



Light Box

LE KIT PÉDAGOGIQUE DE PHOTONIQUE

GUIDE PROJETS





Auteurs des ressources contenues dans ce guide :

Andréa d'Amario (artiste peintre), Corinne Avenoso (Professeur de Sciences Physiques - Lycée Paul Vincensini - Bastia), Ayoub Badri (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Manon Ballu (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Thierry Chartier (Institut Foton - ENSATT), Sébastien Chénais (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers) Christophe Daussy (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Lorette Daussy (Sorbonne Université – Polytech Sorbonne), Romain Dubessy (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Julien Fade (Institut Fresnel – Centrale Marseille), Valentine Gaudillat (EOS/SFO Tregor Photonics Student Club), Isabelle Hantonne (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Philippe Harnois (Professeur agrégé d'arts plastiques - Lycée Benjamin Franklin - Auray), Nathalie Lidgi Guigui (Université Sorbonne Paris Nord – Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux), Yuhao Liu (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion), Hippolyte Mouhanna (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Paul-Éric Pottie (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), Equipe Fête de la Science - Institut de la Vision (Sorbonne Université), Marylise Saffre (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers)

Coordination du projet LightBox :

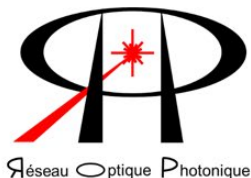
Christophe Daussy (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers) pour la Société Française d'Optique et l'Association Atouts Sciences

Contact :

Association Atouts Sciences (atouts.sciences@gmail.com)



Ils soutiennent ce projet :



Institute for the
Sciences of Light

I.R.E.M. Paris-Nord

Licence :

Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions

Vous êtes autorisé à :

Partager — copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats

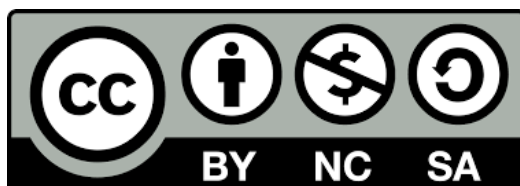
Adapter — remixer, transformer et créer à partir du matériel

Selon les conditions suivantes :

Attribution — Vous devez créditer l'œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'œuvre. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'offrant vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son œuvre.

Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette œuvre, tout ou partie du matériel la composant.

Partage dans les Mêmes Conditions — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'œuvre originale, vous devez diffuser l'œuvre modifiée dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle l'œuvre originale a été diffusée.



Le guide pour vos projets LightBox

I. Avant de vous lancer.....	7
1. Présentation	8
2. Consigne de sécurité laser.....	9
3. Contenu du kit pédagogique	9
4. Contenu du guide projets.....	11
II. Quelques ressources bien utiles.....	13
III. Propagation de la lumière	17
1. Comment se propage la lumière ?	18
2. Quel est l'effet d'un miroir sur la lumière ?	22
3. Qu'est-ce qu'un milieu transparent ?	26
4. Peut-on faire un miroir transparent ?	30
IV. Image et vision	33
1. Que fait une lentille convergente ?	34
2. Comment projeter une image sur un écran blanc ?.....	35
3. Peut-on obtenir une image sans écran ?.....	37
4. Que voit-on dans un miroir ?.....	39
V. Lumière colorée	41
1. Qu'est-ce que la lumière blanche ?.....	42
2. Qu'est-ce qui fait la couleur d'un objet ?.....	45
3. « Additionner » les couleurs.....	55
4. La vision des couleurs.....	61
5. Spectres des sources lumineuses	64
VI. Polarisation	71
1. La polarisation de la lumière	72
2. Polarisation et biréfringence	75
VII. Onde lumineuse	81
1. Diffraction par un obstacle.....	82
2. Diffraction par une fente.....	85
3. « Additionner » la lumière.....	86
4. Qu'est-ce qu'un hologramme ?.....	90



VIII. Emission/détection pilotées par Arduino	91
1. Présentation des composants	92
2. Faire briller une LED	99
3. Un modèle de pixel RVB contrôlable.....	103
4. Transmission d'un signal par fibre optique	109

Les sigles et acronymes :

CNRS :	Centre National de la Recherche Scientifique
CSIC:	Center for Strategic and International Studies
ENSSAT :	Ecole Nationale Supérieure Des Sciences Appliquées Et De Technologie
EOS :	European Optical Society
IREM :	Institut de Recherche en Enseignement de Mathématiques
LASER :	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED :	Light-Emitting Diode (en français Diode Electroluminescente)
LPL :	Laboratoire de Physique des Lasers
MPLS :	Maison pour la Science
OSA :	Optical Society of America
SFO :	Société Française d'Optique
SPIE :	Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (en français Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture)
USPN :	Université Sorbonne Paris Nord



I. Avant de vous lancer...



1. Présentation



Vous êtes en possession du kit pédagogique LightBox de la Société Française d'Optique et de l'Association Atouts Sciences.

Le kit LightBox a été conçu en 2022 par la Commission enseignement de la SFO avec 3 objectifs principaux :

- Le développement de la culture scientifique dans le domaine de l'optique et de la photonique
- Favoriser la mise en place d'actions de formation et de médiation scientifique autour des étonnantes propriétés de la lumière
- Créer et fédérer un réseau national de référents scientifiques

La Société Française d'Optique (SFO) et Atouts Sciences mettent à disposition d'enseignants, de formateurs, d'animateurs, d'associations ou de clubs étudiants le kit LightBox enrichi d'un accompagnement scientifique et pédagogique. Chaque projet est porté localement par un responsable de projet (enseignant, animateur, formateur, étudiant...) qui est accompagné par un référent scientifique (un chercheur, un enseignant-chercheur, un ingénieur ou un doctorant). Le responsable de projet se tourne vers le référent scientifique pour toutes les questions en lien avec son projet ainsi que pour être formé, guidé ou conseillé dans l'utilisation du matériel et la réalisation des expériences. En concertation avec le responsable de projet, le référent scientifique peut être amené à intervenir directement auprès du groupe projet (les élèves, les enfants) pour animer un atelier, donner une conférence. Le référent scientifique peut également accueillir le groupe projet pour un événement dans son environnement professionnel (laboratoire, université, entreprise...).

Le kit est labélisé par l'UNESCO pour l'International Day of Light (le 16 mai). Lorsque le projet le permet, le responsable de projet et le référent scientifique sont invités à organiser au mois de mai une restitution du travail du groupe. Lors de l'année 2023-2024 les kits bénéficieront également du label Année de la Physique 2023/2024.



International
Day of Light

16 May

L'ensemble des ressources pédagogiques est accessible en ligne sur le site de la Société Française d'Optique à l'adresse suivante : <https://www.sfoptique.org/>

SCAN ME



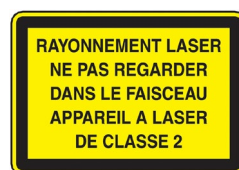
2. Consigne de sécurité laser

Ce kit contient une source laser de puissance inférieure à **1 mW de classe II**.

Pour toutes les expériences, le laser doit être fixé et maintenu en position allumée grâce aux pinces à linge fournies ou à la bague cylindrique ON/OFF (voir photo).



Classe II : Source émettant un rayonnement visible dans la gamme de 400 à 700 nm, qui est sans danger pour des expositions momentanées, mais qui peut être dangereux pour une exposition délibérée dans le faisceau. Le risque de lésion est très faible pour des expositions momentanées un peu plus longues que le temps caractéristique liée au réflexe palpébral, soit 0,25s.



La source laser ne doit être manipulée avec précaution en s'assurant de ne jamais se placer dans des conditions de vision directe dans le faisceau.

3. Contenu du kit pédagogique

Cette partie détaille le contenu du kit LightBox et donne quelques instructions et conseils pratiques d'utilisation.

Les thèmes traités vont de la propagation de la lumière à la formation des images et la vision en passant par l'étude des sources de lumière (blanche et colorée) jusqu'à des expériences pour aborder la question de la nature de la lumière ou la transmission d'information par laser.

De manière générale les expériences sont plus spectaculaires lorsqu'elles sont réalisées dans la pénombre. Pour réaliser les montages, nous vous conseillons d'utiliser une table et l'écran blanc fourni (ou bien une feuille de papier). Une dizaine de pinces à linge ainsi que de la Patafix® sont fournies afin de fixer les différents éléments optiques. Le pointeur laser est fixé et maintenu allumé au cours des expériences grâce à des pinces à linge ou à la bague cylindrique ON/OFF.

Sources de lumière

- **Lampe torche LED (pile fournie)** : La pile s'insère en dévissant l'arrière de la lampe. Le faisceau peut être ajusté (plus ou moins divergent) en tirant ou tournant la bague de réglage à l'avant de la lampe.
- **Pointeur laser rouge (piles fournies)** : Les piles s'insèrent en dévissant l'arrière du laser. **Attention à la sécurité laser (voir consignes ci-dessus) !**

On peut compléter ces deux sources de lumière par n'importe quel type d'éclairage (spot, lampe de bureau, ampoule, flash d'un smartphone ...) afin de s'adapter à l'environnement (démonstration en amphithéâtre, en extérieur, ...). Avec des sources plus lumineuses on obtiendra des effets plus visibles.



Composants optiques

- **Barreau de plexiglas** : Une des extrémités est polie (transparente), c'est la face d'entrée, l'autre est dépolie (diffusante), c'est la face de sortie. Ce barreau permet de visualiser les phénomènes de transmission, réflexion partielle et réfraction, ainsi que la réflexion totale interne (guidage de la lumière dans les fibres optiques).
- **Prisme** : Il permet d'observer la dispersion de la lumière blanche, due à la réfraction, ainsi que la réflexion totale interne (arc-en-ciel).
- **Jeu de lentilles** : Le jeu comporte des lentilles convergentes et divergentes. Ces lentilles permettent d'étudier des dispositifs optiques, la formation de l'image d'un objet, l'effet d'une loupe ou encore la lunette astronomique... La lentille rectangulaire plate est une lentille de Fresnel, utilisée par exemple pour réduire l'angle mort du rétroviseur dans les bus.
- **Fibre plastique** : Elle permet d'observer le guidage de la lumière dans un milieu souple et transparent, basé sur la réflexion totale interne (principe des fibres optiques).
- **Le Mirascope** : Grâce à un jeu de miroirs paraboliques, il permet de visualiser l'image tridimensionnelle d'un objet (ce n'est pas un hologramme !).
- **Filtres colorés** qui permettent d'expérimenter la synthèse soustractive des couleurs. On peut aussi réaliser la synthèse additive en utilisant plusieurs sources, plusieurs filtres, et un écran.
- **Polariseurs** pour mettre en évidence la polarisation de la lumière et en particulier la différence entre LED et laser (sources polarisées et non polarisées). On peut mettre en évidence la biréfringence (avec des morceaux de scotch). On peut également réaliser des lunettes polarisantes (cinéma en 3D) ou encore observer l'écran d'un PC ou d'un téléphone à travers un polariseur...
- **Réseau de diffraction** pour observer le phénomène de diffraction, avec un laser ou en lumière blanche. On peut comparer avec un CD/DVD, un fil fin ou encore un cheveu.
- **Hologramme** en réflexion qui repose sur les phénomènes de diffraction et d'interférence pour restituer l'image « en trois dimensions » d'un objet.

Ces différents éléments permettent de réaliser un grand nombre d'expériences qui peuvent être interprétées dans le cadre de **l'optique géométrique**. Ce modèle permet d'expliquer la plupart des phénomènes optiques que nous pouvons observer au quotidien (transmission, réflexion, réfraction) et ainsi comprendre le principe de l'arc-en-ciel, des lunettes astronomiques et des télescopes, des appareils photographiques, de la fibre optique... Les expériences mettant en évidence les interférences ou la diffraction ne pourront être interprétées qu'en faisant appel à la **nature ondulatoire de la lumière**.

Composants pilotés par ARDUINO

Le module Arduino Uno est une carte électronique qui embarque un microcontrôleur programmable et des entrées/sorties électroniques capables d'interagir avec des composants électroniques, des modules capteurs/détecteurs variés.

Contenu du kit : **1 module Arduino Uno + 1 câble d'alimentation + 1 plaquette test + 1 jeu de fils de connexion + 5 résistances électriques de 330 Ω + 3 diodes électroluminescentes (LED) rouges + 3 LEDs vertes + 1 LED ultraviolet (UV) + 1 module LED RVB + 1 Laser rouge + 1 capteur à phototransistor + 1 détecteur de lumière avec 2 sorties (visible et visible + infrarouge)**



Sources de lumière contrôlables en intensité :

- **LEDs rouges, vertes et UV** : Ces diodes électroluminescentes permettent de générer un flux lumineux coloré en les connectant à des sorties digitales de l'Arduino.
- **LED RVB** : Ce module contient 3 diodes (rouge, verte et bleue) combinées pour pouvoir créer une lumière blanche mais également toutes les combinaisons intermédiaires.
- **Laser rouge** : Ce laser émet un faisceau continu rouge (à $0,63\ \mu\text{m}$) d'intensité contrôlable.

Détecteurs de lumière :

- **Capteur à phototransistor** : Ce module permet d'effectuer une mesure quantitative du flux lumineux reçu par la surface sensible du photodétecteur.
- **Détecteur de lumière Grove avec sortie VIS et VIS+IR** : Ce module (plus élaboré que le capteur à phototransistor, et un peu plus délicat à mettre en œuvre) intègre un détecteur qui constitue un autre moyen de mesurer le flux lumineux. Il présente l'intérêt de contenir deux photodiodes : l'une destinée à la mesure du flux visible, et l'autre fournissant le flux mesuré dans la gamme visible + proche infrarouge.

Conseils pour les présentations en grand groupe

Pour réaliser des expériences en amphi, vous pouvez utiliser comme source de lumière un vidéoprojecteur. Préparer sous Powerpoint une diapositive noire au centre de laquelle vous positionnez un disque blanc. Projeter cette diapositive et vous obtiendrez un faisceau lumineux blanc intense et collimaté. Si vous voulez éclairer le prisme ou le réseau de diffraction par l'équivalent d'un faisceau transmis par une fente verticale, il vous suffit simplement de remplacer sur la diapositive Powerpoint le disque blanc par un rectangle blanc.

4. Contenu du guide projets

Le présent guide projets est structuré en 6 thématiques :

- Propagation de la lumière
- Image et vision
- Lumière colorée
- Polarisation
- Onde lumineuse
- Emission/détection pilotées par Arduino

Pour chacune des thématiques vous trouverez des fiches pédagogiques accompagnées de ressources complémentaires. Ces ressources complémentaires, produites par des responsables de projets et validées par les référents scientifiques présentent :

- Les *concepts physiques essentiels* associés à la fiche pédagogique
- Des exemples d'*ateliers* conçus et mis en œuvre par des responsables de projets
- Des pistes d'*ouvertures*, sources d'inspiration pour imaginer des projets pluridisciplinaires (Art et Sciences, Physique et Mathématiques...)



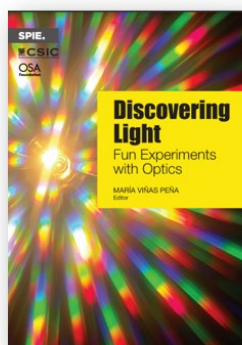


II. Quelques ressources bien utiles



<https://www.pinterest.fr/pin/79868593366947124/>

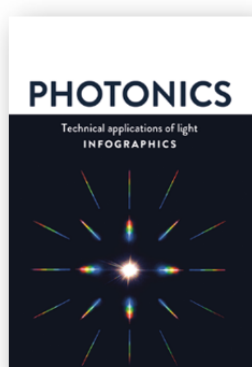
Ouvrages en Open Access



Une multitude d'idées d'expériences accompagnées d'explications simples :

Discovering Light, Fun Experiments with Optics
– SPIE – CSIC – OSA

<https://spie.org/samples/PM324.pdf>



Des infographies pour illustrer vos expériences en photonique

Photonics - SPIE

<https://www.spiedigitallibrary.org/ebooks/PM/Photonics-Technical-Applications-of-Light/1/Photonics-Technical-Applications-of-Light-Full-Book/10.1117/3.2507083.sup>



Un guide très accessible pour faire ses premiers pas avec Arduino

Arduino : premiers pas en informatique embarquée - Zeste de savoir

<https://zestedesavoir.com/tutoriels/pdf/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee.pdf>



Un cours complet d'optique géométrique (pour le lycée et le supérieur)

Cours de Physique – Optique géométrique – femto-physique

<https://femto-physique.fr/optique/pdf/book-optgeo.pdf>



Un cours complet d'optique ondulatoire (pour le supérieur)

Cours de Physique – Optique ondulatoire – femto-physique

<https://femto-physique.fr/optique/pdf/book-optond.pdf>

Sites web

Liens pour découvrir la programmation Arduino :

<https://arduino-france.site/>



<https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/>



Vidéos et podcasts



Une brève histoire de l'évolution de nos connaissances sur la lumière

Histoire de la lumière : ondes et photons

<https://youtu.be/L5B3frVR8LM>

L'étude de la lumière : une aventure qui a chamboulé notre représentation du monde

Publié 28 octobre 2020, 22:14 (CET)



L'étude de la lumière : une aventure qui a chamboulé notre représentation du monde – Christophe Daussey

<https://theconversation.com/letude-de-la-lumiere-une-aventure-qui-a-chamboule-notre-representation-du-monde-146139>

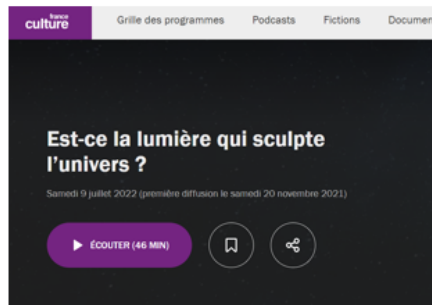




Une conférence grand public sur la lumière et ses applications dans le domaine artistique

La lumière et l'art – Daniel Hennequin

<https://youtu.be/bczZVmU1DJ4>



Quel rôle la lumière a-t-elle joué et joue-t-elle dans l'évolution de l'univers ?

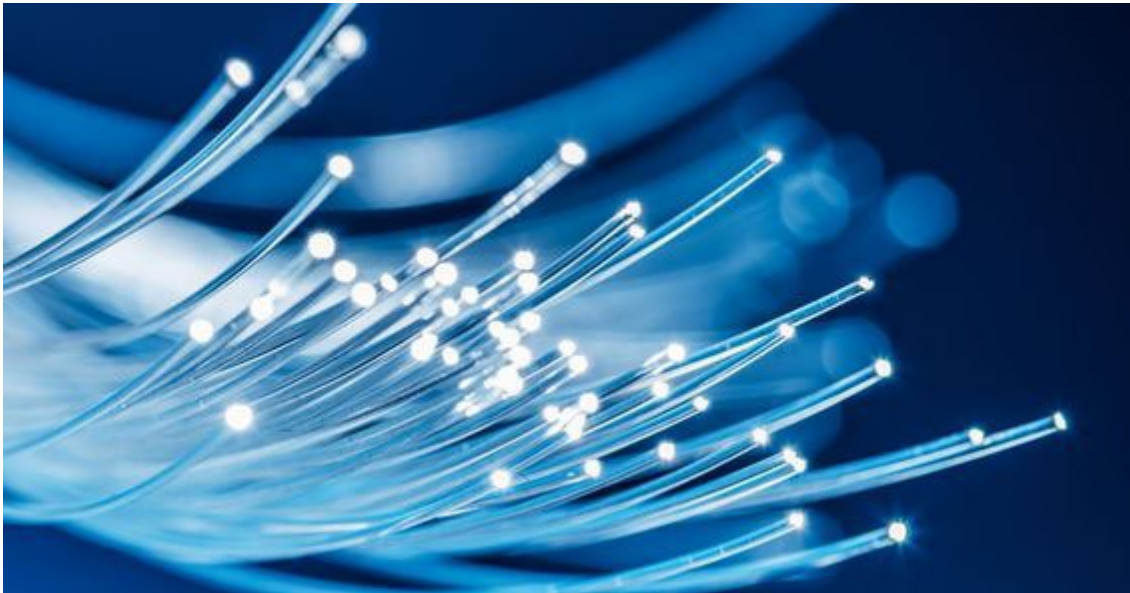
Est-ce la lumière qui sculpte l'univers ?

Interview de David Elbaz

<https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/science-en-questions/est-ce-la-lumiere-qui-sculpte-l-univers-8430962>



III. Propagation de la lumière



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/1140114461897098149/>



1. Comment se propage la lumière ?

Thèmes :

Etude de la propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène

Mots clés :

- Propagation de la lumière
- Rayon de lumière
- Optique géométrique

Niveau :

- ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☐ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 20 min
Atelier par groupes de 2 élèves

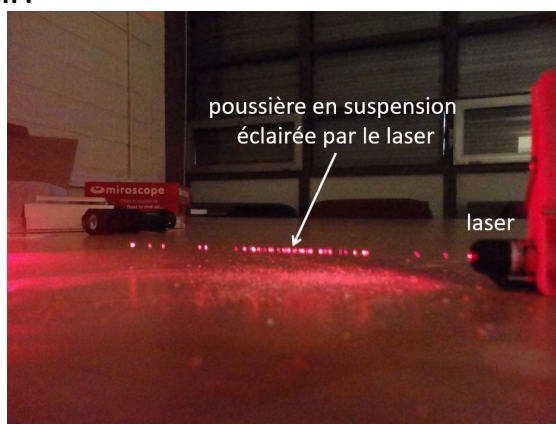
Objectifs :

- Etude de la propagation rectiligne de la lumière
- Introduction de la notion de rayon lumineux (base de l'optique géométrique)

Liste du matériel :

- Pointeur laser
- Poudre de craie ou fumée

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Etapes :

1. Fixer le pointeur laser en position ON et le poser sur la table (utiliser les pinces à linge)
2. Saupoudrer de la poussière de craie sur le trajet de la lumière

Remarques/conseils :

- Réaliser l'expérience dans l'obscurité
- Vous pouvez remplacer la poussière de craie par un récipient rempli d'eau contenant un peu de sirop (ou de la fluorescéine) ou encore par la vapeur générée par une vapoteuse (ou une machine à fumée)

Observations et interprétations :

- Le trajet rectiligne de la lumière est rendu visible par la poussière de craie qui diffuse la lumière dans toutes les directions (on parle de diffusion de la lumière)
- La lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène (i.e. ayant des propriétés identiques en tous points de l'espace)
- Le trajet de la lumière est modélisé par un rayon de lumière (concept à la base de l'optique géométrique)

Ouvertures et applications :

- On utilise la source laser car elle possède la propriété remarquable d'émettre une lumière sous la forme d'un faisceau très fin : tous les photons sont émis dans la même direction et le faisceau de lumière est peu divergeant
- Concept de rayon de lumière et formation des ombres (application aux éclipses)
- La lumière ne se propage pas en ligne droite dans un milieu inhomogène (exemple : mirage à la surface d'une route chauffée par le soleil)

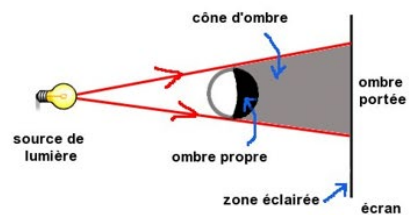
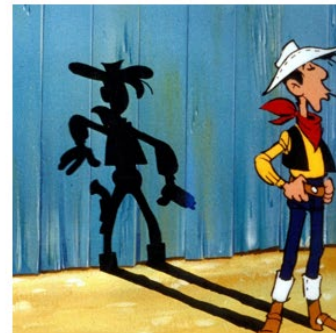
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL-USPN)

Ressources complémentaires

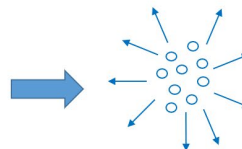
Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

La lumière se propage en ligne droite



Diffusion par des particules



Plus grosses que la longueur d'onde
→ diffusion de Mie

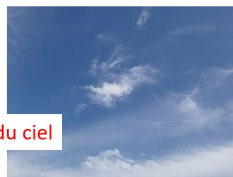


Le blanc des nuages

Plus petites que la longueur d'onde
→ diffusion de Rayleigh



Le bleu du ciel

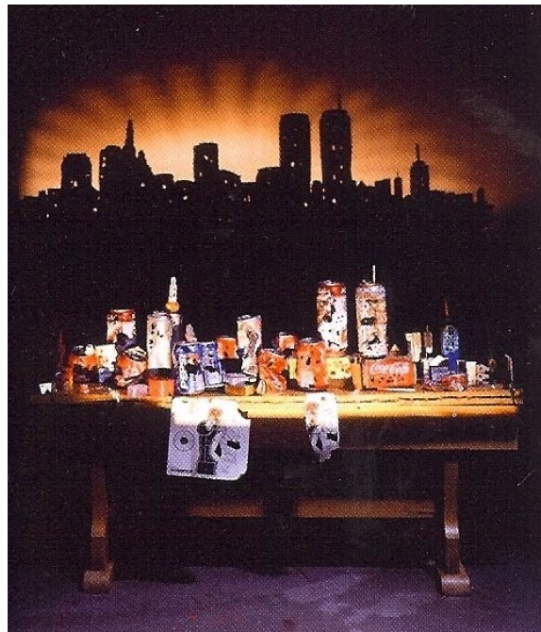


Ouverture art et science

Source : Formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

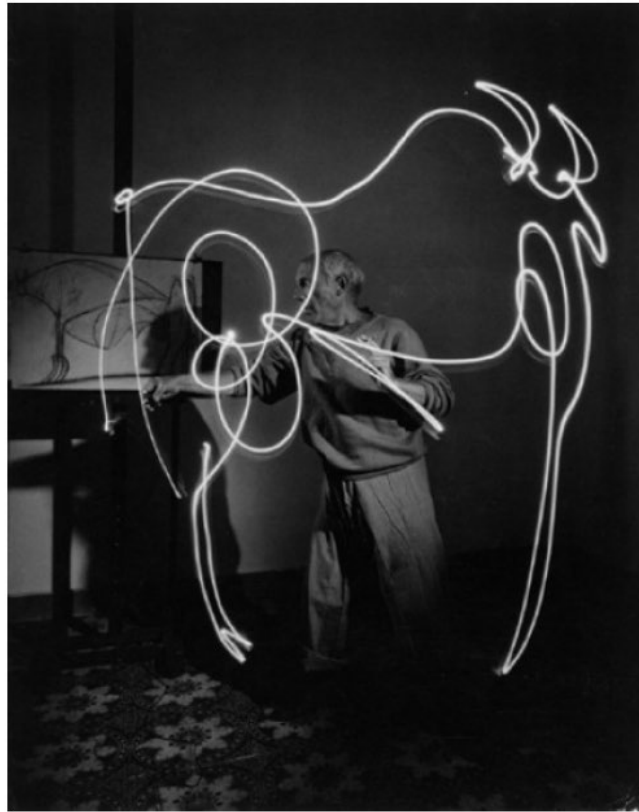


Nancy Holt (1938-2014), Sun Tunnels, 1973-1976, quatre tunnels de béton, désert Utha



Tim Noble (1966) et Sue Webster (1967), Sunset over Manhattan, 2003, paquets de cigarettes, boîtes de conserve, cartouches d'arme à air comprimé, banc en bois, projecteur lumière.





