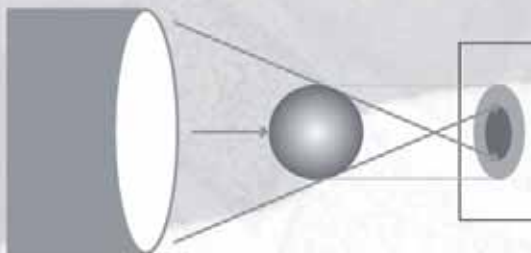
Les **ombres totales** sont aussi assez rares.

Pour en obtenir une, il faut qu'aucun rayon lumineux ne vienne la « polluer ».

On peut par exemple utiliser une petite lumière (source ponctuelle) et un gros obstacle proche de la source :

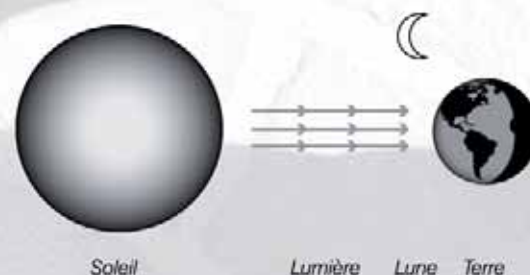


Sinon, l'ombre est « polluée » par des rayons lumineux qui viennent d'ailleurs : on parle alors de **pénombre**!



Les ombres dans notre quotidien

C'est l'ombre propre de la Terre qui permet à certains de dormir pendant que d'autres s'activent de l'autre côté du globe!



Soleil

Lumière

Lune

Terre

Aux Pôles, les habitants sont dans l'ombre propre de la Terre pendant 6 mois. C'est long!

Où en est l'ombre ?

« Quelle heure est-il ? »

(Pour les Grecs anciens)

Heures et ombres sont liées depuis des temps immémoriaux : l'utilisation du **gnomon** (bâton planté dans le sol) est connue depuis l'Antiquité.

C'est l'ancêtre du **cadran solaire** qui est un peu plus sophistiqué car il prend en compte la variation de la longueur du jour en fonction des saisons.

Par exemple, l'obélisque de la place de la Concorde à Paris était un gnomon égyptien.



>>>

Le temple de Louxor en Égypte

Il ne reste plus qu'un obélisque à l'entrée du temple puisque le second est à Paris...

Faire un théâtre d'ombres

Le théâtre d'ombres utilise la projection de l'ombre d'une marionnette, d'une main ou d'un objet sur un écran.

Cette forme de spectacle a des origines très anciennes. La tradition fait de la Chine son lieu de naissance (les fameuses « ombres chinoises »), mais certains le situent plutôt en Inde.

Pour en fabriquer un, il faut un drap blanc et une source lumineuse.

Le plus facile est de commencer par ces quelques figures manuelles :



>>>

Marionnette wayang kulit d'Asie du Sud-Est



Quand les rayons se croisent

Des lentilles pour changer la direction de la lumière

Sur un tableau blanc magnétique, on envoie trois rayons lasers parallèles dans des lentilles en verre de toutes sortes interchangeables.

Lentille convergente (à bords minces)



Symbole



Lentille divergente (à bords épais)

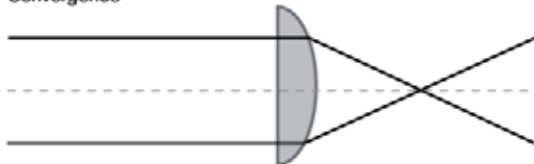


Symbole



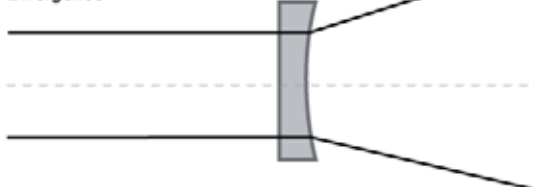
On constate que les rayons changent de direction. Avec les lentilles à bords minces, les rayons finissent par se croiser : on parle de **convergence**.

Convergence



Alors que les lentilles à bords épais font s'écarter les rayons : on parle de **divergence**.

Divergence



Notions abordées

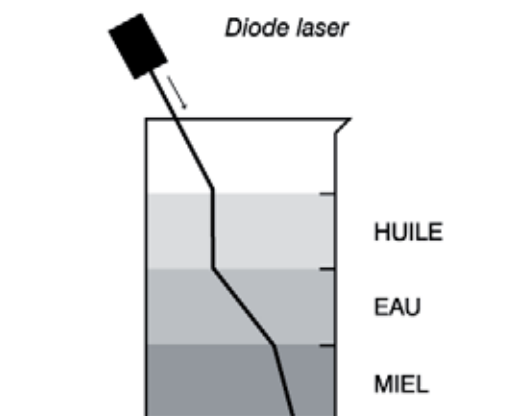
- * Rayons lumineux
- * Réfraction
- * Convergence et divergence des rayons lumineux
- * Indice de réfraction
- * Transparence

Pourquoi les rayons changent-ils de direction ?

Quand un rayon lumineux passe à travers une lentille, il passe du milieu «air» au milieu «verre». Pour se rendre compte de l'effet de ce changement de milieu, on peut faire une petite expérience culinaire :

- dans un bocal transparent, on met du miel, de l'eau et de l'huile sans les mélanger ;
- si on approche un rayon laser du bocal, on se rend compte que la lumière est déviée en fonction du milieu traversé.

Ce phénomène s'appelle la **réfraction** et chaque matériau a un indice de réfraction spécifique.



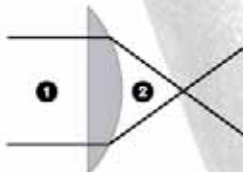
Transparent pour qui ?

Aucun matériau n'est totalement transparent. Il absorbe plus ou moins en fonction de la (ou des) longueur(s) d'onde(s) du rayon envoyé. Le verre par exemple ne laisse pas passer les ultraviolets (c'est pour cela que l'on ne peut pas bronzer à travers !).

Optique géométrique à la loupe

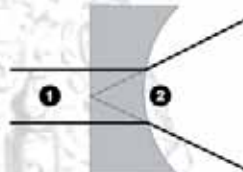
Que se passe-t-il dans la lentille ?

Milieu 1 : le verre



Situation 1

Milieu 1 : l'air



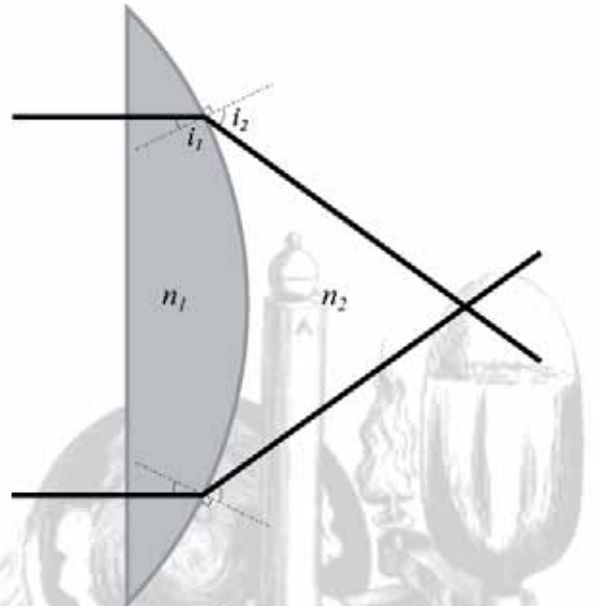
Situation 2

Quand le rayon arrive dans un nouveau milieu (verre) qui est perpendiculaire au rayon (situation 1), ce dernier n'est pas dévié.

