



Light Box

LE KIT PÉDAGOGIQUE DE PHOTONIQUE

GUIDE PROJETS

Edition septembre 2024





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), Karine Blampain (Ecole Anatole France, Epinay-sur-Seine), Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur), 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), Mostefa Mesmoudi (Collège J.-Y. Cousteau, Bussy-Saint-Georges), 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), Erick Serquen (National University Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque, Pérou), Alain K. Tossa (Université d'Abomey - Calavi - Bénin), Vladimir Tuñoque (National University Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque - Pérou)

Participants à la production collaborative des kits LightBox :

Mouhamadou Lamine Coly (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers), François Piuze, Laure Rougeron (Coordinatrice Cité Educative Epinay-sur-Seine), Mathieu Roy (Chargé de mission - Cités éducatives d'Epinay-sur-seine et de Saint-Denis)

Adam Yacoubi, Sadjid Abdoul Azis, Gabin Clairon, Samuel Béguin-Berthet, Jenna Laboudi (stagiaires 3^{ème})

Coordination du projet LightBox :

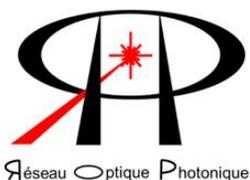
Christophe Daussy (Université Sorbonne Paris Nord - Laboratoire de Physique des Lasers) pour la Société Française d'Optique et l'Association Atouts Sciences

Contact :

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



Ils soutiennent ce projet :



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

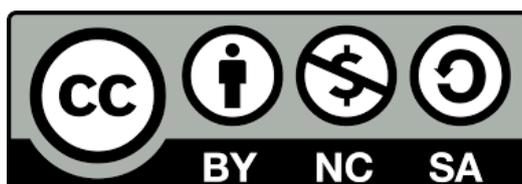
Adapter — remixer, transformer et créer à partir du matériel

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	10
4. Contenu du guide projets.....	12
II. Quelques ressources bien utiles	15
III. Propagation de la lumière	21
1. Comment se propage la lumière ?	22
2. Quel est l'effet d'un miroir sur la lumière ?	40
3. Qu'est-ce qu'un milieu transparent ?	48
4. Peut-on faire un miroir transparent ?.....	53
IV. Image et vision	57
1. Que fait une lentille convergente ?.....	58
2. Comment projeter une image sur un écran blanc ?.....	59
3. Peut-on obtenir une image sans écran ?.....	62
4. Que voit-on dans un miroir ?.....	64
V. Lumière colorée	67
1. Qu'est-ce que la lumière blanche ?.....	68
2. Qu'est-ce qui fait la couleur d'un objet ?.....	71
3. « Additionner » les couleurs.....	96
4. La vision des couleurs.....	108
5. Spectres des sources lumineuses	111
VI. Polarisation	117
1. La polarisation de la lumière	118
2. Polarisation et biréfringence	121
VII. Onde lumineuse	127
1. Diffraction par un obstacle.....	128
2. Diffraction par une fente.....	131
3. « Additionner » la lumière.....	132
4. Qu'est-ce qu'un hologramme ?.....	136



VIII. Emission/détection pilotées par Arduino	137
1. Présentation des composants	138
2. Faire briller une LED	145
3. Un modèle de pixel RVB contrôlable.....	149
4. Transmission d'un signal par fibre optique	155
IX. Energie solaire	161
1. La LED à énergie solaire.....	162
2. Le chargeur solaire de batteries	163
3. Le moteur solaire.....	164

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.

La LightBox est une action conçue pour l'enseignement et la diffusion de la culture scientifique afin d'encourager le développement de projets expérimentaux créatifs en optique. Elle vise à rapprocher les acteurs de l'enseignement, de la médiation, de l'animation et ceux de l'enseignement supérieur et de la recherche. Cette action a été développée dans un souci de polyvalence afin de pouvoir être mobilisée dans des contextes très variés de l'enseignement et de la médiation scientifique. Elle s'appuie sur un kit pédagogique ainsi que sur un dispositif de formation et d'accompagnement assuré par des référents scientifiques.

L'action LightBox a été conçue par Atouts Sciences, association animée par des membres du Laboratoire de Physique des Lasers (Université Sorbonne Paris Nord – CNRS) qui mènent depuis 2014 des actions en faveur de la diffusion de la culture scientifique dans le nord parisien. La promotion et la diffusion des kits est assurée par la commission enseignement de la SFO ainsi que par la commission Physique/Optique sans frontières (SFP/SFO) pour les pays d'Afrique et d'Amérique latine.

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. Les kits ont été labélisés par le CNRS pour l'Année de la Physique 2023/2024.



International
Day of Light

16 May

L'ensemble des ressources pédagogiques ainsi que les dernières mises à jour de ce guide sont accessibles en ligne sur le site de la Société Française d'Optique (onglet « Grand public ») à l'adresse suivante : <https://www.sfoptique.org/>

SCAN ME



Le kit est mis à disposition pour une année scolaire. Les enfants, les élèves et leurs encadrants sont ensuite libres d'imaginer leur projet pour explorer quelques-unes des propriétés étonnantes de la lumière en favorisant créativité, expérimentation et approche pluridisciplinaire. 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...).

Les projets conduisent généralement à des productions présentées sous la forme de démonstrations, de stands, de vidéos, d'exposés ou encore de posters. Les porteurs et référents sont incités à coorganiser une restitution du projet à l'occasion de la Journée Internationale de la Lumière (le 16 mai).

En fin d'année scolaire il est demandé au porteur de projet de rédiger un rapport que nous utilisons pour assurer un suivi de l'utilisation des kits. Dans une démarche participative, ces retours d'expériences permettent également de faire évoluer et d'adapter le contenu du kit LightBox. La partie ressources complémentaires du guide est ainsi alimentée chaque année par la communauté des utilisateurs. Dans son rapport, le porteur de projet indique enfin s'il souhaite conserver le matériel pour une année supplémentaire. A défaut, le kit est restitué, reconditionné, puis mis à disposition de nouveaux utilisateurs. Le choix de ce format de prêt s'inscrit dans une démarche de sobriété et de durabilité qui permet d'optimiser le taux d'utilisation des kits.

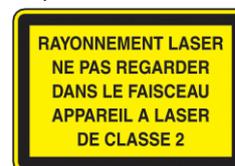
2. Consigne de sécurité laser

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.

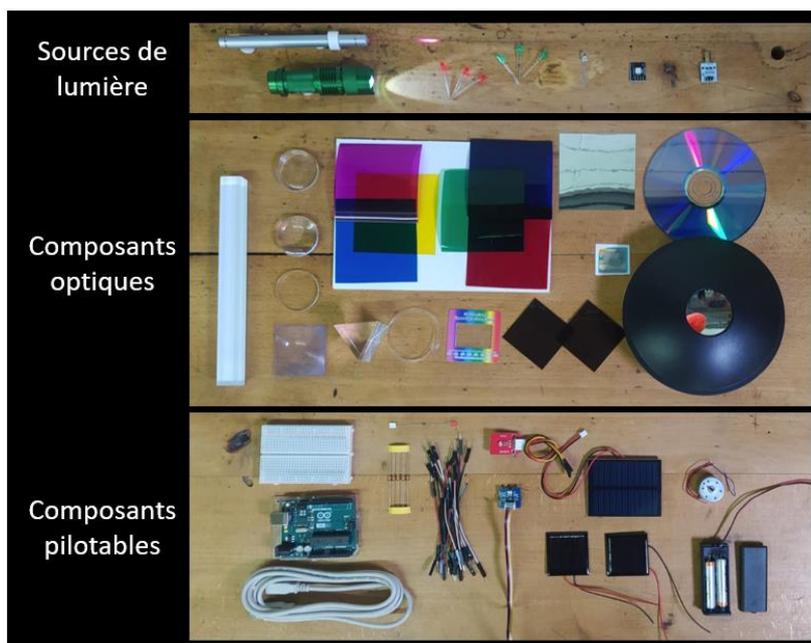


La source laser ne doit être manipulée avec précaution en s'assurant de ne jamais se placer dans des conditions de vision directe dans le faisceau.

3. Contenu du kit pédagogique

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

Le kit a été conçu dans l'esprit des sciences frugales pour être accessible au plus grand nombre tout en proposant des expériences simples mais efficaces qui peuvent être exploitées aussi bien pour leur caractère ludique ou spectaculaire dans le contexte d'actions de médiation que pour leur intérêt didactique dans le cadre scolaire. Les composants choisis sont robustes et manipulables en toute sécurité par tous.



Composants contenus dans le kit pédagogique

Fourni en un unique exemplaire, le kit est particulièrement adapté pour des démonstrations en petit groupe avec des expériences au plus près du public. Pour une présentation en grand groupe, le matériel doit simplement être complété par des sources lumineuses plus intenses adaptées à ce type d'intervention. Enfin pour un atelier science dans le cadre scolaire ou périscolaire un lot de plusieurs kits est mis à disposition afin de permettre un travail en petits groupes.

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, la transmission d'information par laser ou la production d'énergie avec un panneau solaire.

De manière générale les expériences sont plus spectaculaires lorsqu'elles sont réalisées dans la pénombre (sauf la production d'énergie solaire !). 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) !**
- **Des sources de lumière contrôlables en intensité** :
 - **3 LEDs rouges, 3 vertes et 1 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.

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

- **1 Barreau de plexiglas** : Une des extrémités est polie, 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, réfraction, ainsi que la réflexion totale interne (guidage dans les fibres optiques).
- **1 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 4 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.
- **1 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).
- **1 Miroir plan** : il permet l'étude de la réflexion (égalité des angles d'incidence et de réflexion)
- **1 Mirascope** : Grâce à un jeu de miroirs paraboliques, il permet de visualiser l'image tridimensionnelle d'un objet (ce n'est pas un hologramme !).
- **6 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 l'écran fourni.
- **2 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...
- **1 Réseau de diffraction et 1 CD** pour observer le phénomène de diffraction, avec un laser ou en lumière blanche. On peut comparer avec un DVD, un fil fin ou encore un cheveu.
- **1 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 pilotables (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. Le kit contient :

- **1 module Arduino Uno + 1 câble d'alimentation + 1 plaquette test + 1 jeu de fils de connexion + 5 résistances électriques de 330 Ω + 1 diode + 2 batteries AAA 1,5V et un support de batteries**
- **1 cellule solaire 70mm x 55mm (5,5V – 110mA) + 2 cellules solaires 40mm x 40mm (1,5V- 100mA)**
- **1 moteur solaire (à faible inertie et faible courant de démarrage)**
- **2 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 kit est accompagné d'un guide projets qui propose plus de 40 pistes d'expérimentations autour 7 thématiques illustrées sur la figure suivante. Chaque thématique est développée sous la forme de fiches pédagogiques et de ressources complémentaires. Les fiches pédagogiques présentent des expériences simples réalisables avec le matériel contenu dans le kit en indiquant les principaux objectifs, le matériel utilisé, les observations attendues ainsi que des éléments d'interprétations et d'ouvertures.

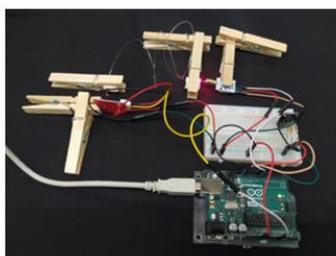


Les ressources complémentaires, produites par des responsables de projets et validées par les référents scientifiques présentent :

- 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...)



Lumière colorée



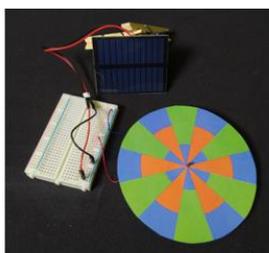
Emission/détection pilotées par Arduino



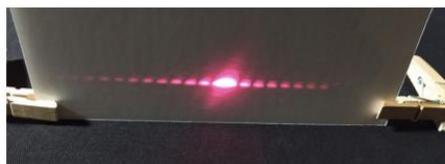
Propagation de la lumière



Image et vision



Energie solaire



Onde lumineuse



Polarisation

Les 7 thématiques du guide projets

Ce guide ne vise pas l'autonomie de ses utilisateurs face à la diversité des projets scientifiques qu'ils peuvent imaginer. Il doit au contraire être une source d'inspiration et de questionnements à l'origine d'interactions entre le porteur de projet et son référent scientifique qu'il peut solliciter pour être formé ou guidé dans la réalisation et l'interprétation de ses expériences. Le tableau suivant présente les entrées par âge ou niveau scolaire :

Chapitre	Premier degré (moins de 10 ans)	Second degré (10-18 ans)	Supérieur (plus de 18 ans)
Propagation	☺ ☺	☺ ☺	☺
Image et vision	☺ ☺	☺ ☺	☺
Lumière colorée	☺ ☺	☺ ☺	☺ ☺
Polarisation		☺	☺ ☺
Onde lumineuse		☺	☺ ☺
Emission/détection par Arduino		☺ ☺	☺ ☺
Energie solaire	☺	☺ ☺	☺ ☺



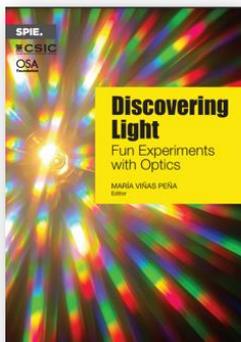


II. Quelques ressources bien utiles



<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

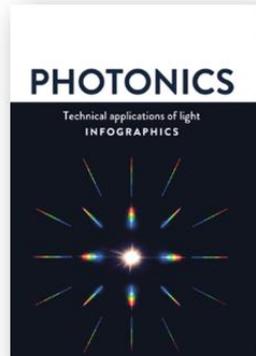
<https://spie.org/samples/PM324.pdf>



Une multitude d'idées d'expériences accompagnées d'un guide pratique pour la maternelle et jusqu'au cycle 3 :

Sciences à l'école, Côté jardin - Éditions du Somnium - Estelle Blanquet

<https://hal.science/hal-03934321f>



Des infographies pour illustrer vos expériences en photonique

Photonics - SPIE

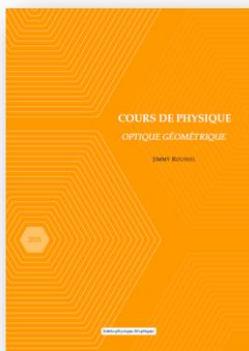
<https://www.spiedigitallibrary.org/ebooks/PM/Photonics-Technical-Applications-of-Light/1/Photonics-Technical-Applications-of-Light-Full-Book/10.1117/3.2507083.sup>



Un guide très accessible pour faire ses premiers pas avec Arduino

Arduino : premiers pas en informatique embarquée - Zeste de savoir

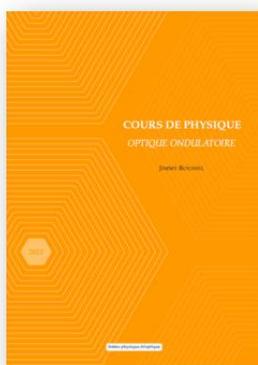
<https://zestedesavoir.com/tutoriels/pdf/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee.pdf>



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

Ressources sur les thèmes « Lumière, ombres et couleurs » pour les cycles 1, 2 et 3

<https://fondation-lamap.org/preparez-votre-classe/themes-scientifiques-premier-degre/lumiere-ombres-et-couleurs>



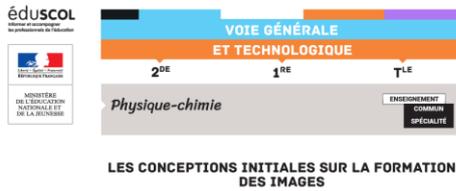
Ressources pour les enseignants produites par une équipe de didacticiens des sciences :

<https://pegase.ens-lyon.fr/enseigner>



Document répertoriant et analysant les principales conceptions initiales des élèves en optique

<https://eduscol.education.fr/document/22870/download>



Kit et ressources autour de la couleur (parfaitement adapté pour le premier degré)

<https://www.123couleurs.fr/>



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 le 20 octobre 2022, 22 14 12:07



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

<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 : Formation de professeurs du premier degré de l'académie de Rennes par la MPLS de Bretagne (Ploërmel)

© MPLS de Bretagne

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

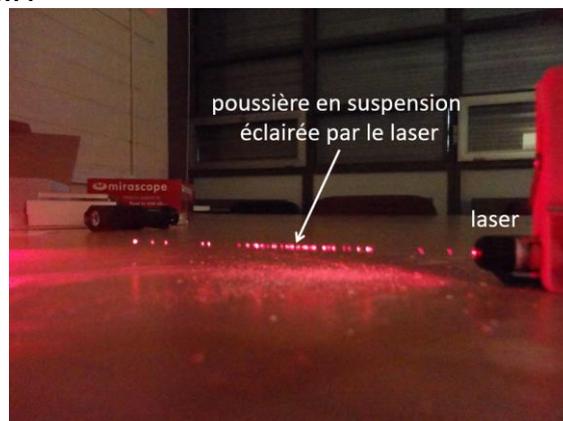
Objectifs :

- 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

Étapes :

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)

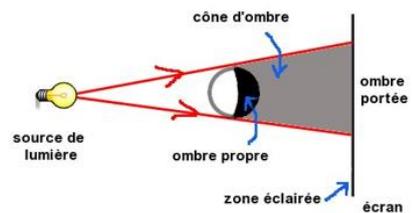
Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL-USPN)

Ressources complémentaires

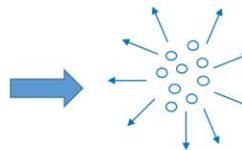
Les concepts essentiels

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



Atelier « Comment faire varier la taille d'une ombre »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - le guide pratique de l'enseignant, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

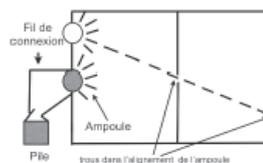
Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

Objectif général :

Approfondir la compréhension de l'ombre.

Une ombre est associée à une source, dont un obstacle empêche la lumière de parvenir dans une zone située du côté opposé à la source. Pour faire varier la taille de l'ombre avec une source de lumière non parallèle, on peut déplacer soit l'écran, soit la source, soit l'obstacle, en gardant les deux autres éléments constants. Un autre moyen est de changer la direction sous laquelle le faisceau lumineux éclaire l'obstacle.



Matériel

Par groupe : 1 lampe torche puissante ; 1 obstacle opaque (bâtonnet de colle par exemple) ; 1 écran (carton épais et papier blanc) ; 1 baguette en bois rigide de 40 cm de long (ou 2 pics à brochette mis bout à bout) ; 1 boîte à chaussures, 1 ampoule, 1 douille, 1 pile 4,5V, du fil métallique ou du papier d'aluminium pour assurer les contacts.

(voir le schéma de la boîte à droite, vue de dessus et sans couvercle)

Par élève : 1 règle ; feutres et crayons de couleurs.

Pour l'enseignant : ruban adhésif ou TMPatafix.

Éventuellement, projecteur de diapositives.

Budget

 Lampes-torches : 6 € l'unité (ou prêt des parents).

Préparation : 35 minutes

 **Réalisation d'écrans :** Feuille blanche A4 collée sur un carton épais maintenu vertical (de la pâte à modeler peut servir de socle) – cf. p. E-03.

Montage des boîtes : Percer un trou du diamètre de la douille (typ. Ø 8 mm) sur une petite face et y insérer l'ampoule. Percer trois trous d'observation (Ø 5 mm environ) sur la face opposée. À l'intérieur de la boîte, monter un "mur" de carton percé d'un trou supplémentaire, dans l'alignement de l'ampoule et de l'un des trois trous d'observation (s'en assurer à l'aide de la baguette). L'intérieur doit être uniformément sombre (papier TMCanson noir ou peinture).

Conditions spécifiques

Temps ensoleillé pour le lancement du travail ; salle de classe obscure (*a minima*, rideaux baissés).

Difficultés travaillées :

Associer une ombre à une source de lumière ; pour les plus grands, utiliser le modèle des rayons lumineux et tracer les rayons-limite (passant par l'extrémité de l'objet considéré) qui déterminent la taille de l'ombre.