Picasso (1881-1973) , light drawing, photo argentique de Gjon Mili (1904-1984), 1949



2. Quel est l'effet d'un miroir sur la lumière ?

Thèmes :

Réflexion de la lumière par un miroir

Mots clés :

- Miroir
- Réflexion
- Angle d'incidence et angle de réflexion
- Image

Niveau :

- ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☐ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

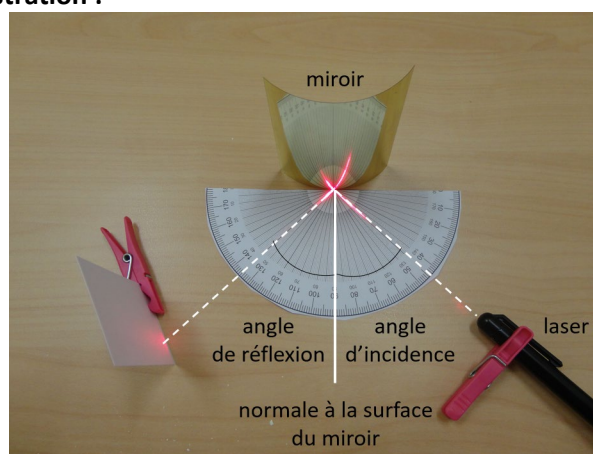
Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2-3 élèves

Objectifs : Mise en évidence de l'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réflexion

Liste du matériel :

- Pointeur laser
- Ecran
- Miroir
- Pinces à linge
- Rapporteur

Illustration :



© Romain Dubessy - LPL

Étapes :

1. Réaliser le montage représenté sur l'illustration
2. Mesurer l'angle d'incidence α_i et l'angle de réflexion α_r
3. Répéter la mesure pour différents angles α_i
4. Tracer la fonction représentant l'angle de réflexion en fonction de l'angle d'incidence et montrer que l'on obtient une droite de pente unité

Remarques/conseils : Les angles sont mesurés par rapport à la normale à la surface du miroir

Observations et interprétations :

- Mise en évidence de la relation $\alpha_i = \alpha_r$
- La lumière est réfléchiée par le miroir puis se propage en ligne droite. La nouvelle direction est symétrique de la direction incidente par rapport à la normale à la surface du miroir : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence

Ouvertures et applications :

- Après réflexion sur un miroir, la lumière provenant d'un objet forme une image (virtuelle) de l'objet. Expliquer la formation d'une image après réflexion de la lumière sur un miroir.
- Pour un miroir non plan, l'image d'un objet est déformée, agrandie ou rétrécie. Observer par exemple la réflexion sur le miroir parabolique du Mirascope (voir tuto « Que voit-on dans un miroir ? »)
- Réaliser un labyrinthe avec des miroirs plans (voir ressources complémentaires)

Consignes particulières : Ne pas observer directement dans la direction du faisceau laser

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

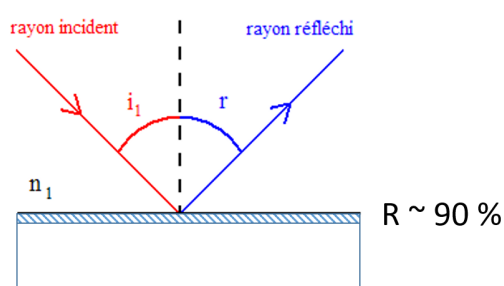
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Réflexion sur un miroir

Miroir : dépôt métallique sur une plaque de verre

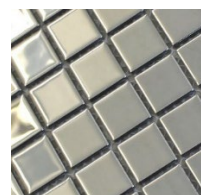


Atelier « Expérimenter la réflexion de la lumière pour sortir d'un labyrinthe lumineux »

Conception de l'atelier : Yuhao Liu et Marylise Saffre (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2022

Préparation de l'atelier :

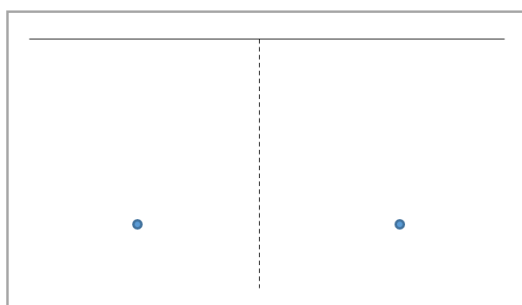
Prévoir 4 ou 5 petits miroirs plans par labyrinthe, type mosaïque pour salle de bain (non fourni).



Les labyrinthes sont confectionnés à partir d'une boîte en carton (de la dimension de celle du kit, ou d'une boîte à chaussures) dans laquelle on va placer et coller, soit au pistolet à colle soit avec du scotch, différents morceaux de cartons qui constitueront les murs du labyrinthe. Ensuite, il suffit de faire un trou d'entrée où sera positionné le pointeur laser. Le trou devra être fait environ à 3/4cm du fond de la boîte. Et enfin, on perce sur le côté opposé au trou d'entrée une porte de sortie par lequel il faudra faire sortir le faisceau laser.



Pour les explications des lois de la réflexion, on aura besoin d'une feuille blanche sur laquelle on trace deux lignes perpendiculaires et deux points comme sur la fiche ci-dessous :

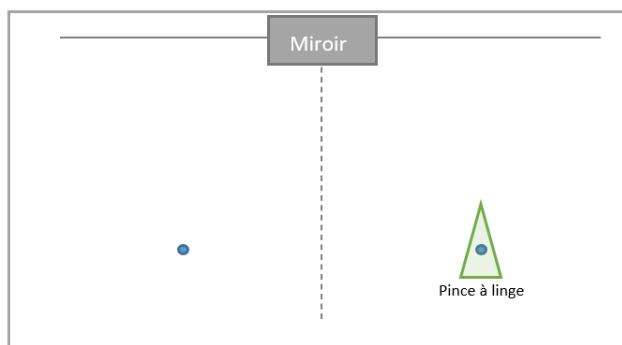


Déroulement de l'atelier :

Les enfants sont amenés à trouver la solution du labyrinthe grâce à plusieurs petites étapes leur permettant d'appréhender les lois de la réflexion et la manière dont se propage la lumière.

Tout d'abord, les enfants découvrent le labyrinthe avec le pointeur laser fixé à l'entrée de celui-ci. Ils ont à leur disposition plusieurs composants optiques (lentilles, prisme, barreau en plexiglas et miroirs), le but ici est de leur faire deviner lequel de ces objets va servir pour faire sortir efficacement le faisceau laser du labyrinthe.

Une fois qu'ils ont deviné que ce sont les miroirs que l'on va utiliser ici, il faut maintenant qu'ils comprennent ce qu'est un miroir et surtout comment l'utiliser pour atteindre l'objectif. Pour cela, on va positionner sur la feuille (cf schéma ci-dessous) un miroir à l'intersection des lignes et une pince à linge (ou autre objet) au niveau d'un des points.



Ici, les enfants devront essayer de regarder la réflexion de la pince par le miroir. Une fois qu'ils y parviennent, on cache la pince de manière à ce qu'elle ne soit visible que via le miroir. Les enfants sont amenés à réfléchir sur le trajet de la lumière entre la lampe (avec laquelle on éclaire la pince) et leur œil, en répondant à la question « pourquoi voit-on encore la pince bien qu'elle soit cachée ? ». Ensuite, on demande aux enfants de vérifier leur hypothèse de trajectoire, en plaçant cette fois le laser à la place de la pince pour visualiser le trajet du faisceau sur la feuille (**ne pas regarder directement la lumière provenant du laser**).

A cette étape de l'atelier, on peut considérer que les enfants ont bien compris comment « fonctionne » un miroir et ont une bonne compréhension du trajet de la lumière. Maintenant, il reste à leur expliquer comment se servir concrètement des miroirs dans le labyrinthe. Pour cela, on utilise toujours la même feuille mais cette fois-ci on fixe le pointeur laser sur la feuille (sur un des points) et on laisse le miroir libre. Le but de cette étape est de trouver la position du miroir pour laquelle le deuxième point de la feuille est éclairé. Les enfants comprennent alors qu'il suffit de pivoter le miroir pour faire bouger le faisceau réfléchi.

Enfin, les enfants sont prêts pour le labyrinthe !



Pour conclure cet atelier on présente aux enfants un Mirascope avec lequel ils peuvent voir l'image d'un pompon après réflexions sur deux miroirs paraboliques.

Remarque :

Dans une autre version, le labyrinthe peut être réalisé avec des planchettes en bois.



Christophe Daussy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord)



3. Qu'est-ce qu'un milieu transparent ?

Thèmes :

Etude des phénomènes de réflexion et réfraction à l'interface entre deux milieux transparents

Mots clés :

- Réflexion et réfraction
- Angles d'incidence, de réflexion et de réfraction
- Indice optique

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 20 min
Atelier par groupes de 2-4 élèves

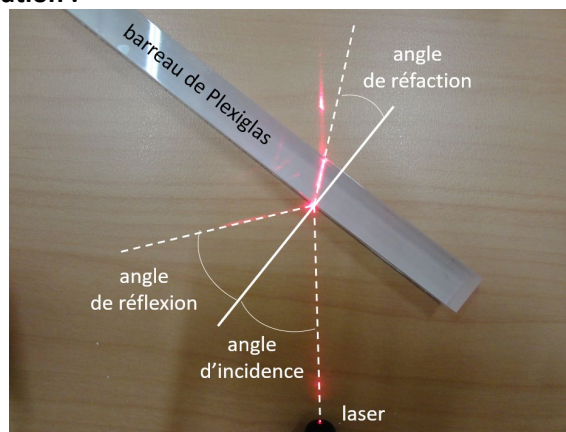
Objectifs :

- Observer la déviation de la lumière par réflexion et réfraction à l'interface entre deux milieux transparents
- Réaliser des mesures quantitatives de ces angles

Liste du matériel :

- Pointeur laser
- Barreau de plexiglas

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Etapes :

1. Tenir le pointeur laser en position ON dans la main et diriger la lumière vers le barreau de plexiglas
2. Modifier l'angle d'incidence afin d'observer l'effet sur les angles de réflexion et de réfraction

Remarques/conseils : Réaliser l'expérience dans l'obscurité

Observations et interprétations :

- Le rayon est dévié et se propage en ligne droite dans le plexiglas (PMMA). Le rayon se rapproche de la normale à la surface dans le plexiglas. On observe aussi un rayon réfléchi à chaque interface
- Un rayon de lumière qui change de milieu donne généralement un rayon réfléchi et un rayon réfracté
- L'angle de réfraction diminue de l'air vers le plexiglas et augmente du plexiglas vers l'air

Ouvertures et applications :

- Réaliser des mesures quantitatives de l'angle de réflexion pour montrer qu'il est égal à l'angle d'incidence (utiliser le rapporteur en papier)
- Réaliser des mesures quantitatives de l'angle de réfraction pour obtenir la loi de Snell-Descartes (utiliser le rapporteur en papier)
- Introduction de la notion d'indice optique d'un milieu transparent et du lien entre cet indice et la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu

Liens utiles, pour aller plus loin :

Atouts Sciences : <https://youtu.be/7zO40Hdz1Y>

Consignes particulières : Ne pas observer directement dans la direction du faisceau laser

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

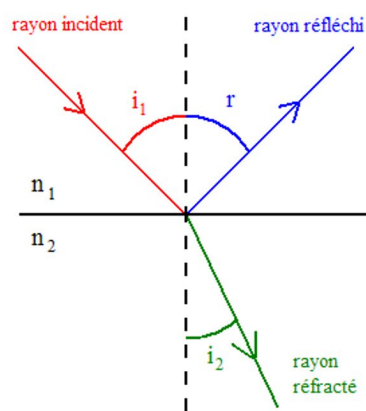
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

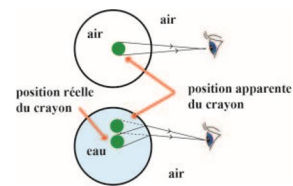
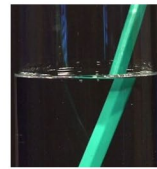
Réfraction

Dioptre surface de séparation entre 2 milieux d'indices différents



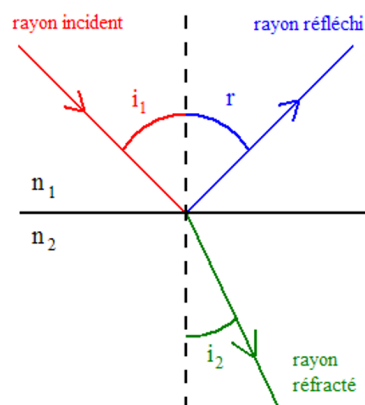
Loi de Snell-Descartes

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



Réflexion sur un dioptre

Dioptre surface de séparation entre 2 milieux d'indices différents



$$r = i_1$$

Coefficient de réflexion

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

Exemple : air/verre

$$n_1 = 1$$

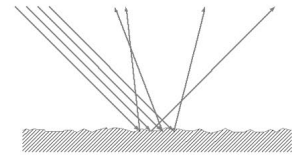
$$n_2 = 1,5$$

$$R = 4 \%$$

Réflexion diffuse

Eparpillement des rayons dans toutes les directions dû aux irrégularités d'une surface

C'est ce qui permet de « voir » les objets, contrairement à la réflexion spéculaire qui renvoie une image de la source



Réflexion
spéculaire

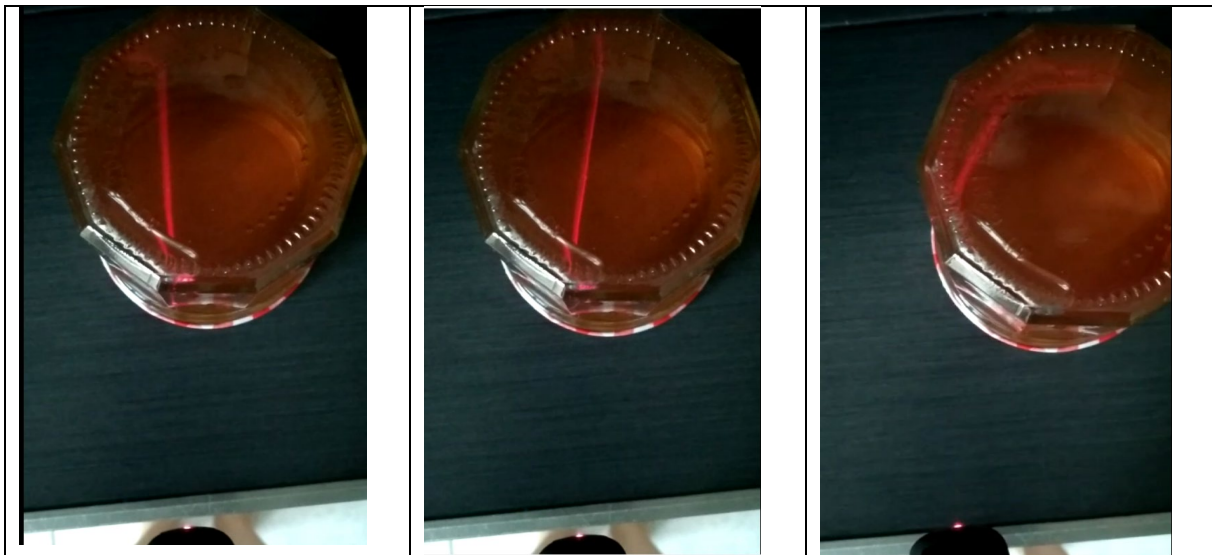


Réflexion
diffuse



Atelier « Expérience de réflexion et réfraction dans le thé »

Conception de l'atelier : Equipe Fête de la Science - Institut de la Vision (Sorbonne Université) 2022



Principe de la réfraction avec un pot rempli de thé (seconde infusion, la première étant trop diffusante). On peut parfois obtenir la réflexion totale interne.



Atelier « La pyramide 3D »

Atouts Sciences :

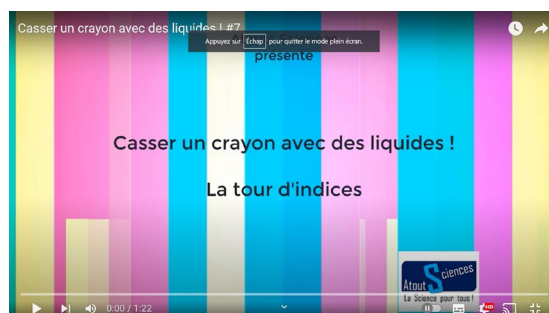
<https://youtu.be/ZAvA6uk28OY>



Atelier « Casser un crayon avec des liquides ! »

Atouts Sciences :

<https://youtu.be/CRaLNBQN1mc>



4. Peut-on faire un miroir transparent ?

Thèmes :

Expérimenter le phénomène de réflexion totale interne

Mots clés :

- Réflexion totale interne
- Réfraction

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 15 min
Atelier par groupes de 2 élèves

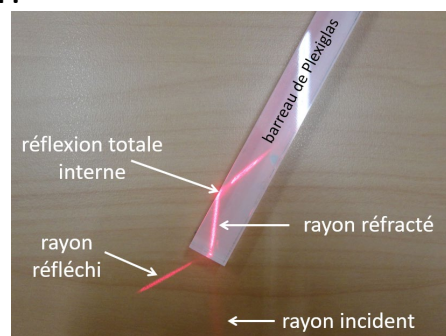
Objectifs :

- Observer le phénomène de réflexion totale interne à l'interface entre deux milieux transparents
- Faire le lien avec le guidage de la lumière laser dans les fibres optiques

Liste du matériel :

- Pointeur laser
- Barreau de plexiglas

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Étapes :

1. Tenir à la main le pointeur laser en position ON
2. Réaliser l'expérience représentée sur la photo ci-dessus et observer la réflexion totale de la lumière à l'interface entre le Plexiglas et l'air

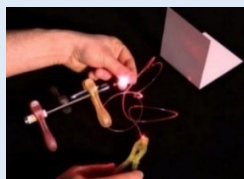
Remarques/conseils : Réaliser l'expérience dans l'obscurité

Observations et interprétations :

- Le rayon de lumière est piégé dans le barreau de plexiglas : sur les bords du barreau on n'observe pas de rayon réfracté
- Sous certaines conditions d'incidence un rayon de lumière peut être intégralement réfléchi sur l'interface entre deux milieux transparents : c'est la réflexion totale interne

Ouvertures et applications :

- Ce phénomène se produit lorsque l'angle entre le rayon de lumière et l'interface est inférieur à un angle limite qui dépend des indices optiques de l'air et du plexiglas
- La réflexion totale est à l'origine du guidage de la lumière dans les fibres optiques utilisées dans le domaine des télécommunications
- Observer le guidage de la lumière dans une fibre optique en injectant la lumière du laser ou de la LED dans la fibre optique fournie



© C. Daussy – LPL/USPN

Consignes particulières : Ne pas observer directement dans la direction du faisceau laser

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

Ressources complémentaires

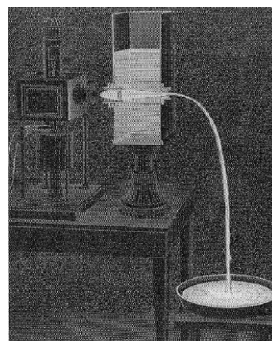
Atelier « Fontaine lumineuse »

Conception de l'atelier : Christophe Daussy, Paul-Éric Pottier (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2014

L'expérience qui peut être réalisée avec le laser ou bien la lampe troche LED illustre la possibilité de guider la lumière dans un jet d'eau (sur le principe de la fibre optique).

Le contexte

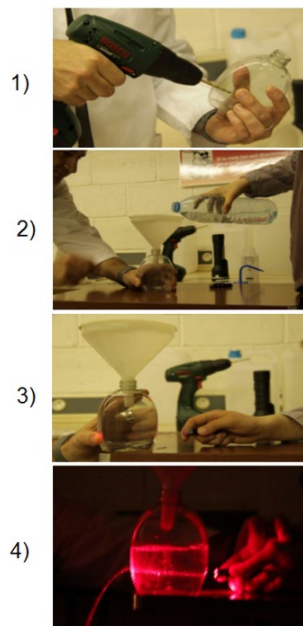
En 1841, un scientifique suisse nommé Daniel Colladon découvrit qu'il était possible de guider de la lumière dans un jet d'eau. L'expérience n'a évidemment pas été réalisée avec un laser (qui sera inventé 119 ans plus tard). Un siècle plus tard, le guidage de la lumière dans un mince tube de verre donnera naissance aux fibres optiques ...



Gravure de l'expérience de D. Colladon

L'expérience

- Choisir un flacon transparent, (en plastique assez épais) dont les parois sont à peu près parallèles (comme certains flacons de liquide vaisselle). Vider le contenu du flacon puis le nettoyer à l'eau. Percer ensuite un trou de 4 à 6 mm dans le bas du flacon (voir photo).
- Le remplir d'eau en bouchant le trou avec un doigt.
- Poser le flacon sur le bord de l'évier (le trou orienté vers le siphon) puis pointer la lumière blanche ou le faisceau laser depuis la face opposée au trou (voir photo).
- Libérer alors le jet d'eau et observer (dans l'obscurité si possible) la lumière guidée dans l'eau !