En revanche, quand il sort de la lentille par la face courbée (situation 2), le rayon est alors dévié.

Dans le cas d'une **lentille convergente**, les rayons sortant de la lentille vont tous vers le même point. Plus la lentille est incurvée, plus les rayons se focalisent proches de la lentille.

Pour les **lentilles divergentes**, c'est l'inverse. Les rayons qui sortent s'écartent les uns des autres ; plus la lentille est incurvée, plus les rayons s'écartent.



Lois de Snell-Descartes

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

ou n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des milieux (ici, air et verre) et i_1 et i_2 les angles représentés ci-dessus.

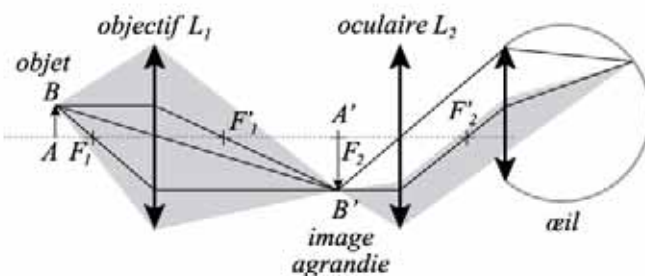


René Descartes 1596-1650

Scientifique français, il a réussi l'exploit de se faire mondialement connaître dans deux domaines de compétences. Grand philosophe, il est l'un des fondateurs de la philosophie moderne ; physicien, il est, avec Snell, à l'origine des lois Snell-Descartes qui permettent de calculer la réfraction d'un rayon lumineux en fonction du matériau traversé.

Le microscope

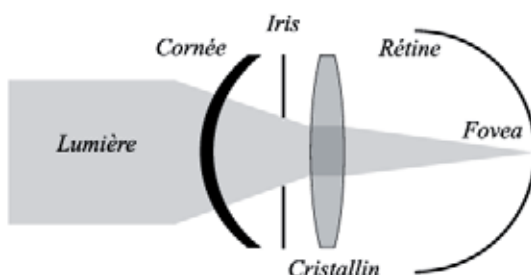
Le microscope optique se base sur un système de deux lentilles convergentes pour obtenir une image agrandie d'un échantillon à observer.



Miracle, je vois!

Convergence: mon œil

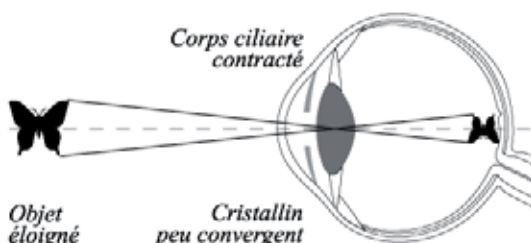
Dans le cas de l'œil humain, la convergence doit se faire sur la rétine pour une vision correcte.



Pour cela, l'œil possède sa propre lentille convergente: le cristallin. Mais le cristallin a ceci de particulier qu'il peut changer de forme. Il s'adapte en fonction de l'éloignement de l'objet regardé.

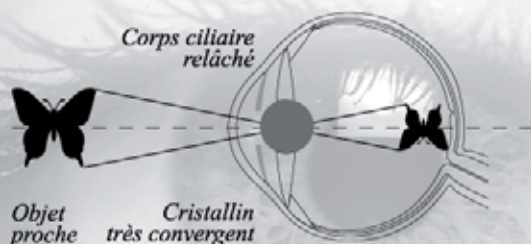
Objet éloigné

L'œil n'a pas besoin de faire de gros efforts pour que l'image se forme sur la rétine.



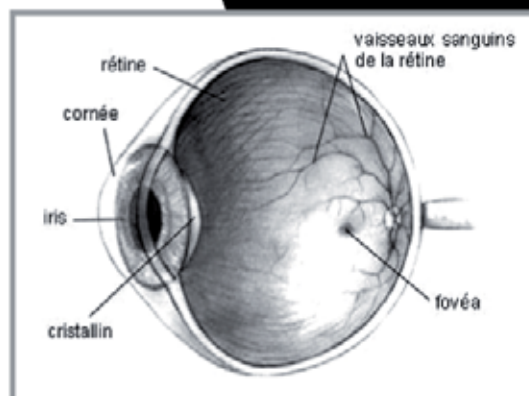
Objet rapproché avec accommodation du cristallin

Le cristallin se déforme pour être plus convergent afin de focaliser l'image sur la rétine.



Notions abordées

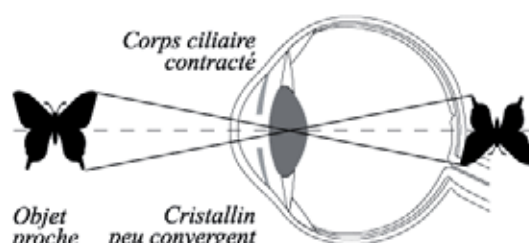
- * Anatomie de l'œil
- * Optique géométrique appliquée à l'œil humain
- * Maladies et corrections courantes des yeux



>>> L'œil est l'organe de la vision, sens qui permet à un être vivant de capter la lumière pour ensuite l'analyser, former des images et ainsi interagir avec son environnement.

Objet rapproché sans accommodation

L'image ne se forme pas sur la rétine, mais plus loin. On voit alors flou!



De l'œil au cerveau

Lorsque l'image s'est formée sur la rétine, elle n'est pas envoyée telle quelle au cerveau. Des cellules photosensibles (cônes et bâtonnets cf. fiche n° 5^b) vont transformer l'image en signaux électriques. Ces derniers vont ensuite être transformés en messages nerveux qui seront transportés, via les synapses, aux nerfs optiques (il y en a un à chaque œil). Les nerfs optiques envoient ensuite les informations au cortex cérébral visuel, qui occupe 15% de la surface cérébrale totale.

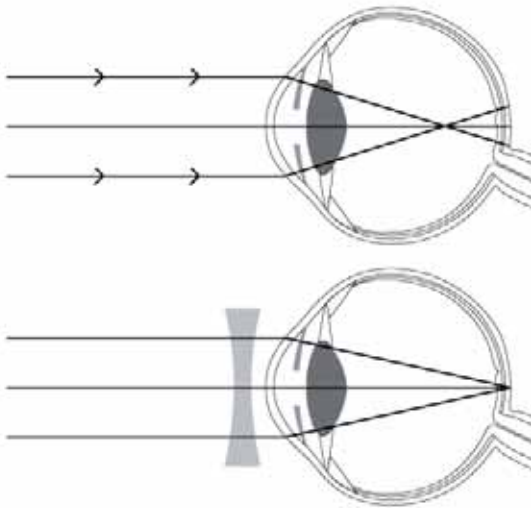
C'est le cerveau, au final, qui interprétera l'information nerveuse qui lui est arrivée pour nous permettre de « voir » l'image.

C'est un peu flou

Bien sûr, il arrive souvent que cette mécanique de précision soit un peu dérégulée :

Zèle de convergence

Si le cristallin est trop convergent, l'image se forme avant la rétine, ce qui provoque une vision floue de cet objet. On doit alors rapprocher l'objet pour que l'image se forme sur la rétine. Une personne ayant un tel cristallin est **myope**. On peut corriger son défaut de vision grâce à des lentilles divergentes. Les paires de lunettes des myopes ont donc souvent des bords assez épais.



Autres problèmes de vision

Il existe d'autres maladies de l'œil très répandues.