Lien avec le programme :
ombres et lumières



Cycles 2 & 3



4 heures environ



Séquence E-02

Sur les traces d'Ératosthène

Séquence E-03

Ombres colorées

Séquence M-08

Comment modifier
mon ombre ?

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
« Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »	Observer les caractéristiques d'une ombre	<i>Travail en groupe, aller-retour entre observations et dessins, bilan collectif</i>
Comment la lumière se déplace-t-elle ?	Représenter la lumière à l'aide de rayons lumineux rectilignes	<i>Travail en groupe puis confrontation des affiches et formulation collective de la réponse</i>
En utilisant la notion de rayon, comment expliquer la taille de l'ombre d'un bâtonnet de colle sur la table avec une lampe de poche ?	Associer ombre et source de lumière ; utiliser les rayons lumineux pour interpréter la taille de l'ombre	<i>idem</i>
Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ?	Utiliser les représentations en perspective, vues de dessus et de face	<i>idem</i>
Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?	Identifier les paramètres permettant de faire varier la taille d'une ombre	<i>idem</i>

Descriptif I/« Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »

Il s'agit pour les élèves, avant toute sortie à l'extérieur, de dessiner rapidement de mémoire trois éléments : eux-mêmes, leur ombre et le Soleil. Les dessins doivent être suffisamment grands pour être visibles de tous lors de la mise en commun.

Les dessins sont en général très différents (ombre attachée aux pieds ou non, Soleil du côté opposé ou non, ombre munie ou non d'yeux, d'un nez et d'une bouche, vue de profil ou de dessus, ombre nette ou tache floue, représentation ou non du sol). Cette diversité sert de point départ à la discussion. On peut proposer aux élèves de les regrouper par catégorie à l'aide des questions

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

« Qu'est-ce qui est pareil / pas pareil ? Quelles sont les différences entre les dessins ? ». On peut encore choisir des dessins représentatifs pour lancer la discussion. L'échange fait émerger des incompatibilités de point de vue entre les dessins.



La principale difficulté est ici la représentation d'un phénomène 3D sur une feuille plane (2D). Les élèves parviennent en général à trouver une solution qui les satisfait.

Comment savoir quel dessin représente le mieux la réalité ?

Il faut vérifier. L'observation dans la cour et les jeux au soleil (voir aussi les séquences ombres E-02, E-03 et M-08) permettent de régler les questions soulevées. L'enjeu est d'expliciter l'association entre l'ombre, la présence d'une source lumineuse et l'obstacle au passage de la lumière, et leurs positions respectives.

Il existe une zone, la zone d'ombre, depuis laquelle on ne voit pas le Soleil (et où une ombre peut se "cacher" dans une autre).



Après l'observation, demander un nouveau dessin et le comparer au précédent : une seconde observation dans la cour après discussion collective, puis un troisième dessin peuvent être nécessaires.

Est-il possible qu'un bâton vertical n'ait pas d'ombre au soleil ?

C'est une question à laquelle la plupart des élèves de cycle 3 répondent par l'affirmative en expliquant que le Soleil doit se trouver « au-dessus ». On peut aider les plus jeunes en le remplaçant par une lampe de poche qu'ils peuvent manipuler et déplacer. On leur demande ensuite d'expliquer le phénomène par un dessin. Les premiers dessins de rayons lumineux « droits » apparaissent parfois : *La lumière se déplace-t-elle en ligne droite ? Comment s'en assurer ?*



En inclinant le bâton, il peut ne plus avoir d'ombre. Il indique alors la direction des rayons du Soleil.

2/ Comment la lumière se déplace-t-elle ? (cycle 3)

Dans une salle obscure, la poussière ambiante permet en général d'observer des « rayons » de lumière solaire. On peut aussi visualiser un rayon issu d'une source artificielle (torche, projecteur) réduite à un point (obturateur en carton percé d'un trou, typ. \varnothing 1 mm). Il peut être nécessaire d'empoussiérer le trajet de la lumière (nuage de poussière de craie, de talc, etc.) pour le rendre plus visible. Après l'avoir ainsi observé, on admettra que la lumière se propage en ligne droite dans la classe, et par extension que c'est également vrai des rayons solaires.

On peut alors tester la pertinence du modèle des « rayons lumineux » pour interpréter des phénomènes.

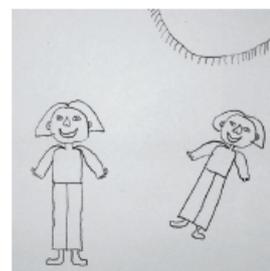


Fig. 1 : dessin réalisé de mémoire par une élève de CM2



Fig. 2 : dessin réalisé par la même élève après confrontation collective des dessins et première sortie pour observation de l'ombre



Fig. 3 : idem, après confrontation collective des deuxièmes dessins et deuxième observation dans la cour



On présente la boîte à chaussures ouverte. «À votre avis, quand la boîte est fermée et l'ampoule allumée, par quel trou peut-on voir la lumière ?». Les élèves doivent justifier leur réponse par un dessin avant de la vérifier en mettant l'œil au(x) trou(s) qu'ils ont choisi(s). Ils optent généralement pour une vue du dessus, en coupe au niveau des trous.



S'assurer au préalable qu'il n'y a pas de lumière parasite visible par les autres trous, hors alignement (les parois doivent être noires, les trous bien alignés, le couvercle bien fermé).

On désire maintenant éclairer un autre trou d'observation. Où faut-il placer la nouvelle ampoule ? (lorsqu'on sera d'accord sur son emplacement, on devra percer un trou supplémentaire pour sa douille, dans l'alignement du nouveau trou d'observation et de celui du mur en carton).



Pour identifier le point à percer, les élèves peuvent s'aider d'une baguette rigide (pic à brochette) traversant les deux trous existants.

Reste alors à vérifier en allumant l'ampoule. Peut-on faire la même chose pour le troisième trou d'observation ? Ne pas oublier de dessiner avant de vérifier : une droite partant de l'ampoule et passant à travers les deux trous choisis représente le rayon de lumière qui arrive jusqu'à notre œil (c'est une vue de dessus).

3/Comment expliquer la taille de l'ombre ? (cycle 3)

Avec ce modèle des rayons lumineux, peut-on maintenant expliquer la taille de notre ombre au Soleil ? Après avoir laissé les élèves exprimer leurs idées, vous pouvez leur proposer de les justifier en dessinant un bâtonnet de colle, éclairé par la source lumineuse utilisée (lampe torche). Lors de la mise en commun, les dessins avec une vue de profil prédominent.



On constate souvent un mélange des vues de profil, de dessus, en perspective.

Choisissez parmi les dessins ou présentez si nécessaire aux élèves une vue de profil du dispositif : Que représentent les différents éléments représentés ? À quel endroit se placer pour voir le dispositif de cette façon ? Un trait horizontal peut représenter la table et un rectangle le bâtonnet. Comment représenter l'ombre ? En épaississant le trait représentant la table là où la lumière ne parvient pas, par exemple. Proposez alors d'utiliser cette représentation pour répondre à la question initiale.

Des élèves traceront spontanément un trait partant de l'extrémité du bâtonnet à l'extrémité de l'ombre pour fermer le triangle, sans nécessairement

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

le prolonger au-delà du bâton. *Que représente ce trait ?* Les échanges entre élèves devraient conduire à la notion de « rayon limite » : c'est le dernier rayon de lumière qui arrive sur la table en frôlant l'objet. L'utilisation des pics à brochette permet de visualiser ces rayons de lumière. Un nouveau dessin réalisé par les élèves permet de s'assurer de leur compréhension du phénomène. La mise en commun des dessins permet alors de conclure : l'ombre sur le sol est la zone où le bâtonnet empêche la lumière de la source de passer.



Il est facile de vérifier qu'il y a une zone derrière l'objet où la lumière ne passe pas ; par exemple, placer un objet plus petit dans l'ombre du bâtonnet.



Des dessins incorrects ne sont pas un obstacle pour la suite : un travail sur la séquence Ératosthène (E-02) permet d'asseoir la notion de rayons lumineux.

4/ Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ?

Un écran et la lampe éteinte sont posés sur la table : demandez aux élèves de dessiner le dispositif une fois la lampe allumée. La difficulté de représentation est souvent un obstacle au dessin : *Comment faire ?* Ne pas hésiter à préciser que cette difficulté est normale et que vous attendez d'eux qu'ils essaient : la mise en commun des dessins aidera à résoudre le problème.



Avec les plus jeunes, on peut directement allumer la lumière et dessiner ce que l'on voit.

L'affichage des premiers dessins révèle la diversité des options et la difficulté à comprendre ceux des autres. Il est donc nécessaire de se mettre d'accord sur ce qu'il faut représenter (la source, l'objet, l'écran, la table...) pour que le dessin soit compréhensible et sur le(s) mode(s) de représentation possible(s).

En s'appuyant sur les productions des élèves, introduire et comparer représentation en perspective, vue de dessus, vue de face et vue de profil. La perspective est délicate à dessiner rapidement ; sur la vue de dessus, le bâtonnet est représenté par un rond, l'écran par un trait, la table est délimitée par un rectangle, l'écran par une droite : la taille de l'ombre n'est pas représentée ; la vue de face permet de visualiser l'ombre sur l'écran, mais on ne peut pas tracer de rayons lumineux.

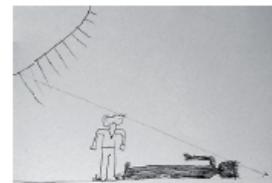
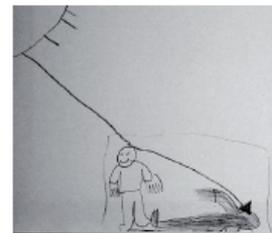
La vue de profil apparaît la mieux adaptée : en surlignant les traits représentant la table et l'écran, on peut visualiser leur ombre et dessiner les rayons lumineux

De haut en bas

Fig. 4 : un rayon pas très droit mais une réelle compréhension du phénomène

Fig. 5 : des rayons qui n'arrivent pas jusqu'au sol

Fig. 6 : difficulté de tracé avec l'ombre d'une personne (3 élèves différents de CMI)





Demander aux élèves ce qu'ils prévoient dans le cas où ils sont eux-mêmes l'objet, où le Soleil est la source de lumière et un mur, l'écran.

La vérification dans la cour conduira à une conclusion similaire : l'ombre part bien de leurs pieds.

pour les plus grands. Proposer alors aux élèves de faire un nouveau dessin en utilisant la vue de profil.



Pour aider les élèves à comprendre et visualiser les différentes représentations, leur demander de se placer de façon à voir le dispositif par dessus, de profil, de face, en perspective.



Pour les plus jeunes, proposez au choix des vues de profil ou en perspective à compléter.

De nouvelles différences apparaissent lors de la nouvelle mise en commun des dessins, en particulier : *L'ombre part-elle de la base de l'objet ou apparaît-elle uniquement sur l'écran ?*

Une observation du phénomène par chaque groupe permet de répondre à la question (l'ombre reste attachée à l'objet) et une nouvelle série de dessins est réalisée. Elle permet en outre de conforter la prise en main des représentations et de repérer l'appropriation des outils.

5/ Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?

Par groupe, les élèves sont amenés à expliciter leurs idées avant de manipuler pour vérifier leurs prévisions. Pour aider les élèves dans l'écriture de leur compte-rendu, ne pas hésiter à leur fournir la structure de l'affiche (cf. III-4).

La mise en commun des résultats permet d'insister sur le fait que, lorsque l'on a bougé la source par exemple, on ne peut conclure que si l'on a maintenu l'objet et l'écran immobiles. Ce travail peut être facilité par le remplissage pour chaque dispositif réalisé d'un tableau spécifiant tout ce que l'on peut déplacer et ce que l'on modifie. Pour prévoir l'évolution de la taille de l'ombre, il ne faut bouger qu'un élément (ombre, écran, objet) à la fois. C'est également l'occasion d'aider les élèves à formuler précisément leur pensée : *on rapproche/éloigne tel objet de tel autre objet, tel objet doit être plus près/loin de tel autre... sans modifier leurs positions respectives.* Par exemple, « Pour rendre l'ombre de l'objet plus petite, on peut le rapprocher de l'écran, sans bouger la source et l'écran ... ». On peut encore une fois les aider en indiquant pour chaque proposition « ce que l'on bouge » et « ce que l'on ne bouge pas ».

Ce que je peux modifier

Déplacer l'écran
 Déplacer la lampe sur la table
 Déplacer l'objet
 Incliner le faisceau par rapport à la table

Comment faire varier la taille d'une ombre ?

E-01

Certains élèves peuvent également proposer de déplacer la lampe de manière à modifier la direction générale du faisceau, toujours orienté vers l'objet. Il faut alors garder constante la distance entre la source et l'objet et ajouter ce paramètre dans la liste de «ce que l'on ne bouge pas». Ce travail peut être associé à l'étude des angles en mathématiques (cycle 3).

Prolongement : Observer et repérer l'évolution de l'ombre d'un bâton au soleil dans la cour au cours d'une journée permet de réinvestir le travail réalisé en classe. Renouvelés au fil de l'année, ces relevés sont des supports précieux pour travailler sur le phénomène des saisons.

Le théâtre d'ombres et l'histoire de Boucle d'or permettent de réinvestir les acquis (un projecteur de diapositives et un drap tendu suffisent). Découpez dans du carton trois gabarits identiques d'ours, de bols, de tables, de chaises, de lits et demandez aux élèves de s'arranger pour avoir sur l'écran un petit, un moyen, et un grand bol.

Propositions d'animations**Première animation :**

- « Dessine-toi, toi et ton ombre au soleil »
- Comment savoir quel dessin représente le mieux la réalité ?
- Observation dans la cour
- Nouveau dessin et confrontation des productions
- Identification des dessins corrects dans un lot de dessins fournis
(dessins des élèves de la classe)
- Comment rendre l'ombre du bâton au Soleil toute petite ?
La faire disparaître ?
(en inclinant le bâton on peut faire disparaître son ombre)
- Que se passe-t-il lorsque je place un obstacle entre la source et l'écran ? (discussion et expérimentation uniquement)
- Comment rendre l'ombre de l'objet plus petite sur l'écran ?

Deuxième animation :

- Comment la lumière se déplace-t-elle ?
- Est-il possible qu'un bâton vertical n'ait pas d'ombre au soleil ?
- Comment expliquer la taille de l'ombre du bâton ?
(dessin et confrontation aux dessins des élèves de la classe)
- Comment rendre l'ombre du bâton au Soleil toute petite ?
La faire disparaître ? Comment dessiner les rayons du Soleil dans ce cas ?
- Peut-on faire des ombres similaires avec une lampe torche et un obstacle (bâtonnet de colle) ?

Atelier « Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ? »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - *le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

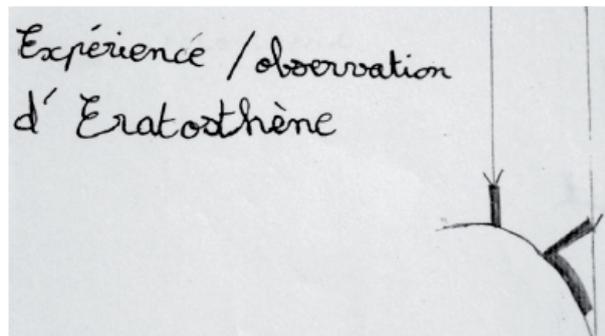
Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

Objectif général :

Approfondir la compréhension de ce qu'est l'ombre.

Une ombre est associée à une source de lumière : la lumière ne parvient pas dans une zone située derrière un objet, à l'opposé de la source. Pour décrire le trajet de la lumière à l'aide de rayons lumineux, on peut tracer des rayons soit parallèles, soit divergents. Pour nous, les rayons du Soleil peuvent être considérés comme parallèles.



Lien avec le programme :
ombres et lumière,
le ciel et l'espace

Matériel

 Par groupe ou binôme : 1 carton semi-rigide A4 (type carton de déménagement) ; 2 cure-dents ; 1 lampe torche puissante.

Par élève : 1 règle, des feutres et crayons de couleur.

Pour l'enseignant : TMPatafix, éventuellement projecteur de diapositives.

Budget

 Lampe torche : 6 € l'unité, empruntable.

Préparation : 15 minutes

 Sur chaque carton, écrire le plus loin possible l'un de l'autre les mots *Syène* et *Alexandrie* ; près de chacun, planter un cure-dents, *perpendiculairement* au carton.

Conditions spécifiques

Ciel ensoleillé aussi peu nuageux que possible (et salle obscurcie si possible).
Il est utile d'avoir travaillé préalablement avec les élèves les compétences de la séquence *Comment faire varier la taille de l'ombre ?* Sont supposées acquises : la représentation de la lumière par des rayons lumineux et la capacité des élèves à tracer le rayon de lumière limite permettant d'associer objet et taille de l'ombre.

Difficultés travaillées :

Utiliser le modèle des rayons lumineux ; réaliser une vue de profil d'une situation et tracer des rayons parallèles.



Cycle 3



4 heures environ



Séquence E-01
*Comment faire varier
la taille des ombres ?*

Séquence E-03
Ombres colorées

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Narration de l'histoire d'Ératosthène : quand on voit le soleil éclairer le fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?	S'approprier un problème.	<i>Travail collectif</i>
Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?	Par essais/erreurs, réaliser que, dans les conditions fixées, il faut courber le carton pour obtenir une ombre sur un bâton et pas sur l'autre.	<i>Travail en groupe puis confrontation des dessins individuels en collectif</i>
Comment interpréter nos observations ?	Utiliser les différentes manipulations infructueuses réalisées en extérieur pour parvenir à une interprétation du phénomène, par le parallélisme des rayons du Soleil.	<i>idem</i>
Rayons du soleil parallèles... mais pas dans les illustrations de littérature jeunesse : qui triche ?	Observer que les ombres de deux objets tendent à devenir parallèles quand on éloigne la source de lumière et prendre conscience des dimensions du système solaire.	<i>idem</i>

Descriptif **1/Ératosthène et les ombres : quand on voit le soleil au fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?**



Ératosthène :
Cyrène (aujourd'hui
Shahat en Libye), ca. 276
– Alexandrie, Égypte,
ca. 194 avant e.c.

Ératosthène est un savant grec du III^e siècle avant l'ère commune, auquel on doit en particulier la mesure de la circonférence de la Terre. C'est en s'inspirant de son approche que l'investigation va commencer.

Il s'agit dans un premier temps de raconter l'histoire aux élèves.

Un 21 juin, Ératosthène se rend à Syène (Assouan aujourd'hui), une ville située sur le tropique du Cancer. Il a demandé à l'un de ses amis qui habite Alexandrie, 850 km plus au nord, d'observer la plus haute obélisque (verticale)

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

de la ville et de mesurer la longueur de son ombre au moment où elle est la plus courte. Une ombre était bien visible à Alexandrie ce jour-là. À Syène, Ératosthène se penche au-dessus d'un puits vertical très profond. À midi solaire exactement, il voit le soleil se refléter dans l'eau, tout au fond du puits.

Si à côté du puits on plante un bâton vertical, que dire de son ombre au moment où l'on voit le Soleil au fond du puits ?

Un échange avec la classe devrait permettre d'arriver rapidement à la conclusion que le Soleil doit se trouver à la verticale du puits : si le bâton est bien droit et planté perpendiculairement au sol, il n'y a alors pas d'ombre visible. *Que peut-on tirer de ces observations ? En quoi est-ce intrigant ?* Le problème apparaît alors : *comment expliquer qu'à Syène il n'y a pas d'ombre sur un bâton alors qu'à Alexandrie il y en a une ?*

Les élèves peuvent alors proposer leurs interprétations et les faire partager à la classe sous la forme de dessins. Si ces derniers sont rarement exploitables à ce niveau, ils permettent d'identifier les moyens utilisés par les élèves pour représenter le phénomène. Le plus souvent, ils représentent une terre plate ou ronde, un Soleil imposant avec des rayons divergents tombant verticalement au niveau d'un bâton (Syène) et arrivant inclinés sur l'autre bâton (Alexandrie).