L'expérience avec le laser :
<https://youtu.be/FOb980c4Ros>



L'expérience avec la lampe torche LED :
https://youtu.be/bGI_xcTyJVs



IV. Image et vision



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/292734044591830929/>



1. Que fait une lentille convergente ?

Thèmes :

Effet d'une lentille convergente sur un faisceau de lumière

Mots clés :

- Réfraction
- Lentille convergente
- Image
- Distance focale

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 30 min
Atelier par groupes de 2 élèves

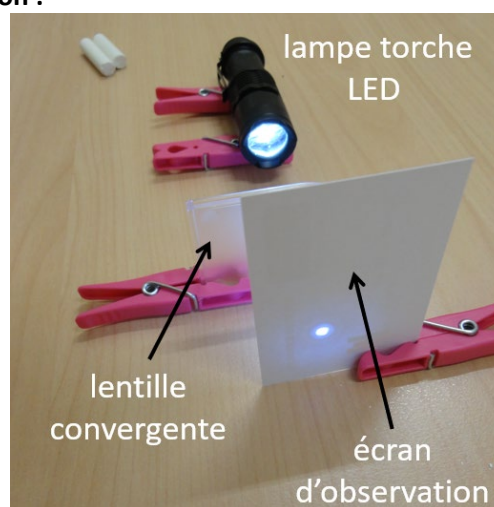
Objectifs :

- Découvrir un composant de base de l'optique, la lentille convergente
- Mesurer la distance focale d'une lentille convergente

Liste du matériel :

- Lampe torche LED
- Pinces à linge
- Lentille convergente
- Ecran

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Etapes :

1. Disposer la lampe torche allumée sur deux pinces à linge
2. Faire coulisser la bague à l'avant de la lampe de telle sorte que le faisceau lumineux conserve un diamètre de quelques cm jusqu'à une distance de 1m environ (faisceau collimaté)
3. Placer la lentille convergente verticalement à une dizaine de cm de la lampe torche (maintenue à l'aide d'une pince à linge)
4. Placer l'écran verticalement (maintenu à l'aide d'une pince à linge)
5. Ajuster la distance lentille-écran afin d'observer la tache lumineuse la plus petite possible sur l'écran

Remarques/conseils : Tester l'expérience avec les différentes lentilles convergentes et comparer les distances lentille-écran

Observations et interprétations :

- La lentille convergente réduit au niveau de l'écran la taille du faisceau lumineux issu de la lampe.
- Par réfraction, la lentille focalise les rayons de lumière (faisceau convergent) issus d'une source en une tache quasi ponctuelle : c'est l'image de la source par la lentille convergente

Ouvertures et applications :

- Si les rayons émis par la lampe sont parallèles entre eux (faisceau collimaté) avant la lentille alors la distance lentille-écran est égale à la distance focale de la lentille convergente
- Si on éloigne l'écran de la lentille alors la taille de la tache augmente (le faisceau diverge)

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

2. Comment projeter une image sur un écran blanc ?

Thèmes :

Former l'image d'un objet sur un écran

Mots clés :

- Lentille convergente
- Image réelle
- Distance focale

Niveau :

- ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☐ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 30 min
Atelier par groupes de 2-4 élèves

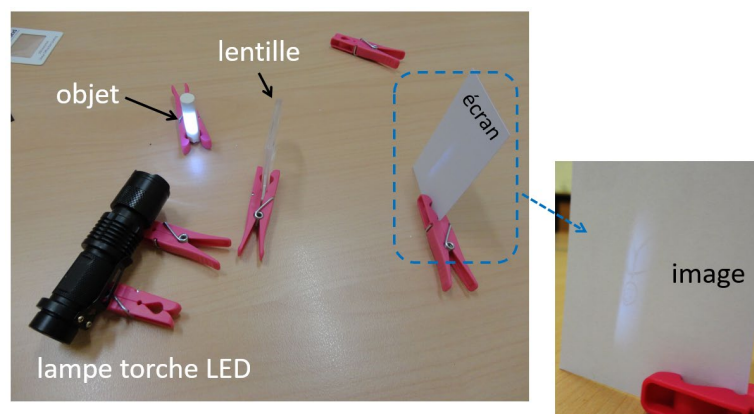
Objectifs :

- Former l'image d'un objet sur un écran
- Expérimenter l'impact des différents paramètres (distances objet-lentille et lentille-écran) sur l'existence, la netteté et la taille de l'image formée sur l'écran.
- S'initier aux concepts de l'optique géométrique (rayon, distance focale, objet et image)

Liste du matériel :

- Lampe torche LED
- Un objet
- Lentille convergente
- Pinces à linge
- Ecran

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Étapes :

- Disposer la lampe torche allumée sur deux pinces à linge
- Placer l'objet verticalement en face de la source LED
- Placer la lentille convergente afin de collecter la lumière diffusée par l'objet à environ 90° de la direction du faisceau émis par la lampe torche
- Placer l'écran verticalement
- Ajuster la distance objet-lentille et lentille-écran afin d'observer l'image nette de l'objet sur l'écran

Remarques/conseils :

- On observe une tache floue sur l'écran qui devient nette pour une certaine distance écran-lentille : c'est l'image de l'objet. Elle est inversée. Sa taille dépend de la distance objet-lentille
- Si on approche trop la lentille de l'objet, l'image disparaît

Observations et interprétations :

- Une lentille convergente permet (si la distance objet-lentille est supérieure à la distance focale) de créer une image d'un objet sur un écran. On parle alors d'image réelle.
- La lentille associe à chaque point de l'objet son image sur l'écran

Ouvertures et applications :

- Modèle de l'œil
- Principe de l'appareil photo

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

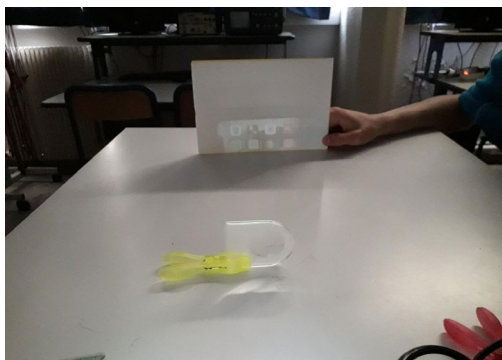
Ressources complémentaires

Atelier « Transformer son smartphone en vidéoprojecteur »

Conception de l'atelier : Corinne Avenoso (Lycee Paul Vincensini de Bastia) 2022

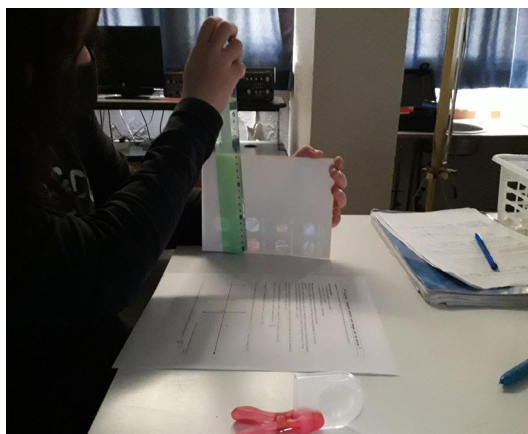
L'expérience

On utilise un smartphone, une lentille convergente et une feuille blanche que l'on positionne de façon à former l'image agrandie de l'écran du smartphone sur la feuille. On observe que la taille de l'image obtenue dépend des distances smartphone-lentille et lentille-feuille.

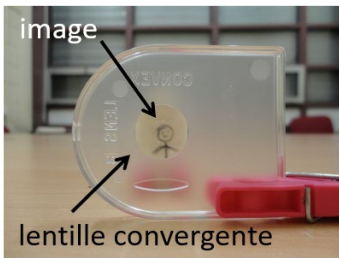
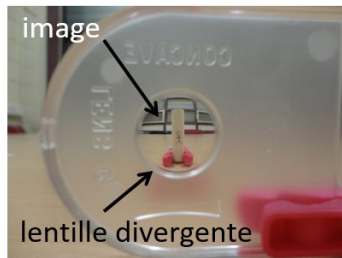


Mesure du grandissement du système optique

On mesure la taille d'une icône sur la feuille et la taille de cette même icône sur l'écran du smartphone afin de déterminer le grandissement de notre système de projection.



3. Peut-on obtenir une image sans écran ?

Thèmes : Observer la formation de l'image d'un objet sans écran en utilisant des lentilles convergentes ou divergentes Mots clés : – Lentille convergente/divergente – Objet/image – Image réelle/virtuelle	Niveau : ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☒ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans) Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : – Observer l'image d'un objet sans écran – Expérimenter l'impact des différents paramètres (distances objet-lentille et lentille-œil) sur l'existence, la netteté et la taille de l'image observée – S'initier aux concepts de l'optique géométrique (rayon, distance focale, objet et image)	
Liste du matériel : – Lentille convergente ou divergente – Objet – Pincettes à linge	Illustration :   © R. Dubessy – LPL/USPN
Etapes : 1. Placer une lentille convergente entre votre œil et un objet 2. Ajuster la distance objet-lentille de façon à observer l'image de l'objet (sans écran) 3. Répéter l'expérience en remplaçant la lentille convergente par une lentille divergente Remarques/conseils : Expérimenter l'impact des différents paramètres (distances objet-lentille et lentille-œil) sur l'existence, la netteté et la taille de l'image observée	
Observations et interprétations : – Avec la lentille convergente on peut observer une image inversée ou non inversée (en fonction de la distance objet –lentille). Lorsque l'image est non inversée (en mode loupe) on peut vérifier qu'on n'observe rien sur un écran : on parle alors d'une image virtuelle – Avec une lentille divergente on observe uniquement une image virtuelle (sans écran) et non inversée	
Ouvertures et applications : – Lentilles convergentes et divergentes pour la correction de la vision – Associations de lentilles dans les instruments d'optique : le microscope, la lunette astronomique... – Notion de grossissement d'un système optique	
Auteur : Christophe Daussey / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

Ressources complémentaires

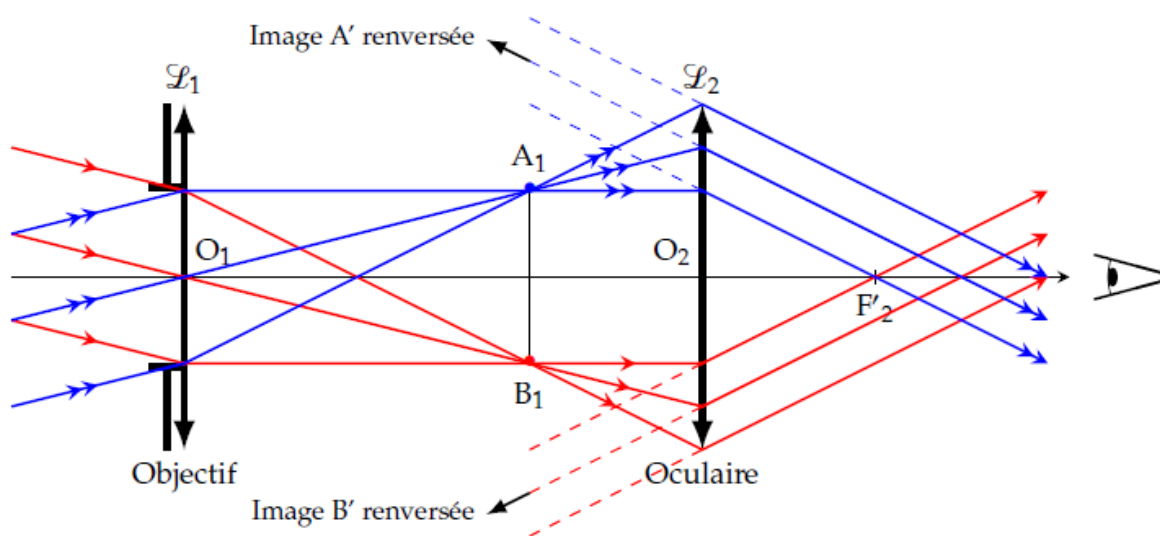
Atelier « lunette astronomique »

Conception de l'atelier : Christophe Daussy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) en 2022

Matériel : 2 lentilles convergentes

Observer un objet situé au loin en regardant à travers 2 lentilles convergentes. La lunette astronomique est telle que la distance entre les deux lentilles est égale à la somme de leurs distances focales, on parle d'un système afocal.

Placer la lentille de plus courte distance focale (l'oculaire) près de votre œil et ajuster la distance entre les lentilles jusqu'à observer une image nette, agrandie, et inversée de l'objet situé au loin



Principe de la lunette astronomique

(d'après Cours de Physique – Optique géométrique, femto-physique.fr par Jimmy Roussel)



4. Que voit-on dans un miroir ?

Thèmes :

Expérimenter et interpréter les images observées après réflexion de la lumière sur un miroir

Mots clés :

- Miroir plan
- Miroir concave
- Foyer

Niveau :

- ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 30 min
Atelier par groupes de 2 élèves

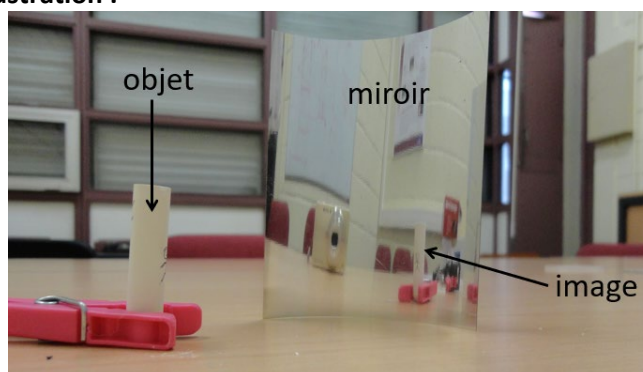
Objectifs :

- Expérimenter et interpréter l'image d'un objet donnée par un miroir plan et un miroir parabolique
- Définition du foyer d'un miroir parabolique

Liste du matériel :

- Miroir
- Objet
- Pinces à linge

Illustration :



© C. Daussy – LPL/USPN

Étapes :

1. Placer un objet devant un miroir
2. Observer l'image virtuelle de l'objet dans le miroir

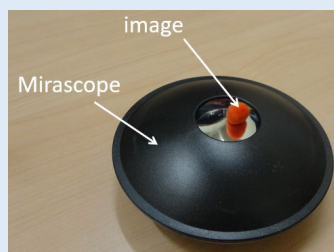
Remarques/conseils : S'appuyer sur les expériences et notions du tuto « Quel est l'effet d'un miroir sur la lumière ? »

Observations et interprétations :

- On observe une image « derrière » le miroir. Avec un miroir plan on obtient une image virtuelle non déformée
- Utiliser la notion de rayon de lumière et l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion pour dessiner les trajets des rayons lumineux à l'origine de l'image observée

Ouvertures et applications :

- Le jeu des deux miroirs paraboliques dans le Mirascope crée une image réelle : on peut le vérifier avec un écran



- Application des miroirs paraboliques dans les télescopes
- Expliquer pourquoi dans l'image donnée par un miroir plan la gauche et la droite sont inversées mais pas le haut et le bas !

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

Ressources complémentaires

Atelier « Mirascope »

Conception de l'atelier : Christophe Daussy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) en 2017

Observer l'image d'un objet dans le miroir parabolique du Mirascope



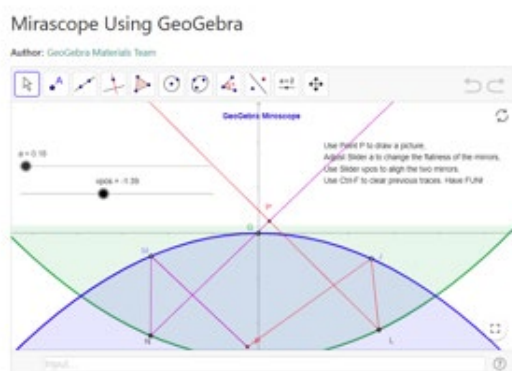
Simulation numérique :

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/mirascope.html>



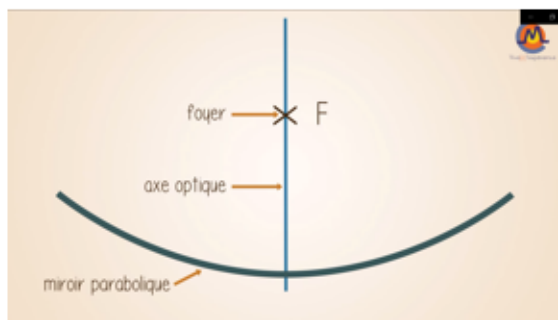
Mirascope sous Geogebra :

<https://www.geogebra.org/m/x3R2Ghbk>



Voir la vidéo issue du MOOC « La Physique vivez l'expérience ! » à partir de 02:51 :

https://drive.google.com/file/d/17DGHW1Pu0sRNymLQ17iyBiHPqhGqjgwq/view?usp=share_link



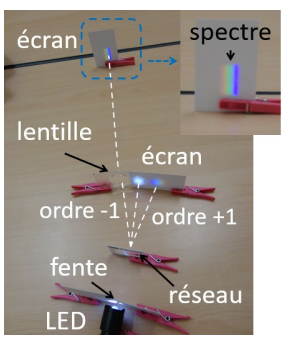
V. Lumière colorée



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/3588874677833610/>



1. Qu'est-ce que la lumière blanche ?

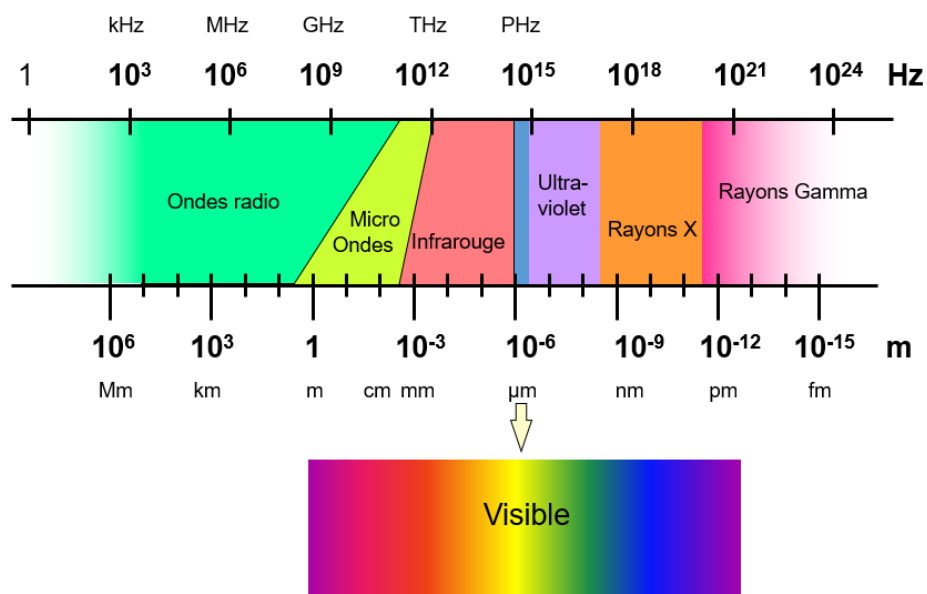
Thèmes : Observer la décomposition de la lumière blanche par un prisme ou un réseau Mots clés : – Dispersion/diffraction – Indice de réfraction – Spectre d'émission – Source poly/monochromatique	Niveau : ☒ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☒ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans) Conditions : Durée de l'expérience : 1 h Atelier par groupes de 2-3 élèves
Objectifs : – Observer la décomposition de la lumière blanche par un prisme ou un réseau de diffraction – Comparer la décomposition observée avec une source LED et un laser	
Liste du matériel : – LED – Laser – Prisme – Réseau de diffraction – Lentille convergente – Ecran	Illustrations :  © R. Dubessy (LPL-USPN)
Etapes : 1. Réaliser l'expérience illustrée sur la photo ci-dessus 2. Observer sur l'écran que la lumière émise par la LED (ou le soleil par exemple) est décomposée par le prisme ou le réseau en différentes couleurs. Cette lumière blanche composée de plusieurs couleurs est dite polychromatique 3. Réaliser la même expérience avec la lumière rouge du pointeur laser (lumière monochromatique) et observer qu'elle n'est pas décomposée Remarques/conseils : Pour améliorer la qualité de la décomposition, utiliser une lentille convergente afin d'éclairer le prisme (ou le réseau) avec un faisceau collimaté. Vous pouvez également réduire l'extension transverse du faisceau grâce à une fente (réalisée dans une feuille de papier)	
Observations et interprétations : – La lumière d'un laser est monochromatique, la lumière blanche est un mélange (d'au moins trois couleurs : bleu, vert, rouge), révélé par un prisme (ou le réseau) : c'est le spectre d'émission – A chaque couleur du spectre on associe une longueur d'onde – Après traversée du prisme (ou du réseau) la déviation de la lumière dépend de la « couleur » – Avec le prisme, les différentes couleurs sont déviées par réfraction dans le prisme avec un angle qui dépend de la longueur d'onde (car l'indice optique dépend de la longueur d'onde) – Avec le réseau, les différentes couleurs sont générées par diffraction de la lumière sur le motif périodique imprimé sur le réseau (phénomène reposant sur la nature ondulatoire de la lumière)	
Ouvertures et applications : – L'arc-en ciel observé dans la nature est dû à la décomposition de la lumière solaire par réfraction dans les gouttes d'eau (analogie avec la dispersion dans le prisme) – Les couleurs des ailes de papillons, d'une bulle de savon ou encore la décomposition de la lumière blanche par un disque CD sont dues au phénomène de diffraction	
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

Ressources complémentaires

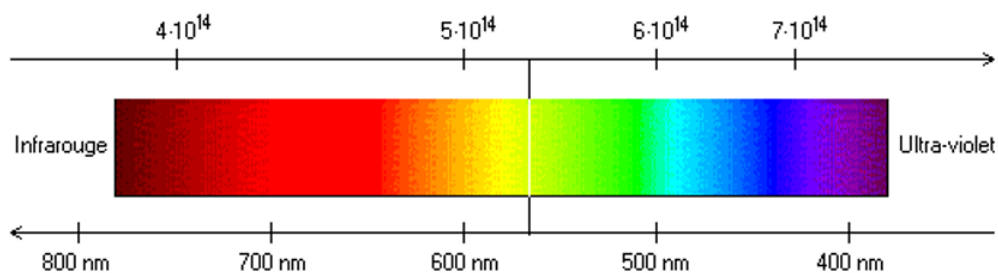
Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

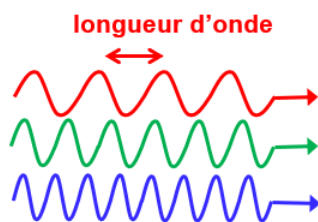
Spectre électromagnétique



Fréquences (Hz)



Longueur d'onde (nm)

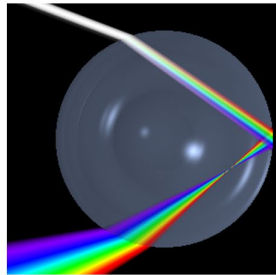


Lumière blanche



L'arc-en-ciel

L'angle de réfraction n'est pas le même suivant les couleurs car l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde



2. Qu'est-ce qui fait la couleur d'un objet ?

Thèmes :

La couleur des objets et le principe de la synthèse soustractive

Mots clés :

- Filtres
- Couleurs primaires/secondaires
- Synthèse soustractive
- Absorption

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2 élèves

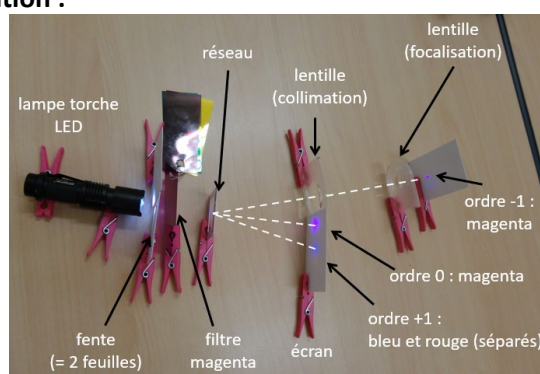
Objectifs :

- Expérimenter l'absorption
- Comprendre l'origine de la couleur des objets
- Découvrir la synthèse soustractive et ses applications

Liste du matériel :

- Lampe torche LED
- Fente (feuille papier, non fournie)
- Filtre
- Réseau
- 2 lentilles
- 2 écrans (feuilles, non fournies)
- Pincettes à linge

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Étapes :

1. Réaliser l'expérience illustrée sur la photo ci-dessus
2. Observer le spectre transmis par le filtre de couleur magenta
3. Répéter l'expérience avec les filtres de couleur jaune puis de couleur bleu cyan
4. Identifier pour chacun de ces 3 filtres la partie du spectre qu'il absorbe

Remarques/conseils : Vous pouvez également superposer 2 des 3 filtres et observer la couleur de la lumière transmise

Observations et interprétations :

- Les filtres jaune, cyan et magenta, absorbent certaines parties du spectre : on parle de synthèse soustractive :
 - Le filtre cyan absorbe la partie rouge du spectre
 - Le filtre rose magenta absorbe la partie verte du spectre
 - Le filtre jaune absorbe la partie bleue du spectre
- En superposant deux de ces trois filtres on obtient les couleurs primaires : rouge, vert et bleu



- La couleur des objets repose sur cette synthèse soustractive

Ouvertures et applications :

- Principe des couleurs primaires de la peinture et des imprimantes
- Spectroscopie d'absorption

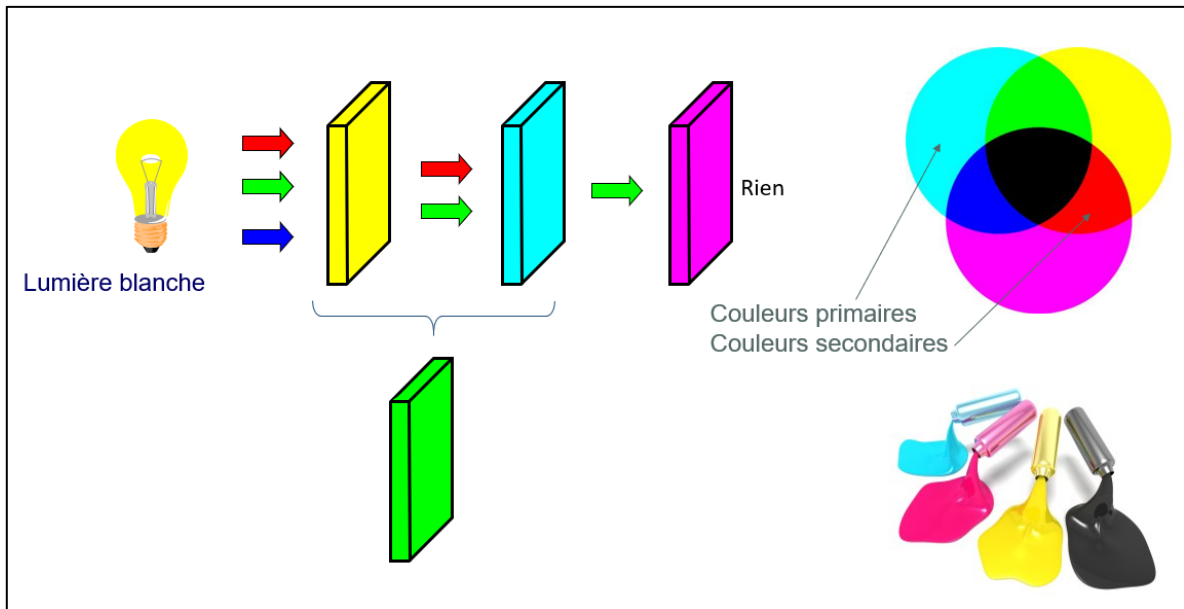
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)



Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023



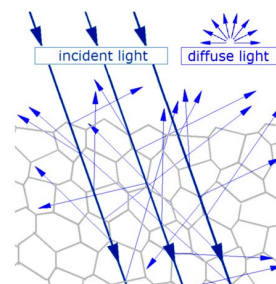
Réflexion diffuse

Les surfaces peuvent avoir des structures très complexes : neige, nuages, écume, mousse, etc.