La presbytie

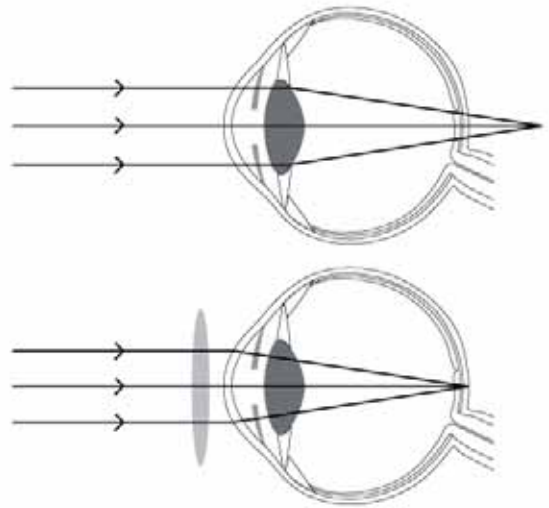
Avec l'âge, le cristallin devient moins souple et l'accommodation s'avère plus difficile. Les objets deviennent flous en s'approchant. Il faut donc porter des lunettes convergentes pour voir de près.

L'astigmatie

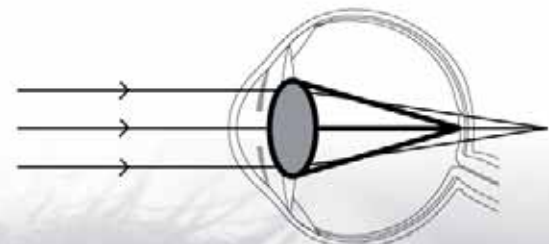
C'est la cornée qui est touchée. Elle devient ovale au lieu d'être ronde, ce qui implique des déformations de l'image perçue.

Cristallin sportif

Une autre maladie de l'œil très répandue : l'**hypermétropie**. Il s'agit d'un manque de convergence du cristallin, qui force les muscles de l'œil à travailler en continu pour avoir une image nette. Le cristallin n'est en effet pas suffisamment convergent et l'image se forme derrière l'œil. Pour voir net, la personne hypermétrope est donc obligée de contracter son cristallin en permanence pour le rendre plus convergent ou de porter des lunettes convergentes.



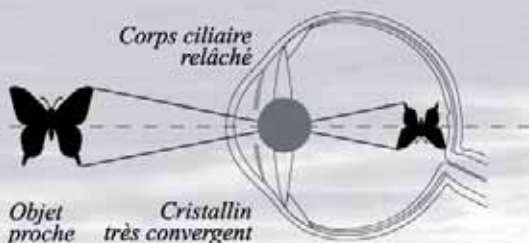
Avec correction par le cristallin



La nuit, tous les chats sont gris !

- Notions abordées
- * Photorécepteurs de la rétine (cônes et bâtonnets)
 - * Rôle de l'iris
 - * Champ angulaire de vision

Lorsque le cristallin a fini son travail, l'image de l'objet arrive sur la rétine (cf. fiche n° 5°).



Reste alors à traiter cette information pour l'envoyer au cerveau. La rétine est un tissu nerveux constitué d'une multitude de cellules sensibles à la lumière : les cônes et les bâtonnets.

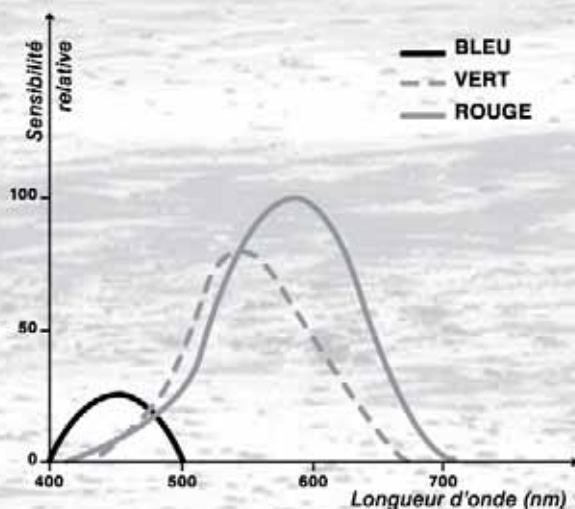
7 millions de cônes

Sur la rétine, il y a 6 à 7 millions de récepteurs appelés cônes. Il en existe trois sortes qui perçoivent chacune une couleur différente : le bleu, le vert et le rouge.

Chacun des cônes possède des pigments qui sont transformés chimiquement en fonction de la couleur du photon qui leur arrive dessus.

Cette réaction induit toute une cascade d'autres transformations chimiques pour finalement arriver à la génération d'une impulsion électrique qui sera envoyée au cerveau.

Le rouge nous apparaît plus vif que le bleu car les cônes bleus sont les moins sensibles.



120 millions de bâtonnets

Sur la rétine, il y a 100 à 120 millions de récepteurs appelés bâtonnets. Ces récepteurs sont de loin les plus nombreux et nous permettent de distinguer ce qui se passe dans la pénombre les soirs de pleine lune. Ils sont 25 à 100 fois plus sensibles à la lumière que les cônes.

En revanche, ils ne permettent pas d'apprécier les différentes couleurs car ils sont sensibles à toutes les couleurs. Nous voyons alors tout en bleu-gris. Pourtant les couleurs sont là car c'est bien la lumière du soleil qui est réfléchiée par la lune !

Conduire entre chien et loup

Le crépuscule n'est pas la meilleure période pour l'œil humain qui a du mal à se faire à l'obscurité naissante. Il existe en effet une discontinuité de sensibilité entre les cônes et les bâtonnets.

Lorsque la luminosité devient trop faible pour les cônes, les bâtonnets ne prennent pas immédiatement le relais. C'est pourquoi il est si difficile de prendre le volant à ce moment-là...

Et les animaux...

Le chat, par exemple, est **dichomate** : il ne distingue pas le rouge, et ses capteurs ne sont pas très performants. Les couleurs qu'il voit sont un peu « passées » !

L'oiseau, lui, voit très bien les couleurs, ce qui semble logique au vu de son plumage bariolé et de sa consommation de fruits.

Certains animaux peuvent même voir les infra-rouges (abeilles, tortues, pigeons...), tandis que d'autres voient les ultraviolets (reptiles).

Mais la sensibilité aux couleurs n'est pas le seul critère de « bonne vision » : la netteté, la résolution, le contraste et la détection du mouvement sont tout aussi importants.

Quand un taureau voit rouge

Les scientifiques s'accordent à dire que les taureaux ne distinguent pas bien les couleurs (comme la plupart des mammifères).

Leur rétine comporte beaucoup plus de **bâtonnets** et moins de **cônes** que la nôtre. Du coup, ils voient mieux dans la nuit, ce qui est important pour chasser ou pour voir arriver les prédateurs.

Alors, n'ayez plus peur de sortir vos anoraks rouges pour aller vous promener dans les prés !



>>>

Yeux multiples
d'une araignée
Maevia inclemens



© Photos T. Shuhan

>>>

Yeux composés
d'une mouche
Holcocephala fusca

Pour aller un peu plus loin : photos et yeux rouges

Pourquoi a-t-on les yeux rouges sur les photos prises au flash ?

Les **bâtonnets**, qui permettent de voir dans l'obscurité (voir page précédente), contiennent du **pourpre rétinien**. Ce sont des molécules qui réagissent à la lumière en envoyant un signal chimique, puis électrique au cerveau.

Quand on « flash » un œil dans le noir, l'iris, qui s'est ouvert pour laisser passer le plus de lumière possible, n'a pas le temps de se refermer et on peut alors voir le **pourpre rétinien**.

Cette substance est d'ailleurs détruite par le flash et il faut environ 20 minutes pour le reconstituer (d'où la durée de l'aveuglement).