Le 21 juin est le jour du solstice d'été.

Midi solaire, le moment exact où les ombres sont les plus courtes.

À cet instant, les rayons du Soleil arrivent verticalement sur le tropique du Cancer (pas d'ombre sur un bâton planté au fil à plomb donc).



L'angle sous lequel nous voyons le Soleil est très petit (0,5°). C'est ce qui nous permet de considérer comme parallèles les rayons qui nous en parviennent.

2/ Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?

On convient facilement avec les élèves qu'il n'est pas envisageable d'aller en Égypte le 21 juin pour observer le phénomène. *Comment pourrait-on faire sans quitter l'école ni attendre le jour dit ?* Certains éléments sont accessibles à l'expérimentation en classe : deux bâtons éloignés l'un de l'autre et de la lumière (il faut impérativement exploiter le Soleil). D'autres non : position sur le globe des bâtons et moment dans l'année. *Et si l'on essayait tout de même avec les moyens à notre disposition ? En plantant deux cure-dents dans un carton, peut-on parvenir à avoir une "grande" ombre sur l'un et pas sur l'autre ?*



Faire deux marques identiques sur les cure-dents et les enfoncer dans le carton jusqu'à cette hauteur. Les cure-dents dépassent alors du carton de la même longueur. Les planter bien perpendiculairement à la surface du carton pour éviter les ombres parasites.

Lors des tentatives réalisées dans la cour, on observe presque toujours que les élèves commencent par poser le carton au sol. Ils sont étonnés d'obtenir deux ombres parallèles (et de même longueur) quelle que soit l'orientation du carton. Vient ensuite une reprise en main du carton. Les élèves le tournent et

E-02

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

l'inclinent plus ou moins. Dépités ils observent soit deux ombres parallèles et de même taille, soit pas d'ombre du tout !



Si les cure-dents ne sont pas rigoureusement perpendiculaires au carton, l'un d'eux au moins a une petite ombre. Bien préciser aux élèves qu'il faut une grande ombre (et faire constater la mauvaise inclinaison du cure-dents).

Après de nombreuses tentatives, des élèves finissent toujours par courber le carton et parvenir au résultat recherché (cette découverte est souvent associée à des exclamations, la Terre est ronde, bien sûr !). Très rapidement tous les élèves parviennent au même résultat.

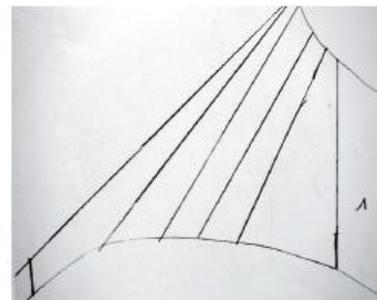
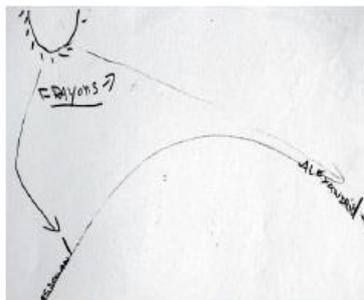
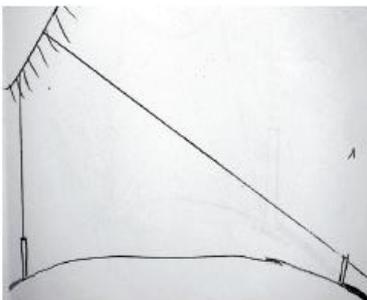


Certains élèves courbent le carton dans l'autre sens : on obtient le résultat recherché également, c'est aussi une réponse possible avec le carton. Il faut un argument supplémentaire pour exclure une Terre concave : par exemple, on ne verrait pas au bord de la mer les mâts des bateaux avant leur coque.

3/Comment interpréter nos observations ?

De retour en classe, il s'agit de réaliser individuellement un schéma permettant d'interpréter le phénomène observé dans la cour : pas d'ombre sur un bâton et une ombre sur l'autre. On peut ou non proposer déjà une représentation particulière (vue de profil).

Si l'on a laissé les élèves libres de leurs représentations, un tri rapide et une présentation collective des dessins aboutis mettent en évidence des difficultés de compréhension des différentes représentations. En perspective, il est très difficile



Premiers tracés réalisés par des élèves de CM2

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?

E-02

de rendre compte du phénomène ; une vue de profil est plus pertinente... mais il faut veiller à ce que, lorsque le carton est courbé, les deux bâtons lui restent bien perpendiculaires. Un échange avec la classe permet de se mettre d'accord sur le choix de la vue de profil et d'une légende pour rendre compte des observations.

Dans presque tous les cas, les rayons dessinés pour interpréter le phénomène sont divergents. La remise en mémoire et en dessin des différents moments vécus dans la cour (avec éventuellement de nouvelles manipulations) va permettre de faire évoluer les représentations.

Interprétons d'abord ce qui se passe lorsque le carton n'est pas courbé et qu'aucun des deux bâtons ne produit d'ombre en utilisant le concept de rayons de lumière. Les élèves sont conduits à dessiner des rayons dans le prolongement des bâtons, c'est-à-dire parallèles.



La représentation du Soleil est inutile à ce stade, voire néfaste. Les rayons suffisent.

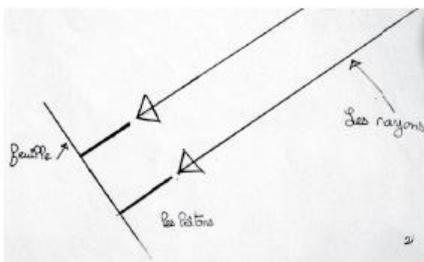
Et au sol, qu'avaient-ils observé ? Deux ombres de même taille et parallèles. Tracer des rayons solaires parallèles permet d'expliquer le phénomène observé (Thalès).



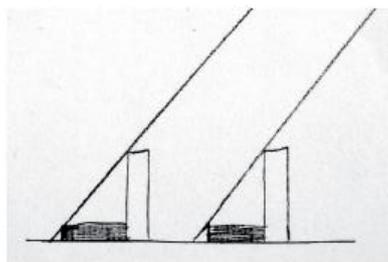
Retourner dans la cour si besoin pour observer et mesurer les ombres des cure-dents. L'ombre d'une grille est également un excellent moyen de constater le phénomène. Si vous utilisez des cure-dents de longueurs différentes, il faudra les dessiner à l'échelle.



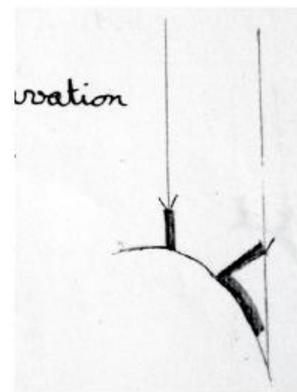
Il est possible de visualiser la direction des rayons lumineux à l'aide de morceaux de ficelle ou de pics à brochette, que l'on fait passer par les extrémités des ombres et des cure-dents.



Pas d'ombre sur les deux bâtons :
dessin réalisé par un élève de CM2



Deux ombres de même taille et parallèles :
dessin réalisé par un élève de CM2



Un bâton sans ombre et l'autre
avec : dessin réalisé par un élève
de CM2

Sur les traces d'Ératosthène : comment dessiner les rayons du soleil ?



On observe parfois dans la nature des "rayons" de lumière solaire qui ne sont pas parallèles entre eux. Cela résulte en général de géométries plus compliquées.

Ainsi, dans un sous-bois, la lumière qui parvient au sol dépend de l'alignement de "trous" aléatoires dans le feuillage ; un nuage se comporte comme un miroir de forme torturée qui brise le parallélisme des rayons solaires et les réfléchit dans toutes les directions.

4/Des rayons parallèles... sauf dans les livres pour enfants ?

Les illustrations de la littérature enfantine sont friandes de Soleil aux rayons partant dans toutes les directions et les élèves savent pour la plupart que le Soleil est une grosse boule qui nous éclaire. Comment concilier cette vision avec des rayons parallèles ?

Tout d'abord, en créant les ombres de deux crayons à l'aide d'une lampe torche puissante ou d'un projecteur de diapositives. On observe que les ombres ne sont pas parallèles mais le deviennent progressivement si on éloigne la source de lumière (on a l'impression de deux ombres parallèles). Peut-on envisager le même phénomène pour le Soleil ? Une recherche documentaire amène aux tailles respectives de la Terre et du Soleil et à leur distance. En ramenant la taille du Soleil à dix centimètres, quelle serait la taille de la Terre et sa distance au Soleil ? L'utilisation de la règle de trois (proportionnalité) permet de conclure qu'on aurait une Terre d'environ un millimètre à plus de dix mètres du Soleil ! Le Soleil est donc très éloigné de la Terre et les illustrations, jamais à l'échelle, véhiculent une représentation erronée des tailles et de la distance Terre-Soleil.



Ces calculs nécessitent la maîtrise des grands nombres et l'utilisation de la règle de trois. Pour les élèves qui n'ont pas encore abordé ces notions, ne pas hésiter à donner la réponse.



Le site de *La Main à la Pâte* propose d'aller plus loin et d'associer votre classe à un projet international : des écoles du monde entier mesurent tous les ans la circonférence de la Terre.

Proposition d'animation

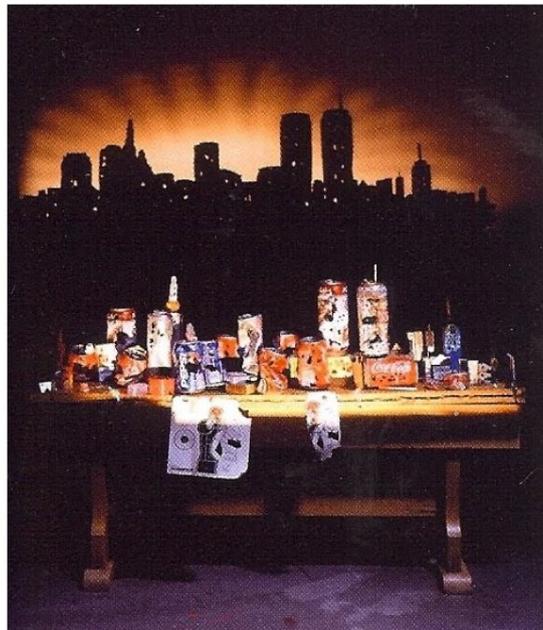
- Ératosthène et les ombres : quand on voit le soleil au fond du puits, que dire de l'ombre d'un bâton ?
- Peut-on concevoir une expérience qui nous permette des observations similaires à celles d'Ératosthène ?
(présenter directement le dispositif en l'expliquant)
- Comment interpréter nos observations ? (proposer directement la vue de profil adaptée pour les dessins et fournir des schémas à compléter par les visiteurs avec les ombres et les rayons du Soleil)

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 :

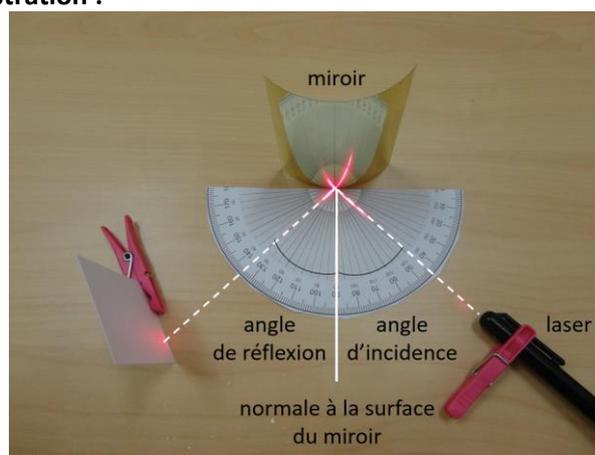
Durée de l'expérience : 1 h
Atelier par groupes de 2-3 élèves

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

Liste du matériel :

- Pointeur laser
- Ecran
- Miroir
- Pincettes 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)

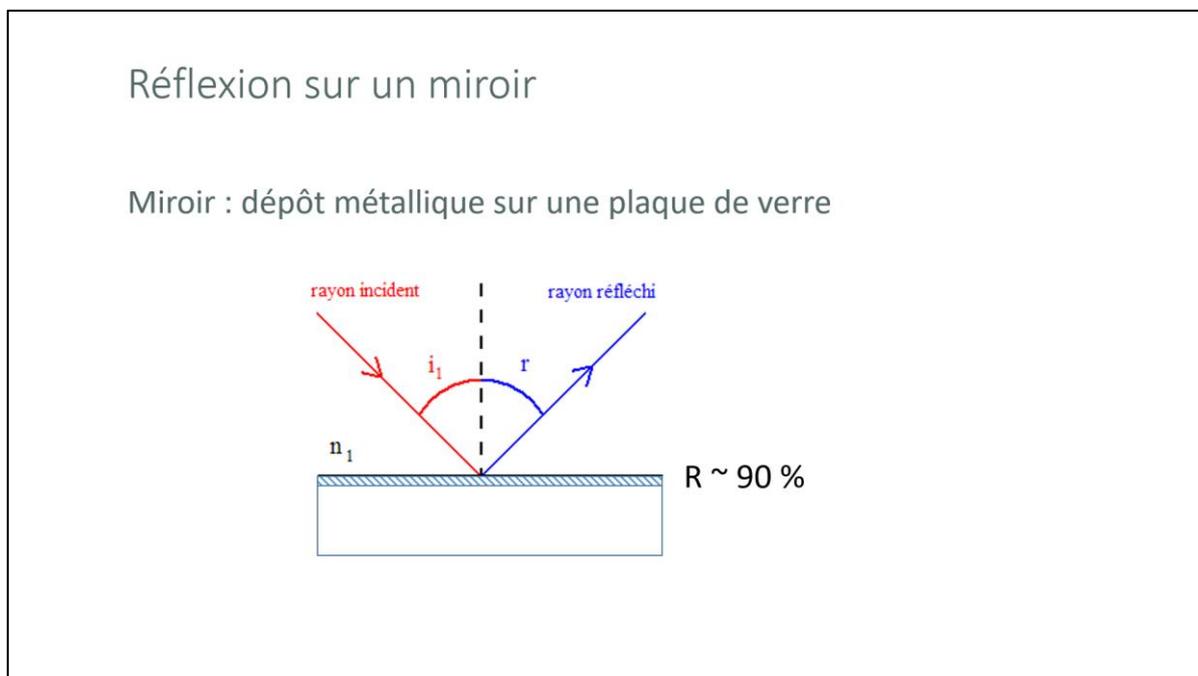
Consignes particulières : Ne pas observer directement dans la direction du faisceau laser

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

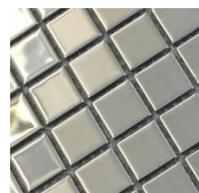


Atelier « Expérimenter la réflexion de la lumière pour sortir d'un labyrinthe lumineux »

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

Préparation de l'atelier :

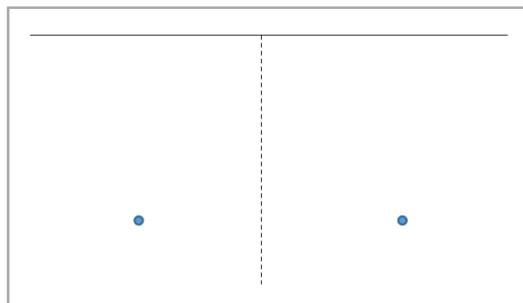
Prévoir 4 ou 5 petits miroirs plans par labyrinthe, type mosaïque pour salle de bain (non fourni).



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 :

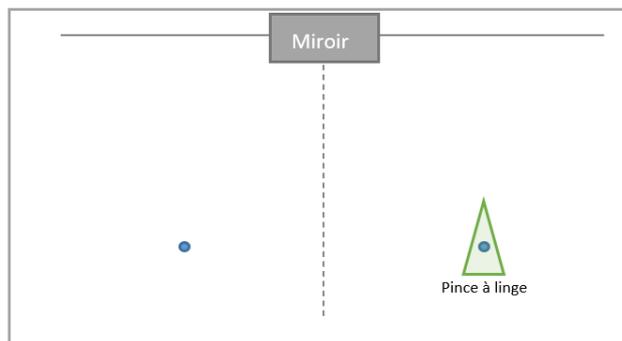


Déroulement de l'atelier :

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)



Atelier « Miroirs en maternelle »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - *le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

Miroirs

m-09

Objectif général :

Découvrir que l'on peut éclairer un objet indirectement en orientant judicieusement un miroir par rapport à une source lumineuse. Le miroir renvoie la lumière dans une nouvelle direction. On peut voir un objet situé derrière soi avec un miroir.



Matériel

 *Par atelier* : miroirs incassables (un par élève) ; rétroviseurs ; objets lisses, brillants, métalliques (louches, cuillères, couvercles etc.) ; carton épais A4 recouvert de papier aluminium ; une lampe de bureau orientable.

Pour l'enseignant : autant de petits objets colorés que d'élèves dans l'atelier (e.g. TMPlaymobil) ; maquillage pour enfants (attention aux allergies !) ; une boîte à chaussures ; feuilles colorées ; gommettes de couleur.

Budget

 Miroir incassable : 2 €.

Préparation : 15 minutes

 Lettre aux parents pour emprunter du matériel ; identification des endroits où poser des objets visibles dans un miroir par les élèves assis ; découpage du petit côté d'une boîte à chaussures.

Conditions spécifiques

Au Soleil, dans la cour et dans un endroit obscur.

Lien avec le programme :
découverte de la matière



Cycle 1



2 à 4 heures



Section 1-12
Des sciences
à la kermesse !

Difficultés travaillées :

Faire le lien entre le déplacement du miroir (son orientation) et celui de la tache lumineuse.

Estelle Blanquet • Sciences à l'école, Côté jardin

327

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Que peut-on faire avec un miroir ?	S'approprier un objet.	<i>Travail en atelier et mise en commun</i>
Comment savoir ce qui est derrière moi ?	Déplacer un miroir pour voir un objet, une personne.	<i>idem</i>
Comment éclairer l'objet sans bouger lampe ?	Apprendre à orienter un miroir pour diriger la lumière de la lampe vers un objet à l'obscurité.	<i>idem</i>
Comment éclairer l'objet dans la cour ?	Réinvestir ses connaissances avec le Soleil comme source lumineuse.	<i>idem</i>
Y a-t-il d'autres objets que l'on peut utiliser comme miroirs ?	Découvrir que des objets lisses et brillants permettent de se regarder. Ils peuvent déformer l'image.	<i>idem</i>

Descriptif

Les enfants sont souvent fascinés par les miroirs. Les plus grands sont intrigués par les images inversées (ou non) que l'on observe dans une grande cuillère métallique. Nous proposons de leur faire découvrir l'utilisation des miroirs pour voir l'image d'un objet et pour renvoyer la lumière. Mettez différents miroirs plans à disposition des élèves. *Que peut-on en faire ?* On peut bien sûr regarder son visage, faire des grimaces dans la glace.



Vocabulaire : ici la « glace » n'est pas de l'eau !

Le miroir permet de savoir à quoi ressemble son propre maquillage. Faites plusieurs marques colorées sur le visage des élèves : *Peuvent-ils poser un doigt dessus en s'aidant du miroir ?*

Pourquoi y a-t-il des rétroviseurs sur les voitures ? Les enfants savent souvent qu'ils permettent de voir derrière soi sans avoir à se retourner. Peut-on faire pareil avec les miroirs mis à disposition ? Asseyez les élèves sur leurs chaises et demandez-leur de vous trouver sans se retourner : comment faire pour voir l'enseignant dans le miroir ? Cela n'est pas facile et demande un peu d'entraînement.



Vous pouvez dans un premier temps aider les plus jeunes. Posez une peluche sur une table derrière eux et, en mettant votre visage



à proximité du leur pour voir la même chose qu'eux dans le miroir, aidez-les individuellement à la trouver. Vous pouvez ensuite leur demander de vous trouver dans le miroir.