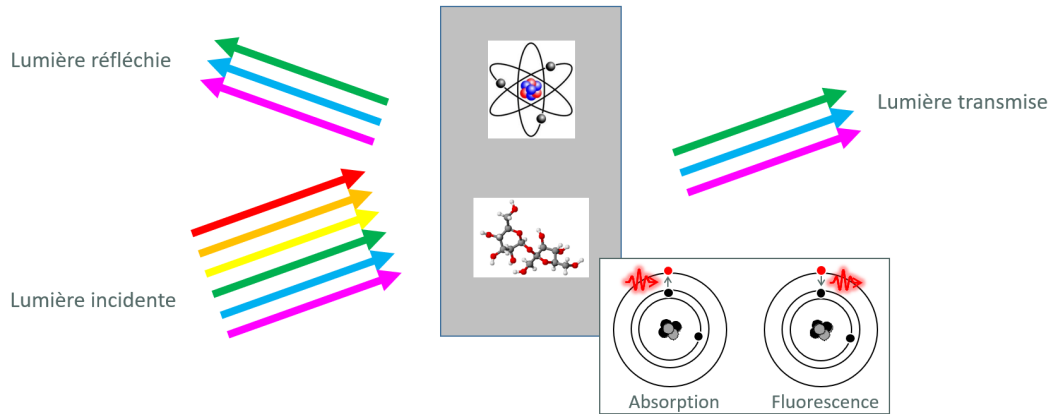
Toutes les longueurs d'onde sont renvoyées → couleur blanche

Les rayons sont renvoyés dans toutes les directions



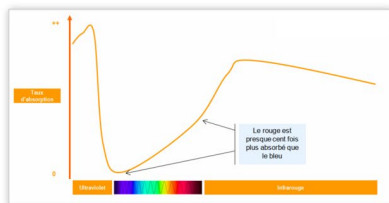
Absorption

Un milieu est constitué d'atomes, de molécules

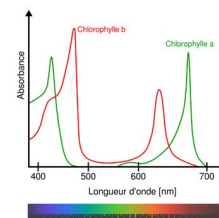


Absorption et fluorescence

Spectre d'absorption de l'eau



Fluorescence de la chlorophylle



Noir et blanc

Un objet noir absorbe toute la lumière

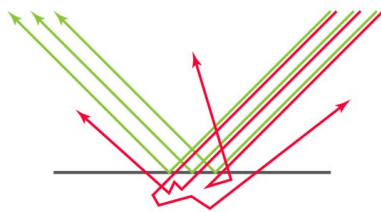


Un objet blanc renvoie toute la lumière



En résumé

La lumière que renvoie les objets sont les combinaisons des phénomènes de réflexion, réfraction, diffusion et absorption



Source : Sébastien Chénais (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) pour conférence « Un peu de physique sur la lumière et les phénomènes colorés » 2023

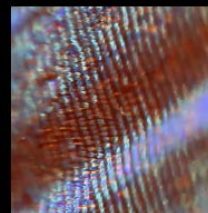
Toutes les couleurs ne sont pas dues à l'absorption sélective de certaines longueurs d'onde par un pigment

Couleurs interférentielles

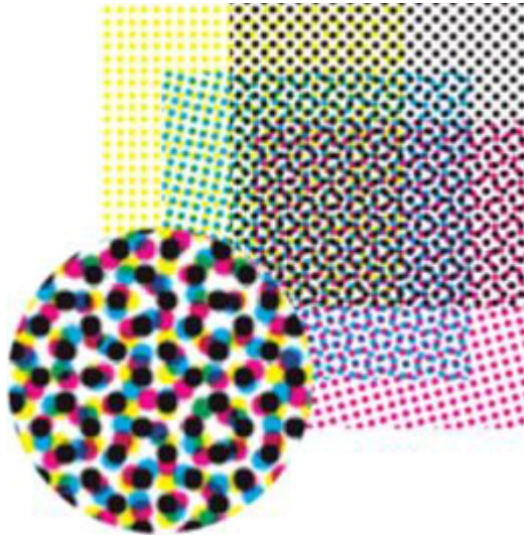


Point commun : la lumière rencontre des motifs dont la taille est comparable à la longueur d'onde (sous le micron)

La sidérante couleur bleue des papillons morpho



Procédé d'impression couleur par OFFSET :



Ouverture art et science

Source : Sébastien Chénais (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) pour conférence « Un peu de physique sur la lumière et les phénomènes colorés » 2023

Première chromolithographie imprimée en trichromie par L. Prang, 1893

https://fr.wikipedia.org/wiki/Impression_en_couleur



Pierre Soulages (1939-2022) : « En vérité, cette peinture, vous avez raison de l'appeler noire parce qu'elle est faite d'un unique pigment, un pigment noir (...) et la totalité de ce pigment recouvre la toile, mais je ne travaille pas avec ce pigment aussi bizarre que cela puisse paraître ; ce qui m'intéresse, c'est la réflexion de la lumière sur les états de surface de cette couleur noire. (...) lorsque je travaille avec une pâte noire, je ne travaille plus avec du noir, je travaille avec la lumière que réfléchit l'état de surface de la couleur que j'apporte. »

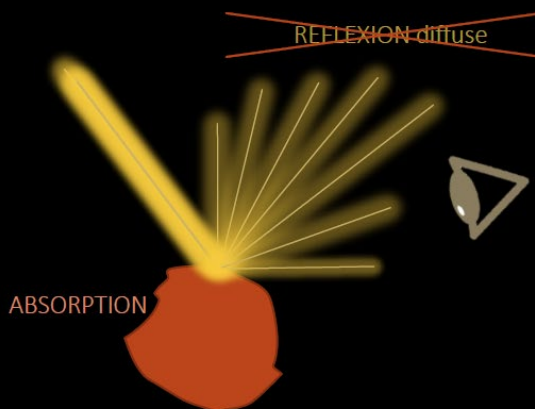


Peinture, 29 février 2012 (181 X 162 cm)



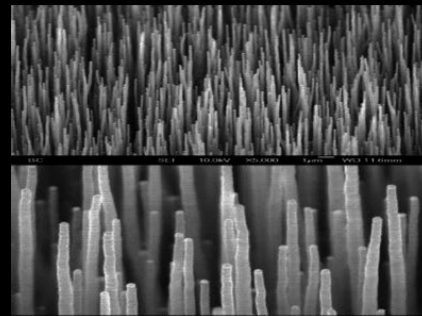
Peinture, 23 novembre 2010 (244 x 181 cm)

Rendre le noir parfaitement noir



Absorption > 99,96 % = Reflexion < 0,04 % !
(100 fois moins qu'une vitre)

Vantablack ©



Vertically Aligned Nano Tube Array Black





Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Observation des œuvres de Carnovski ou du rubik's cube à travers les filtres de couleurs :



Les œuvres de **Carnovski** ou le **Rubik's cube**, sont éclairées en lumière filtrée, puis sont observées.





Remarque : Les filtres RVB ou CMJ peuvent aussi être utilisés pour filtrer la lumière diffusée par l'objet éclairé en lumière blanche (ou pas !).

⇒ **Le filtre est placé entre l'œuvre et l'œil.**

Pour observer directement les œuvres de Carnovsky sur internet :

<https://www.carnovsky.com/RGB.htm>



D'autres œuvres pour réfléchir sur le thème de la lumière et de la couleur :

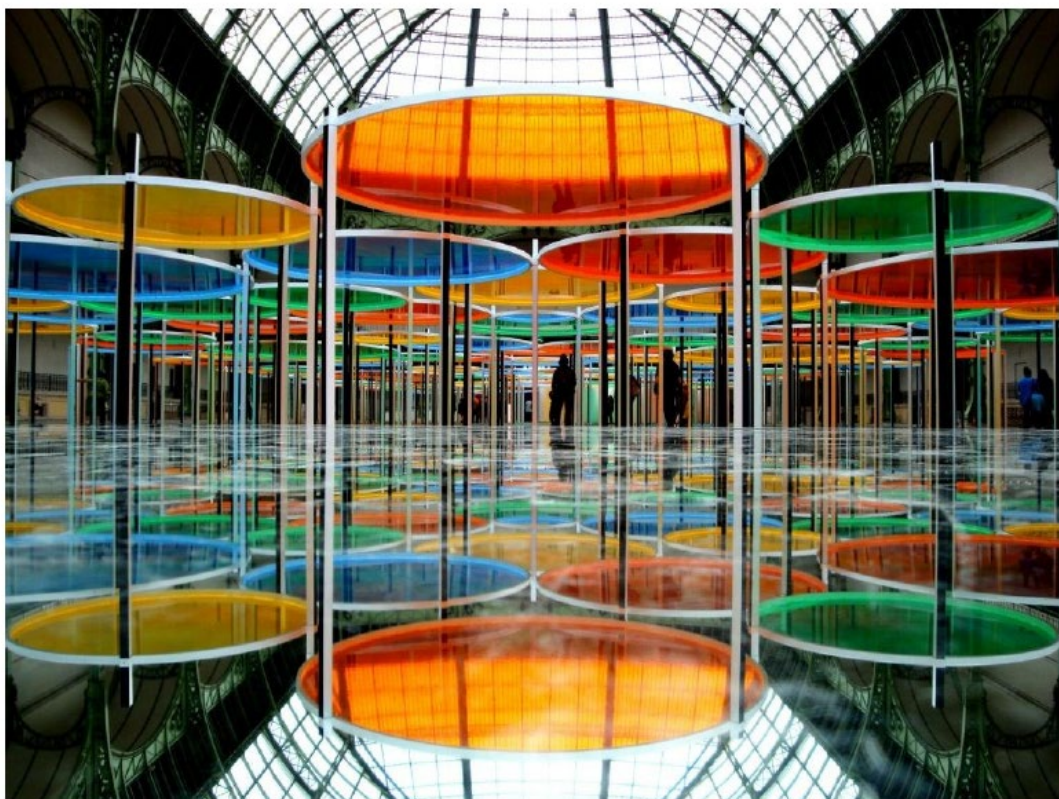


Olivier Debré (1920-1999), Vitraux de la collégiale à Lamballe





Grotte Chauvet, les lions, il y a 36 000 ans, Ardèche



Daniel Buren (1938), Monumenta 2012, Excentrique(s), travail in situ, disques translucides suspendus



3. « Additionner » les couleurs

Thèmes :

Le principe de la synthèse additive

Mots clés :

- Filtres
- Couleurs primaires/secondaires
- Synthèse additive

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 30 min
Atelier par groupes de 2-4 élèves

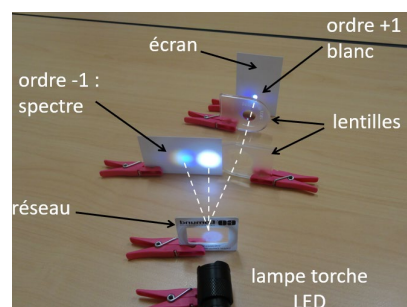
Objectifs :

Découvrir la synthèse additive et ses applications

Liste du matériel :

- Lampe torche LED
- Réseau ou prisme
- 1 lentille
- Ecran
- Pincettes à linge

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

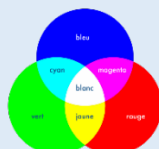
Étapes :

1. Réaliser l'expérience illustrée sur la photo ci-dessus
2. Observer le spectre transmis en plaçant devant la LED un filtre de couleur rouge
3. Répéter l'expérience avec les filtres de couleur verte puis de couleur bleu
4. Identifier pour chacun de ces 3 filtres la partie du spectre qu'il absorbe
5. Observer le spectre transmis par le filtre de couleur magenta
6. Répéter l'expérience avec les filtres de couleur jaune puis de couleur bleu cyan

Remarques/conseils : Exploiter les expériences et notions abordées dans le tuto « Qu'est-ce qui fait la couleur des objets ? »

Observations et interprétations :

- Le réseau sépare les différentes longueurs d'onde.
- La lentille « mélange » les rayons des différentes longueurs d'onde sur l'écran : on retrouve la couleur initiale.
- Les filtres rouge, vert et bleu transmettent respectivement les parties rouge, verte et bleue du spectre
- En superposant deux de ces trois couleurs (on fait de la synthèse additive) on obtient les couleurs rose magenta, jaune et le bleu cyan (couleurs primaires de la peinture)



Ouvertures et applications :

- Principe de tous les écrans et systèmes de projection (smartphone, PC, TV...)
- Vision des couleurs (3 types de cônes) et défaut dans la perception des couleurs (daltonisme)

Liens utiles, pour aller plus loin :

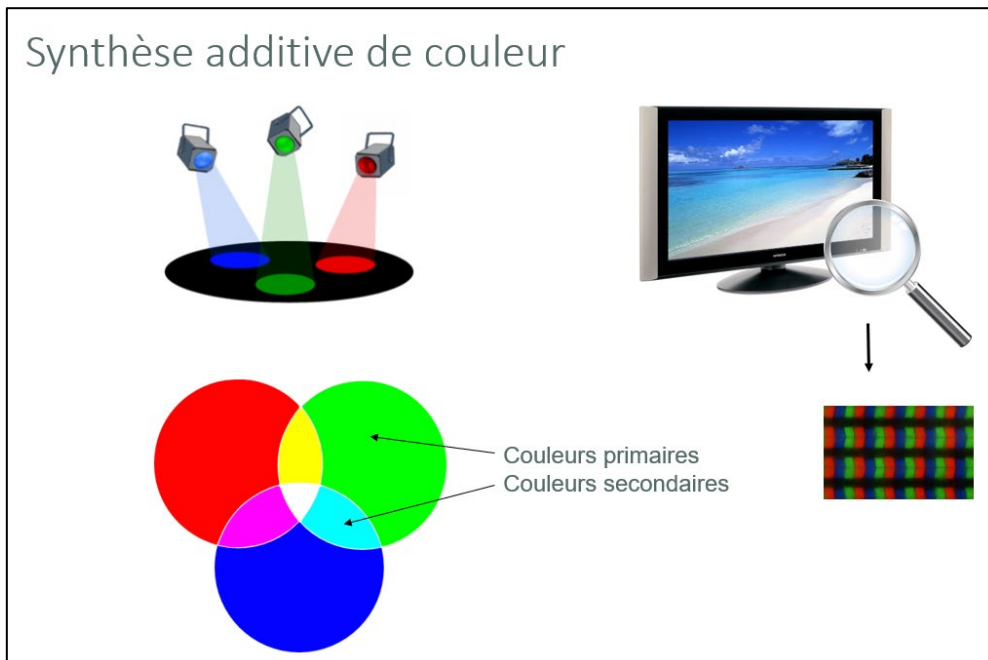
Atouts Sciences : <https://youtu.be/ySUgtJidkj4>

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation MPLS de Bretagne 2023

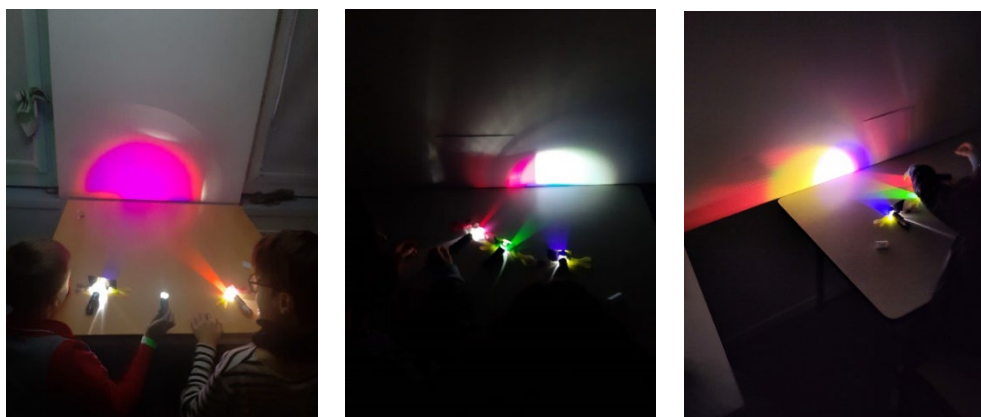


Ateliers « Synthèse additive et ombres colorées »

Synthèse additive :

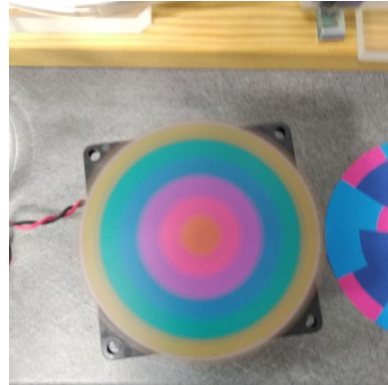
Conception de l'atelier : Ayoub Badri et Hippolyte Mouhanna (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2022

Superposer sur un écran blanc la lumière provenant de 3 lampes torches LED équipées chacune d'un filtre coloré (bleu, vert, rouge).



Conception de l'atelier : Equipe Fête de la Science Institut de la Vision (Sorbonne Université) en 2022

Des toupies colorées (fournies) sur lesquelles sont imprimées les 3 couleurs rouge, verte et bleue (dans diverses proportions sur différentes toupies) permettent de resynthétiser différentes couleurs lors de leur mise en rotation. Ces observations permettent d'illustrer comment, avec seulement 3 types de cônes, il est possible de percevoir plusieurs millions de couleurs.

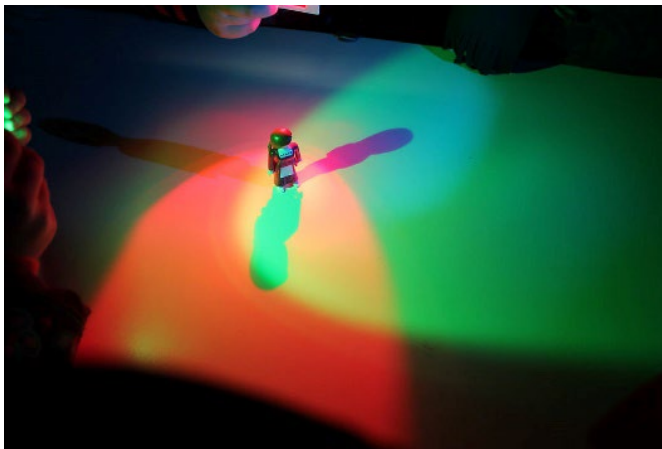


Synthèse soustractive : les ombres colorées

Conception de l'atelier : Ayoub Badri et Hippolyte Mouhanna (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2023

Interposer entre les lampes et l'écran un objet, une main et observer l'apparition d'ombres colorées. Interpréter la couleur de ces ombres (rose magenta, jaune et bleu cyan).

Atouts Sciences : <https://youtu.be/UiXJmDCsLw>



© C. Daussy – LPL/USPN



De 3 photorécepteurs à plusieurs millions de couleurs

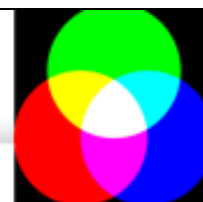


Couleur perçue		Photorécepteurs activés		
Couleurs primaires				
	Rouge			
				
	Vert			
Couleurs secondaires				
	Bleu			
				
	Jaune			
				
	Cyan			
				
	Magenta			
				
	Blanc			
				
	Noir			

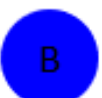
**On parle de synthèse des couleurs ADDITIVE.
C'est la palette RVB utilisée par les écrans.**



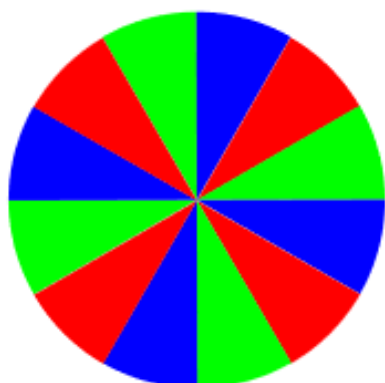
De 3 photorécepteurs à plusieurs millions de couleurs



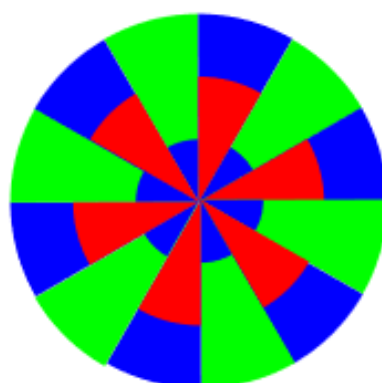
Couleur perçue Photorécepteurs activés

			
Gris	50%	50%	50%
			
Orange			
			
Chartreuse			
			
Vert printemps			
			
Azur			
			
Violet			
			
Rose			
			
Marron	50%	25%	25%

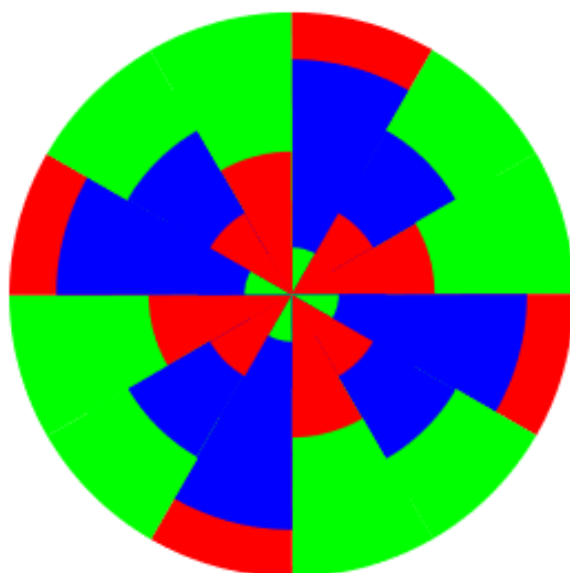




Roue « grise »
(selon les réglages imprimante
sur la notre, c'est rose pale !)



Roue 3 couleurs secondaires
magenta / jaune / cyan



Roue 6 couleurs
orange / rose / violet /
azur / vert printemps / orange

Disques (fournis) à découper et monter sur une toupie

4. La vision des couleurs

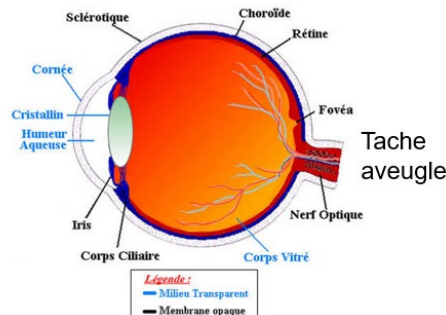
Thèmes : La vision des couleurs		Niveau : ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☒ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans)	
Mots clés : – Vision – Couleur – Photorécepteurs (cônes)		Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2 élèves	
Objectifs : Comprendre la vision des couleurs et les mélanges de couleurs par synthèse additive et soustractive			
Liste du matériel : – Image imprimée – Ecran smartphone, TV ou PC		Illustration : 	
Étapes : 1. Observer le logo (sur la boîte d'emballage du kit) avec une loupe (lentille convergente). Arrivez-vous à voir les 3 couleurs primaires de la peinture ? 2. Observer l'écran d'une TV ou d'un PC à la loupe (avec une lentille convergente). Arrivez-vous à voir les 3 couleurs des « pixels » ? 3. Observer le logo ou un écran à travers un des 6 filtres colorés			
Remarques/conseils : Exploiter les expériences et notions abordées dans les tutos « Qu'est-ce qui fait la couleur des objets ? » et « Additionner les couleurs ? »			
Observations et interprétations : – Les motifs sont imprimés avec seulement 3 couleurs : cyan, magenta et jaune. L'impression repose sur le principe de la synthèse soustractive – L'image d'un écran est générée par seulement 3 couleurs : rouge, vert et bleu. Les écrans reposent sur le principe de la synthèse additive – Dans les deux cas la perception de la couleur est déterminée par la proportion de lumière rouge, verte et bleue arrivant sur les photorécepteurs de la rétine (les cônes) – Les filtres rouge, vert, bleu transforment l'image provenant d'un écran en nuances de gris			
Ouvertures et applications : – Défauts dans la perception des couleurs. Expérimenter le daltonisme en regardant à travers les filtres colorés – La couleur des matériaux phosphorescent ou fluorescents – Vision au-delà du spectre visible pour les humains (la vision des animaux, les photorécepteurs sensibles au rayonnement UV ou infrarouge)			
Liens utiles, pour aller plus loin : Atouts Sciences : https://youtu.be/9Z1wzdmxteQ			
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)			

Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

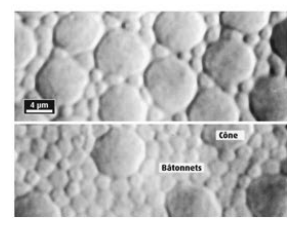
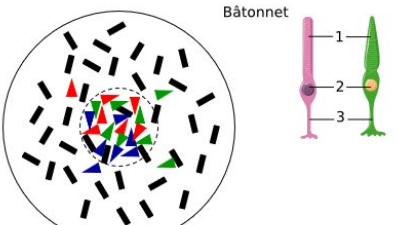
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation MPLS de Bretagne 2023

Comment voit l'œil ?