Des fils de verre sous les océans

Notions abordées

- * Indice de réfraction
- * Vitesse de la lumière
- * Multiplexage en longueurs d'ondes
- * Intérêts du laser (directionnel et monochromatique)

Communiquer toujours plus loin

Les premières tentatives de communication éloignée par des signaux visuels sont très anciennes : signaux de fumées pour les Indiens, phares guidant les navires depuis l'Antiquité, invention du morse...

Nous avons depuis longtemps dépassé ce stade et nous en sommes aujourd'hui à communiquer avec notre cousin d'Amérique par webcam, comme s'il était à nos côtés !

Pour cela, il nous faut envoyer un **maximum d'informations, le plus loin possible et avec le moins de perte possible.**

C'est pourquoi les câbles en cuivre qui envoient les signaux électriques sur quelques dizaines de mètres seulement ont vite trouvé leurs limites !

Quoi de plus rapide que la lumière ?

Pour envoyer des informations le plus rapidement possible, on a très vite pensé à la lumière, mais on a longtemps cru que cette dernière ne pouvait circuler qu'en ligne droite : c'est gênant sur une terre ronde !

En 1840, des scientifiques français ont montré que l'on pouvait guider la lumière dans un jet d'eau courbé ! C'est le principe de base des **guides d'ondes** dont découle la **fibres optiques**.

Contrairement à une idée reçue, la lumière, dans une fibre optique, ne va pas beaucoup plus vite qu'un signal électrique (environ 200 000 km/s tous les deux). Par contre, la lumière permet de faire circuler beaucoup d'informations en même temps et pas l'électricité (même si les chercheurs y travaillent aussi).

Comment piéger la lumière ?

Lorsqu'on envoie de la lumière dans un tube en plexiglas, une partie de cette lumière s'échappe dans l'air et une autre partie reste piégée dans le plexiglas.

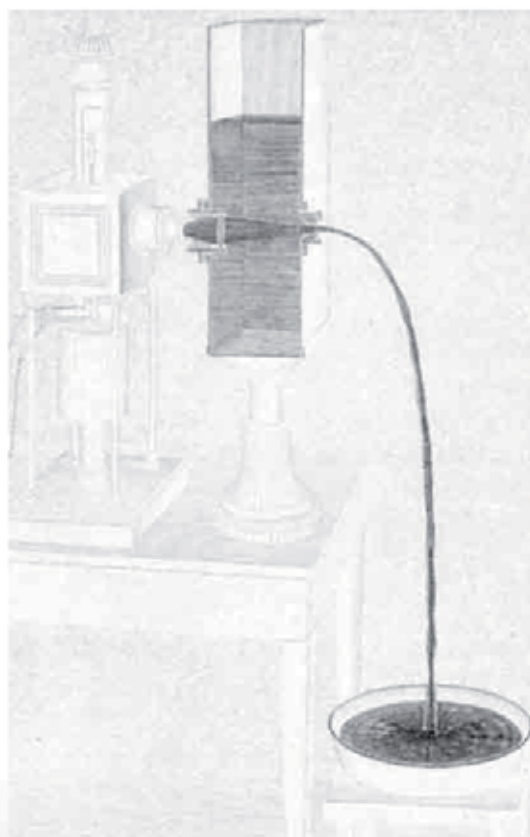
Lorsque le rayon lumineux est orienté suivant un certain angle, il est alors complètement réfléchi à l'intérieur du tube et ne peut plus s'échapper : c'est la **réflexion totale** !



Et elle dépend des matériaux dans lesquels circule la lumière (chaque matériau a un indice de réfraction spécifique : cf fiche n° 4).

C'est ce qui se passe dans une fibre optique. Il suffit ensuite de coder une information en jouant sur l'intensité de la lumière et cette information peut être envoyée à plusieurs milliers de kilomètres.

Il y a bien sûr des pertes de lumière sur le trajet, mais elles peuvent être limitées par le choix d'une fibre de qualité et en envoyant des infrarouges plutôt que de la lumière visible.



Fontaine de lumière : la réflexion permet de piéger la lumière dans un filet d'eau

L'âge de la fibre optique

Aujourd'hui, plus de 80 % des communications longues distances sont transportées le long de 25 millions de kilomètres de câbles à fibre optique partout dans le monde (avec encore certains manques, en Afrique par exemple).

Mais cela n'a été rendu possible que grâce à l'invention du laser en 1960 (cf. fiche n° 10), qui a permis de produire un signal lumineux très homogène sur une grande distance.

Avant cette époque, les fibres optiques étaient utilisées sur de courtes distances (fibroscope dans le corps humain, inspection des soudures d'avions...).

Le débit de boisson, le débit de lumière!

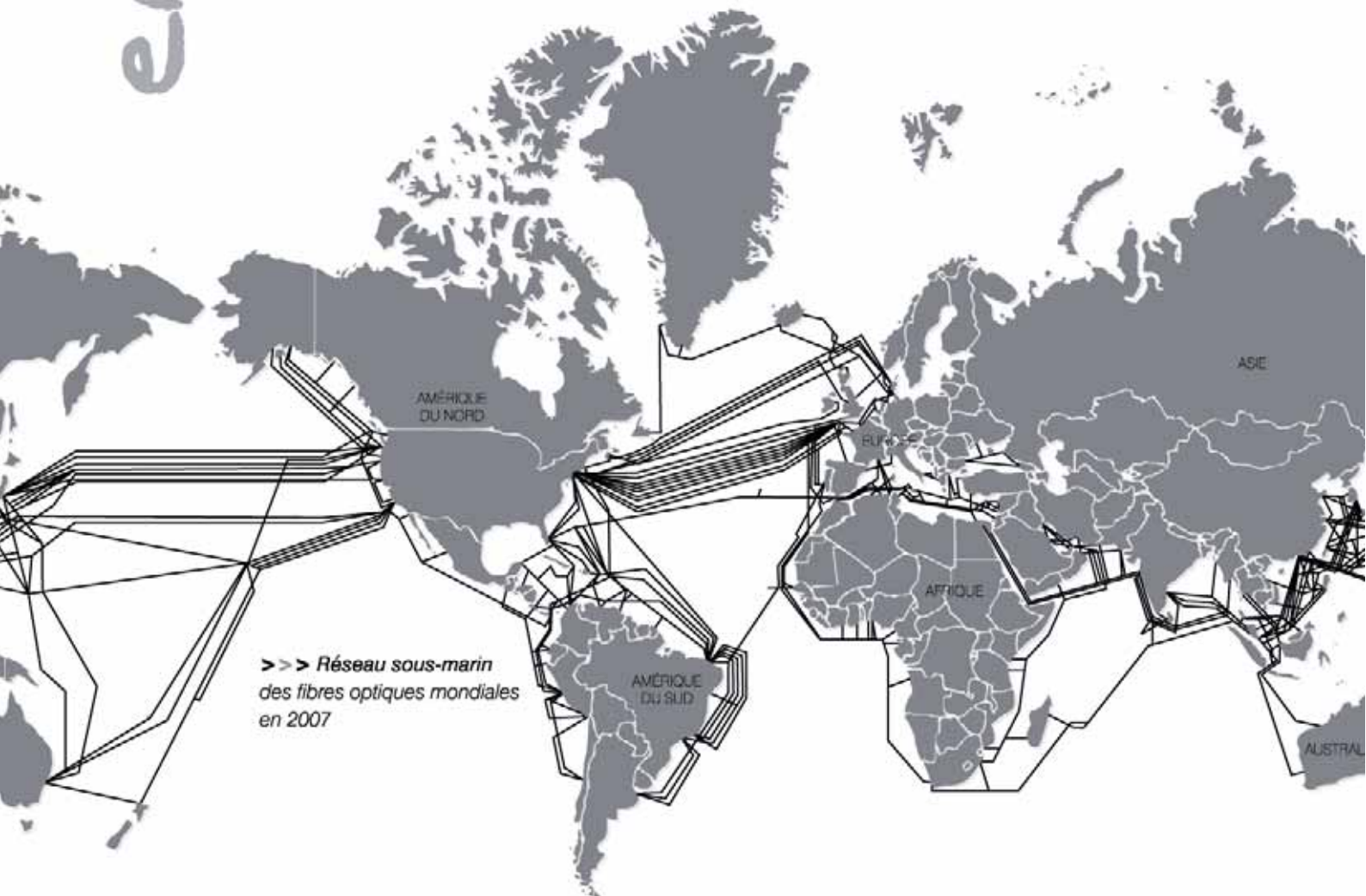
Dans l'objectif de faire transiter de plus en plus d'informations, les chercheurs en optique tentent de multiplier le nombre de signaux circulant dans une fibre optique, plutôt que d'installer de nouvelles fibres optiques.