Les élèves apprennent alors progressivement à orienter le miroir pour observer leur environnement. De nombreux jeux sont possibles : trouver l'objet placé sur la table derrière soi, sous sa chaise, en hauteur, derrière le copain, dans une caisse derrière soi, trouver l'objet manquant d'une série d'objets présentés auparavant par le maître, identifier la personne derrière soi, etc.

Un miroir peut également renvoyer la lumière. Après avoir posé une lampe de bureau allumée sur la table en éclairage aussi horizontal et directionnel que possible, demandez aux élèves d'envoyer des taches de lumière dans la classe avec le miroir. Au début, ils voient difficilement le lien entre le mouvement du miroir et l'apparition des taches.



Les plus jeunes ont souvent besoin d'aide pour trouver une position efficace du miroir : celui-ci doit se trouver sur le chemin de la lumière qui sort de la lampe de bureau. Le plaisir de la réussite est garanti.

Peut-on maintenant utiliser le miroir pour éclairer un objet placé à côté de la lampe mais non éclairé directement par celle-ci ?



Placez les élèves du côté opposé de la table de façon à ce qu'ils puissent tous y parvenir.

Quand les élèves maîtrisent suffisamment leurs gestes et orientent le miroir correctement, on complique la tâche. *Comment éclairer l'objet placé au fond d'une boîte à chaussures sans bouger ni la boîte, ni la lampe ?* Placez dans un premier temps la lampe en biais par rapport à la boîte, de telle sorte qu'il suffise d'orienter le miroir vers l'objet pour l'éclairer. On peut ensuite modifier l'orientation de la lampe et observer les modifications d'orientation du miroir nécessaires pour continuer à éclairer l'objet.

Peut-on faire la même chose dans la cour avec le Soleil ? Comme avec la lampe, proposez aux élèves d'éclairer une feuille colorée accrochée à un mur dans l'ombre dans un premier temps.



Choisissez un moment où le Soleil n'est pas trop haut dans le ciel (début de matinée) et évitez de mettre les élèves face au Soleil ou au miroir. Il ne faut jamais regarder le Soleil en face.

Vous pouvez ensuite déplacer la feuille pour aider les élèves à associer déplacement du miroir et position de la tache lumineuse sur le mur.

Un autre exercice consiste à placer sur le mur plusieurs feuilles de couleurs différentes et à demander à chaque élève d'en éclairer une à tour de rôle. Cela permet d'évaluer leur maîtrise de l'orientation du miroir.

On peut également poser un (des) objet(s) par terre : quand peut-on les éclairer avec le miroir ? Les élèves peuvent constater qu'il faut être soi-même dans la lumière pour pouvoir éclairer l'objet. Si la lumière du soleil n'arrive pas sur le miroir, on ne peut pas s'en servir.

Peut-on utiliser d'autres objets que des miroirs pour se regarder et renvoyer la lumière ? Cette question est l'occasion de tester différents objets apportés par les élèves et l'enseignant. Les objets dotés d'une surface métallique lisse et brillante peuvent se substituer aux miroirs habituels.



Du verre poli (une vitre) ou une surface d'eau calme (bassine) peuvent également se comporter comme des miroirs.



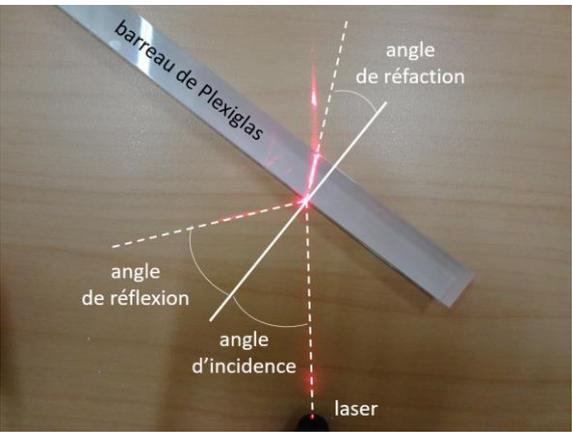
Réservez quelques objets dans lesquels on peut se voir à l'endroit et à l'envers pour la suite du travail.

Les louches, cuillères et autres surfaces bombées ont en outre une caractéristique bien particulière : selon que l'on se regarde dans la partie bombée (*convexe*) ou dans la partie creuse (*concave*), on se voit à l'endroit ou à l'envers. En plaçant des gommettes de la même couleur à chaque fois qu'ils se voient à l'endroit ou à l'envers, les élèves constatent que la forme de l'objet a de l'importance : on se voit à l'endroit dans la partie bombée et à l'envers dans la partie creuse. *Peut-on prévoir comment l'on va se voir dans un nouvel objet apporté par l'enseignant ?* Il suffit de se regarder dedans pour vérifier.

Pour aller plus loin :

Article sur les miroirs du centre pilote La Main à la Pâte de l'Aube :
<http://www.ac-reims.fr/ia10/lamap/spip.php?article194>

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

Thèmes : Etude des phénomènes de réflexion et réfraction à l'interface entre deux milieux transparents	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Réflexion et réfraction – Angles d'incidence, de réflexion et de réfraction – Indice optique	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 :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
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)	

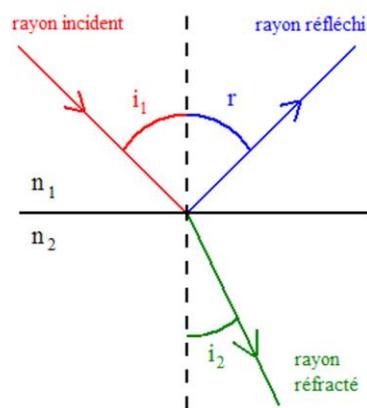
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

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

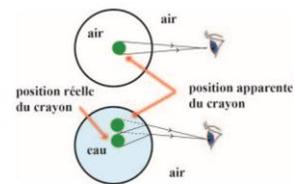
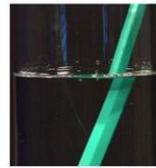
Réfraction

Dioptre surface de séparation entre 2 milieux d'indices différents



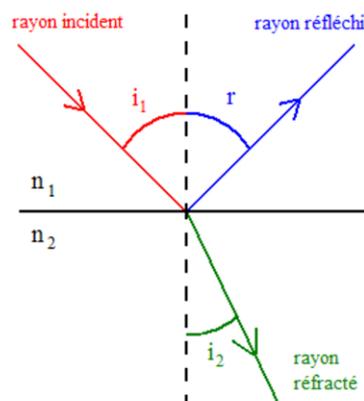
Loi de Snell-Descartes

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



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

$$n_1 = 1$$

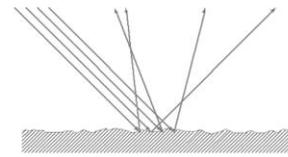
$$n_2 = 1,5$$

$$R = 4 \%$$

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

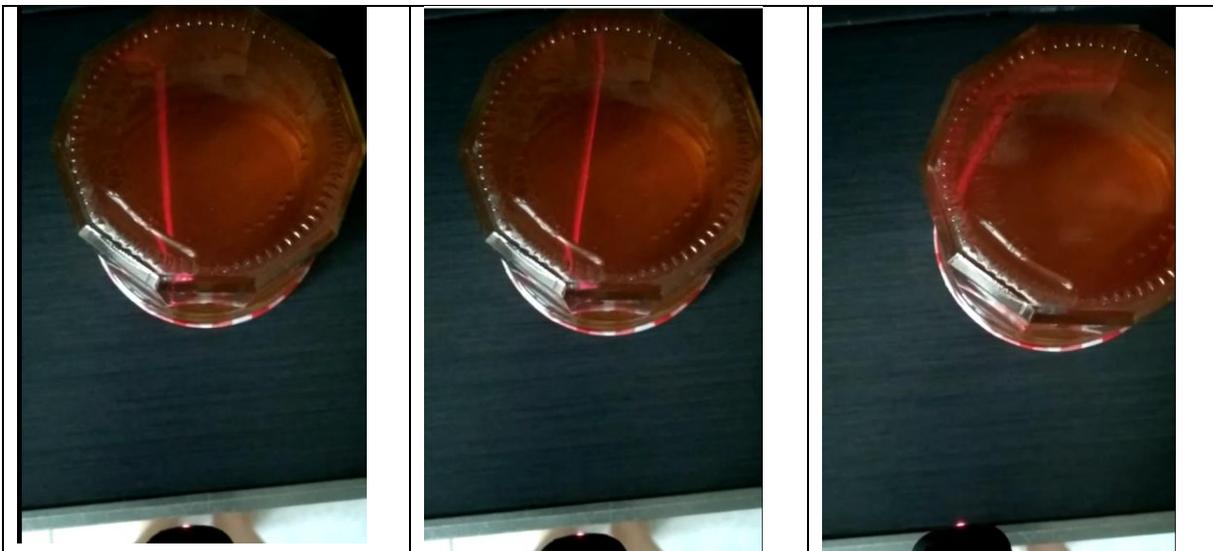


Réflexion diffuse



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.

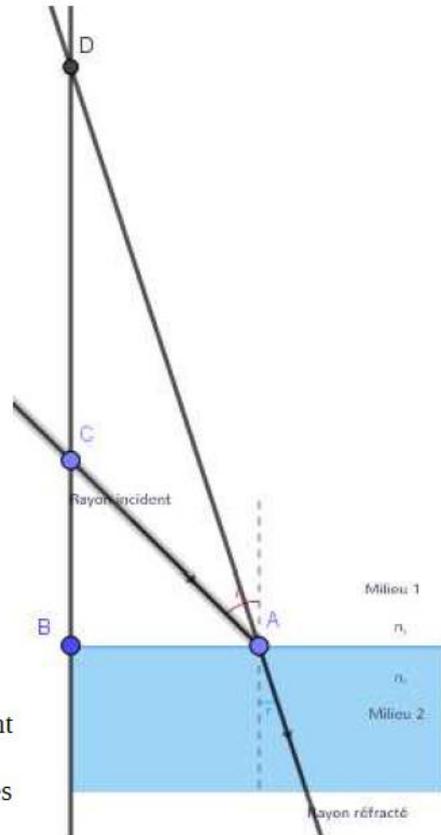
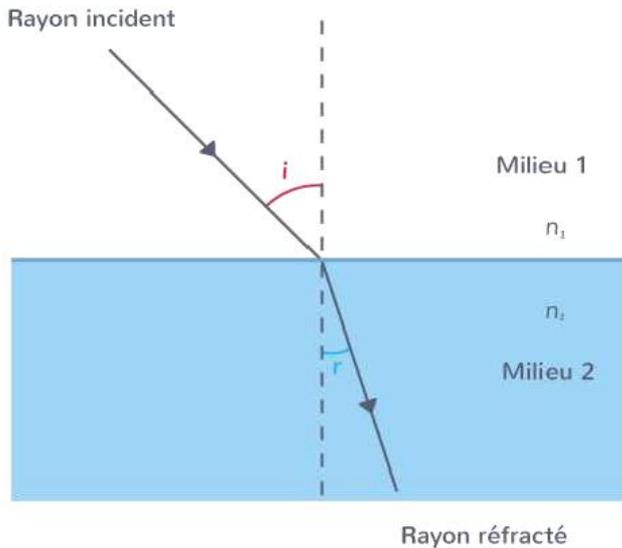


Atelier « Indice de réfraction et lien avec la trigonométrie »

Conception de l'atelier : M. Mesmoudi (Collège J.-Y. Cousteau, Bussy-Saint-Georges) pour formation « Enseigner les Mathématiques en utilisant les sciences » 2024

Optique :

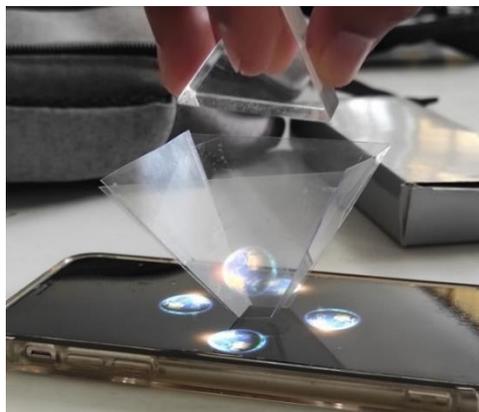
Indice de réfraction et lien avec la trigonométrie :



L'expérience montre que le rapport AD/AC est constant en variant l'angle d'incidence \widehat{i} .
Donner une relation reliant ce rapport aux angles d'incidence et de réfraction.

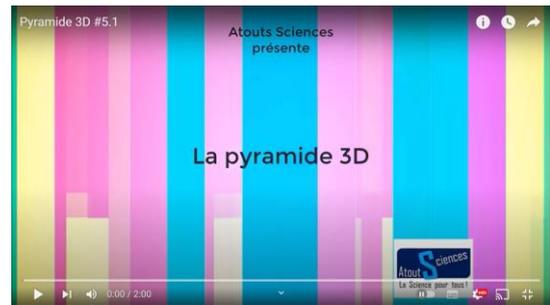
Atelier « La pyramide 3D »

Conception de l'atelier : Erick Serquen et Vladimir Tuñoque (National University Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Pérou) 2024



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

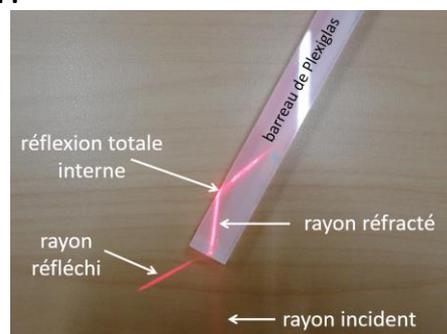
Objectifs :

- 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

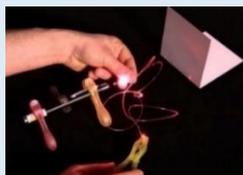
Remarques/conseils : Réaliser l'expérience dans l'obscurité

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

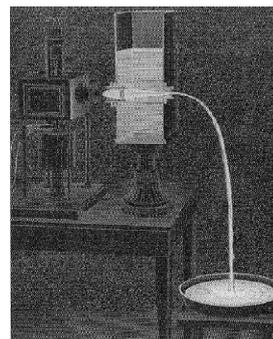
Atelier « Fontaine lumineuse »

Conception de l'atelier : Christophe Daussy, Paul-Éric Pottie (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

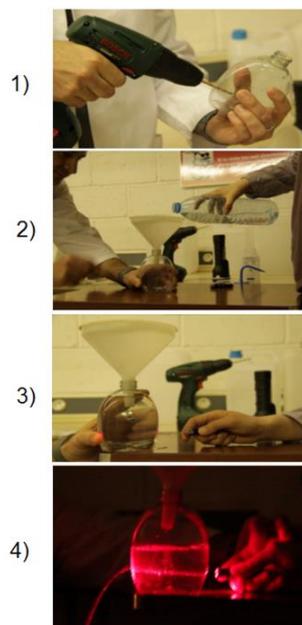
En 1841, un scientifique suisse nommé Daniel Colladon découvrit qu'il était possible de guider de la lumière dans un jet d'eau. L'expérience n'a évidemment pas été réalisée avec un laser (qui sera inventé 119 ans plus tard). Un siècle plus tard, le guidage de la lumière dans un mince tube de verre donnera 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 : Atelier « formation d'images » en classe de seconde au Lycée général et technologique
Ambroise Paré (Laval)*

© Guillaume Boucher



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

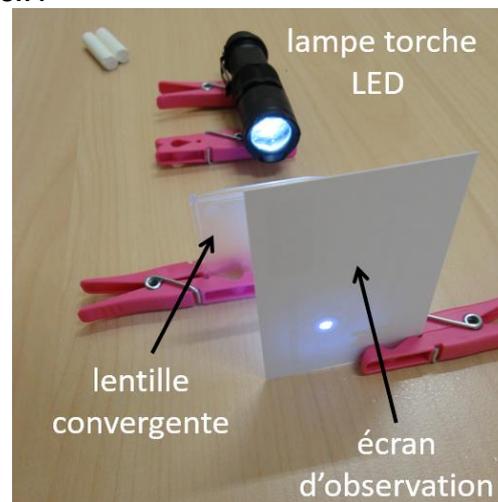
Objectifs :

- 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 :

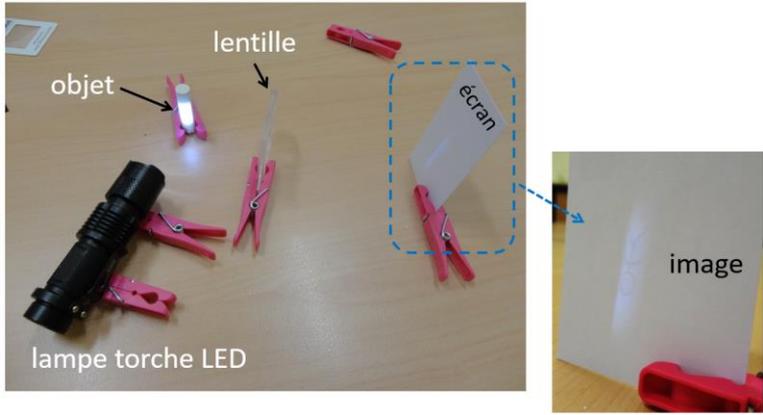
- La lentille convergente réduit au niveau de l'écran la taille du faisceau lumineux issu de la lampe.
- Par réfraction, la lentille focalise les rayons de lumière (faisceau convergent) issus d'une source en une tache quasi ponctuelle : c'est l'image de la source par la lentille convergente

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	Niveau : <input checked="" type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Lentille convergente – Image réelle – Distance focale	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 – Pincettes à linge – Ecran	Illustration :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
Etapes : – Disposer la lampe torche allumée sur deux pincettes 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

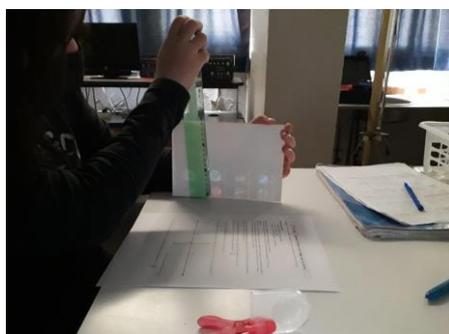
L'expérience

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.



Atelier « La chambre noire ou sténopé »

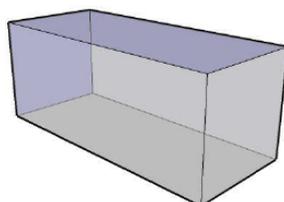
Conception de l'atelier : M. Mesmoudi (Collège J.-Y. Cousteau, Bussy-Saint-Georges) pour formation « Enseigner les Mathématiques en utilisant les sciences » 2024

- 1) Fabriquer une chambre noire (ou sténopé) avec une boîte à chaussures (utiliser une feuille de papier calque comme écran pour observer l'image).
- 2) Observer à travers le sténopé un objet éclairé ou un paysage.
- 3) Modéliser la propagation de la lumière dans cette expérience.
- 4) En utilisant le théorème de Thalès, déterminer le rapport entre la taille de l'objet et la taille de l'image formée par le sténopé.

Fabrication de la boîte à sténopé

Source : Centre pilote « La main à la pâte » du grand Nancy

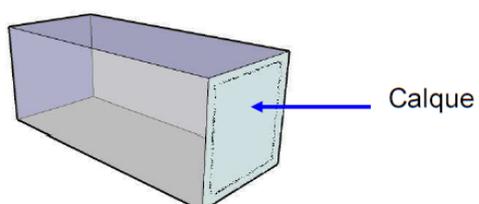
Prendre une boîte à chaussures en carton. Attention, il faut que la boîte soit parfaitement opaque et étanche à la lumière.



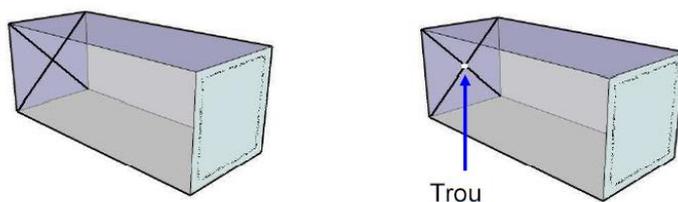
Sur une des petites faces de la boîte, tracer puis découper un rectangle à 1 cm du bord.