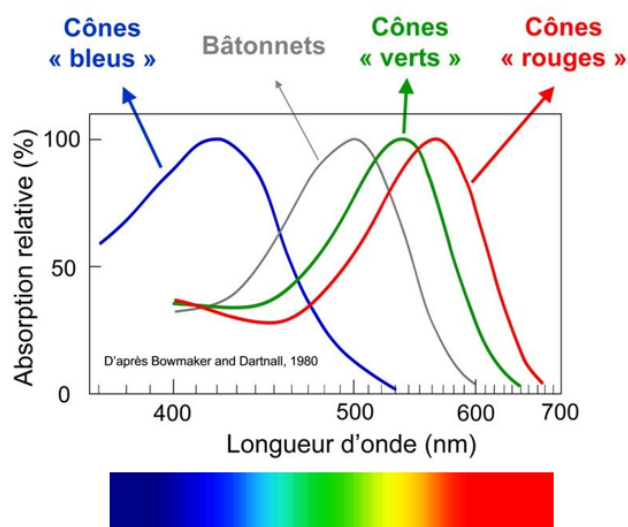
2 types de cellules sur la rétine

- **Les cônes** (6,5 millions)
 - Vision des détails
 - Couleur
- **Les bâtonnets** (130 millions)
 - Vision périphérique
 - Vision nocturne

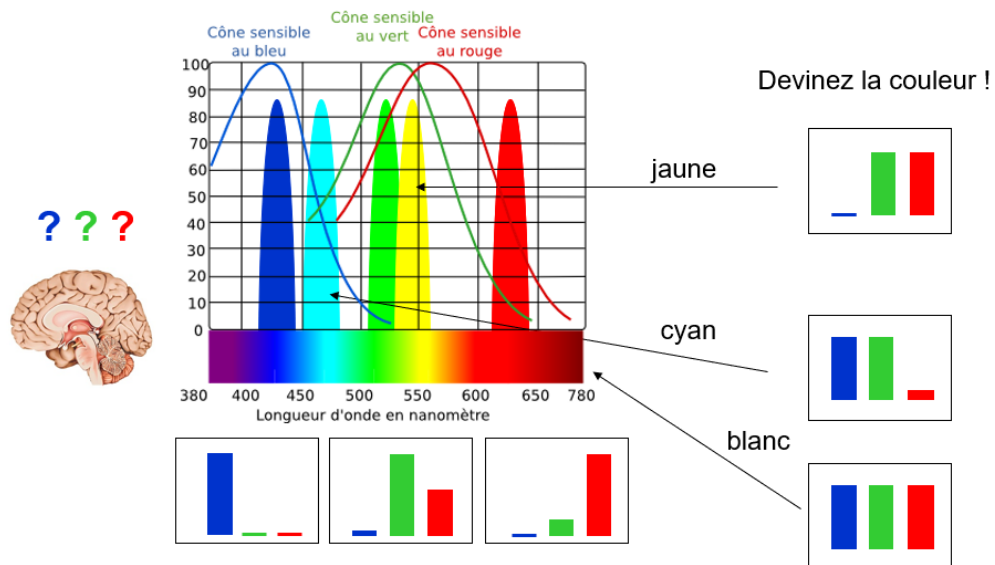


La vision des couleurs

Les cônes et les bâtonnets ne mesurent que la quantité de lumière



Le cerveau analyse !



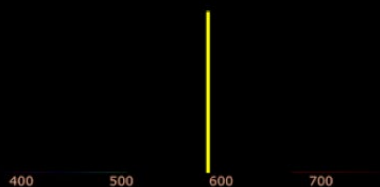
Source : Sébastien Chénais (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) pour conférence « Un peu de physique sur la lumière et les phénomènes colorés » 2023

Métamérisme

Lumières aux spectres très différents mais produisant le même **jaune** sur la rétine



Lampe au sodium



Jaune « pur » (une seule longueur d'onde)



Jaune composé = toutes les longueurs d'onde sauf le bleu



5. Spectres des sources lumineuses

Thèmes :

Etude comparative des spectres de diverses sources lumineuses

Mots clés :

- Spectre
- Spectromètre

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☐ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 1-2h
Atelier par groupes de 2-4 élèves

Objectifs :

Caractériser le spectre de différentes sources lumineuses (halogène, LED, lampe fluocompacte, soleil, écran smartphone, laser)

Liste du matériel :

- Lampe torche LED/LED UV
- Laser
- Lampe halogène (non fournie)
- Lampe fluocompacte (non fournie)
- Lampe à filament (non fournie)
- Smartphone (non fourni)
- Réseau
- disque CD
- Plan du spectromètre à CD (fourni)

Illustration :



© C. Daussy – LPL/USPN

Étapes :

1. Fabriquer un spectromètre haute résolution avec un CD à partir du plan de fabrication suivant (fourni) : <http://ekladata.com/GMDS2QxvLLAjbt2o9b-EzwEGOrQ/spectroscope-CD-DVD-version-gappic-omp.pdf>



2. Réaliser une expérience afin de caractériser le spectre d'émission de la source étudiée
3. Comparer les spectres observés pour différentes sources

Remarques/conseils : Exploiter les expériences et notions abordées dans les tutos « Qu'est-ce que la lumière blanche ? »

Observations et interprétations :

- Les sources de lumière sont en général polychromatiques
- Les spectres des sources lumineuses révèlent les processus d'émission de la lumière en jeu (rayonnement thermique, luminescence, laser)
- Le laser est une lumière très spécifique : mono-directionnelle et mono-chromatique

Ouvertures et applications :

- Spectromètre à réseau
- Spectroscopie de sources lumineuses pour l'identification des atomes ou molécules émettrices et de la température de la source (étoile, flamme)

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)



Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour Formation MPLS de Bretagne 2023

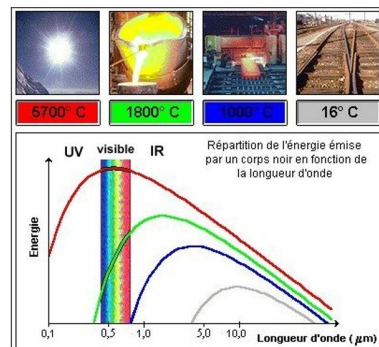
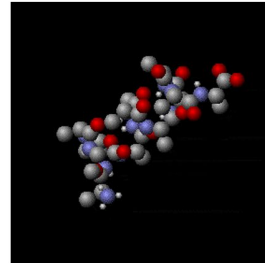
Rayonnement thermique

La température **résulte** de l'agitation des molécules et des atomes

Or les charges électriques en mouvement émettent des ondes électromagnétiques

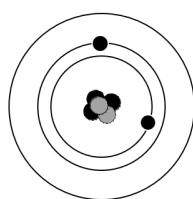
Donc tout corps porté à une certaine température émet un rayonnement

La longueur d'onde dépend de la température

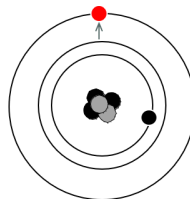


La luminescence

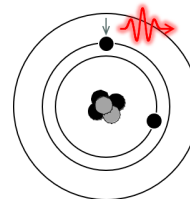
Rayonnement dû aux transitions atomiques



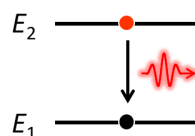
Atome au repos



Atome excité



Désexcitation avec
émission d'un photon

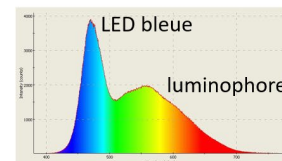
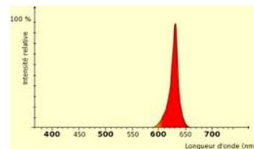
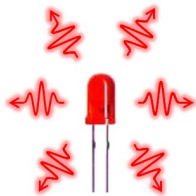


L'électron émet un photon pour
revenir à sa position d'équilibre

$$hf = E_2 - E_1$$

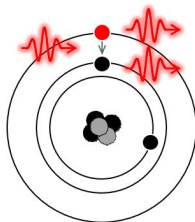
Les sources lumineuses

Fluorescence
Phosphorescence
Chimiluminescence
Bioluminescence
Electroluminescence



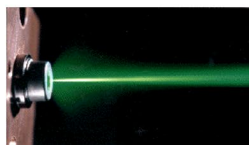
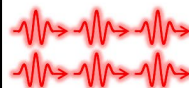
Le laser

Laser : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



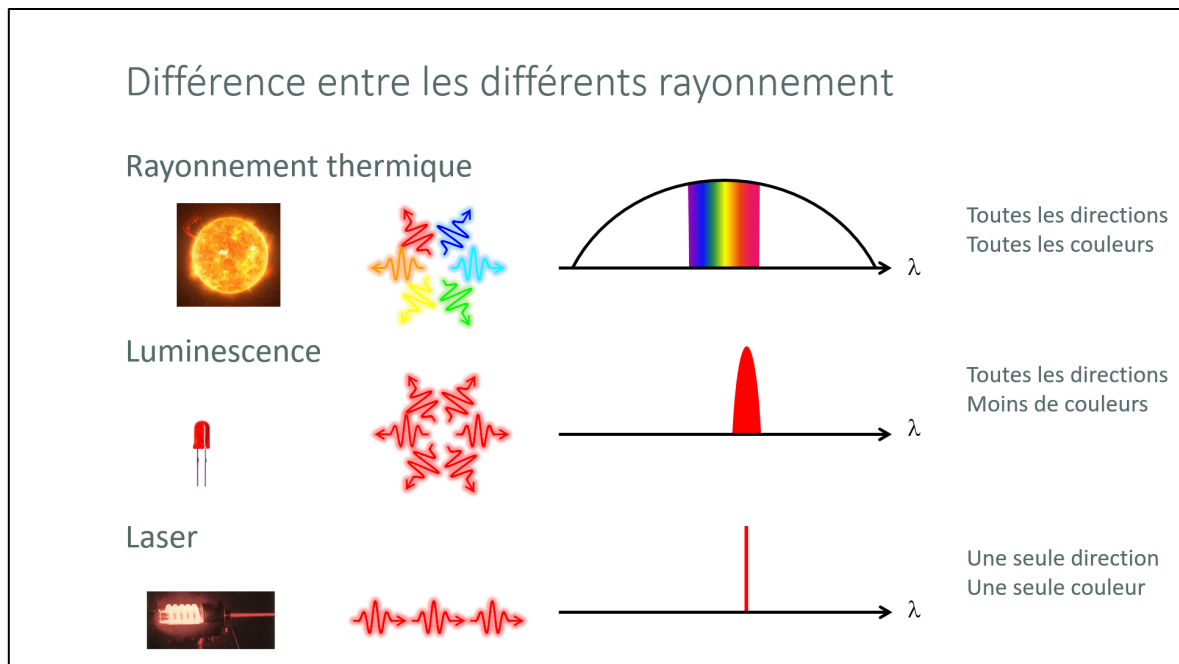
Emission stimulée

Laser

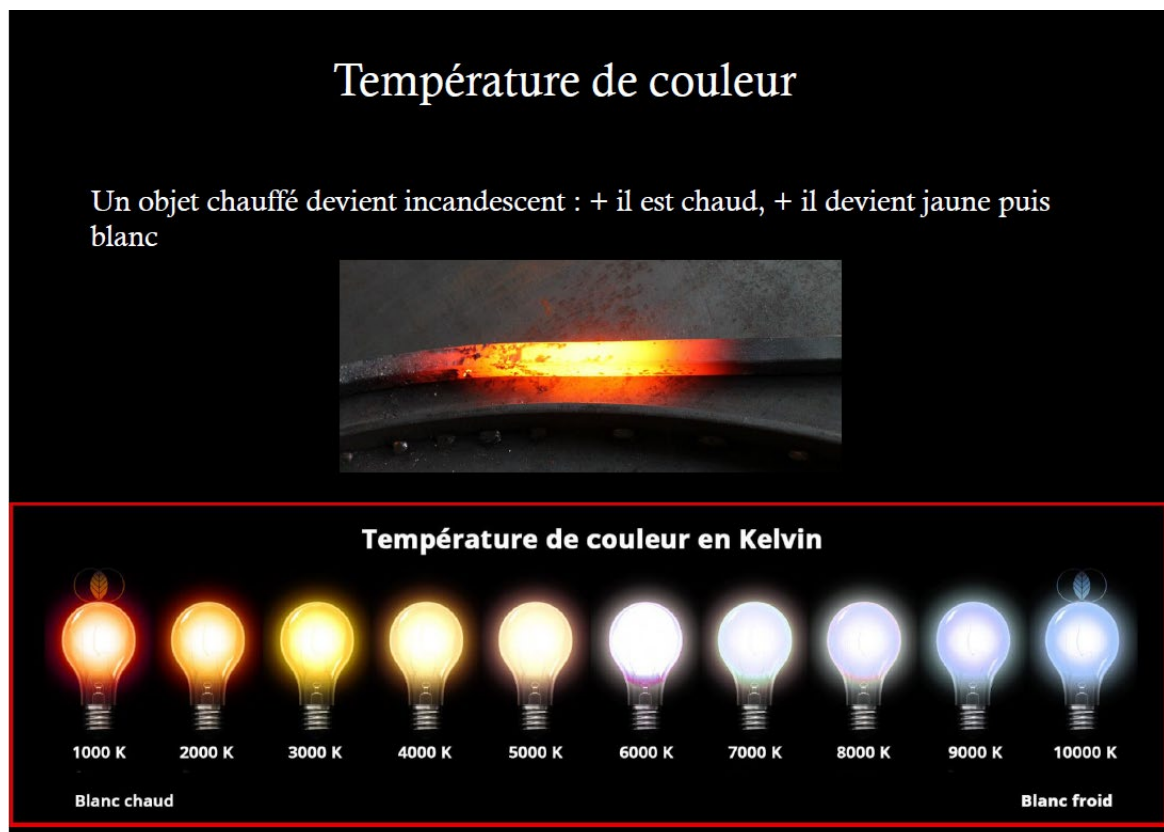


Les photons sont tous identiques, la lumière est **cohérente**.





Source : Sébastien Chénais (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) pour conférence « Un peu de physique sur la lumière et les phénomènes colorés » 2023



Atelier « Détecter la lumière infrarouge »

Conception de l'atelier : Valentine Gaudillat (EOS/SFO Tregor Photonics Student Club) 2022

Utiliser la caméra d'un smartphone pour visualiser la lumière émise par la diode IR d'une télécommande de TV/souris d'ordinateur lorsque l'on appuie sur un bouton (suivant le filtre IR du téléphone utilisé, la lumière de la diode est plus ou moins visible).

Ouverture art et science

Source : Formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

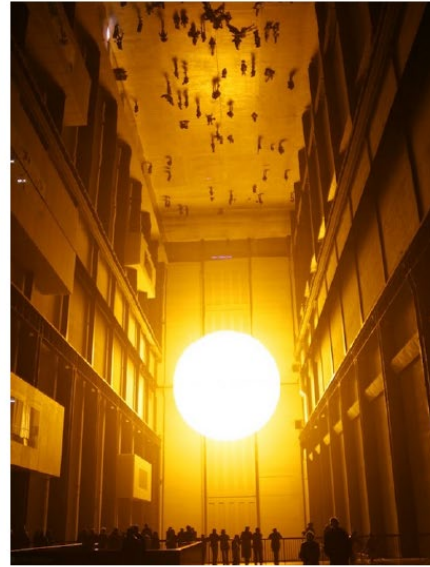


Figure 53 - *Alba*, Eduardo Kac, 2000, le lapin fluorescent.



Eduardo Kac (1962), GFP Bunny, 2000, le lapin fluorescent

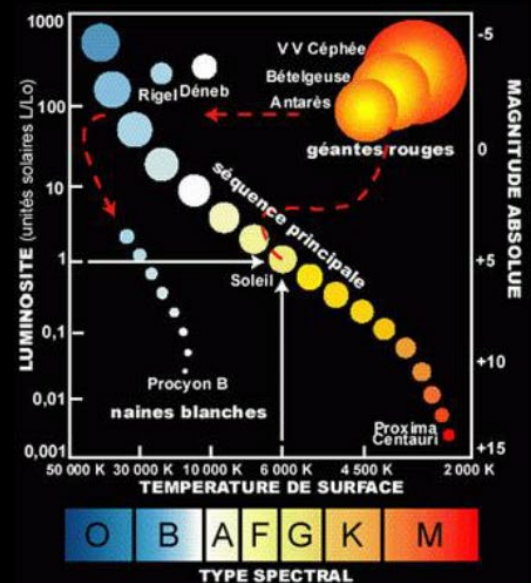
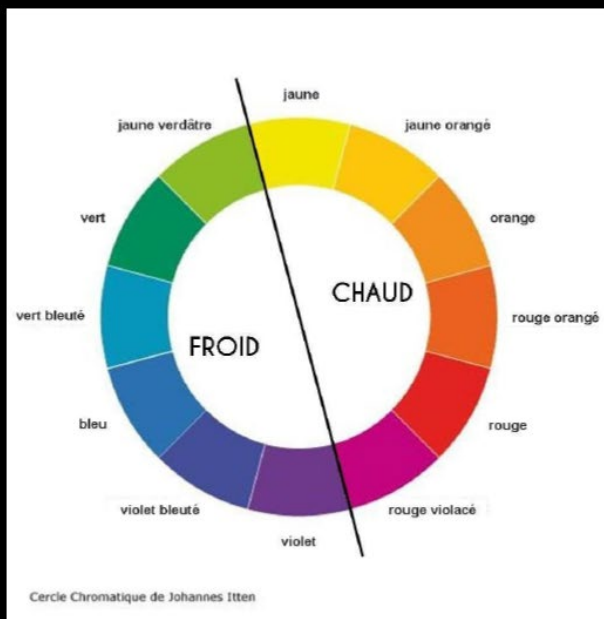




Olafur Eliasson (1967), The Weather project, 2003, ampoule à monofréquence, cadre en alu, film miroir, brouillard artificiel

Source : Sébastien Chénais (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) pour conférence « Un peu de physique sur la lumière et les phénomènes colorés » 2023

La température de couleur du physicien est donc **opposée** à la notion habituelle de couleur chaude et froide





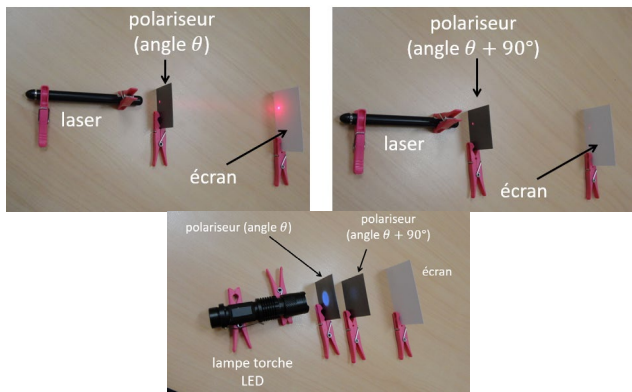
VI. Polarisation



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/425590233546150129/>



1. La polarisation de la lumière

Thèmes : Polarisation de la lumière émise par un laser ou par une LED Mots clés : – Polarisation – Polariseur	Niveau : ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☐ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans) Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : – Découvrir les propriétés de polarisation de la lumière – Comprendre l'effet d'un polariseur sur une lumière polarisée ou non polarisée – Etudier et comparer la polarisation de la lumière émise par un laser et une LED	
Liste du matériel : – Laser – LED – 2 Polariseurs – Ecran – Pincettes à linge	Illustration :  © R. Dubessy – LPL/USPN
Etapes : 1. Observer la transmission du laser à travers un seul polariseur, en tournant le polariseur 2. Faire de même avec la lampe torche LED. Ajouter un second polariseur et essayer de réduire au minimum la lumière transmise	
Observations et interprétations : – La lumière est une onde électromagnétique. La direction du champ électrique (décrite mathématiquement par un vecteur) caractérise la polarisation de l'onde lumineuse. L'analyse de la polarisation de la lumière est réalisée à l'aide de filtres sensibles à la direction de la polarisation, ce sont des polariseurs. – La lumière émise par le laser possède une direction de polarisation : elle est polarisée. La polarisation de la lumière est parallèle au polariseur lorsque le maximum de lumière est transmis et perpendiculaire au polariseur lorsque le minimum de lumière est transmis – La lumière blanche émise par la LED est le mélange d'une multitude d'ondes possédant chacune une polarisation différente. La lumière émise est dite non polarisée. Dans ce cas, il n'est pas possible d'annuler la transmission avec un seul polariseur. – Lorsque les deux polariseurs sont orientés avec un angle de 90° (on dit croisés), alors la lumière transmise par le premier n'est pas transmise par le second.	
Ouvertures et applications : – Film polariseur pour les lunettes de soleil, incidence de Brewster – Polarisation de la lumière émise par les écrans des smartphones, PC, TV – Le cinéma en relief	
Auteur : Christophe Daussey / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

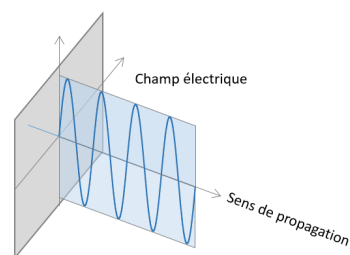
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

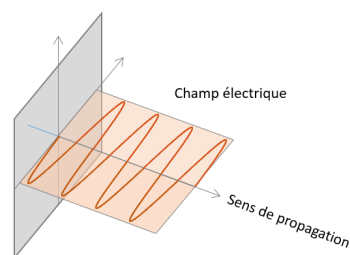
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

C'est quoi ?

C'est la direction de vibration du champ électrique

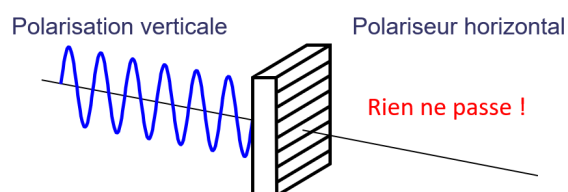
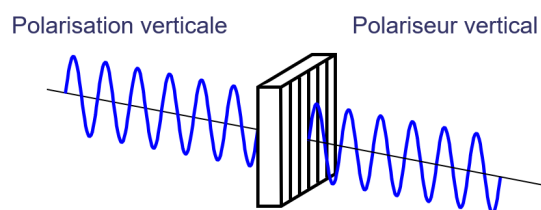


Polarisation verticale



Polarisation horizontale

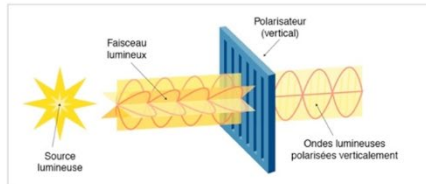
Effet d'un polariseur



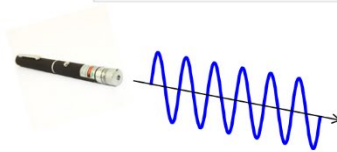
42

Polarisation

La lumière blanche n'est pas polarisée naturellement



Laser l'est



2. Polarisation et biréfringence

Thèmes :

Etude de la biréfringence d'un matériau transparent

Mots clés :

- Polarisation
- Polariseur
- Biréfringence

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☐ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 30 min
Atelier par groupes de 2-4 élèves

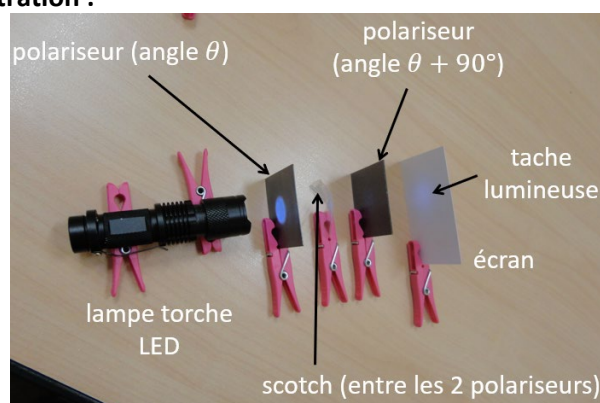
Objectifs :

- Mettre en évidence la biréfringence du scotch
- Interpréter l'effet d'un matériau biréfringent sur la polarisation de la lumière

Liste du matériel :

- LED
- 2 Polariseurs
- Ecran
- Scotch (non fourni)
- Pinces à linge

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Étapes :

1. Réaliser l'expérience présentée sur la photo ci-dessus, sans mettre le scotch, afin d'éclairer avec la lampe torche LED deux polariseurs croisés (absence de lumière observée sur l'écran)
2. Placer un morceau de scotch entre les polariseurs

Remarques/conseils : Exploiter les expériences et notions abordées dans le tuto « La polarisation de la lumière »

Observations et interprétations :

- La lumière est à nouveau transmise lorsque le scotch est là, pour certaines orientations du scotch!
- Le scotch fait tourner la polarisation de la lumière qui le traverse. Il possède deux orientations qui ne modifient pas la polarisation : les axes neutres. Cette propriété s'appelle la biréfringence.