>>> Lampe d'ambiance en fibre optique

D'où l'invention du multiplexage en longueurs d'ondes : chaque couleur (ou longueur d'onde) porte une information différente et les ondes ne se mélangent pas.

Plus on arrive à faire circuler de couleur, plus on augmente la capacité de la fibre à faire circuler de l'information.



>>> Réseau sous-marin des fibres optiques mondiales en 2007

Parler la langue des robots

Notions abordées

- * Codage d'une information
- * Système binaire
- * Modulateur/démodulateur

Compter comme un Anglais ou un Maya

Notre manière de compter sur les 10 doigts de la main (base décimale) est généralisée sur la plupart des continents, mais cela n'a pas toujours été le cas.

Les Mayas, par exemple, avaient comme base de comptage le nombre 20 (les 20 doigts des mains et des pieds). Cette manière de compter est d'ailleurs restée dans les nombres quatre vingts et quatre vingts dix.

Les Anglais ont quant à eux longtemps compté en base 12. Cette base se retrouve aussi dans notre manière de compter les heures.

Plus la base est importante moins il faut de chiffres pour écrire un nombre.

Écrire 1000 en base 2

Les chiffres que nous utilisons sont en base 10. Que se passerait-il si nous comptons en base 2 ?

0 = 0000	5 = 0101
1 = 0001	6 = 0110
2 = 0010	7 = 0111
3 = 0011	8 = 1000
4 = 0100	...

Addition

> en binaire*

$$\begin{array}{r} 1010 \\ + 1010 \\ \hline 10100 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} *0 + 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 1 = 10 \end{array}$$

> en décimal

$$\begin{array}{r} 10 \\ + 10 \\ \hline 20 \end{array}$$

En résumé

1000 en décimal correspond à :
1 111 101 000 en binaire
33 220 en base 4
6B4 en base 12

Des ordinateurs qui comptent sur les deux doigts de la main

Bien que le langage binaire existe depuis longtemps (en Chine, 25 siècles avant J.-C.), ce sont les ordinateurs qui ont remis ce langage au goût du jour.

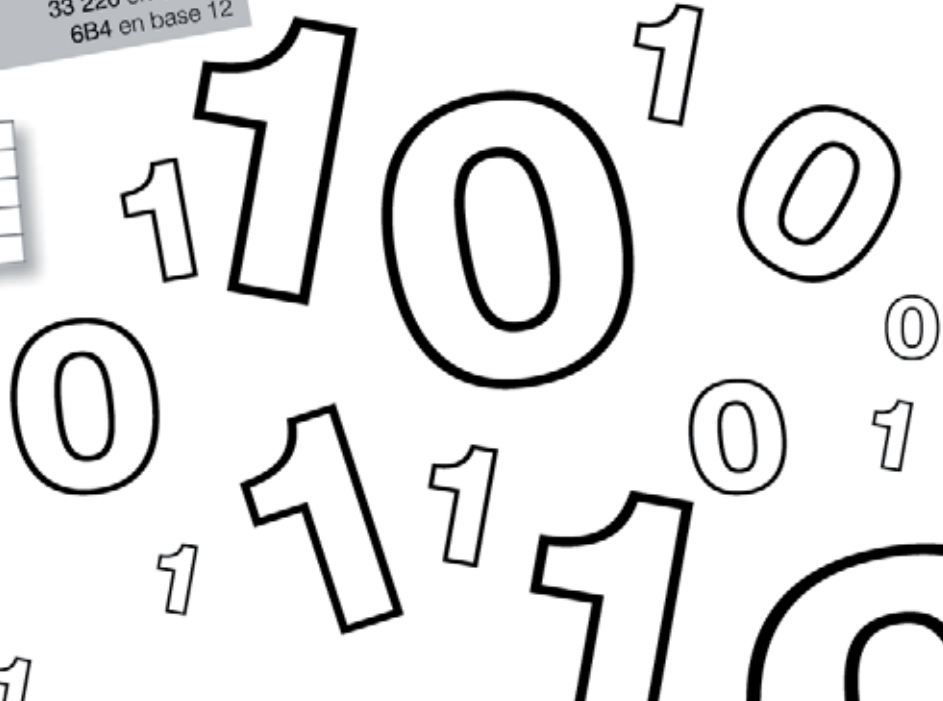
La technologie des ordinateurs ne leur permet de comprendre qu'un langage électrique : soit le courant électrique passe, soit il ne passe pas. S'il passe, cela correspond au signe 1, s'il ne passe pas, c'est le signe 0. Tous les messages doivent donc être écrits, pour l'ordinateur, avec ces deux signes.

Avec 1 bit (l'unité de base), on n'a donc que deux possibilités ; par contre avec deux bits, on peut transmettre quatre informations différentes : 00, 01, 10, 11 ; et avec 3 bits, 8 informations différentes. Avec un octet (soit 8 bits), on peut aller jusqu'à 256 messages différents !

LIGHT

>>> Transmettre un message en morse ?

Rien de plus simple...



Comment envoyer une image à l'autre bout du monde

L'image est découpée en tous petits carrés : les pixels. On attribue à chaque pixel une et une seule couleur. Chaque couleur est codée par une série de bits préalablement définis.

Ce code est ensuite transformé en signal électrique. Il passe dans un modulateur qui traduit ce message électrique en variation de lumière (via une diode). La lumière est injectée dans une fibre optique qui traverse les océans. Il suffit ensuite de faire la démarche inverse pour récupérer les pixels et donc l'image.

Bien sûr, la transformation d'une image réelle en pixels implique toujours une perte d'informations :



>>> L'agrandissement de l'image montre qu'elle est constituée de pixels, de même taille, mais de teintes différentes. Plus on agrandit l'image et plus ils seront visibles.

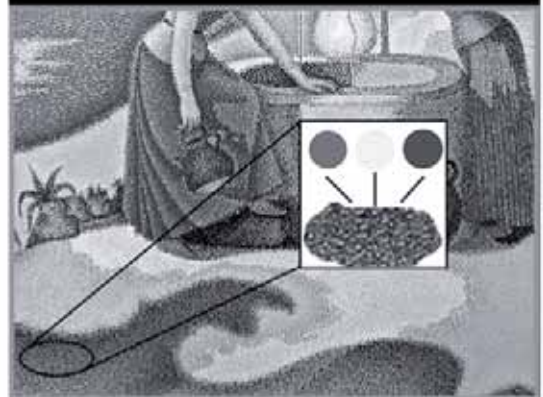
Les pointillistes, inventeurs du pixel ?

La technique du pointillisme en peinture revient en quelque sorte à la même technique que les pixels pour les écrans de télévision (la magie de la peinture en moins, bien entendu !).

Les petites touches de couleurs sur le tableau ne peuvent être distinguées les unes des autres et se fondent optiquement ensemble.