Prendre un papier calque et découper un rectangle de la dimension de cette face et le scotcher sur celle-ci.



Sur la face opposée, tracer les diagonales du rectangle pour trouver le centre et percer un trou à l'aide de la pointe du compas.



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	Niveau : <input checked="" type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Lentille convergente/divergente – Objet/image – Image réelle/virtuelle	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
Étapes : 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 Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

Ressources complémentaires

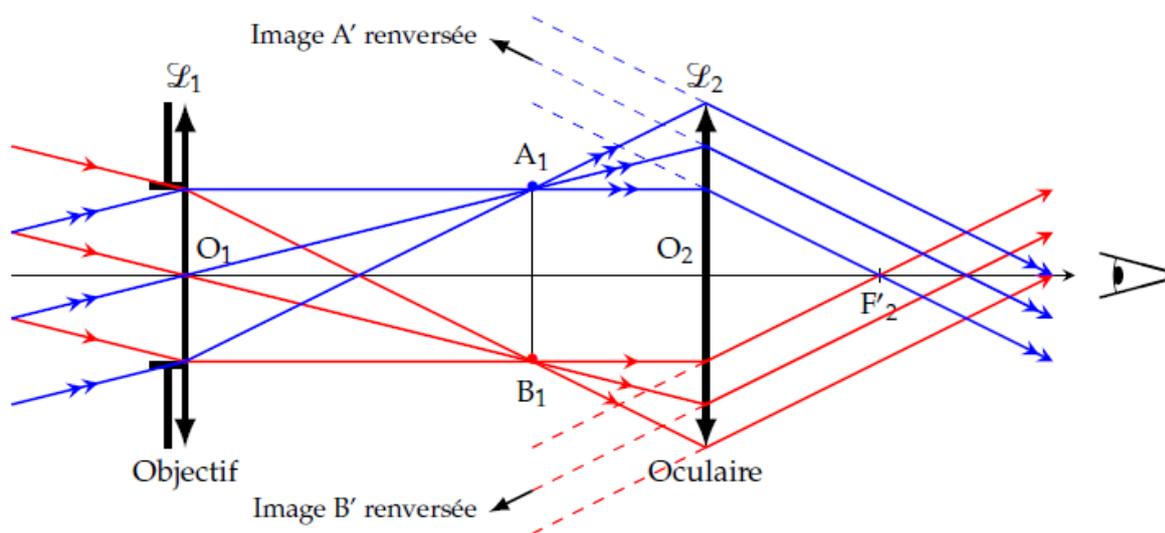
Atelier « lunette astronomique »

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

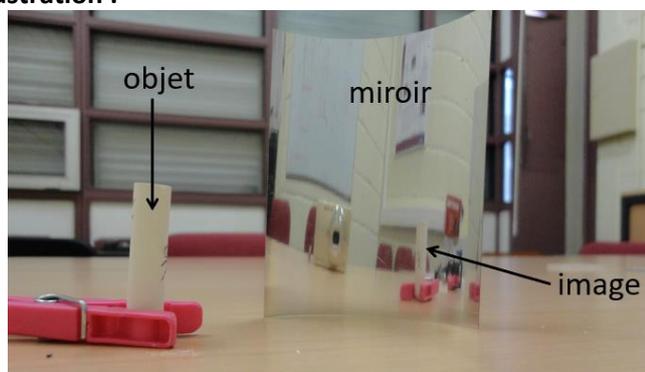
Objectifs :

- 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
- Pincettes 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

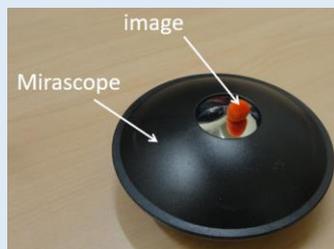
Remarques/conseils : S'appuyer sur les expériences et notions du tuto « Quel est l'effet d'un miroir sur la lumière ? »

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



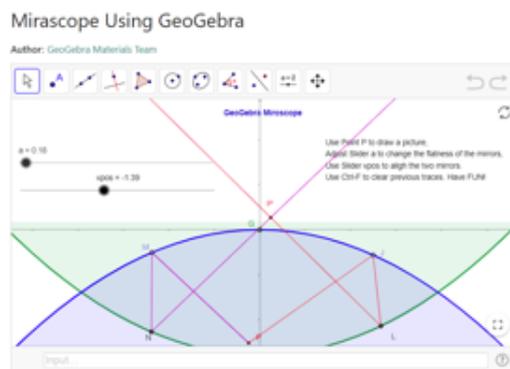
Simulation numérique :

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



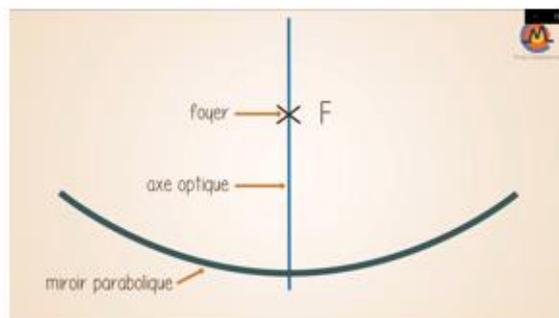
Mirascope sous Geogebra :

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



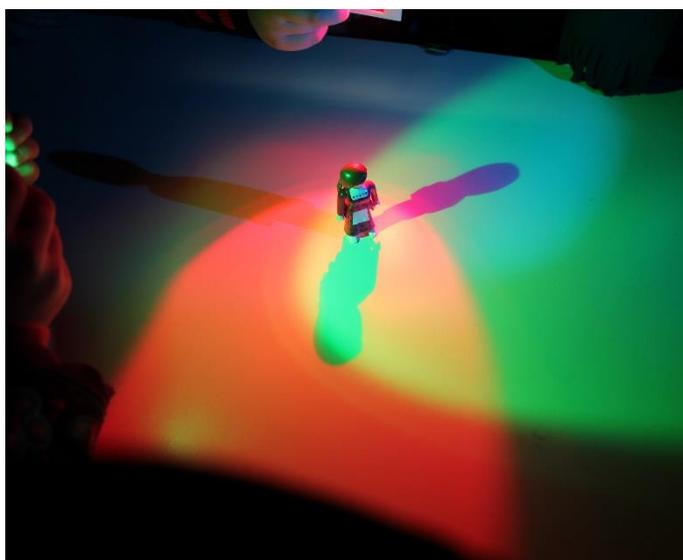
Voir la vidéo issue du MOOC « La Physique vivez l'expérience ! » à partir de 02:51 :

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





V. Lumière colorée



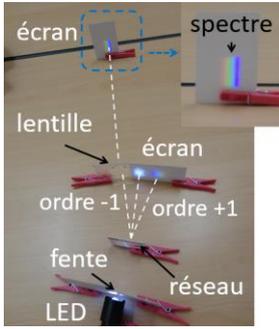
Source : Atelier « ombres et couleurs » en maternelle à l'école du Verger de la thuilierie

(Dammartin-en-Goële)

© Christophe Daussy (LPL – USPN)



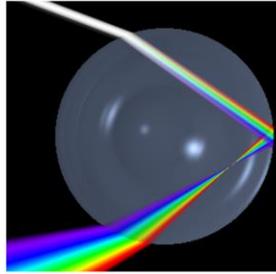
1. Qu'est-ce que la lumière blanche ?

Thèmes : Observer la décomposition de la lumière blanche par un prisme ou un réseau	Niveau : <input checked="" type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">- Dispersion/diffraction- Indice de réfraction- Spectre d'émission- Source poly/monochromatique	Conditions : Durée de l'expérience : 1 h Atelier par groupes de 2-3 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">- 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 : <ul style="list-style-type: none">- LED- Laser- Prisme- Réseau de diffraction- Lentille convergente- Ecran	Illustrations :  <p>© R. Dubessy (LPL-USPN)</p>
Etapes : <ol style="list-style-type: none">1. Réaliser l'expérience illustrée sur la photo ci-dessus2. 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 polychromatique3. 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 : <ul style="list-style-type: none">- 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 : <ul style="list-style-type: none">- 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)	

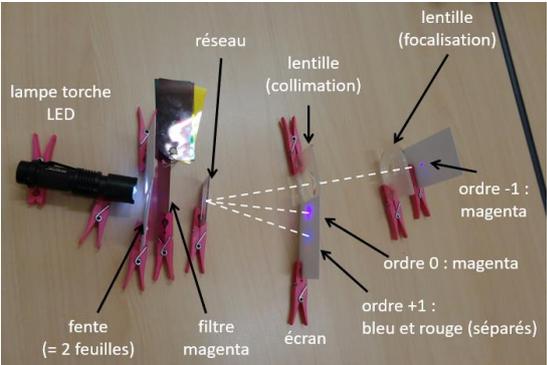


L'arc-en-ciel

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 ?

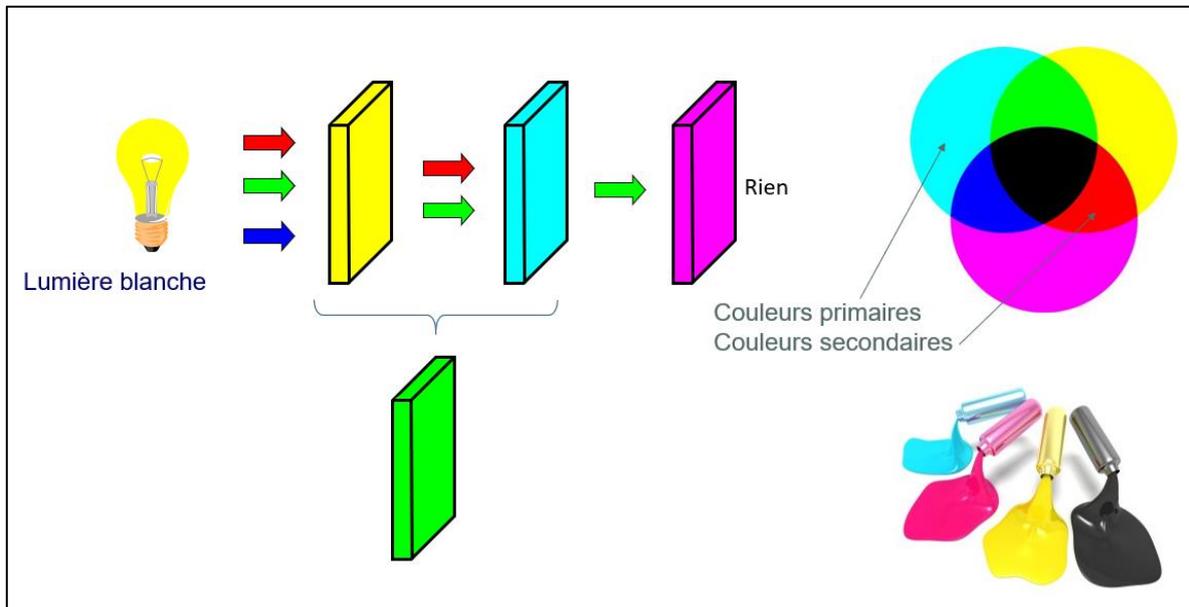
<p>Thèmes : La couleur des objets et le principe de la synthèse soustractive</p> <p>Mots clés :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Filtres – Couleurs primaires/secondaires – Synthèse soustractive – Absorption 	<p>Niveau :</p> <p><input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)</p> <p>Conditions :</p> <p>Durée de l'expérience : 1 h</p> <p>Atelier par groupes de 2 élèves</p>
<p>Objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Expérimenter l'absorption – Comprendre l'origine de la couleur des objets – Découvrir la synthèse soustractive et ses applications 	
<p>Liste du matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lampe torche LED – Fente (feuille papier, non fournie) – Filtre – Réseau – 2 lentilles – 2 écrans (feuilles, non fournies) – Pincettes à linge 	<p>Illustration :</p>  <p style="text-align: center;">© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
<p>Étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 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 <p>Remarques/conseils : Vous pouvez également superposer 2 des 3 filtres et observer la couleur de la lumière transmise</p>	
<p>Observations et interprétations :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Les filtres jaune, cyan et magenta, absorbent certaines parties du spectre : on parle de synthèse soustractive : <ul style="list-style-type: none"> – 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 <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> – La couleur des objets repose sur cette synthèse soustractive 	
<p>Ouvertures et applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Principe des couleurs primaires de la peinture et des imprimantes – Spectroscopie d'absorption 	
<p>Auteur : Christophe Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)</p>	



Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

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



Réflexion diffuse

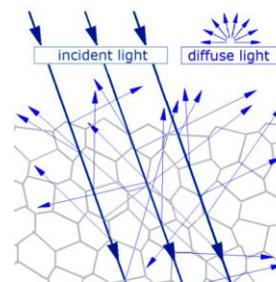
Les surfaces peuvent avoir des structures très complexes : neige, nuages, écume, mousse, etc.



Les rayons sont renvoyés dans toutes les directions

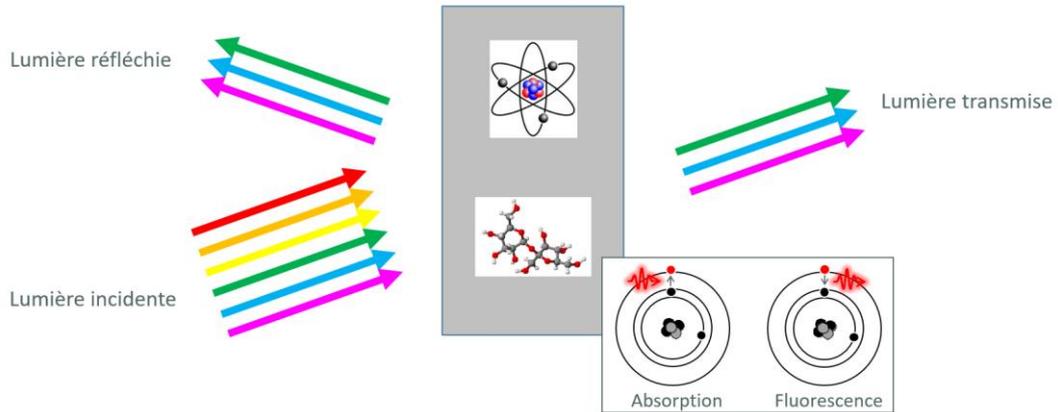


Toutes les longueurs d'onde sont renvoyées → couleur blanche



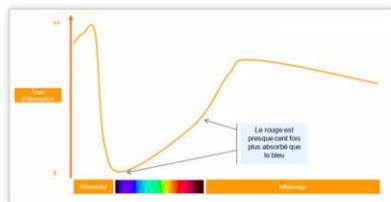
Absorption

Un milieu est constitué d'atomes, de molécules

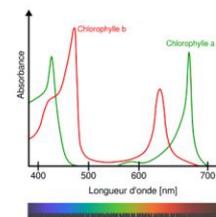


Absorption et fluorescence

Spectre d'absorption de l'eau



Fluorescence de la chlorophylle



Noir et blanc

Un objet noir absorbe toute la lumière

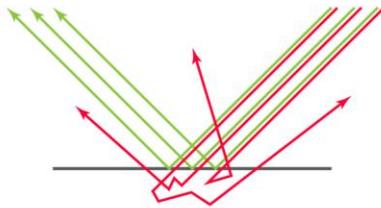


Un objet blanc renvoie toute la lumière



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

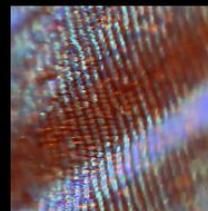
Toutes les couleurs ne sont pas dues à l'absorption sélective de certaines longueurs d'onde par un pigment

Couleurs interférentielles

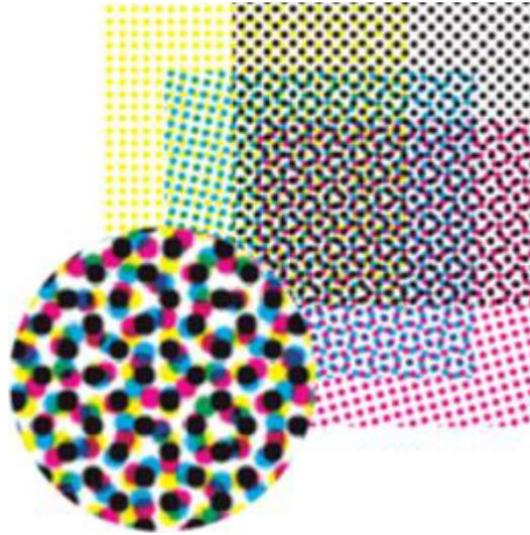


Point commun : la lumière rencontre des motifs dont la taille est comparable à la longueur d'onde (sous le micron)

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. »



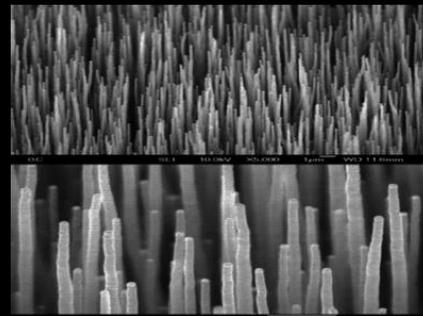
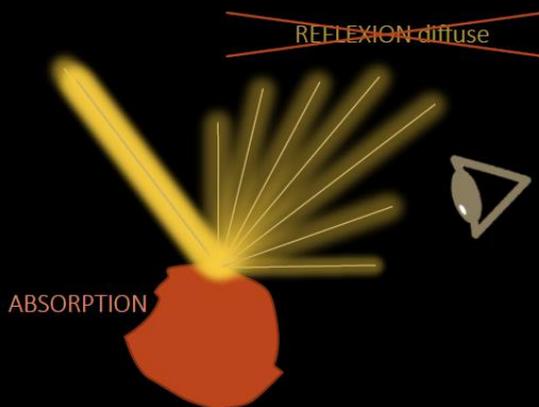
Peinture, 29 février 2012 (181 X 162 cm)



Peinture, 23 novembre 2010 (244 x 181 cm)