Ouvertures et applications :

- Génération de couleurs par la superposition de plusieurs morceaux de scotch entre les polariseurs
- L'étude des contraintes dans les matériaux : On peut mesurer les contraintes mécaniques subies par un matériau en analysant la polarisation de la lumière qui le traverse lorsqu'il est soumis à une force extérieure. Cette méthode s'appelle la Photoélasticimétrie

Liens utiles, pour aller plus loin :

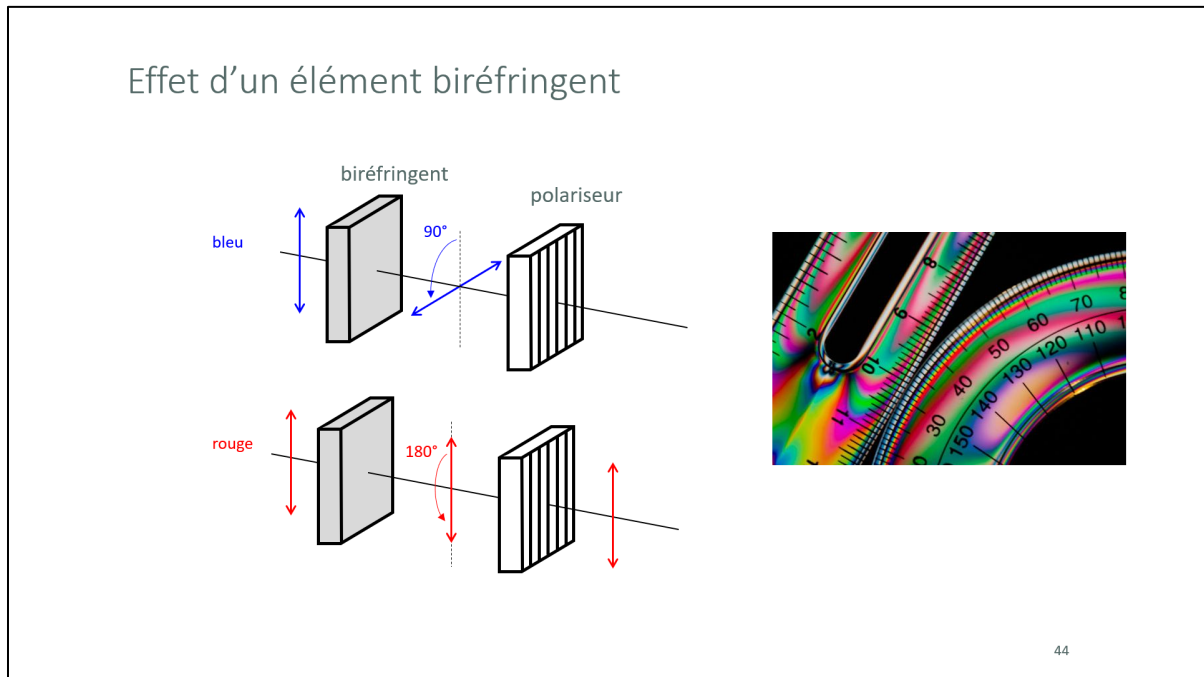
Atouts Sciences : <https://youtu.be/miWXMZFNGjQ>

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

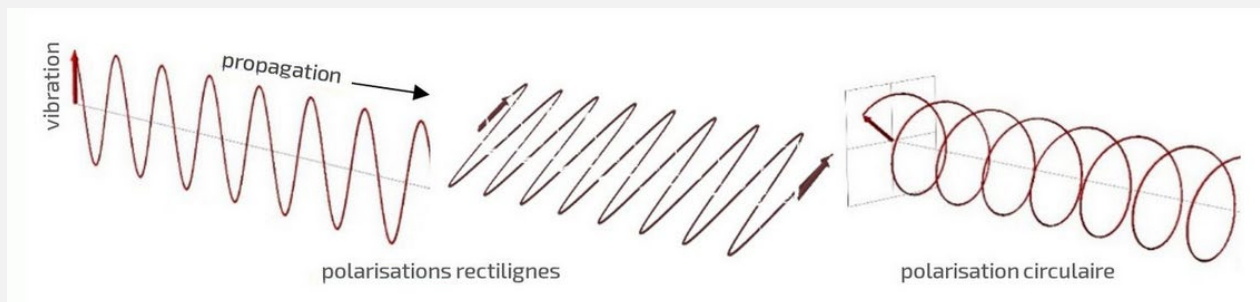
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

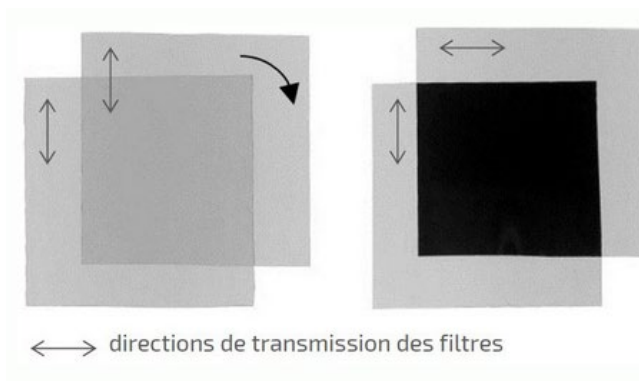


Atelier « Polarisation et biréfringence »

Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

La lumière peut être présentée comme étant une onde électromagnétique, c'est-à-dire la vibration conjointe d'un champ électrique et magnétique se propageant dans l'espace dans la direction du rayon lumineux. La direction dans laquelle vibre le champ électrique est précisément ce qui caractérise la polarisation.

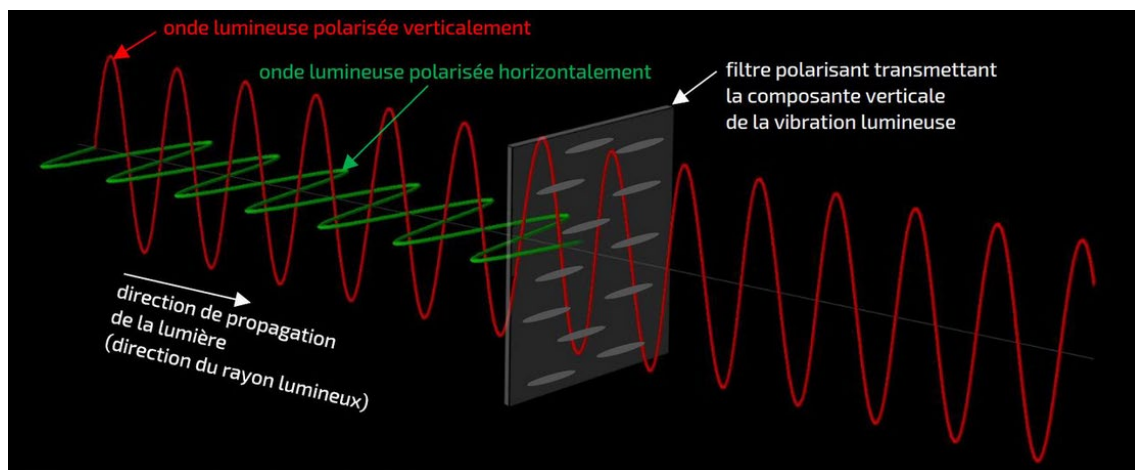




Les filtres polarisants sont généralement constitués d'un film plastique contenant des molécules en forme de bâtonnets, tous orientés dans la même direction. Si une onde lumineuse traverse le filtre avec son champ électrique dans la direction des molécules, des électrons sont mis en mouvement dans ces molécules et les courants électriques ainsi créés dissipent de l'énergie (un peu comme un courant électrique dans une résistance : ça chauffe !). Cette énergie étant

prélevée à l'onde lumineuse, celle-ci perd de l'intensité : elle est absorbée par le filtre.

En revanche si le champ électrique de l'onde lumineuse incidente est perpendiculaire à la direction des molécules, le mouvement des électrons est très limité et l'onde lumineuse est transmise presque sans atténuation. Ces filtres transmettent donc une onde polarisée dans une direction fixe : on les appelle des filtres polarisants rectilignes (ou linéaires).



L'application de la polarisation que nous utilisons le plus souvent est sans aucun doute l'écran à cristaux liquides de nos smartphones, ordinateurs ou télévisions. Les cristaux liquides sont des matériaux composés de molécules que l'on peut orienter en appliquant une tension électrique, et dont l'orientation modifie la polarisation de la lumière qui les traverse. En plaçant des cristaux liquides entre deux filtres polarisants, il est ainsi possible de commander électriquement le passage ou non de la lumière à travers, et donc d'allumer ou d'éteindre chaque pixel d'un écran.

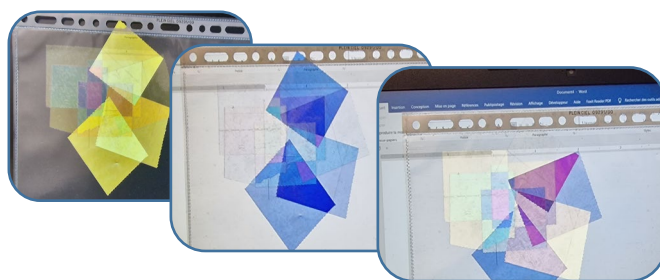


Nous vous proposons ici d'utiliser soit votre **smartphone**, soit une **tablette** ou votre **ordinateur**. L'idéal étant d'afficher sur votre appareil une page blanche. On peut prendre en photo une feuille blanche et l'affichée sur l'écran du smartphone/tablette. Sur l'ordinateur, on peut ouvrir une page blanche sous un traitement de texte. **Cet écran sera notre source de lumière polarisée.**

Munissons-nous également d'un **rouleau de scotch transparent** (et non pas translucide). Et d'une **pochette plastique transparente** qui servira de support.



Dans un premier temps, vérifions que la lumière issue de l'écran est bien polarisée. Pour cela, placer un filtre polarisant entre votre œil et l'écran du smartphone/tablette. Tourner progressivement le filtre, vous verrez soit la lumière disparaître progressivement, soit apparaître.



Notre « palette de couleurs » sera déterminée par le type de ruban adhésif choisi et le nombre de couches superposées.

Tester votre palette de couleurs :

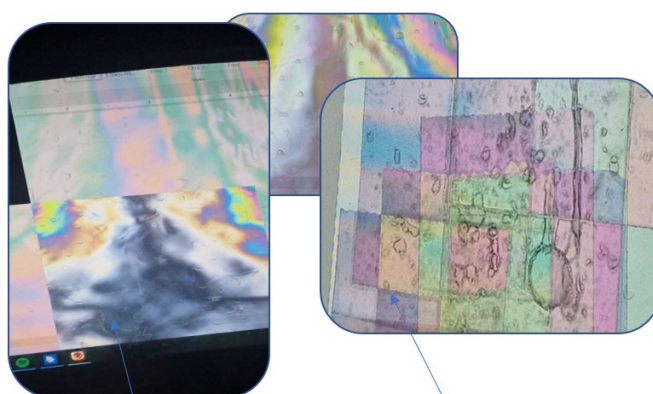
1. Collez sur la feuille plastique transparente quelques morceaux de rubans adhésifs partiellement superposés. **Attention au sens de collage. Il doit rester le même.**
2. Dans un second temps, collez une seconde série de morceaux de scotch en effectuant un simili de rosace. Continuez à superposer les morceaux.

Placez régulièrement la feuille plastique transparente sur l'écran. Tournez progressivement le filtre pour voir apparaître / disparaître les couleurs, dans des teintes plus ou moins marquées.

Remarques :

- Pour un type de ruban donné, la couleur obtenue dépend du nombre d'épaisseurs superposées dans la même direction.
- Si vous superposez deux rubans perpendiculairement l'un à l'autre, leurs effets se retranchent : on obtient la même chose là où deux rubans perpendiculaires se croisent et là où il n'y a aucun ruban.

Les pochettes de plastification (pour plastifieuse thermique) peuvent également être utilisée !



2 pochettes de plastification :
1 horizontale + 1 verticale

1 pochette de plastification +
Scotch



Ouverture art et science

Source : Formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023



Anne Lise King (1982), La jeune fille à la perle, Vermeer, 55x57cm scotch sur plexiglass 2017





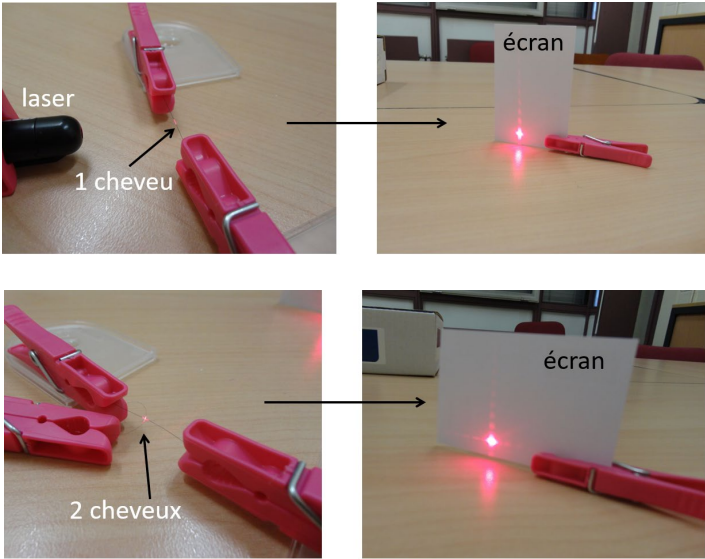
VII. Onde lumineuse



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/667517976033738128/>



1. Diffraction par un obstacle

Thèmes : Mise en évidence du phénomène de diffraction de la lumière	Niveau : ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☒ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Diffraction – Onde lumineuse	Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : – Observer le phénomène de diffraction de la lumière par un obstacle – Introduire le modèle ondulatoire de la lumière	
Liste du matériel : – Laser – Cheveux (non fournis !) – Ecran – Pincettes à linge	Illustration : 
© R. Dubessy – LPL/USPN	
Etapes : 1. Éclairer un cheveu avec le laser et observer les taches obtenues sur un écran 2. Réaliser la même expérience avec 2 cheveux à 90° l'un de l'autre	
Remarques/conseils : – Ajuster la distance entre l'objet diffractant (cheveu) et l'écran pour observer clairement les taches de diffraction (alternance de zones lumineuses et de zones sombres) – L'obstacle diffractant doit avoir une épaisseur du même ordre que la longueur d'onde de la lumière – Réaliser les expériences dans l'obscurité	
Observations et interprétations : – Plusieurs taches apparaissent sur l'écran, alignée verticalement si le cheveu est placé horizontalement et horizontalement si le cheveu placé verticalement – Avec deux cheveux on obtient une « croix » – On observe la diffraction de la lumière par l'obstacle : preuve du caractère ondulatoire de la lumière	
Ouvertures et applications : – Notion d'onde appliquée à la mécanique (corde vibrante), à l'électricité (onde sur une ligne téléphonique) et acoustique (son) – Diffraction d'une vague par un obstacle – Connaissant la longueur d'onde du laser, déterminer une mesure de l'épaisseur du cheveu	
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

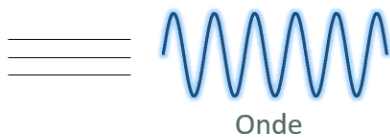
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Qu'elle est sa nature ?

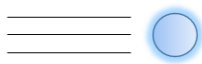
Onde ou particule ?



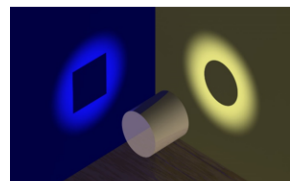
Onde **ET** particule



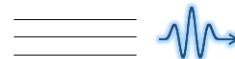
Onde



Particule
(photon)

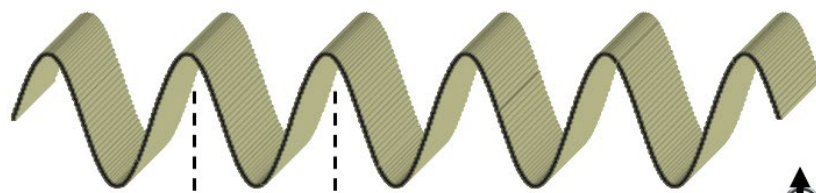


Un cylindre possède à la fois les propriétés d'un rectangle et celles d'un cercle



Représentation communément admise d'un photon

Exemple d'onde périodique : les vagues



Distance séparant deux vagues
= longueur d'onde λ (m)



$$\lambda = v T$$

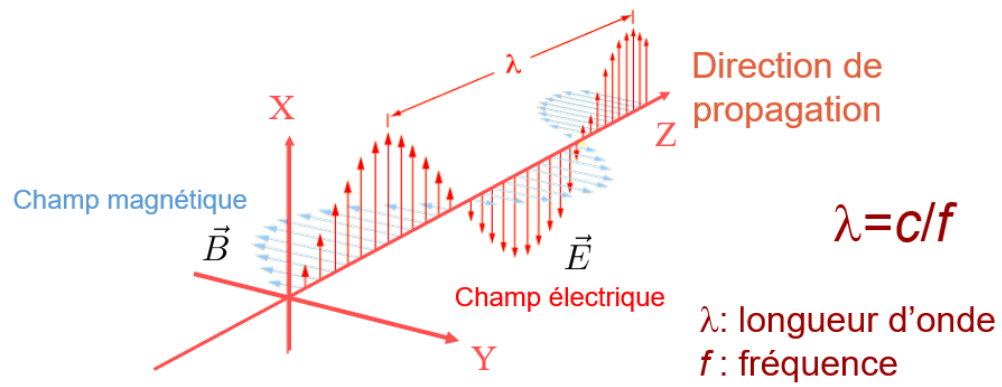


Vitesse de déplacement des vagues

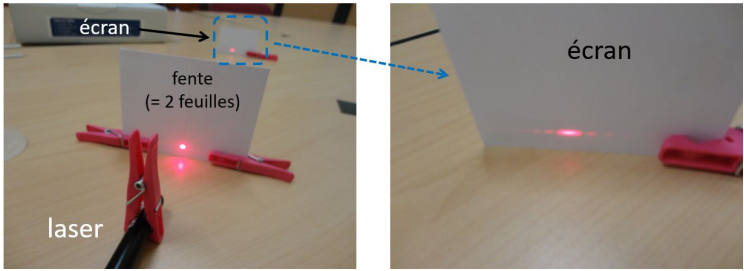
Temps entre deux vagues
= période T (s)

La lumière c'est...

... un **champ électrique** et un **champ magnétique** qui se propagent à la vitesse $c = 300\,000\text{ km/s}$ dans le vide



2. Diffraction par une fente

Thèmes : Mise en évidence du phénomène de diffraction de la lumière par une fente Mots clés : – Diffraction – Onde lumineuse	Niveau : ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans) ☒ Second degré (11 ans à 17 ans) ☒ Supérieur (plus de 18 ans) Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : – Observer le phénomène de diffraction de la lumière par une fente – Introduire le modèle ondulatoire de la lumière	
Liste du matériel : – Laser – Fente (feuille, non fournie) – Ecran – Pincettes à linge	Illustration :  © R. Dubessy – LPL/USPN
Étapes : 1. Réaliser une fente verticale de largeur ajustable (inférieure à 1 mm) en approchant 2 feuilles (maintenues verticalement avec des pincettes à linge) 2. Éclairer la fente avec le laser et observer les taches obtenues sur un écran 3. Modifier la largeur de la fente et observer l'impact sur les taches obtenues sur l'écran Remarques/conseils : – Ajuster la distance entre l'objet diffractant (la fente) et l'écran pour observer clairement les taches de diffraction (alternance de zones lumineuses et de zones sombres) – La fente doit avoir une largeur du même ordre que la longueur d'onde de la lumière – Réaliser les expériences dans l'obscurité – Exploiter les expériences et notions abordées dans le tuto « Diffraction par un obstacle »	
Observations et interprétations : – Plusieurs taches apparaissent sur l'écran, comme pour le cheveu – La taille de la tache centrale augmente lorsque la largeur de la fente diminue – On observe la diffraction de la lumière par la fente : preuve du caractère ondulatoire de la lumière	
Ouvertures et applications : – Diffraction d'une vague par une ouverture – Comparer à l'expérience de diffraction de la lumière laser par le réseau : un réseau est une succession de fentes qui accentue le phénomène de diffraction. – Interpréter la diffraction de la lumière blanche par un réseau – Diffraction de la lumière sur un CD	
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

3. « Additionner » la lumière

Thèmes :

Mise en évidence du phénomène d'interférence

Mots clés :

- Interférences
- Onde lumineuse

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2-4 élèves

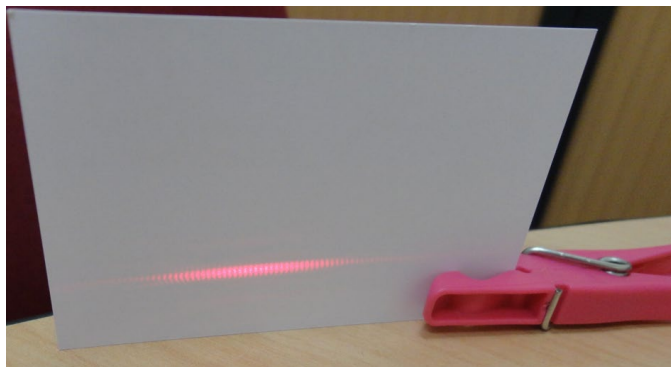
Objectifs :

- Observer le phénomène d'interférence des ondes lumineuses
- Introduire la notion d'interférences constructives et destructives

Liste du matériel :

- Laser
- 2 fentes (feuille, non fournie)
- Ecran
- Pinces à linge

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Étapes :

1. Réaliser 2 fentes verticales (largeur inférieure à 1 mm) avec des feuilles (maintenues verticalement avec des pinces à linge)
2. Éclairer les deux fentes avec le laser et observer les taches obtenues sur un écran
3. Bloquer le passage de la lumière à travers une des deux fentes et observer la modification de la tache centrale

Remarques/conseils :

- Ajuster la distance entre l'objet diffractant (les fentes) et l'écran pour observer clairement la tache centrale
- Réaliser les expériences dans l'obscurité

Observations et interprétations :

- On observe une tache lumineuse centrale striée régulièrement de raies sombres. Ces stries disparaissent lorsque l'on masque une des deux fentes
- On observe un phénomène d'interférences entre la lumière passant par les deux fentes à la fois : avec une onde on peut obtenir, lumière + lumière = obscurité !

Ouvertures et applications :

- Interféromètres optiques pour la détection des ondes gravitationnelles (interféromètre de Michelson)
- Interférences destructives en acoustique (casque à réduction active de bruit)
- Réseau de diffraction pour la spectroscopie
- Interférences destructives sur une corde vibrante (positions des nœuds de l'onde stationnaire)

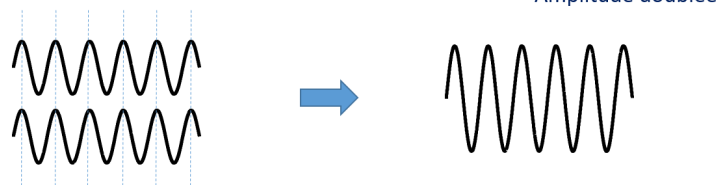
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

Les concepts essentiels

Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation MPLS de Bretagne 2023

Interférences

Superposition de 2 ondes en phase



Superposition de 2 ondes en opposition de phase

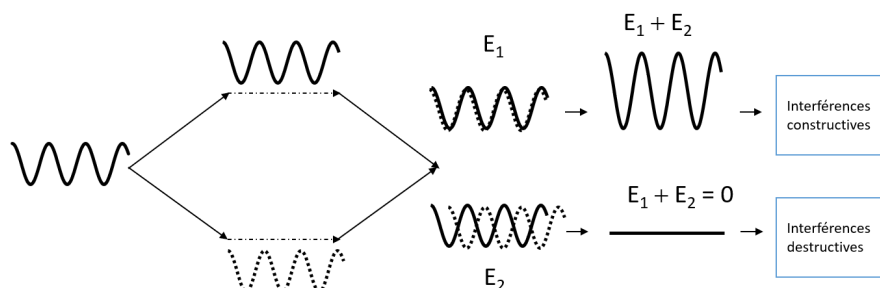


37

Que se passe-t-il si on superpose deux ondes?



Zones où l'eau
n'oscille pas !



38

De nombreuses applications !



Holographie



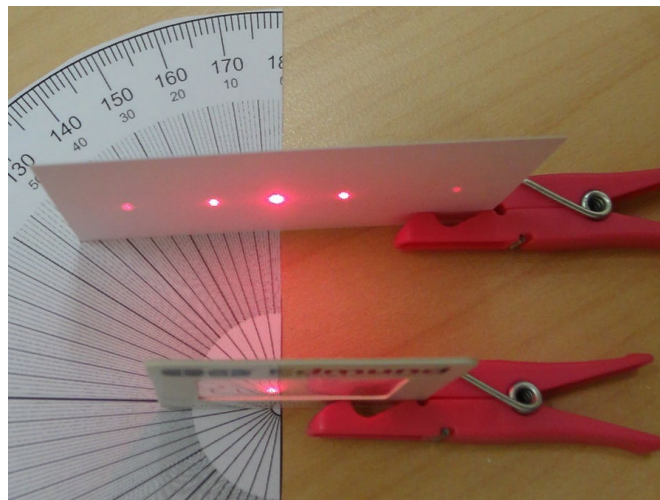
Détection
des ondes gravitationnelles



Irisations
sur les bulles de savon

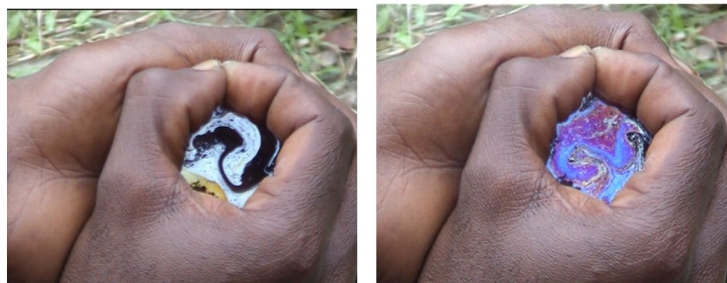
Atelier « Caractérisation de la diffraction par un réseau »

Conception de l'atelier : Romain Dubessy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2017



Ouverture art et science

Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023



Edith Dekyndt (1960), Provisory Object 03, 2004, vidéo couleur, muet, 3 minutes, Mudam Luxembourg

Le phénomène d'interférences est caractérisé par la superposition de deux ou plusieurs ondes cohérentes de même fréquence. Deux ondes sont cohérentes entre elles si elles présentent une différence de phase stationnaire.

En optique, ce phénomène est responsable des couleurs observées sur les films de savon et de l'iridescence des ailes de papillons.

Si le phénomène physique est totalement différent de l'absorption / diffusion, il n'en résulte pas moins que l'interaction lumière matière conduit ici aussi à l'émergence des couleurs qui compose la lumière.

L'éclairage d'un film de savon par une source de lumière blanche permet d'illustrer cette interaction lumière-matière. L'œuvre est éphémère ! L'écoulement de l'eau du film de savon fait varier son épaisseur.

Il finira par céder.



Tenter de reproduire le travail d'Edith Dekyndt avec un mélange pour réaliser des bulles (solution savonneuse).