L'aspect visuel est différent de celui obtenu en mélangeant des couleurs sur une palette car dans le cas du pointillisme, c'est la lumière renvoyée par les points de couleur qui se mélange.

Il s'agit donc de synthèse additive (cf. fiche n°1) qui donne des couleurs plus vives que la synthèse soustractive.



>>> Paul Signac, Femmes au puits
1892, huile sur toile.

Détail pour remarquer la composition du vert de l'herbe : il est composé de jaune, de vert et de bleu. Et si l'on regarde de plus près encore, on pourra remarquer de rares points de rouge.

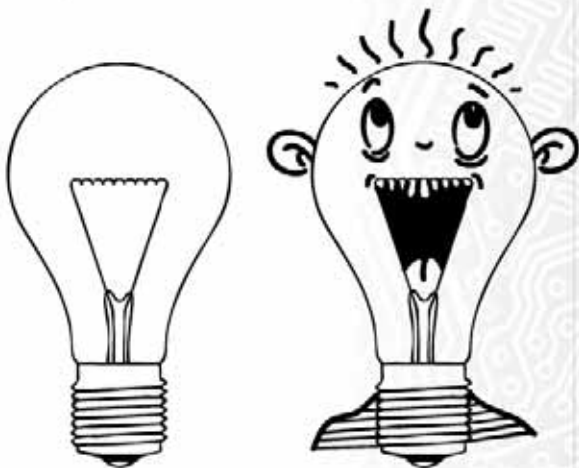


Quantique ou chaos, mon cher Watson ?

Les hommes ont toujours cherché une technique infallible pour transmettre un message secret sans être espionné. Lorsque le message était envoyé par l'intermédiaire d'un pigeon voyageur, les chances d'intercepter l'oiseau étaient finalement assez minimes.

Aujourd'hui que ces informations sont transmises par des réseaux type Internet, accessibles à tous, et maintenant que sont créés de nombreux services en ligne (banques, achats en ligne...) le besoin de sécuriser la transmission du message devient crucial.

Sans parler de l'armée !



La manip de l'exposition

Elle permet aux élèves de comprendre cette technique en jouant aux espions :

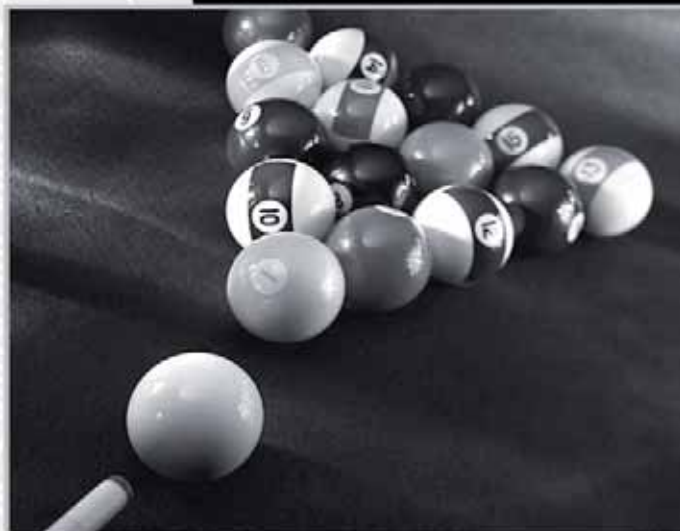
- les **photons** sont des boules 0 ou 1, vertes ou rouges ;
- l'**espion**, en consultant les boules, les fait disparaître du circuit ;
- les autres **joueurs** s'aperçoivent de ce manque et peuvent savoir s'ils ont été espionnés.

À noter...

Les théories de la physique quantique et du chaos ne sont pas explicitées dans l'exposition « Lumières » : seule une application de ces théories est vue dans les manips de cryptographie.

Notions abordées

- * Cryptographie quantique
- * Utiliser une clé secrète pour brouiller un message



Copie de chaos

Si les sciences de la cryptographie se perfectionnent sans cesse, il en est de même de la science des cassages de code : la **cryptoanalyse**.

Les ordinateurs, de plus en plus puissants, tentent, en essayant toutes sortes de calculs, de capter et lire les messages secrets.

Pour remédier à cela, des chercheurs ont eu l'idée d'utiliser les **phénomènes chaotiques** pour brouiller les messages.

Ces phénomènes chaotiques sont ceux qui sont les plus difficiles à prévoir. Un jeu de billard, par exemple, se révélera chaotique. Pour réussir à reproduire une trajectoire de boule, il faut que les conditions initiales soient parfaitement identiques (force, concentration, température de la boule, de la moquette...) : ce qui n'arrive en fait jamais !

Par contre, si on maîtrise parfaitement les conditions de création d'un signal chaotique, on peut recréer ce signal.

Les chercheurs ont eu l'idée de faire passer un message, couvert par un bruit de fond chaotique, et de donner les conditions de création de ce chaos à celui qui reçoit le message pour que ce dernier puisse enlever le bruit et retrouver le message.

Dans l'exposition, il s'agit de retrouver un dessin constitué de plusieurs transparents, dans lesquels se cache un **dessin chaotique** qui brouille la perception du dessin.

les manips...

Une clé qui permet d'ouvrir le message

Les chercheurs travaillant sur cette problématique ont rapidement compris qu'il était plus fiable de brouiller une clé qui permet d'ouvrir le message plutôt que le message lui-même. Ce qui revient à brouiller le code du coffre-fort plutôt que le message qui est dedans.

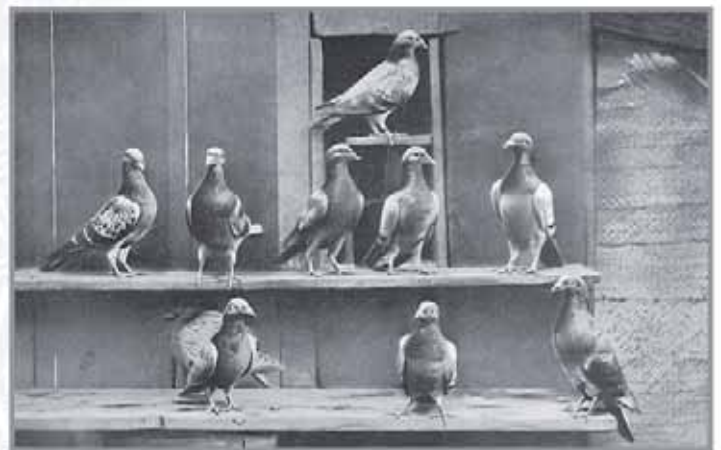
En cas de fuite, c'est donc la clé qui est découverte et non le message. Au début, on a envoyé la clé par avion, dans des valises sécurisées.

Les caractéristiques de la lumière permettent d'envoyer cette clé cryptée, tout en sachant si elle a été espionnée ou non. On envoie la lumière photon par photon (élément le plus petit de la lumière).

Or, si Dédé la Malice – espion de renommée internationale – regarde ces photons dans la fibre optique, cela change le signal lumineux envoyé.

On sait alors que la clé a été espionnée, mais ce n'est pas grave, il suffit de recommencer l'opération jusqu'à ce qu'on soit sûr que Dédé est parti se coucher !

Une fois la clé transmise, il suffit de brouiller le message avec cette clé, et comme le récepteur détient aussi la clé, il peut retrouver le message.



Petite expérience de cryptage facile

Ou comment utiliser la propension des jeunes à s'envoyer des petits messages en classe pour faire un petit cours de cryptographie ?

Le problème du message secret noté sur un papier par Yvan à l'attention de Mathéo, et transmis de la main à la main, c'est que l'on a de fortes chances pour que dix personnes le lisent avant Mathéo...