Rendre le noir parfaitement noir

Vantablack ©

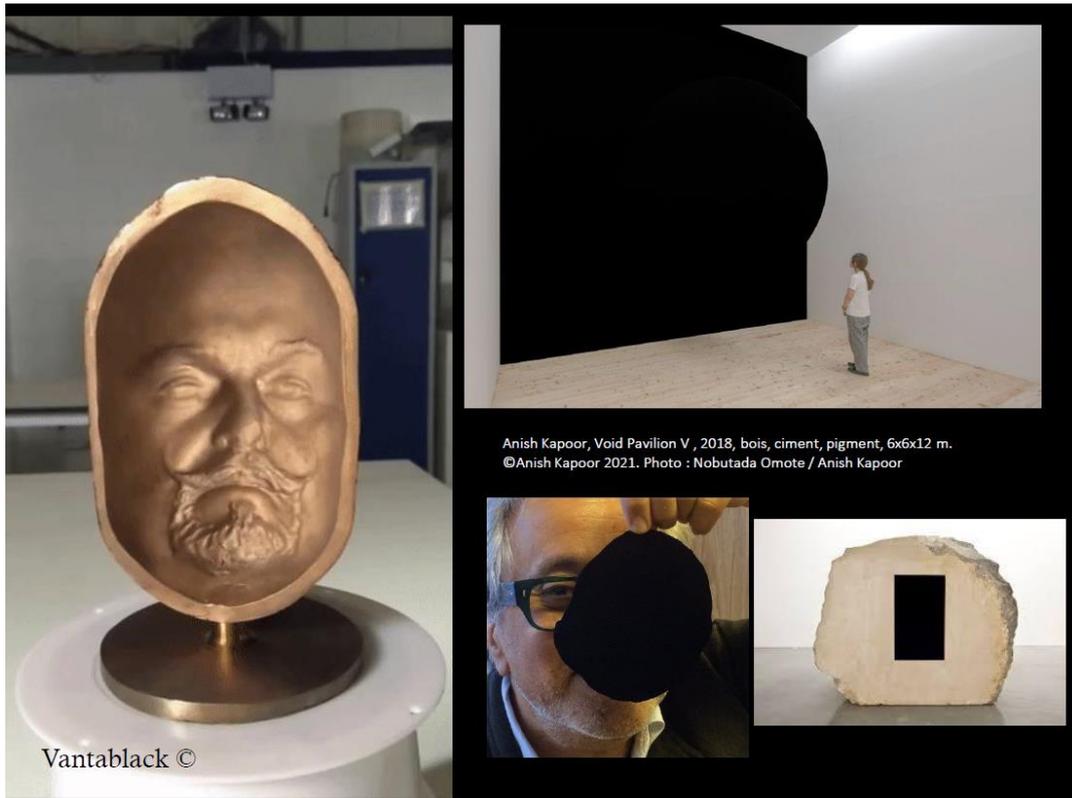


Vertically Aligned Nano Tube Array Black



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





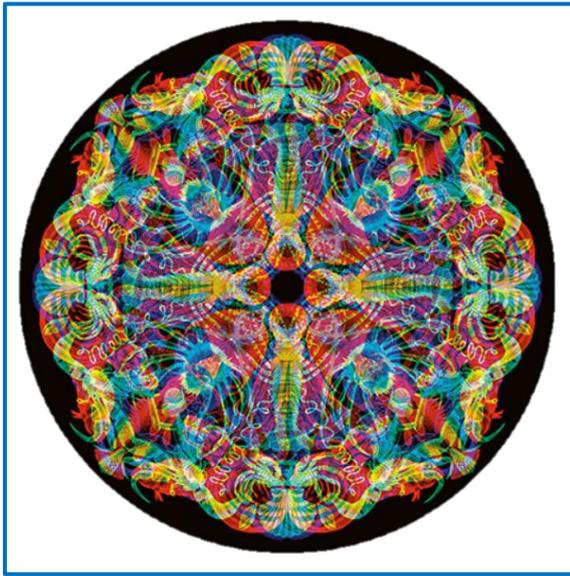
Source : Eric Millour (Professeur de sciences physiques - Collège Charles Le Goffic – Lannion) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

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 :

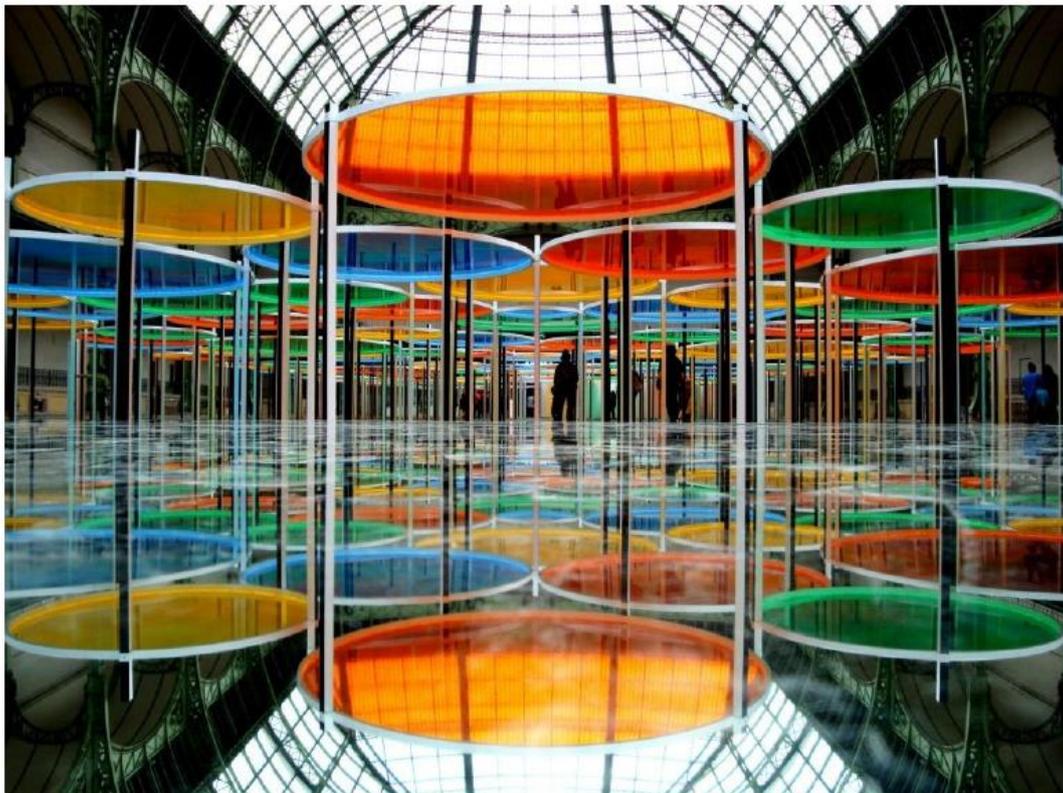


Olivier Debré (1920-1999), Vitraux de la collégiale à Lamballe





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



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



Atelier « De quelle couleur est la lumière ? (cycle 3)»

Source : Karine Blampain, Ecole A. France (Epinay-sur-Seine) pour 5 séances en classe de CM1 (2024)



Direction des services départementaux
de l'éducation nationale
de la Seine-Saint-Denis

INSPECTION DE L'ÉDUCATION NATIONALE
circonscription du premier degré

ÉPINAY-SUR-SEINE

ian-epinay.circo.ac-creteil.fr



Cycle 3

La lumière

Défi scientifique : De quelle couleur est la lumière ?

Objectif : Comprendre la composition de la lumière

Séance 1 : De quelle couleur est la lumière ?

Objectif : Différencier les sources lumineuses naturelles et artificielles.

Hypothèses des élèves : la lumière est blanche ou jaune.

Classement de la lumière en deux catégories (naturelles ou artificielles)

Séances 2 et 3 : Comment se forme un arc-en-ciel ?

Hypothèse des élèves : L'arc-en-ciel se forme à partir du soleil et de la pluie

Expérience : Fabriquer un arc-en-ciel
Matériel : prisme + lampe + écran

Vérification de l'hypothèse, conclusion scientifique et trace écrite
« La lumière blanche est la somme des couleurs primaires (rouge / bleu /vert) »

Séance 4 : Comment fabriquer la lumière blanche à partir de différentes couleurs ?

- 1) Rappel des séances précédentes
Hypothèse : On peut fabriquer de la lumière blanche en additionnant les couleurs primaires (rouge/bleu/vert)
- 2) Expérience : Fabrication de la lumière blanche
- distribution du matériel : 3 lampes / écran / pinces à linge / filtres de couleur (bleu / vert / rouge)
- 3) Vérification de l'hypothèse, conclusion scientifique et trace écrite

Séance 5 : Que se passe-t-il si l'on supprime une couleur ?

- 1) Rappel du schéma de synthèse additive des couleurs
- 2) Hypothèse : Si on supprime une couleur, on obtient de nouvelles couleurs
- 3) Expérience : Fabrication des couleurs secondaires
- distribution du matériel : 3 lampes / écran / pinces à linge / filtres de couleur (bleu / vert / rouge)
- 4) Vérification de l'hypothèse, conclusion scientifique et trace écrite



En classe de CM1, nous avons travaillé sur une séquence consacrée à la lumière, relatif au thème « Matière, mouvement, énergie, information ». L'objectif de séquence était de comprendre la composition de la lumière.

Pour cela, lors d'une première séance, nous nous sommes d'abord demandé de quelle couleur était la lumière. Nous avons porté notre attention uniquement sur les sources de lumière primaires et laissé de côté les sources secondaires (Lune, miroir...) Ensuite, nous avons recueilli les représentations initiales des élèves et classé les sources lumineuses en deux catégories : naturelles et artificielles. Les élèves ont cité par exemple : d'une part, les ampoules, les clignotants, les néons et d'autre part, le Soleil, le feu, les étoiles. Les élèves ont conclu que la lumière pouvait être soit blanche, soit jaune. Néanmoins, quelques élèves ont évoqué les reflets irisés de la lumière du soleil sur la vitre.

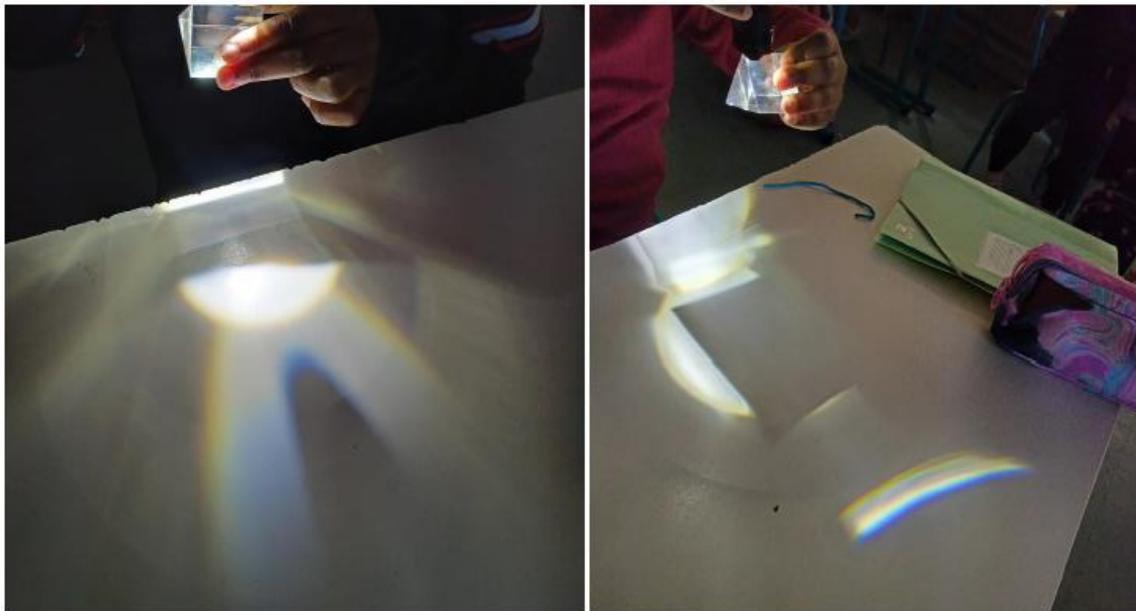
Pour montrer la couleur de la lumière, nous avons réalisé une expérience, lors d'une deuxième séance. L'objectif était de créer un arc-en-ciel, à partir du prisme, de la lampe torche et d'un écran blanc. La lampe torche remplace le soleil tandis que le prisme joue le rôle de la pluie.

Expérience 1 : créer un arc-en-ciel



Réalisation d'un arc-en-ciel en classe.



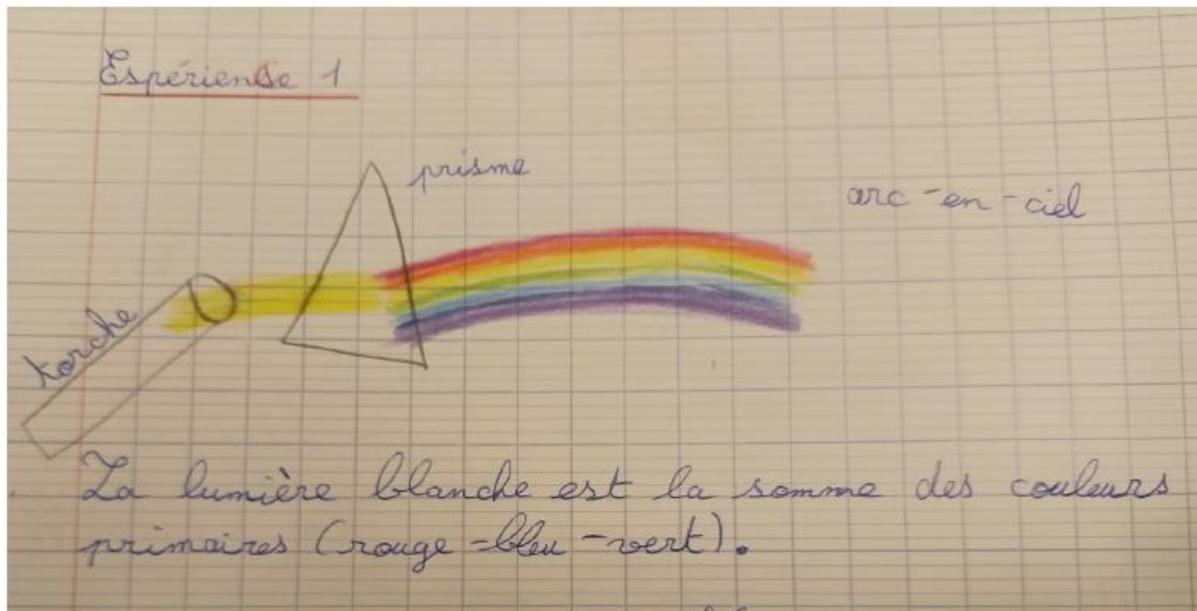


Les élèves ont tenté de recréer un arc-en-ciel afin de voir la composition de la lumière. L'utilisation du prisme et de la torche ont facilité l'expérience.

Durant une quatrième séance, nous avons émis l'hypothèse que la lumière blanche est la somme des couleurs primaires (rouge / bleu / vert). Les élèves ont donc réalisé l'expérience inverse et ont cette fois-ci fabriqué la lumière blanche à partir de différentes couleurs.



Trace écrite de l'expérience 1 :



Expérience 2 : réalisation de la lumière blanche





Les élèves ont créé la lumière blanche à l'aide des 3 lampes, des pinces à linge, de l'écran blanc et des différents filtres de couleur. Ils ont eu du mal à trouver les bons filtres. Après plusieurs essais, ils ont finalement réussi à additionner les couleurs primaires. L'hypothèse de départ a pu être vérifiée par l'expérience.

Ensuite, dans une cinquième séance, nous avons tenté de voir ce qui pouvait se passer si l'on supprimait une couleur. L'hypothèse est l'obtention de nouvelles couleurs. L'expérience 3 va nous aider à démontrer comment on peut fabriquer de nouvelles couleurs.

Trace écrite de l'expérience 2 :



Expérience 3 : réalisation des couleurs secondaires



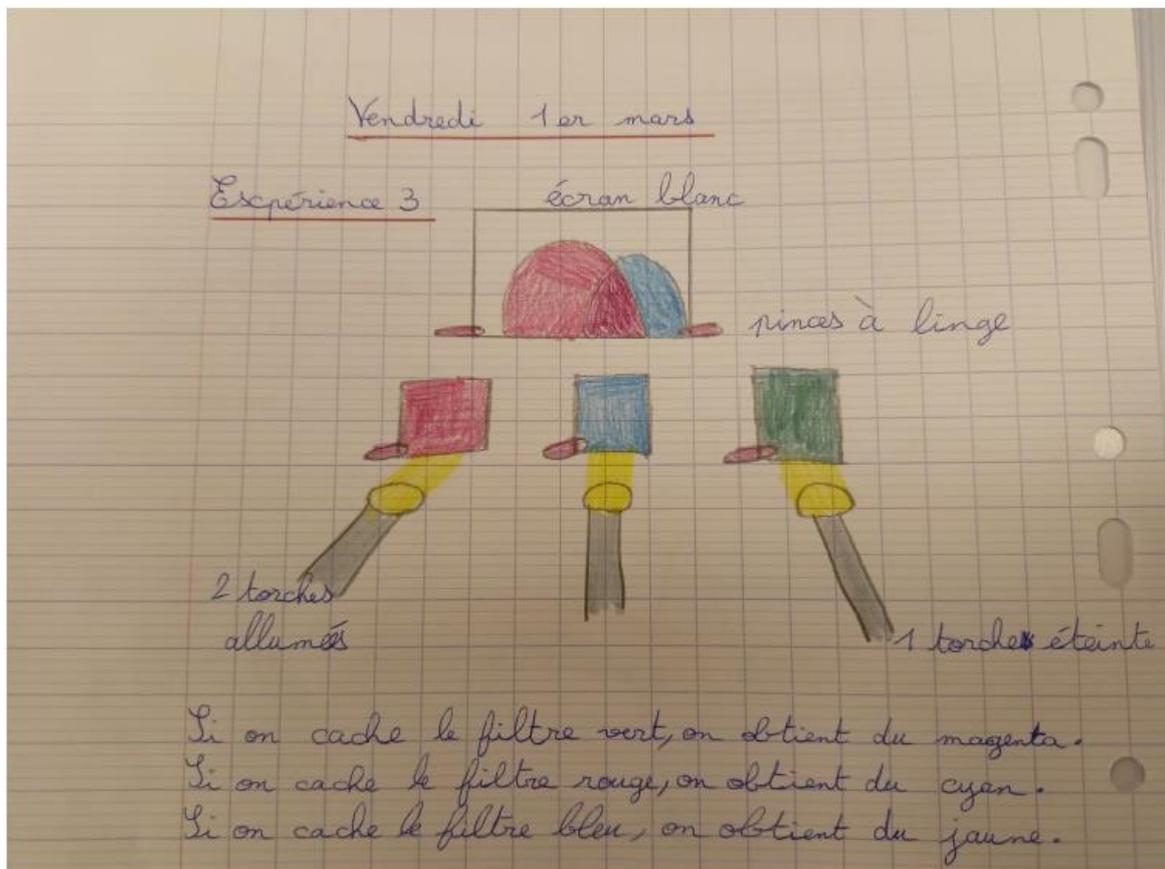
Les élèves ont caché le filtre rouge pour obtenir une nouvelle couleur secondaire : du cyan.



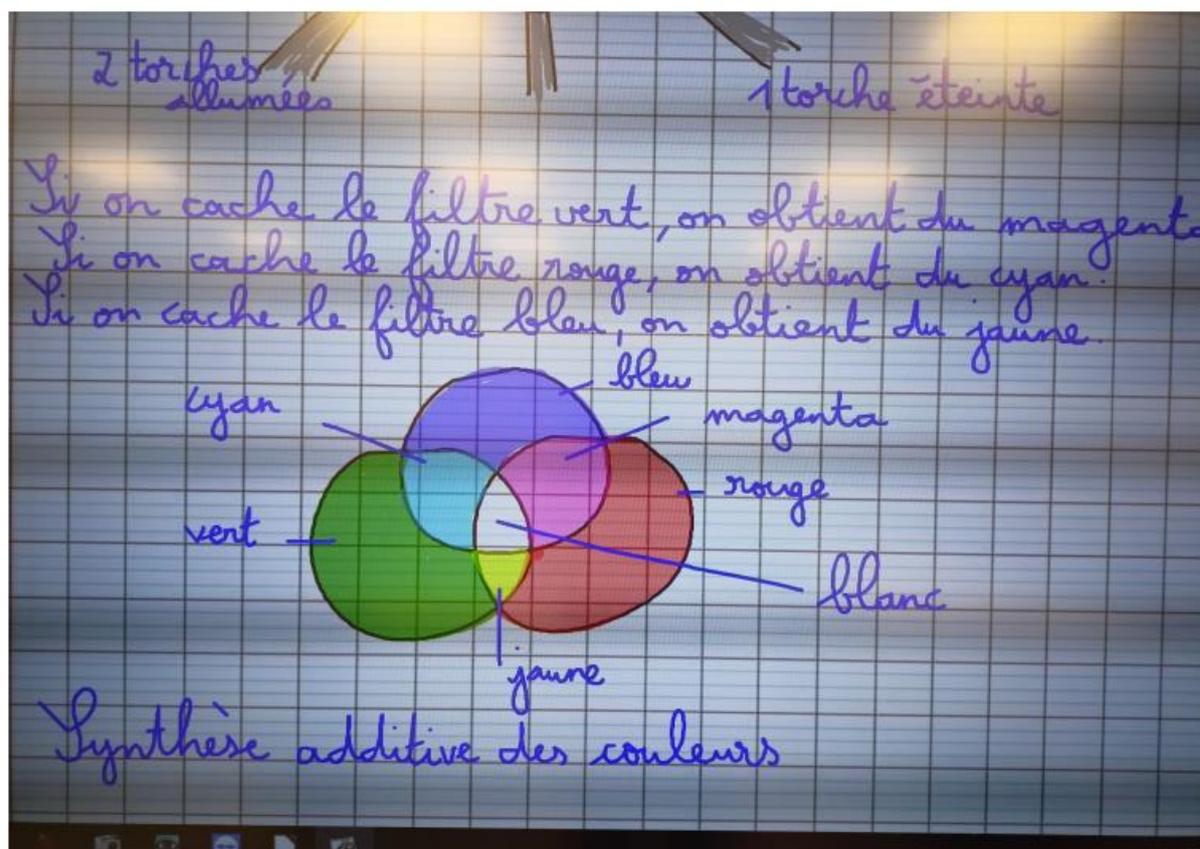


La superposition des filtres bleu et rouge crée le magenta tandis que celle des filtres rouge et vert crée le jaune.