Attention, l'œuvre est éphémère ! Préparer votre appareil photo.

Les œuvres d'Edith Dekyndt sont réalisées en lumière blanche. Que se passe-t-il si nous modifions la nature de la lumière ? Pour cela, vous pouvez utiliser les filtres colorés.

Les premières photographies interférentielles

- <https://urlz.fr/kQou>



- https://fr.wikipedia.org/wiki/Photographie_interf%C3%A9rentielle



4. Qu'est-ce qu'un hologramme ?

Thèmes :

Découvrir les propriétés des hologrammes

Mots clés :

- Hologramme
- Diffraction

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☐ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 15 min

Atelier par groupes de 2-4 élèves

Objectifs :

- Observer un hologramme
- Introduire les propriétés des hologrammes

Liste du matériel :

- Hologramme
- Lampe torche LED

Illustration :



© R. Dubessy – LPL/USPN

Etapes :

1. Observer l'hologramme éclairé par la lampe LED
2. Utiliser une lentille pour observer les détails

Remarques/conseils :

Observations et interprétations :

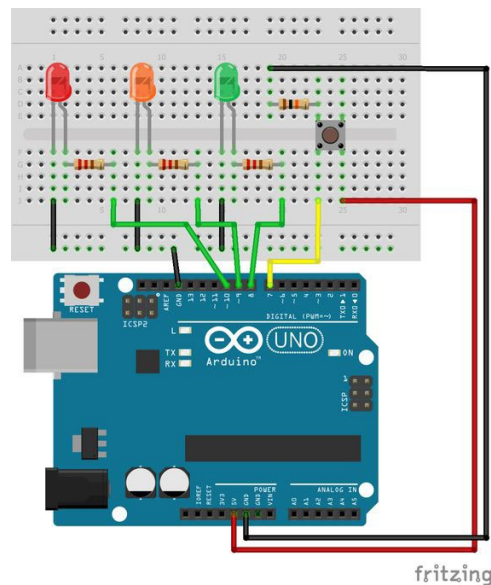
- On observe des objets qui « suivent » l'observateur. Les objets se colorent sous certains angles. Ils ne sont pas toujours visibles
- L'holographie consiste à former une image visible uniquement dans la lumière diffractée par l'objet : l'image ne « ressemble » pas du tout à l'objet

Ouvertures et applications :

- On ne peut pas photocopier un hologramme, c'est pour cela qu'on les utilise sur les billets et les papiers officiels !

Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)

VIII. Emission/détection pilotées par Arduino

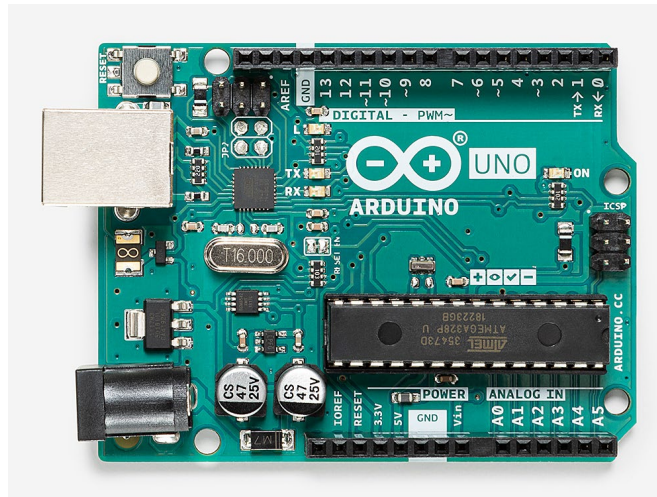


Source : <https://www.pinterest.fr/pin/683843524684919547/>

1. Présentation des composants

Module Arduino Uno :

Le module Arduino Uno est une carte électronique qui embarque un microcontrôleur programmable, et des entrées/sorties électroniques capables d'interagir avec des composants électroniques ou des modules capteurs divers et variés. Le module Arduino peut être alimenté par le câble USB fourni. Dès qu'il est sous tension, le microcontrôleur exécute la série d'instructions (programme) qui lui a été transférée en mémoire. Ainsi, il peut exécuter des tâches en autonomie, qu'il soit alimenté par l'USB ou via une pile (c'est faisable, pour se passer d'une alimentation USB ou d'un ordinateur).



En revanche, il est nécessaire de raccorder l'Arduino à un ordinateur via le câble USB pour lui « charger » le programme que vous souhaitez lui faire exécuter. De même, pour récupérer et afficher des informations en provenance du module Arduino (et/ou des capteurs qui lui sont connectés), une solution simple est donc de laisser le module connecté à l'ordinateur pendant toute l'expérience. Les informations reçues via le port USB (communication de type port « Série ») pourront être affichées sur l'ordinateur.

Les connexions de la carte Arduino sont de différents types :

- des bornes à tension constante : 0V (masse=Ground=GND), +3,3 V et +5V
- 5 bornes d'entrées analogiques (Analog In A0 -> A5) : permet à la carte de mesurer une tension analogique entre 0 et 5V.
- 14 bornes d'entrées ou sorties digitales (tout (5V) ou rien (0V)) : permet à la carte d'envoyer ou de détecter des signaux binaires 0/1. Parmi ces bornes, 6 bornes (3,5,6,9,10,11) peuvent être utilisées en sortie pour générer des signaux « mimant » une sortie analogique entre 0V et 5V en utilisant le principe de la modulation de largeur d'impulsion (PWM). Dans ce cas, le module Arduino génère des impulsions rapides entre 0 et +5V, en modulant le rapport cyclique entre 0% et 100%. De la sorte, la valeur de tension moyenne dans le temps sera bien une valeur continument réglable entre 0 et 5V selon la valeur du rapport cyclique.

Par exemple, l'instruction « `analogWrite(6,X);` » permettra d'envoyer un signal sur la patte 6, compris entre 0 et 5V, selon la valeur de X entre 0 (0V) et 255 (5V).

- Enfin, sur le module Arduino Uno, deux bornes supplémentaires peuvent être utilisées pour la communication série avec certains capteurs (par exemple le détecteur Grove fourni) : il s'agit des bornes SDA (Signal Data) et SCL (Signal Clock).

Installation d'Arduino IDE sur votre ordinateur :

Pour programmer et charger les instructions sur la carte Arduino, il est nécessaire d'installer l'interface de programmation Arduino (disponible sous toutes les plateformes Windows, Mac, Linux) qui servira d'environnement de programmation, et également à charger les programmes dans le microcontrôleur via le port USB, mais encore à afficher les informations en provenance des capteurs (transmis via le « port Série »).

L'installation d'Arduino nécessite le téléchargement du logiciel. Cela peut se faire à l'adresse suivante :

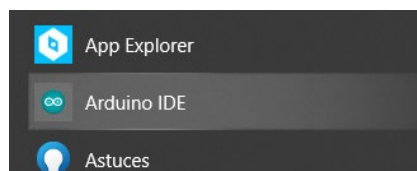
<https://www.arduino.cc/en/software>

Choisissez l'interface qui correspond à votre système d'exploitation (Windows, Linux, mac)

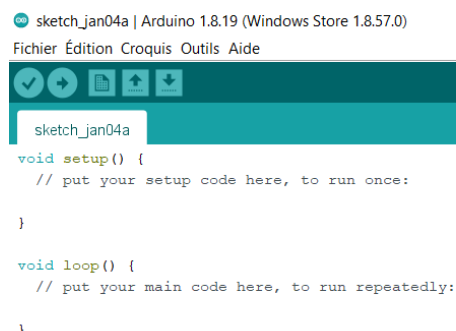
Downloads



Une fois installé, ouvrez le logiciel



La fenêtre suivante doit s'ouvrir !

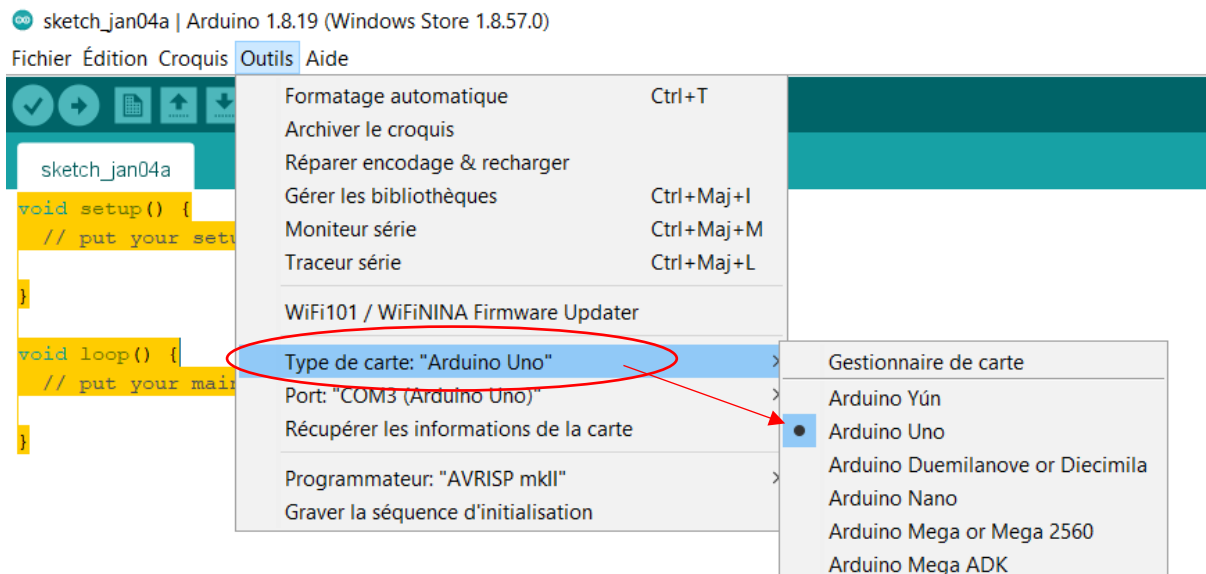


Reliez la carte Arduino au PC via le **câble USB** fourni
(Cordon USB de type A/B)

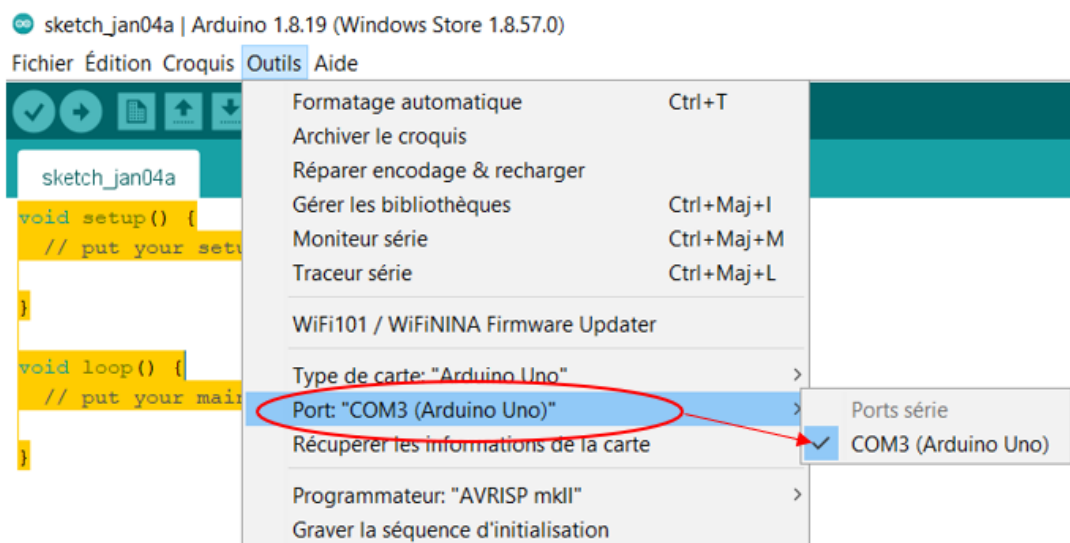


[Remarque : la carte Arduino sera alimentée par le câble USB – Il reste possible d'alimenter la carte par une alimentation externe, mais cela n'est pas fournie dans le kit LightBox]

Cliquez sur **Outils** et vérifiez que la carte identifiée est une carte **Uno**



Toujours sur **Outils**, sélectionnez si besoin le « **bon Port** » **COM** de communication



Une difficulté sur l'utilisation d'Arduino, le site en français vous sera d'une aide précieuse. Les commandes/fonctions y sont référencées et bien expliquées : <https://arduino-france.site/>

Prise en main d'Arduino et son interface de programmation :

Là encore, nous vous invitons à vous munir d'un bon tutoriel pour découvrir les bases de la programmation Arduino. C'est normalement à la portée de tous, moyennant le suivi d'exemples de difficulté croissante. Une fois le module et le langage pris en main, c'est un univers de possibilités qui s'ouvre...

Quelques mises en garde toutefois pour éviter des erreurs courantes au démarrage :

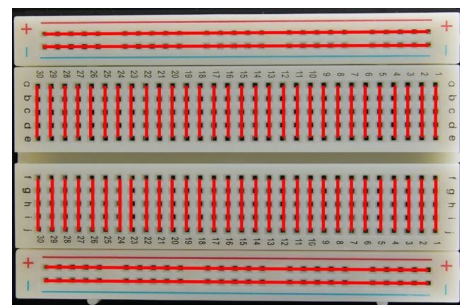
- Pensez à ponctuer toutes les lignes de code par un point-virgule (sauf accolade ouvrantes...)
- Pensez à vérifier que le module Arduino est bien reconnu par votre interface de programmation, et que le port série sélectionné dans le logiciel correspond bien à votre module Arduino.
- Bien déclarer les numéros de broches (pins) dans le programme
- Déclarer dans le programme l'ouverture d'une communication série avec l'Arduino pour récupérer des valeurs via le « moniteur » série : `Serial.begin(9600)` ;
- ...

Plaquette test :

Le rôle de cette plaquette est de pouvoir connecter les éléments électroniques et opto-électroniques entre eux, et de les relier au module Arduino grâce aux fils (« jumpers »).

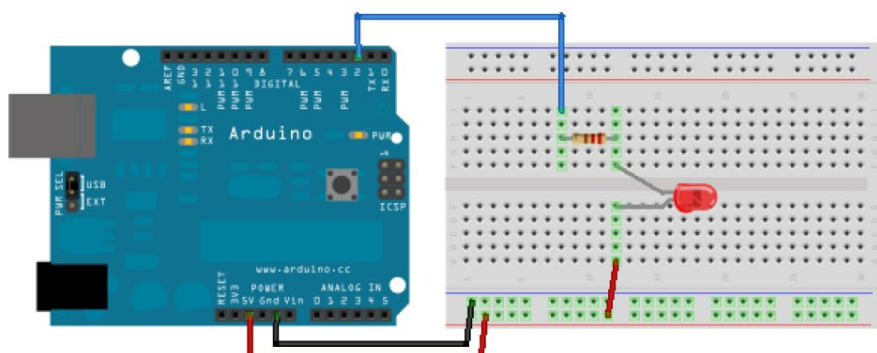
Les « trous » sont interconnectés de la façon suivante (les traits rouges représentent les connexions en « fond » de plaquette) :

Les grandes lignes de connecteurs pouvant servir à créer des lignes de potentiel fixes (0 Volts = masse = Ground = GND, et +5V = Vcc).



LEDs rouges, vertes et UV :

Ces diodes électroluminescentes permettent de générer un flux lumineux coloré en les connectant à des sorties digitales de l'Arduino. Attention, pour éviter un endommagement, il faut les connecter en série avec une résistance, et respecter la polarité de la diode (longue patte = anode = borne au potentiel supérieur (vers +Vcc), courte patte = cathode = borne au potentiel inférieur (Vers GND, via une résistance de 330 Ω)).



Module LED RGB :

Ce module contient 3 diodes (rouge, verte et bleue), combinées pour pouvoir créer une lumière de différentes couleurs par synthèse additive (blanc, jaune, rose magenta, bleu cyan...). Il est commandé comme les LEDs décrites ci-dessus, via 3 sorties digitales de l'Arduino et 3 résistances pour alimenter les connecteurs R G et B du module. Il faut en outre connecter la patte GND à la masse GND du module Arduino.

Le réglage de la couleur se fait en commandant l'allumage de chaque LED avec une fonction de signal carré avec un rapport cyclique variable (modulation de largeur d'impulsion = PWM). La période du signal carré peut de préférence être inférieure à 50 - 100 ms pour éviter que l'œil humain ne voie le clignotement (persistance rétinienne). La fonction utilisée est `analogWrite`.

Module Laser rouge :

Ce module permet d'émettre un faisceau laser continu rouge (633 nm) d'intensité constante. Il se commande directement (sans résistance) en tout ou rien (on/off). Il faut connecter la patte G à la masse GND de l'Arduino, la patte V au Vcc=+5V de l'Arduino, et enfin la patte S à une sortie digitale de l'Arduino.

Le clignotement et/ou le réglage de la puissance d'émission se contrôle comme dans le paragraphe précédent, par modulation de la largeur d'impulsion (PWM) ou en utilisant la fonction `digitalWrite`.

Module capteur à photodétecteur :

Ce module permet d'effectuer une mesure quantitative du flux lumineux reçu par la surface sensible du photodétecteur. Le module (capteur à photorésistance) se câble facilement à l'Arduino : il faut connecter la patte G à la masse GND de l'Arduino, la patte V au Vcc=+5V de l'Arduino, et enfin la patte S à une entrée analogique (A0 par exemple) de l'Arduino. En opérant une lecture de l'entrée analogique A0, le programme Arduino fournira une valeur proportionnelle au flux lumineux reçu par le phototransistor.

Module détecteur de lumière Grove avec sortie VIS et VIS+IR :

Présentation : Ce module (plus élaboré que le capteur à photorésistance, et un peu plus délicat à mettre en œuvre) intègre un détecteur TSL2561 qui constitue un autre moyen de mesurer le flux lumineux. Il présente l'intérêt de contenir deux photodiodes : l'une destinée à la mesure du flux « visible », et l'autre fournissant le flux mesuré dans la gamme visible + proche infrarouge. Grâce à ces deux mesures, il est possible de calculer l'éclairement lumineux reçu par la surface sensible du photodétecteur (en unités standardisées de « lux », soit l'intensité lumineuse par unité de surface). C'est cette opération qui est implémentée de façon standard dans la librairie (ou bibliothèque) d'instructions qui sera installée pour utiliser le module Grove (voir plus loin). En outre, les caractéristiques de détection du module peuvent être modifiées en termes :

- de Gain (on peut régler un fort (respectivement faible) gain en situation d'éclairement faible (respectivement fort), ou mettre le détecteur en gain automatique (réglage par défaut)).
- de temps d'exposition : un temps d'exposition court permet une cadence de mesure très rapide, mais moins de précision. A l'inverse, on peut se régler sur le temps d'exposition le plus long (réglage par défaut) pour avoir une meilleure précision sur la mesure effectuée.

Connexion du capteur : Le module capteur Grove TSL2561 se câble à l'Arduino en connectant la patte GND à la masse GND de l'Arduino, la patte Vcc au Vcc=+5V de l'Arduino, et enfin les deux sorties SDA et SCL doivent être connectés aux bornes SDA et SCL de l'Arduino.

Installation des librairies d'instructions : La lecture du capteur se fait en interrogeant le module Grove TSL2561 via des commandes pré-programmées et référencées dans une librairie d'instructions qu'il faut installer.

Pour l'utilisation de ce module, nous vous conseillons d'installer les librairies suivantes :

- Adafruit Unified Sensor (*gestion générale des capteurs Adafruit, version testée 1.1.3*)
- Adafruit TSL2561 (*gestion du capteur TSL2561, version testée 1.1.0*)

Pour installer des librairies : Dans le logiciel de développement Arduino, faire Outils > Gérer les bibliothèques, puis rechercher la bibliothèque souhaitée et l'installer (connexion internet requise pour l'installation)

Pour pouvoir utiliser les instructions des librairies installées, il faudra y faire appel dans votre code en incluant ces lignes en en-tête de votre programme Arduino :

```
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2561_U.h>
```

Utilisation du capteur en mesure d'éclairement lumineux : Pour commencer, nous vous conseillons d'utiliser le programme d'exemple fourni avec la librairie Adafruit_TSL2561. Pour cela, dans le logiciel de développement Arduino, cherchez *Fichier > Exemples > Adafruit TSL2561 > sensorapi*.

Important - correction du code de l'exemple : le capteur Grove fourni possède une broche d'« adresse » reliée à la masse, contrairement au capteur utilisé dans l'exemple. Il convient donc de modifier la ligne suivante de l'exemple :

```
Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);
```

➔ `Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_LOW, 12345);`

Normalement, vous pouvez ensuite télécharger votre programme dans l'Arduino sans erreur, et obtenir, sur le moniteur du port Série (Ctrl+Shift+M) les résultats suivants :

```
Light Sensor Test
-----
Sensor:      TSL2561
Driver Ver:  1
Unique ID:   12345
Max Value:   17000.00 lux
Min Value:   0.00 lux
Resolution:  1.00 lux
-----

Gain:        Auto
Timing:      13 ms
-----

14.00 lux
15.00 lux
15.00 lux
15.00 lux
```

En observant le code Arduino de l'exemple, vous remarquerez que le capteur est interrogé au moyen de la commande

```
tsl.getEvent(&event);
```

qui permet de restituer la valeur de l'éclairement en lux, après calcul dans les fonctions avancées de la librairie installée.

Utilisation avancée du capteur – réglage du gain et du temps d'exposition :

Vous pourrez ensuite utiliser les fonctions plus avancées du capteur (réglage gain et temps d'exposition) en modifiant les lignes suivantes du code dans la fonction *configureSensor* :

```
void configureSensor(void)
{
  /* You can also manually set the gain or enable auto-gain support */
  // tsl.setGain(TSL2561_GAIN_1X);      /* No gain ... use in bright light to avoid sensor saturation */
  //tsl.setGain(TSL2561_GAIN_16X);     /* 16x gain ... use in low light to boost sensitivity */
  tsl.enableAutoRange(true);           /* Auto-gain ... switches automatically between 1x and 16x */

  /* Changing the integration time gives you better sensor resolution (402ms = 16-bit data) */
  //tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);    /* fast but low resolution */
  tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_101MS);    /* medium resolution and speed */
  //tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_402MS);  /* 16-bit data but slowest conversions */
}
```

Utilisation avancée du capteur – accéder aux mesures de deux photodiodes :

Il peut être intéressant pour certains projets ayant trait à de la spectroscopie (rudimentaire) de pouvoir obtenir directement les mesures des 2 photodiodes intégrées dans le composant TSL2561.

Il sera nécessaire pour cela de faire appel à la fonction *getLuminosity* de la librairie, qui permet d'accéder à la mesure du spectre large bande (visible+infrarouge, photodiode 1) et du spectre infrarouge (infrarouge seul, photodiode 2).

Les modifications de code à apporter sont les suivantes :

Dans la fonction *loop()* : Définir en début de fonction deux variables (entier non signé 16 bits) *broadband* et *infrared* pour les mesures correspondantes au spectre large bande (photodiode 1) et infrarouge (photodiode 2), de la façon suivante :

```
uint16_t broadband;
uint16_t infrared;
```

Toujours dans la fonction *loop()*, là où l'exemple *sensorapi* fait appel à *tsl.getEvent(&event)* ; on peut accéder aux valeurs des deux spectres en appelant :

```
tsl.getLuminosity(&broadband, &infrared);
```

Il ne reste plus qu'à afficher les valeurs mesurées sur le moniteur série de l'Arduino au moyen des commandes suivantes :

```
Serial.print("Broadband spectrum measure: ");
Serial.println(String(broadband));
Serial.print("Infrared spectrum measure: ");
Serial.println(String(infrared));
```

2. Faire briller une LED

Thèmes :

Prise en main de la programmation sous Arduino

Mots clés :

- Arduino
- Electronique
- LED

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2-4 élèves

Objectifs :

- Faire briller une LED contrôlée avec une carte Arduino

Liste du matériel :

- Carte Arduino
- Plaquette test
- Câbles
- Resistance
- LED

Illustration :

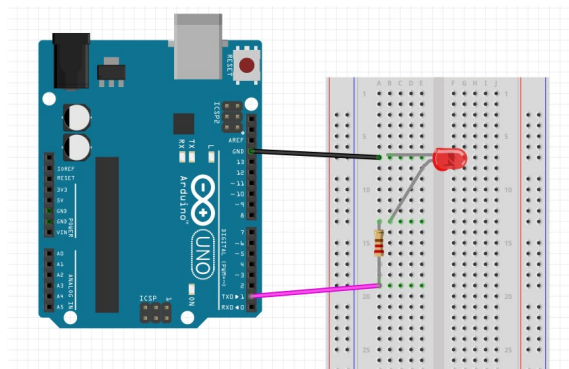


Schéma réalisé avec fritzing © E. Millour

Etapes :

1. Réaliser le montage de la figure ci-dessus (une LED + une résistance en série alimentées par la carte Arduino)
2. Ecrire le programme suivant :

```
void setup(){  
  pinMode(1,OUTPUT); // On attribue la borne numérique numéro 1 de la carte Arduino en mode sortie  
  digitalWrite(1,HIGH); // le courant est envoyé sur la borne 1, la LED s'allume  
}  
void loop(){  
  // pas d'information, la LED restera allumée indéfiniment  
}
```

Remarques/conseils :

- La LED est un composant polarisé. Il est important de faire attention à son sens de branchement. La patte la plus longue est la borne positive.
- La borne négative de la carte Arduino est la borne identifiée GND (Ground = masse/ borne négative).
- Pour la borne positive, il est possible d'utiliser les bornes 1 ; 2 ; 7 ; 8 ;12 et 13.
- Dans le programme, les informations écrites en bleues après « // » sont des indications sur le fonctionnement du programme. Elles peuvent être supprimées, mais aide à sa compréhension.