Pour que cela n'arrive pas, on peut convenir d'un code (qu'on appellera clé) et qui permettra de brouiller ce message pour que le destinataire soit capable de le lire.

- Vous vous mettez par exemple d'accord sur une suite de chiffres qui constituera la clé : 12504.

- Vous écrivez ensuite le message :

JULIETTE EST AMOUREUSE DE TOI

- et vous écrivez la clé sous le message :

J	U	L	I	E	T	T	E	E	S	T	A	M	O	U	R	E	U	S	E	D	E	T	O	I
1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4

- On ajoute le nombre de lettres dans l'alphabet en fonction du chiffre qui est sous chaque lettre : J + 1 = K / U + 2 = W / L + 5 = Q / I + 0 = I / E + 4 = I / ...

- Voilà qui nous donne :

J	U	L	I	E	T	T	E	E	S	T	A	M	O	U	R	E	U	S	E	D	E	T	O	I
1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4	1	2	5	0	4
K	W	Q	I	I	U	V	J	E	W	U	C	R	O	Y	S	G	Z	S	I	E	G	Y	O	M

On ne peut lire ce message que si l'on a la clé (il faut alors faire la manip dans l'autre sens !) et les petits camarades trop curieux se retrouveront le bec dans l'eau !

Bien sûr, il est recommandé de changer la clé régulièrement au cas où elle-même serait découverte !



>>> Message crypté retrouvé sur un parchemin du XIII^e siècle

De la phosphorescence à la fluorescence

Lumière chaude ou lumière froide

Toute lumière est produite, dans l'atome, par le passage d'un électron de son état excité à son état normal. La lumière que l'on utilise dans la vie de tous les jours est dite **incandescente** car elle est produite suite à une exposition à la chaleur : la qualité de la lumière émise dépend directement de la température du corps chauffé.

La lumière bleue étant la plus énergétique et la rouge la moins énergétique, un corps moyennement chaud (environ 1 600 °C) émettra une lumière rouge-orangée.

Un corps très chaud (environ 5 000 °C) émettra une lumière très blanche, pouvant même virer vers un blanc bleuté pour des températures extrêmes (8 000 – 9 000 °C).

Il existe d'autres manières de produire de la lumière : la **chimiluminescence** revient à produire de la lumière grâce à une réaction chimique (bâtons utilisés par les secours : quand on les casse, les substances chimiques qui étaient dedans se mélangent et produisent de la lumière).

Le mode de production de lumière qui nous intéresse ici est la **photoluminescence** qui est due à une radiation dite froide (UV).



Notions Abordées

- * Luminescence et incandescence
- * Fluorescence
- * Phosphorescence
- * Excitation des électrons
- * Bioluminescence



Fluorescence

Une matière fluorescente émet de la lumière lorsqu'elle est soumise à des UV. Cette lumière est émise instantanément et s'arrête aussitôt d'émettre lorsque les UV s'arrêtent. Les écrans à cristaux liquides fonctionnent de cette manière.

La **fluorescence** est très utilisée dans le monde industriel et biomédical, entre autres pour « marquer » des cellules ou des molécules qui deviennent ensuite visibles au microscope. Les hydrologues suivent aussi l'eau et les nappes phréatiques grâce à des marqueurs fluorescents.

RECETTE DU CHEF

Épinards ou betteraves rouges

Ingédients

2 ou 3 feuilles d'épinards
50 ml d'alcool blanc

Recette

Mixer deux ou trois feuilles d'épinards dans 50 ml d'alcool. Filtrer et récupérer le filtrat.

Cette solution contenant beaucoup de **chlorophylle** paraît verte (elle absorbe la plupart des radiations lumineuses, sauf le vert qui est renvoyé). Si on place une lampe puissante devant cette solution, la chlorophylle paraît rouge.

Que se passe-t-il ?

La chlorophylle est fluorescente ; lorsqu'on apporte de l'énergie (photons) à ses atomes, ils s'excitent puis retournent à leur état stable en émettant pendant 10 ns une lumière rouge !

Phosphorescence

Qui n'a pas dans sa maison des objets phosphorescents ? Aiguilles d'horloges, jouets d'enfants... Dans ce cas, les molécules vont aussi réagir à des rayons ultraviolets.

Par contre, le passage de l'état excité à l'état normal des électrons ne se fait pas instantanément. Les électrons sont comme confrontés à un mur pendant un temps. En mécanique quantique, on parle de **passage interdit** !

Outre les jouets et objets du quotidien, la **phosphorescence** est aussi beaucoup utilisée dans le biomédical, entre autres pour « marquer » des cellules du corps humain et suivre ce qui s'y passe.



Bioluminescence

C'est la production et l'émission de lumière par un organisme vivant, résultant d'une réaction chimique au cours de laquelle l'énergie chimique est convertie en énergie lumineuse.

Bioluminescence dans la faune abyssale

À plus de 200 m de profondeur dans les océans, il fait presque complètement noir.

Le repérage des proies et la communication entre animaux deviennent donc plus difficiles.

Certaines espèces vivant dans ces fonds marins fabriquent elles-mêmes de la lumière.

Cette lumière peut être amplifiée ou filtrée pour donner les couleurs caractéristiques de chaque animal.

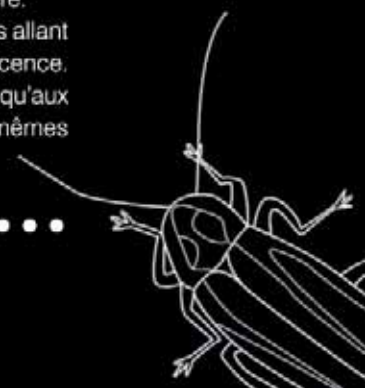
La lanterne des lucioles...

Les lucioles sont des coléoptères qui ont la capacité de créer de l'énergie lumineuse, à l'état de larve (ver luisant) et/ou adulte, à partir d'énergie chimique.

Un bon moyen de se repérer dans le noir !

Pour faire de la lumière, les cellules de l'animal réalisent une réaction chimique : la **bioluminescence**. Elle ne peut se faire qu'en présence d'oxygène, grâce auquel un processus d'oxydoréduction peut s'engager. Cette oxydoréduction produit une énergie chimique qui va exciter une molécule (la luciférine). En retournant à son état initial « non excité », la luciférine libère un **photon**, produisant ainsi de la lumière.

Il existe plus de 2 000 espèces de lucioles émettant des lumières allant du jaune au vert. Ce ne sont d'ailleurs pas les seuls êtres vivants capables de bioluminescence. Les scientifiques dénombrent pas moins de 700 genres différents allant des bactéries jusqu'aux vertébrés. Même dans les profondeurs des mers et océans, des organismes créent eux-mêmes leur source lumineuse.



Des lasers à tout faire

De l'opération par laser à la restauration d'objets anciens...

Caractéristiques du laser

La lumière ordinaire (soleil, ampoule classique...) est constituée de toutes les couleurs (ou longueurs d'ondes) et se propage dans toutes les directions. On peut la comparer à une foule allant dans toutes les directions et constituée de gens très différents.

Le laser, lui, ressemble plutôt à une troupe de soldats allant tous dans la même direction et au même rythme. Cette lumière est composée d'une seule couleur, elle est monochromatique, et se déplace dans une direction bien précise, toujours à la même vitesse, elle est cohérente. Cette lumière est donc très puissante et très précise.

Quoi de neuf avec le laser, docteur ?

Le milieu médical a été révolutionné par l'apparition du laser. De nombreuses opérations chirurgicales précises peuvent aujourd'hui être faites rapidement et sans ouvrir le corps, car le laser a la faculté de mettre toute sa puissance sur un point précis du corps humain, sans endommager les tissus qu'il traverse (24 h de cicatrisation aujourd'hui contre plusieurs semaines auparavant).