Trace écrite de l'expérience 3 :



Trace écrite au tableau :



Le matériel contenu dans la lightbox a permis aux élèves d'acquérir une démarche scientifique : émettre des hypothèses, manipuler, faire des expériences, valider ou non les résultats. Les lightbox ont aussi facilité le travail en groupe ou en binôme des élèves. Cela a permis aux élèves de tâtonner (notamment pour trouver les filtres de couleur dans les expériences 2 et 3), de chercher des solutions, partager leurs informations aux autres groupes, revenir sur leurs erreurs. A la fin de chaque expérience, la synthèse collective permet de faire un bilan afin de s'assurer que les différents groupes ont validé leurs hypothèses et de garder une trace écrite de l'expérience.

Prolongement :

Suite à cette séquence sur la lumière, nous aborderons les ombres en sciences et technologies.

Les élèves ont aussi utilisé la boîte d'illusion d'optique 3D. Ils ont vu le rôle des deux miroirs concaves pour créer un hologramme. L'expérience servira de point de départ pour un travail d'arts plastiques sur les illusions d'optique.

Atelier « A la découverte de la vue (maternelle) »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - *le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

Les cinq sens À la découverte de la vue

m-05

Objectif général :

Découvrir qu'en regardant au travers d'un filtre coloré, la couleur d'un objet semble différente ; un objet apparaît aussi de couleur différente lorsqu'il est éclairé avec de la lumière colorée par un filtre ; vu au travers d'une loupe, il apparaît grossi ou déformé ; regarder dans un kaléidoscope ; concevoir un nuancier ; comparer la couleur d'objets et utiliser des palettes de couleurs



Lien avec le programme :
Découvrir les cinq sens

Matériel



Pour un atelier : rouleaux de film plastique couvre-livres de différentes couleurs ; protège-cahiers en plastique coloré (transparent) de différentes couleurs ; 6 loupes ; lunettes en carton couvertes de papier coloré transparent (une paire par élève, facultatif) ; morceaux de papier de couleurs différentes ; objets de différentes couleurs (™Playmobil, briques ™Lego) ; kaléidoscope (démontable si possible) ; reproduction d'un tableau très coloré (e.g. une œuvre de Sonia Delaunay ou la couverture d'un album jeunesse) ; 3 lampes torches (facultatif) ; 2 miroirs incassables ; ruban adhésif ou double face.

Budget



Film transparent coloré pour couvrir des livres : 1€ le rouleau ;
miroir incassable : 2 €. Le reste du matériel est empruntable.

Préparation : 35 minutes



Choix d'une œuvre dont les couleurs seront travaillées avec les élèves.
Réalisation d'une palette de couleurs.
Réalisation de dessins en points colorés.
Fabrication de lunettes colorées.
Fabrication de lampes colorées.
Charnière pour les miroirs.
Voir détails page suivante.

Conditions spécifiques



Temps ensoleillé ou obscurité dans la salle.

Difficultés travaillées :

Acquérir et utiliser un vocabulaire adapté (pour décrire, comparer).

Estelle Blanquet • Sciences à l'école, Côté jardin



Cycle I

3 heures

Séquence M-09
Miroirs

301

m-05

Les cinq sens À la découverte de la vue

Préparation

Réalisation d'une palette de couleurs

(peut être réalisée par les élèves en arts visuels)

Peindre des bandes de couleurs différentes en variant les teintes et en essayant de reproduire celles de l'œuvre choisie puis découper des carrés de 1 à 2 cm de côté dans les différentes teintes (éventuellement les plastifier).

Réalisation de dessins en points colorés

(peuvent être réalisés avec les élèves en arts visuels)

Sur des feuilles blanches A4, dessiner une forme facilement identifiable par les élèves en espaçant de 5 mm environ des taches colorées (largeur 1 à 2 mm) à l'aide d'un feutre rouge. Couvrir ensuite le reste de la feuille de points d'autres couleurs. Sur autant de feuilles, répéter l'opération *ad libitum* avec des dessins jaunes, verts, bleus...

Fabrication de lunettes colorées

Découper dans du carton épais la forme d'une paire de lunettes ; découper deux morceaux de film transparent coloré pour couvrir les livres de la dimension des ouvertures pour les yeux et les coller. Prévoir des lunettes avec des filtres bleus, verts, rouges.

Découper des rectangles d'environ 40x70 cm dans du film transparent coloré (e.g. couvre-livre).

Fabrication de lampes colorées

Recouvrir la vitre des lampes torches avec du film coloré.

Charnière pour les miroirs

Découper une bande de carton de 3 cm de large et de la même hauteur que les deux miroirs et la plier en deux dans le sens de la longueur. Y coller les deux miroirs, faces réfléchissantes en vis-à-vis.

Les cinq sens À la découverte de la vue

m-05

**Déroulement
succinct**

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Manipulation libre des morceaux de film transparent coloré	Observer le milieu environnant à travers un filtre coloré. Faire des taches de lumière colorée sur le sol.	<i>Travail collectif et en atelier</i>
Comment voit-on un objet de couleur à travers un filtre coloré ?	Découvrir que l'objet apparaît d'une couleur différente si on le regarde au travers d'un filtre.	<i>Travail en atelier et mise en commun</i>
Peut-on colorer un objet blanc avec de la lumière ?	Utiliser la lumière du Soleil ou d'une lampe et un filtre de couleur pour colorer un objet blanc.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand je regarde à travers une loupe ?	Observer des détails d'un objet à l'aide d'une loupe.	<i>idem</i>
Avec un seul objet, comment faire pour en voir quatre ?	Observer l'influence de l'ouverture de l'angle entre les deux miroirs sur le nombre d'objets visibles.	<i>idem</i>
Comment utiliser un kaléidoscope ?	Découvrir comment modifier l'image observée.	<i>idem</i>
Comment classer les morceaux de papier colorés ?	Trier les morceaux par couleur et les classer en respectant le même ordre pour les différentes nuances.	<i>idem</i>
Peut-on identifier les couleurs utilisées dans la peinture présentée ?	Comparer et identifier les morceaux de papier colorés dont la teinte est proche de celles utilisées dans la peinture.	<i>idem</i>

m-05

Les cinq sens À la découverte de la vue



Où retrouve-t-on sur l'œuvre la couleur des bouts de papier ?



Le sol change de couleur:



Les points colorés ont changé de couleur:

- Je ne vois plus l'objet dessiné en pointillé, et toi ?
- Moi, si mais il est devenu sombre.



304

Partie 2-B • 16 Ateliers pour l'école maternelle

Les cinq sens À la découverte de la vue

m-05

I/ Travail avec des filtres colorés

Descriptif

Comme toujours, il faut prévoir un temps suffisant pour que les élèves s'approprient le matériel. La manipulation des grands morceaux de film coloré donne l'occasion d'observations nombreuses et stimule le travail coopératif. Les élèves peuvent regarder au travers. Ils peuvent également les brandir à la lumière pour faire des taches colorées sur le sol et les murs, ou encore les superposer.

L'aide du maître est nécessaire pour la verbalisation de ce qui est observé. Un premier échange collectif permet de lister les utilisations trouvées et les observations réalisées. Un questionnement plus précis peut alors être introduit. Certains élèves ont vu que la couleur d'un objet changeait quand on le regardait à travers un filtre.

Que se passe-t-il quand on regarde un objet bleu avec des filtres de couleurs différentes ? Un objet rouge, vert, blanc ? Pour savoir, il faut essayer. L'utilisation de lunettes recouvertes d'un filtre coloré facilite l'observation (les protège-cahiers peuvent se substituer aux lunettes). Le travail est mené en atelier pour faciliter la verbalisation. Faire observer en même temps à tous les élèves de l'atelier le même objet à travers la même couleur de filtre facilite la gestion des observations. Changer ensuite de filtre de couleur. Renouveler l'opération avec des objets de différentes couleurs. Un objet blanc éclairé par la lumière du Soleil (ou des lampes de la classe) apparaît de la couleur du filtre. Vu au travers un filtre rouge, un objet rouge apparaît rouge mais un objet d'une autre couleur apparaît plus sombre, ou d'une couleur difficilement identifiable par les élèves. Selon l'âge des élèves, on peut en rester à ces premiers constats.

Que se passe-t-il maintenant quand on pose un filtre coloré (protège-cahier) sur une feuille couverte de points de couleurs différentes ? Peut-on encore voir l'objet dessiné ? Les points verts apparaissent très sombres sous un filtre rouge, et inversement. Avec un filtre jaune, le contour de l'objet dessiné en points rouges conserve le plus souvent sa couleur, légèrement assombrie. Il est difficile de distinguer les points de la même couleur que le filtre. Comme précédemment, on peut conclure qu'à travers un filtre coloré, la couleur d'un objet apparaît modifiée.

On peut ensuite faire observer aux élèves ce qui se passe quand la lumière d'une lampe, ou celle du Soleil, traverse un filtre coloré. La lumière qui ressort du filtre a la même couleur que ce dernier. Placez une feuille de papier blanc sur le sol pour observer le phénomène à un moment où le Soleil est haut dans le ciel (en tout début d'après midi par exemple).

Peut-on colorer un objet blanc avec de la lumière ? Il suffit de positionner judicieusement le filtre coloré entre la source de lumière et l'objet.



On ne rentrera pas à ce stade dans des tentatives d'explication physique ou physiologique des observations.

Les cinq sens À la découverte de la vue

2/Que se passe-t-il quand je regarde au travers d'une loupe ?

La manipulation libre des loupes permet aux élèves d'observer leur effet de grossissement.

À quoi servent-elles ?

À voir plus gros bien sûr, mais aussi à voir des détails qui seraient restés cachés sinon. On peut alors leur proposer de regarder en grand détail la peau de leur main, une feuille tombée d'un arbre, un brin de laine...

3/Des miroirs surprenants

Le travail sera facilité si les élèves ont déjà manipulé des miroirs (cf. M-09). Si ce n'est pas le cas, laissez-leur le temps de s'observer eux-mêmes, et d'observer des objets dans un miroir avant de présenter le dispositif à deux miroirs.

Lancez alors un défi aux élèves : *peuvent-ils utiliser le dispositif, sans le démonter, pour voir plusieurs images de l'objet posé sur la table ?* Pour faciliter le travail, vous pouvez demander à ce que les deux miroirs restent eux-aussi sur la table. *Que peut-on changer ?* La disposition des miroirs et la position de l'objet. En cas de besoin, aidez les élèves à trouver une première image de l'objet dans l'un des miroirs. Les élèves réalisent rapidement qu'en modifiant l'angle entre les deux miroirs et en regardant dans l'un des deux ils peuvent voir les images de l'objet se démultiplier.

Présentez-leur alors un kaléidoscope et laissez-les regarder à travers. Les élèves apprécient énormément cet objet. De l'extérieur, on voit souvent les éléments colorés utilisés. On en voit beaucoup plus encore quand on regarde dans le kaléidoscope.

Comment les fabricants du kaléidoscope ont-ils fait ? On a vu qu'avec des miroirs on pouvait voir un objet en plusieurs exemplaires ; peut-être le kaléidoscope en contient-il aussi ? S'il est démontable, il est facile de constater que c'est bien le cas.



Il est possible de réaliser son propre kaléidoscope.

4/Travail sur les palettes de couleurs

Si, pour les plus jeunes, l'identification des couleurs de base est déjà un travail en soi, on peut l'affiner avec les plus grands. Ils peuvent réaliser des bandes de couleur en faisant varier la nuance, par exemple dans le cadre d'un travail en arts visuels. On peut aussi leur proposer de trier des morceaux de papier

Les cinq sens À la découverte de la vue

m-05

colorés par couleur dans un premier temps puis leur demander comment ils pourraient classer les morceaux de papier des différents lots. Un classement de la teinte la plus pâle à la plus foncée est alors possible. Ils peuvent ensuite utiliser la palette de couleurs construite pour identifier les teintes utilisées dans une œuvre. C'est également l'occasion d'un travail langagier sur les noms des différentes couleurs.

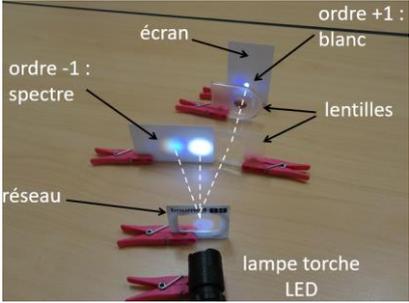
Liens :

Documents d'accompagnement « Découvrir le monde à l'école maternelle » (MJENR/DESCO, Académie des sciences / La main à la pâte).

Vous trouverez une fiche animée de fabrication d'un kaléidoscope sur le site de la *Cité des Sciences* :

http://www.cite-sciences.fr/francais/web_cite/experime/bricocite/fran/anim_flash/kaleidoscope.swf

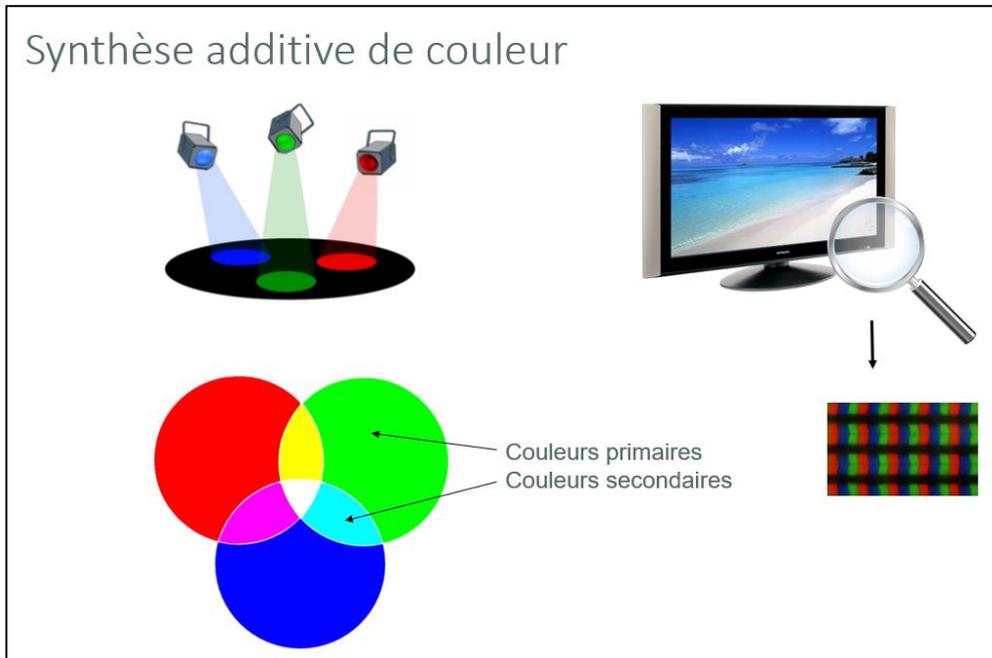
3. « Additionner » les couleurs

Thèmes : Le principe de la synthèse additive	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– Filtres– Couleurs primaires/secondaires– Synthèse additive	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 : <ul style="list-style-type: none">– Lampe torche LED– Réseau ou prisme– 1 lentille– Ecran– Pinces à linge	Illustration :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
Etapes : <ol style="list-style-type: none">1. Réaliser l'expérience illustrée sur la photo ci-dessus2. Observer le spectre transmis en plaçant devant la LED un filtre de couleur rouge3. Répéter l'expérience avec les filtres de couleur verte puis de couleur bleu4. Identifier pour chacun de ces 3 filtres la partie du spectre qu'il absorbe5. Observer le spectre transmis par le filtre de couleur magenta6. 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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

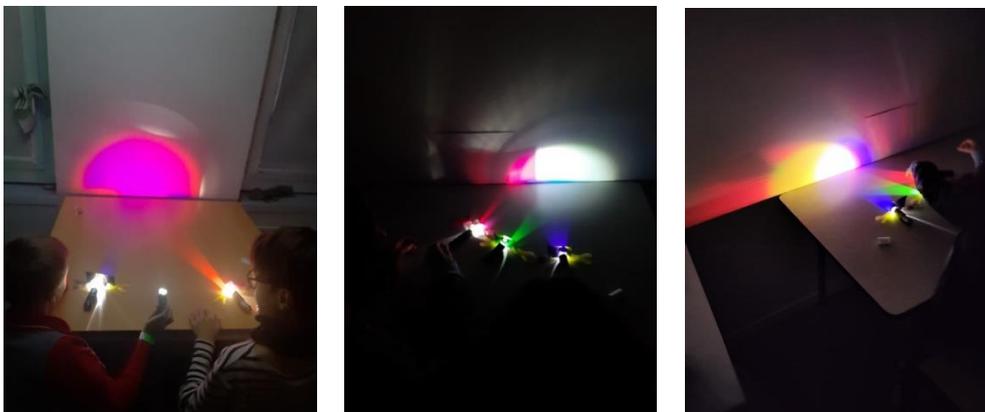


Ateliers « Synthèse additive et ombres colorées »

Synthèse additive :

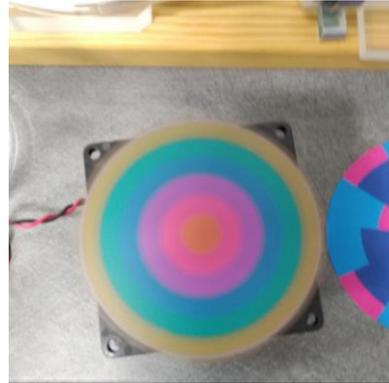
Conception de l'atelier : Ayoub Badri et Hippolyte Mouhanna (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2022

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.

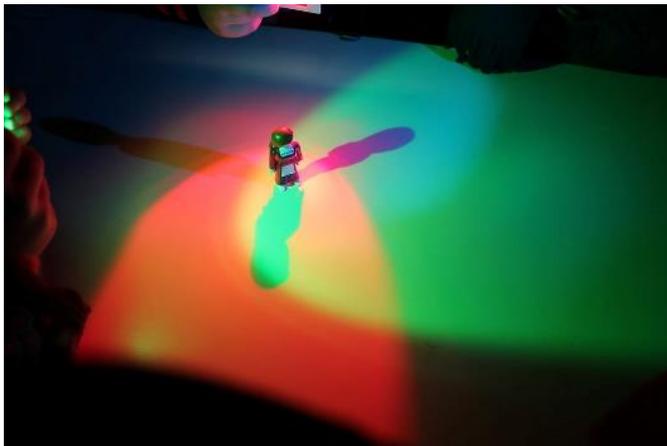


Synthèse soustractive : les ombres colorées

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



Atelier « Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ? »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - *le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

Objectif général :

Approfondir la compréhension de ce qu'est l'ombre. Elle n'est pas absence de lumière mais *déficit de lumière*, on la voit sur un écran par contraste. Chaque ombre d'un objet est associée à une source de lumière : la lumière de cette source ne parvient pas dans la zone située de l'autre côté de l'objet. Cette zone peut par ailleurs être éclairée par une(des) autre(s) source(s) : c'est le phénomène des ombres colorées.