Ouvertures et applications :

- Tenter de modifier le programme pour faire clignoter la LED (voir atelier « Faire briller puis éteindre une LED »)
- Faire un montage et écrire un programme pour piloter plusieurs LED (Atelier « Faire clignoter deux LED en alternance »)

Auteur : Eric Millour (Collège Charles Le Goffic – Lannion)

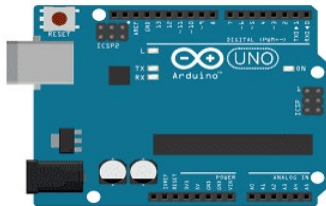
Ressources complémentaires

Atelier « Faire briller des LED indéfiniment »

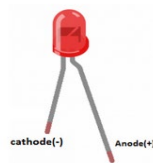
Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Matériel

1 carte Arduino



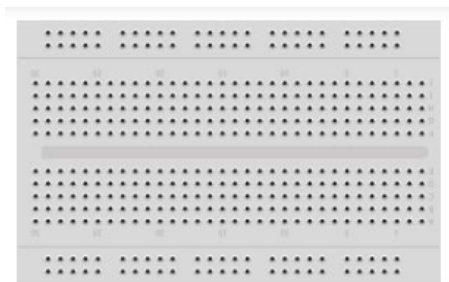
1 LED rouge / verte / bleue



1 résistance de 220 Ohms



1 platine de câblage

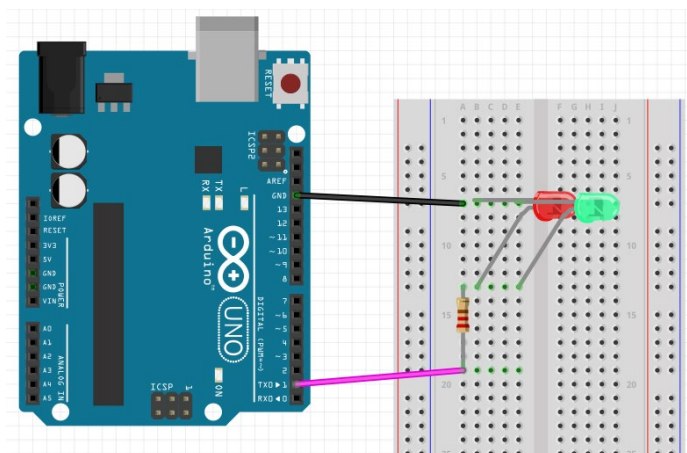


Des fils de connexion



CODE PERMETTANT D'ALLUMER 2 DIODES (elles restent allumer indéfiniment)

Montage : brancher 2 LED en parallèle + une résistance en série comme sur l'illustration ci-dessous



La résistance protège les deux diodes. Si vous souhaitez alimenter les deux diodes séparément, il faudra utiliser une deuxième résistance.

Il faudra dans ce cas définir une autre sortie sur la carte Arduino. (cf exemple suivant)

```

void setup(){

pinMode(1,OUTPUT); // On attribue la borne numérique numéro 1 de la carte Arduino en mode sortie
digitalWrite(1,HIGH); // le courant est envoyé sur la borne 1, la LED s'allume
}

void loop(){

// pas d'information, la LED restera allumée indéfiniment

}

```

Atelier « Faire briller puis éteindre une LED »

Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Matériel : Même matériel que dans la fiche « Faire briller une LED »

Montage : On garde le montage précédent. (Sortie 1 de la carte Arduino)

Code permettant d'allumer puis d'éteindre la LED :

Pour que la LED puisse s'allumer puis s'éteindre, il faut passer la sortie 1 de l'état haut (HIGH : le courant passe) à l'état bas (LOW : le courant ne passe pas).

On ajoute la fonction **delay**, qui va attribuer une durée de fonctionnement dans un état et dans l'autre. [Attention la durée est exprimée en milliseconde]

Nous souhaitons une alternance entre les 2 états. Après l'attribution de la sortie 1 dans le **setup**, le reste du code s'écrit dans la partie **loop**.

```

void setup(){

pinMode(1,OUTPUT); // On attribue la borne numérique numéro 1 de la carte Arduino en mode sortie

}

void loop() {

digitalWrite(1,HIGH); // le courant est envoyé sur la borne 1, la LED s'allume
delay(1000);          // pendant une durée de 1 000 millisecondes soit 1 seconde

digitalWrite(1,LOW); // le courant est envoyé sur la borne 1, la LED s'allume
delay(500);          // pendant une durée de 500 millisecondes soit 0,5 seconde

}

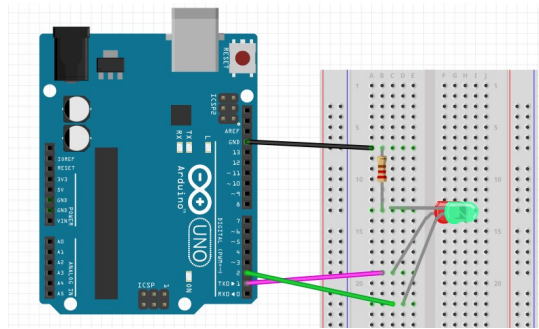
```

Atelier « Faire clignoter deux LED en alternance »

Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

Matériel : Même matériel que l'atelier « Faire briller puis éteindre une LED »

Montage : On modifie la position des composants (LED et résistance) pour n'utiliser qu'une seule résistance.



Code permettant d'allumer puis d'éteindre la LED.

Pour que les actions allumer la diode rouge et éteindre la diode verte soient simultanées, il faut que les instructions soient écrites avant la fonction **delay**.

```
void setup(){
  pinMode(1,OUTPUT); // On attribue la borne numérique numéro 1 de la carte Arduino en mode sortie pour la
  diode rouge
  pinMode(2,OUTPUT); // On attribue la borne numérique numéro 2 de la carte Arduino en mode sortie pour la
  diode verte
}
void loop() {
  digitalWrite(1,HIGH); // le courant est envoyé sur la borne 1, la LED s'allume
  digitalWrite(2,LOW); // le courant est coupé sur la borne 2, la LED est éteinte
  delay(1000);          // Les 2 actions (simultanées) sont effectuées pendant 1000 millisecondes, soit 1 seconde
  digitalWrite(1,LOW); // le courant est coupé sur la borne 1, la LED s'allume
  digitalWrite(2,HIGH); // le courant est envoyé sur la borne 2, la LED s'allume
  delay(500);           // Les 2 actions (simultanées) sont effectuées pendant 500 millisecondes, soit 0,5 seconde
}
```


3. Un modèle de pixel RVB contrôlable

Thèmes :

Expérimenter la synthèse additive des couleurs avec Arduino

Mots clés :

- Synthèse additive des couleurs
- Pixel

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

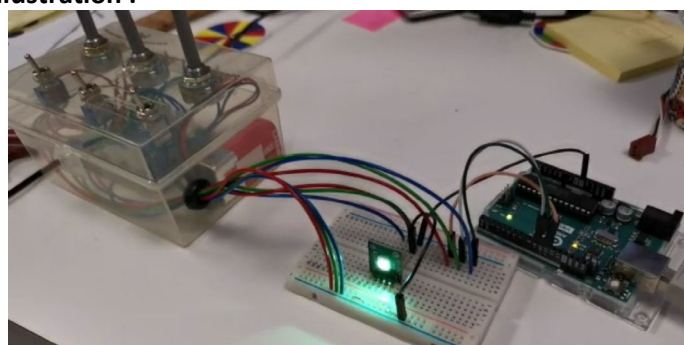
Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2-4 élèves

Objectifs :

- Découvrir l'utilisation d'une carte Arduino pour piloter une source LED RVB
- Rappeler et expérimenter les principes de la synthèse additive des couleurs
- Réaliser un modèle simple de pixel contrôlable

Liste du matériel :

- Carte Arduino + connectique
- Source LED RVB
- PC (non fourni)
- Lentille convergente
- Ecran

Illustration :

© Equipe Fête de la Science - Institut de la Vision (Sorbonne Université)

Étapes :

1. Câbler la LED RVB sur la carte Arduino
2. Ecrire le programme pour piloter chacune des 3 LED (voir atelier « Un modèle de pixel RVB contrôlable »)
3. Utiliser une lentille convergente pour mélanger les 3 couleurs RVB sur un écran

Remarques/conseils :

- Ce module contient 3 diodes (rouge, verte et bleue), combinées pour pouvoir créer une lumière de différentes couleurs par synthèse additive (blanc, jaune, rose magenta, bleu cyan...). Il est commandé via 3 sorties digitales de l'Arduino et 3 résistances pour alimenter les connecteurs R V et B du module. Il faut en outre connecter la patte GND à la masse GND du module Arduino.
- Le réglage de la couleur peut se faire en commandant l'allumage de chaque LED avec une fonction de signal carré avec un rapport cyclique variable (modulation de largeur d'impulsion = PWM). La période du signal carré peut de préférence être inférieure à 50 - 100 ms pour éviter que l'œil humain ne voit le clignotement (persistance rétinienne). La fonction utilisée est analogWrite.
- Il peut être intéressant de développer un contrôle manuel avec des potentiomètres (voir illustration ci-dessus) et mettre au défi le public, les élèves, de générer une couleur présentée sur un écran.

Observations et interprétations :

Exploiter les expériences et notions abordées dans les tutos « Additionner les couleurs » et « La vision des couleurs »

Ouvertures et applications :

Fonctionnement des écrans des smartphones, TV, PC

Auteur : Christophe Daussy (LPL/USPN)

Atelier « Un modèle de pixel RVB contrôlable »

Source : atelier UADB Christophe Daussy, Lorette Daussy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2022

LED_RVB §

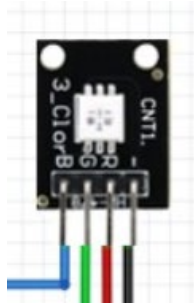
```
const int led_r=11;
const int led_v=10;
const int led_b=12;
//fonction d'initialisation de la carte
void setup() {
  pinMode(led_r,OUTPUT);
  pinMode(led_v,OUTPUT);
  pinMode(led_b,OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(led_r,HIGH);
  digitalWrite(led_v,LOW);
  digitalWrite(led_b,LOW);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,LOW);
  digitalWrite(led_v,HIGH);
  digitalWrite(led_b,LOW);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,LOW);
  digitalWrite(led_v,LOW);
  digitalWrite(led_b,HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,HIGH);
  digitalWrite(led_v,HIGH);
  digitalWrite(led_b,HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,HIGH);
  digitalWrite(led_v,LOW);
  digitalWrite(led_b,HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,HIGH);
  digitalWrite(led_v,HIGH);
  digitalWrite(led_b,LOW);
  delay(2000);
  digitalWrite(led_r,LOW);
  digitalWrite(led_v,HIGH);
  digitalWrite(led_b,HIGH);
  delay(2000);
}
```

Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

FAIRE BRILLER LA DIODE RVB

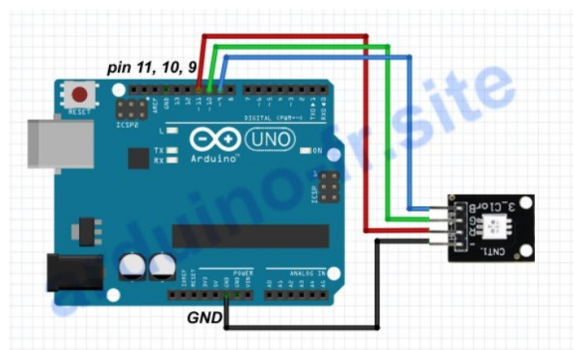
La diode RVB permet d'obtenir toute une palette de couleur. Pour cela il faudra fournir une valeur comprise entre 0 et 255 pour chacune des couleurs Rouge – Vert et Bleue. La codification reprend celle d'un logiciel de traitement d'image ou d'attribution des couleurs sur une suite bureautique.



Matériel :

On utilise une carte Arduino Uno, des fils de connexion, une platine, (la résistance de protection n'est pas utile avec ce composant), la diode CNT1.

Montage :



Code permettant d'allumer la diode CNT1 (lumière blanche puis R,V,B,C,M,J)

L'instruction #define de l'IDE Arduino vous permet de nommer des valeurs (constantes) qui rendent le programme plus compréhensible. Il est possible de définir le nom d'une constante ou d'un fragment de code une fois au début du programme, puis d'utiliser uniquement ce nom dans code pour Arduino Uno.

Ici, nous définirons les constantes R ? VET B ? Qui correspondront aux broches (PINS) 11 ,10 et 9.

```
#define R 11 // la broche 11 contrôle l'intensité de la couleur rouge
#define V 10 // la broche 10 contrôle l'intensité de la couleur verte
#define B 9  // la broche 9 contrôle l'intensité de la couleur bleue

void setup() {
  pinMode(R, OUTPUT); // La broche 11 ( couleur Rouge) est en mode sortie
  pinMode(V, OUTPUT); // La broche 10 ( couleur Verte) est en mode sortie
  pinMode(B, OUTPUT); // La broche 9 ( couleur Bleue) est en mode sortie
}
```



```
void loop() {

    analogWrite(R, 255); // On affecte l'intensité maximale au rouge
    analogWrite(V, 255); // On affecte l'intensité maximale au vert
    analogWrite(B, 255); // On affecte l'intensité maximale au bleu

}
```

Observation : la diode doit fournir une lumière blanche.

Quelles valeurs faut-il fournir aux variables R, V, et B pour obtenir :

- Du rouge,
- Du vert,
- Du bleu,
- Du jaune,
- Du cyan,
- Du magenta

Nous allons maintenant allumer puis éteindre la diode RVB. A chaque fois que la diode se rallumera elle changera de couleur. Nous allons programmer l'enchaînement suivant : Blanc Rouge Vert Bleu Cyan Magenta Jaune.

Rappelons qu'il faut ajouter la fonction **delay** entre chaque couleur pour programmer une durée de fonctionnement.

Le montage est inchangé

On reprend les lignes de codes du programme précédent.

On ajoute un **delay** de 2000 (millisecondes).

On **copie/colle** le code d'allumage de la diode et le delay.

```
    analogWrite(R, 255); // On affecte l'intensité maximale au rouge
    analogWrite(V, 255); // On affecte l'intensité maximale au vert
    analogWrite(B, 255); // On affecte l'intensité maximale au bleu

    delay(2000) ;
```

Il nous reste à modifier les valeurs des variables RVB pour obtenir les couleurs souhaitées.

	Blanc	Rouge	Vert	Bleu	Cyan	Magenta	Jaune
Variable R	255	255	0	0	0	255	255
Variable V	255	0	255	0	255	0	255
Variable B	255	0	0	255	255	255	0



Par exemple, pour l'enchaînement Blanc rouge vert, le code serait le suivant.

```
#define R 11 // la broche 11 contrôle l'intensité de la couleur rouge
#define V 10 // la broche 10 contrôle l'intensité de la couleur verte
#define B 9  // la broche 9 contrôle l'intensité de la couleur bleue

void setup() {
  pinMode(R, OUTPUT); // La broche 11 ( couleur Rouge) est en mode sortie
  pinMode(V, OUTPUT); // La broche 10 ( couleur Verte) est en mode sortie
  pinMode(B, OUTPUT); // La broche 9 ( couleur Bleue) est en mode sortie
}

void loop() {

  // on allume la diode en lumière blanche

  analogWrite(R, 255); // On affecte l'intensité maximale au rouge
  analogWrite(V, 255); // On affecte l'intensité maximale au vert
  analogWrite(B, 255); // On affecte l'intensité maximale au bleu

  delay(2000) ;

  // on allume la diode en lumière rouge

  analogWrite(R, 255); // On affecte l'intensité maximale au rouge
  analogWrite(V, 0); // On affecte l'intensité maximale au vert
  analogWrite(B, 0); // On affecte l'intensité maximale au bleu

  delay(2000) ;

  // on allume la diode en lumière verte

  analogWrite(R, 0); // On affecte l'intensité maximale au rouge
  analogWrite(V, 255); // On affecte l'intensité maximale au vert
  analogWrite(B, 0); // On affecte l'intensité maximale au bleu

  delay(2000) ;
}
```

FAIRE VARIER L'INTENSITE DE LA DIODE RVB

Dans cet exemple nous allons faire varier l'intensité de la broche 11 qui code la couleur rouge. Nous ne souhaitons pas utiliser les broches 10 et 9. Nous n'allons pas les déclarer !

Nous devons déclarer un entier `int`. Nous attribuons une valeur à `i`, puis nous la faisons varier. « `i` » ne pourra prendre que des valeurs entre 0 et 255.

Pour que la valeur de « `i` » évolue nous l'incluons dans une boucle « `for` ».

La boucle `for` est utilisée pour répéter certaines commandes placées entre accolades. Cette boucle est adaptée à l'exécution de toute action répétitive. Le but étant donc d'initialiser une variable à une certaine valeur, la faire évoluer d'un pas fixe à chaque tour pour sortir de la boucle une fois une condition atteinte.

Code permettant la variation d'intensité de la couleur rouge

```
#define R 11

void setup() {
  pinMode(R, OUTPUT);
}

void loop() {
  // On attribue la valeur 0 à i puis on l'incrémente de 1 tant que i est inférieur ou égal à 255
  for (int i = 0; i <= 255; i++) {
    analogWrite(R, i);

    delay(10); // stoppe le programme pendant 10 millisecondes
  }
  // On attribue la valeur 255 à i puis on l'décrémente de 1 tant que i est supérieur ou égal à 0
  for (int i = 255; i >= 0; i--) {
    analogWrite(R, i);

    delay(10); // stoppe le programme pendant 10 millisecondes
  }
}
```


4. Transmission d'un signal par fibre optique

Thèmes :

Réaliser un modèle de ligne de transmission Télécom par fibre optique

Mots clés :

- Réflexion totale/Fibre optique
- Codage binaire
- Télécommunication

Niveau :

- ☐ Premier degré (jusqu'à 10 ans)
- ☒ Second degré (11 ans à 17 ans)
- ☒ Supérieur (plus de 18 ans)

Conditions :

Durée de l'expérience : 3-4 h
Atelier par groupes de 2-4 élèves

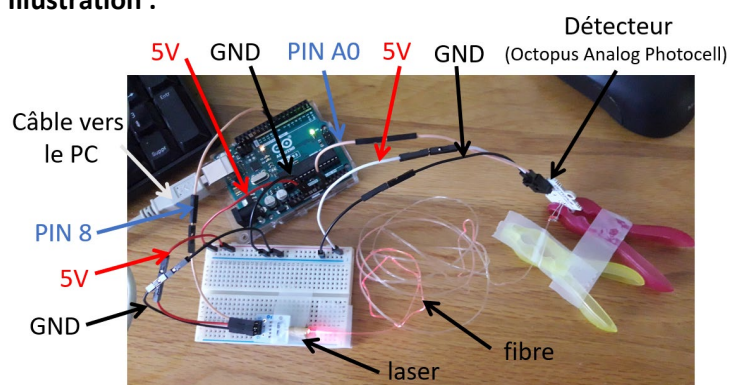
Objectifs :

- Découvrir l'utilisation d'une carte Arduino pour piloter une source laser et un capteur de lumière
- Expérimenter la réflexion totale (pour le guidage de la lumière)
- Réaliser un modèle simple de ligne de transmission par fibre optique

Liste du matériel :

- Carte Arduino + connectique
- Diode laser / Photodétecteur
- Fibre optique / Barreau de plexi
- Source LED
- Pincettes à linge + Patafix
- PC (non fourni)

Illustration :



Crédit : C. Daussy – LPL/USPN

Étapes :

1. Guidage de la lumière dans une fibre optique avec le pointeur laser et observation de la réflexion totale dans le barreau
2. Initiation au codage (Morse ou binaire) d'un signal transmis par la LED ou du pointeur laser
3. Pilotage du laser par la carte Arduino (ON/OFF)
4. Interfaçage du photodétecteur (visualisation sur le PC du signal détecté)
5. Réalisation d'un modèle simple de ligne de transmission télécom par fibre optique

Remarques/conseils :

- Réaliser dans un premier temps une transmission en espace libre (sans fibre optique)
- Bien fixer la fibre optique afin d'injecter la lumière du laser (utiliser pince à linge et Patafix)
- Bien fixer le photodétecteur en face de la sortie de la fibre optique pour collecter le maximum de lumière (utiliser pince à linge et Patafix)
- Observer sur l'interface du PC le signal électrique délivré par le photodétecteur avec l'éclairage ambiant et le laser OFF afin de régler le seuil du détecteur entre laser OFF (bit 0) et laser ON (bit 1)

Observations et interprétations :

- Réflexion totale dans le barreau de plexiglas
- Signal électrique délivré par le photodétecteur avec le laser ON ou OFF via le moniteur série

Ouvertures et applications :

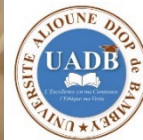
- Transmettre le mot LASER ou un code numérique à 4 chiffres (pour pouvoir ensuite ouvrir un cadenas par exemple) en utilisant un signal binaire.
- Sur une ligne de transmission Télécom par fibre optique le signal est codé sous forme binaire. Dans une fibre optique l'information se propage à environ 200 000 km/s. Notion de bande passante.

Auteur : Christophe Daussy (LPL/USPN) / Lorette Daussy (Polytech Sorbonne/SU)

Ressources complémentaires

Atelier « Transmission d'un code secret pour l'ouverture d'un cadenas »

Conception de l'atelier : Christophe Daussy, Lorette Daussy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2022



TP transmission par fibre en Licence 3 (Bambey – Sénégal) – mai 2022

Introduction du codage binaire (sur 4 bits) d'un chiffre entre 0 et 9 :

Exemple 6 : division euclidienne (division entière avec reste)

$$6/2 = 3 \text{ reste } 0$$

$$3/2 = 1 \text{ reste } 1$$

$$1/2 = 0 \text{ reste } 1$$

$$0/2 = 0 \text{ reste } 0$$

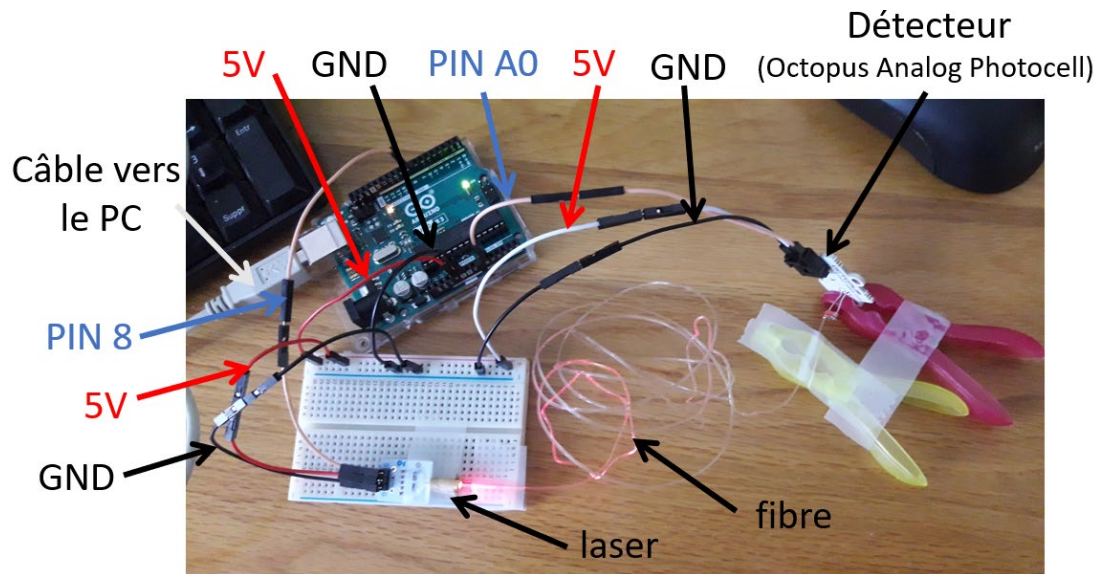
Codage binaire du 6 : 0 1 1 0



Déc	BCD			
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Réalisation du montage :

- Alimenter le laser GND/5V/Signal. Brancher le laser sur le port Digital #8
- Alimenter le détecteur (Octopus) GND/5V/Signal. Brancher le détecteur sur l'entrée Analog IN A0 (signal ensuite transmis au PC via le câble USB).



Programme :

Ecrire le programme ci-dessous.

Fichier Édition Croquis Outils Aide

```

laser_code_secret_tableau

const unsigned int laserPin = 8;
const unsigned int detecteurPin = A0;
const unsigned int numVal = 16; //nombre de valeurs dans tableau
unsigned int code[numVal]; //tableau
const unsigned int seuil = 305;

void setup ()

{
  int code[]={0,1,1,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,0,0,1}; //code secret en binaire correspondant à 6 8 9 1
  pinMode (laserPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);

  for (unsigned int i=0; i<numVal; i++){
    //emission
    digitalWrite (laserPin,code[i]); //envoyer bits avec laser
    delay(1000); //attendre 1 sec
    //reception
    if(analogRead(detecteurPin)> seuil){ //convertir la valeur recue par le detecteur en numerique avec un seuil à ajuster
      Serial.println(analogRead(detecteurPin));
      Serial.println(1);
    }else{
      Serial.println(analogRead(detecteurPin));
      Serial.println(0);
    }
    delay(1000); //attendre 1 sec
  }
}

void loop () {

```

Exécuter le programme et ouvrir aussitôt le moniteur série pour visualiser les valeurs renvoyées par le détecteur (raccourci CTRL+Maj+M).