La fibre optique permet aussi de faire entrer cette lumière puissante dans le corps humain pour des examens : une fibre pour éclairer la zone et une autre pour envoyer l'information de la caméra à l'écran (voir manip centrale sur le transport de l'information).



Notions abordées

- * Couleurs et longueurs d'ondes
- * Le laser, une lumière cohérente et monochromatique
- * Les applications du laser

Le laser, un truc de scientifiques ?

Pas du tout, si vous écoutez des CD, surfez sur le Web, faites vos courses dans un supermarché..., vous utilisez la technologie laser ! Le laser devient omniprésent et les recherches continuent !

les manips...



Soudures et découpes

Dans l'industrie aussi, le laser est devenu omniprésent. Le faisceau laser est facilement focalisé et concentre une grande énergie sur une toute petite surface, ce qui est très utile pour les découpes et les soudures.

Sa précision en fait un outil de pointe pour les mesures de distances et pour guider les machines. Depuis 1991, le laser est aussi utilisé par les astronomes pour sonder l'atmosphère...

Et demain ?

Perfectionner les lasers et en développer de nouveaux (à infrarouge par exemple) permettent d'augmenter leur puissance et leur précision.

*À l'université de Franche-Comté, un **spectre blanc** a été créé à partir de lasers miniatures à faible coût. Leur mise au point permet d'ouvrir la voie à une nouvelle gamme d'applications dans le domaine des capteurs, des systèmes de métrologie optique...*

Cela permet notamment de développer des outils d'auscultation du corps humain à faible coût.

*Aujourd'hui, les **fibroscopes**, par exemple, sont utilisés avec des lasers monochromatiques :*

ce qui pose un problème pour la qualité de l'image (une tache rouge vue en lumière rouge ne donne pas assez de précision). Les «lasers blancs» vont sans doute révolutionner ces pratiques!

À suivre...



La lumière en forme de vagues ?

Depuis nos premiers dessins à l'école maternelle, nous avons appris à dessiner les rayons lumineux par des traits, voire des flèches, plus précises, qui indiquent le sens de propagation.



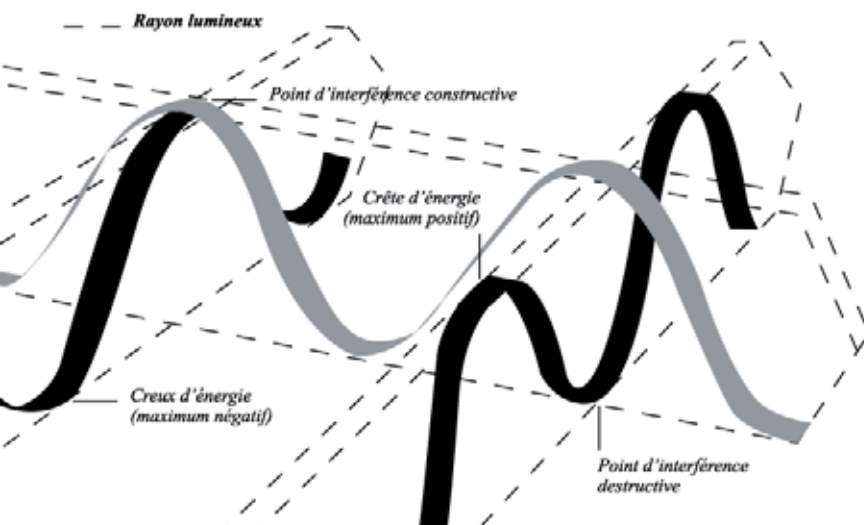
Or, la lumière se comporte, pour une part, à la manière d'une onde : c'est une **onde électromagnétique**.

Cette vision ondulatoire de la lumière complique les choses lorsqu'on additionne les rayons de lumière.

Lorsque deux ondes lumineuses se croisent, on peut penser qu'elles s'additionnent pour faire plus de lumière, mais ce n'est pas toujours le cas.

Si les crêtes « hautes » des ondes arrivent au même moment, on dit que **les ondes sont en phase** et elles s'additionnent. Elles apparaissent deux fois plus intenses ou lumineuses.

Si les crêtes « hautes » d'une onde arrivent en même temps que les crêtes « basses » de l'autre onde, ces dernières s'annulent. Il n'y a alors plus de lumière.



Notions abordées
* Aspect ondulatoire de la lumière
* Franges d'interférences
* Holographie

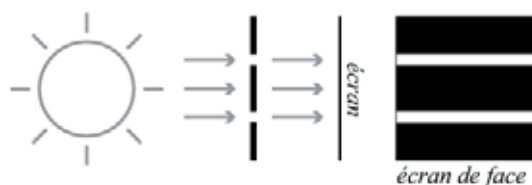


Une expérience révolutionnaire

La double fente d'Young

Thomas Young est un savant anglais éclectique du début du XIX^e siècle, à la fois physicien et égyptologue averti. En 1801, il a l'idée de faire passer la lumière à travers deux fentes parallèles coupées dans un matériau opaque.

Si la lumière était composée de « simples rayons », on devrait avoir le résultat suivant :



Or, on observe la chose suivante :



Cette image ne peut s'expliquer que par le **caractère ondulatoire** de la lumière, qui s'additionne par endroits et s'annule à d'autres : on appelle cela **des interférences**.





en savoir +

Une photo 3D : l'hologramme

Il s'agit d'une **plaque photographique** spéciale qui a été fabriquée grâce à deux lumières (1).

Ensuite, lorsqu'on regarde l'hologramme, la lumière éclairant la plaque photographique réfléchit le réseau d'interférences de la plaque, et les rayons qui arrivent dans les yeux de l'observateur créent une image virtuelle en trois dimensions de l'objet, derrière la plaque photographique (2).

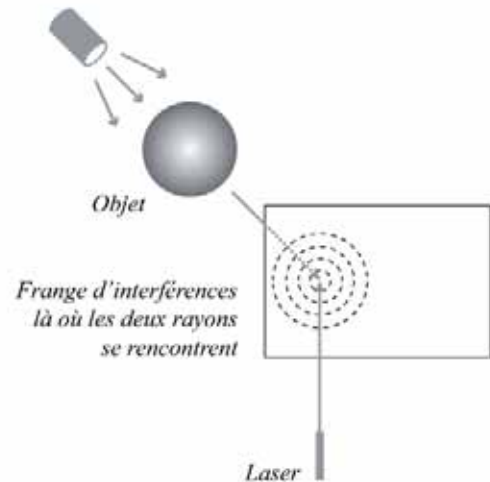
Les interférences au cœur des recherches actuelles : le cristal photonique

Les chercheurs ont découvert en 1987 que certains cristaux (les cristaux photoniques) empêchaient la lumière de passer à certains endroits, grâce à des réseaux d'interférences au sein même du cristal.

Ces endroits où la lumière ne passe pas se nomment des **bandes interdites**. Elles « forcent » la lumière à passer par des bandes « permises », limitant ainsi les pertes de lumière et donc les pertes d'informations transportées par la lumière. Elles permettent de guider la lumière dans un circuit, comme des miroirs pour un rayon lumineux, mais en beaucoup plus petit.

Il existe des cristaux photoniques naturels, dans certaines ailes de papillons par exemple. Ils permettent de minimiser la perte de lumière arrivant sur les ailes, donnant ainsi un effet très lumineux au papillon. Dans ce cas, les pigments absorbent la lumière ultraviolette qui est ensuite réémise, par fluorescence, sous forme de lumière bleu-vert.

1. Fabrication de la plaque photo



2. Observation d'un hologramme