Lien avec le programme : ombres et lumières

Matériel

 *Par groupe* : 1 source lumineuse avec miroirs orientables et son générateur ou 3 lampes torches puissantes ; 3 filtres : rouge, vert, bleu ; 2 feuilles de papier calque ; 1 objet faisant obstacle à la lumière (par exemple 1 bâtonnet de colle) ; 1 écran blanc ; pâte à modeler
Par élève : 1 règle, feutres et crayons de couleurs
Pour l'enseignant : 1 rouleau de TMScotch ou TMPatafix ; 4 bonshommes TMPlaymobil (rouge, vert, jaune, bleu).
Éventuellement projecteur de diapositives.

Budget

 Source avec ses filtres et son générateur : 200 €, empruntable
(ou lampes torches : 6 € l'unité et filtres : 15 € les trois).

Préparation : 15 minutes

 Réalisation d'écrans pouvant tenir verticalement : carton épais A4 recouvert d'une feuille blanche et fixé sur la table par deux boules de pâte à modeler.

Conditions spécifiques

Obscurité dans la salle et rallonges pour alimenter les sources
Il est nécessaire d'avoir travaillé avec les élèves les compétences de la séquence « Comment faire varier la taille des ombres ».

Difficultés travaillées :

Raisonnement sur deux sources en même temps et identifier l'ombre associée à chacune, les ombres colorées pouvant s'interpréter comme des endroits où il « manque une couleur » par rapport au reste de l'écran.



Cycles 2 & 3



6 heures environ
(soit 5 séances)



Séquence E-01

Comment faire varier la taille des ombres

Séquence E-02

Sur les traces d'Eratosthène

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

Déroulement succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Des découvertes surprenantes, présentation et manipulation libre du matériel	Faire naître et formuler les questions.	<i>Travail en groupe, bilan collectif des questions</i>
Mélanger des lumières de différentes couleurs, qui donne quoi ?	Mettre des mots sur des perceptions visuelles.	<i>Travail en groupe ou collectif</i>
Comment expliquer les couleurs des ombres ?	Proposer une interprétation du phénomène des ombres colorées.	<i>Travail en groupe puis confrontation des affiches et formulation collective de la réponse</i>
Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?	Vérifier la robustesse de notre interprétation.	<i>Travail en groupe</i>

Descriptif *1/Des découvertes surprenantes*

Laissent dans un premier temps les élèves manipuler librement le matériel. La source lumineuse à miroirs ou les lampes doivent être équipées des trois filtres de couleur ; un écran est posé sur la table.



Pour la source à miroirs, faire observer si besoin aux élèves que c'est comme si l'on avait trois sources mobiles à disposition (en déplaçant les miroirs), et qu'il est possible de les éteindre à volonté en les occultant avec des caches en carton.

Si les élèves ne font pas spontanément l'expérience, passez la main devant l'écran pour faire apparaître des ombres colorées : surprise garantie. Un objet interposé entre les sources de lumière et l'écran remplacera avantageusement la main pour la suite.

La mise en commun des observations permet de souligner deux découvertes et de faire naître deux questions :

Quand on mélange les couleurs, on en obtient de nouvelles ; quel mélange donne quelle couleur ?

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

Quand on place un objet entre les sources et l'écran, on voit apparaître plusieurs ombres avec des couleurs différentes, qui bougent quand on bouge les miroirs ; comment expliquer la couleur des ombres ?



Sur l'écran, les ombres n'ont pas tout à fait la même taille. Les élèves devraient être capables de réinvestir les acquis du travail de la séquence E-01, « Comment faire varier la taille des ombres ? », et mener un raisonnement du type « l'objet et l'écran ne bougeant pas, si j'ai des tailles d'ombre différentes c'est que les lampes torches ne sont pas à la même distance de l'écran ou que les miroirs modifient la distance source/écran ».

2/ Mélanger des lumières de différentes couleurs

Il est assez facile de se mettre d'accord avec les élèves sur la façon de procéder : essayer les mélanges de couleurs deux à deux, puis le mélange des trois.

Les observations peuvent être notées sous forme de phrases (*quand on superpose/mélange un faisceau de lumière rouge avec un faisceau de lumière verte, à l'endroit où les faisceaux se superposent on voit du jaune sur l'écran*) ou sous la forme de dessin. Il convient de préciser le vocabulaire pour désigner les couleurs (cyan, magenta, jaune).

3/ Comment expliquer les couleurs des ombres ?

On se restreint d'abord à deux sources de lumière colorée, par exemple la rouge et la verte. La question devient alors : *Comment expliquer qu'avec une source de lumière verte et une source de lumière rouge, on observe une ombre verte et une ombre rouge sur fond jaune ?*

3.1. Recherche de réponses



Il est possible de mettre à la disposition des différents groupes des vues en perspective, de dessus, de face des différents éléments (source, écran, objet) afin de les aider dans la schématisation (cf. dessin page suivante, réalisé par des élèves de CM2).

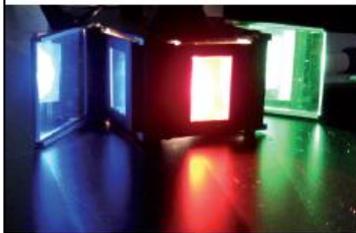
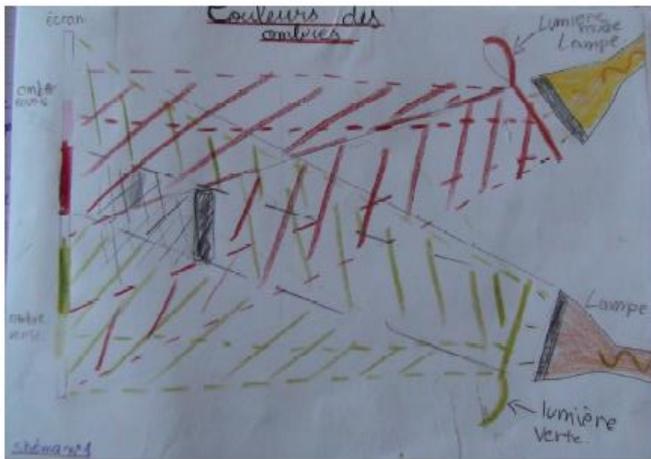
La réalisation d'une affiche par groupe enrichira les échanges.



Pour la source à miroirs, occulter la lumière centrale et mettre les filtres sur les deux entrées latérales pour avoir l'équivalent de deux sources mobiles en utilisant les miroirs. On pourra les représenter sur les dessins par deux lampes torches indépendantes.



C'est notre cerveau (via l'œil) qui nous permet de voir du jaune quand un faisceau de lumière verte et un faisceau de lumière rouge se superposent. Si l'on utilise un spectroscope, instrument capable d'analyser la lumière, celui-ci, pointé sur l'écran, révèle deux bandes, une rouge et une verte (mais pas de jaune). Pointé sur une lampe au sodium qui émet une lumière jaune, le spectroscope montre une unique bande jaune. Contrairement au spectroscope, notre œil est incapable d'analyser la composition du jaune que nous voyons.



Vert + Rouge :
on voit du Jaune !



Certains élèves peuvent penser que la couleur de l'objet influe sur celle des ombres. *Comment faire pour savoir ?* Sans rien modifier d'autre, prendre des objets identiques à la couleur près (™Playmobil) et observer sur l'écran : rien ne change ; la couleur de l'objet n'influe donc pas sur celle de son ombre.

Guidage des groupes :



Certains groupes peuvent avoir des difficultés à démarrer ou ont une réponse toute faite assez déstabilisante : *on voit du rouge parce qu'on a une source de lumière rouge et du vert parce qu'on a une source de lumière verte, il n'y a rien de plus à comprendre.* À ceux-là, indiquer que ce qui nous intéresse, c'est de comprendre pourquoi à un endroit on voit du rouge et à un autre du vert alors que tout autour on voit du jaune.

Les élèves procèdent en général de deux façons différentes : en occultant une source ou en la déplaçant. Cependant, l'absence d'idée *a priori* rend souvent la manipulation peu efficace : il faut alors les aider à expliciter leurs actions et à anticiper le résultat. Un premier point est de leur proposer de ne pas déplacer l'objet (ni l'écran) pendant leurs recherches, pour ne pas tout faire varier à la fois.

Deux approches sont possibles pour faciliter la compréhension du phénomène :

- Demander aux élèves ce qui d'après eux va se passer si l'on «éteint» l'une des sources avec le cache en carton *en gardant fixes les deux miroirs (les deux lampes)*. Ils peuvent alors dessiner sur un calque la trace de l'ombre sombre et hachurer le reste avec le crayon de la couleur correspondante. En faisant la même opération avec un deuxième calque pour l'autre source, puis en superposant les deux, les élèves peuvent observer la zone où la lumière des deux sources se mélange, et celle où seule la lumière rouge (verte) arrive sur l'écran. Il ne reste plus qu'à dessiner et mettre en mots sur une affiche.

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?

E-03

- Réaliser progressivement le mélange des couleurs. En maintenant une source fixe (l'écran est alors de la couleur de cette source et l'ombre est sombre), on trace l'ombre correspondante ; puis on fait progressivement « glisser » l'autre source vers l'écran. L'endroit sur l'écran où les deux sources se mélangent apparaît jaune ; l'extension de la zone jaune augmente quand on déplace la source mobile ; puis elle atteint l'ombre sombre. Celle-ci prend alors progressivement la couleur de la source mobile. Apparaît ensuite une ombre de la même couleur que la source fixe. Arrêter de tourner le miroir (les lampes) lorsque les deux ombres colorées sont apparentes et dessiner la trace de la nouvelle ombre. Occulter la source initialement fixe : cette ombre devient sombre, elle est associée à la source mobile.



Pour aider les élèves à comprendre d'où vient la lumière que l'on voit sur l'écran, il est possible d'utiliser des fils de laine rouge et vert qui partent des sources et que l'on tend pour rendre perceptible la représentation de la lumière par des rayons lumineux, représentation déjà connue des élèves. Certains sont bloqués par l'objet et n'arrivent pas jusqu'à l'écran (ombre associée à la source).

3.2. Mise en commun des résultats et formulation de la réponse

La confrontation des affiches permet de s'assurer que tous les groupes ont compris le phénomène ; elle met en évidence la diversité des énoncés trouvés pour l'expliquer et la difficulté de se faire comprendre par les autres.

Quelques formulations possibles (pour l'ombre verte, on inverse vert et rouge dans les textes) :

- « Si l'on voit une ombre rouge, c'est parce que de la lumière rouge arrive sur l'écran à cet endroit et que l'objet empêche la lumière de la source de lumière verte d'y arriver. Ailleurs l'écran est jaune car la lumière rouge et la lumière verte atteignent l'écran. »
- « En occultant la source de lumière rouge, l'écran devient vert et une ombre sombre apparaît là où la source de lumière verte ne passe pas. Avec les deux sources non occultées, cette ombre devient rouge. L'ombre rouge est donc l'ombre associée à la source de lumière verte, cette zone restant éclairée par la source de lumière rouge. »



Et si l'on approche l'objet de l'écran ?

On voit apparaître une partie sombre : à cet endroit aucune des deux sources n'éclaire l'écran.

Ombres colorées : comment expliquer la couleur des ombres ?



Que se passe-t-il en lumière blanche ?

Enlevons les filtres de couleur. On peut faire le lien avec les ombres d'un joueur de football sur un stade éclairé, remarquer que les ombres ne sont pas uniformément sombres et que plus il y a de sources de lumière, moins les contrastes entre les ombres sont prononcés.

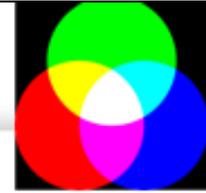
4/Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?

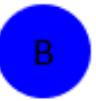
Notre interprétation peut-elle s'appliquer dans d'autres conditions ou ne s'applique-t-elle que dans le cas étudié ? Peut-elle permettre de prévoir ce qui va se passer si les filtres de couleurs sont inversés, si l'on change leur couleur, si on ajoute une troisième source colorée de lumière, si l'on a plusieurs sources de lumière blanche... Suivant la rapidité avec laquelle les groupes résolvent les problèmes, on peut multiplier les variations sur le même thème. Dans tous les cas, prévoir ce que l'on va observer *avant* d'allumer les sources. Si notre interprétation résiste à ces différents contrôles, elle gagne en robustesse et en généralité ; sinon, nous en découvrons les limites !

Proposition d'animation

- Manipulation libre du matériel.
- Mélanger des lumières de différentes couleurs, qui donne quoi ?
(prévoir un schéma à compléter)
- Comment expliquer les couleurs des ombres ?
(prévoir des schémas à compléter avec une vue de dessus.
Fournir rapidement du papier calque. Se focaliser sur la pertinence des explications fournies par les élèves visiteurs et les guider pour les dessins. Se satisfaire d'un dessin où les zones éclairées par les sources sont représentées sans forcément de rayons en provenance de ces sources).
- Notre interprétation permet-elle de prévoir la couleur des ombres dans d'autres circonstances ?

De 3 photorécepteurs à plusieurs millions de couleurs

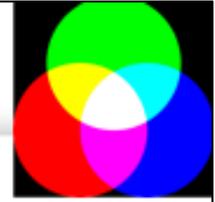


	Couleur perçue	Photorécepteurs activés		
Couleurs primaires	 Rouge	 R	 V	 B
	 Vert	 R	 V	 B
	 Bleu	 R	 V	 B
Couleurs secondaires	 Jaune	 R	 V	 B
	 Cyan	 R	 V	 B
	 Magenta	 R	 V	 B
	 Blanc	 R	 V	 B
	 Noir	 R	 V	 B

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

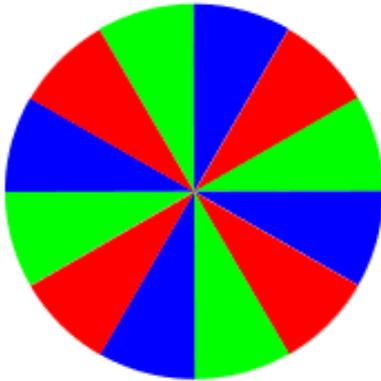


De 3 photorécepteurs à plusieurs millions de couleurs

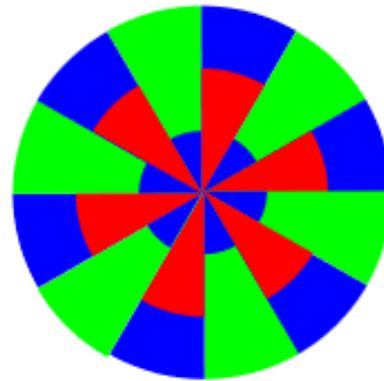


Couleur perçue	Photorécepteurs activés		
 Gris	 50%	 50%	 50%
 Orange			
 Chartreuse			
 Vert printemps			
 Azur			
 Violet			
 Rose			
 Marron	 50%	 25%	 25%

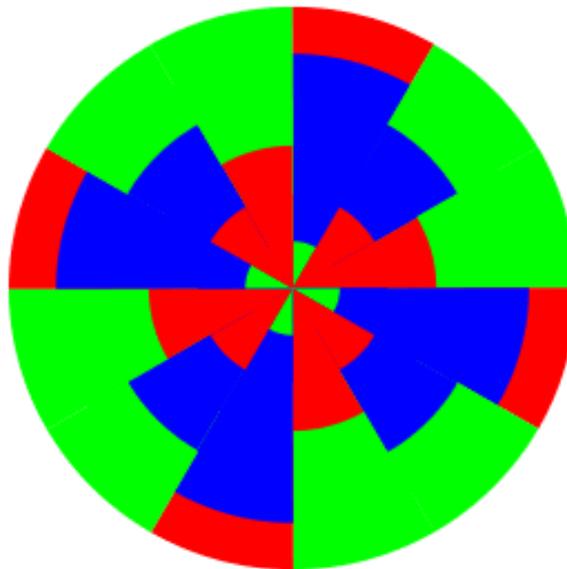




Roue « grise »
(selon les réglages imprimante
sur la notre, c'est rose pale !)



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 : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– Image imprimée– Ecran smartphone, TV ou PC	Illustration : 
Étapes : <ol style="list-style-type: none">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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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). Exemple de la crevette-mante qui possède une vision des couleurs exceptionnelle avec 16 cônes ! (https://fr.wikipedia.org/wiki/Stomatopoda)	
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

Legende:
— Milieu Transparent
— Membrane opaque

Bâtonnet

Cône

- 1 : segment externe
- 2 : Noyau dans le corps cellulaire
- 3 : Axone

La vision des couleurs

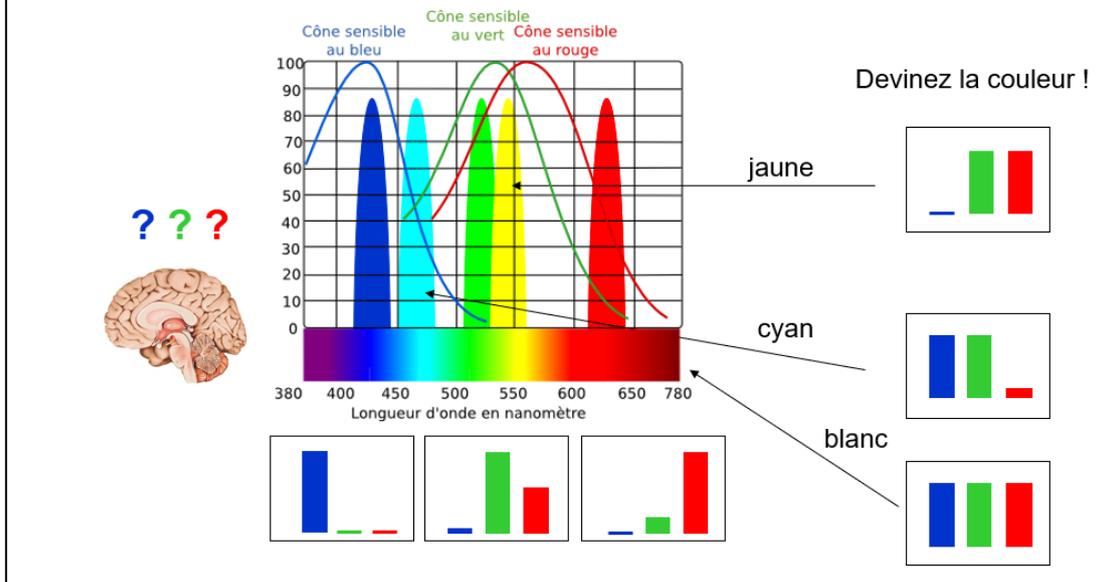
Les cônes et les bâtonnets ne mesurent que la quantité de lumière

Absorption relative (%)

Longueur d'onde (nm)

D'après Bowmaker and Dartnall, 1980

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

Etapes :

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

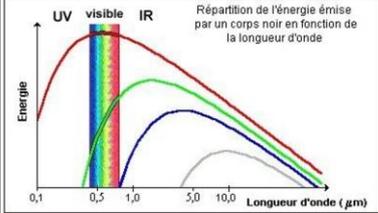
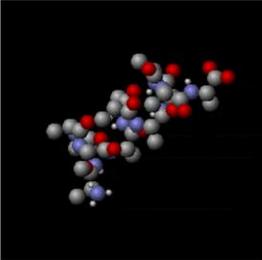
Rayonnement thermique

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

Or les charges électriques en mouvement émettent des ondes électromagnétiques

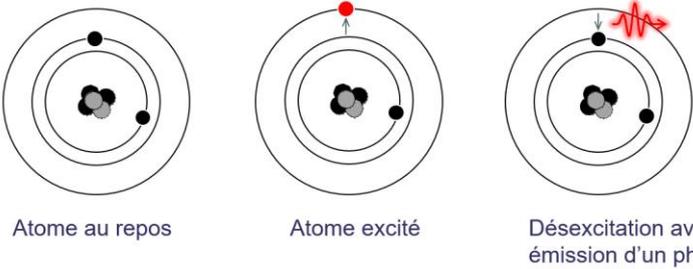
Donc tout corps porté à une certaine température émet un rayonnement

La longueur d'onde dépend de la température

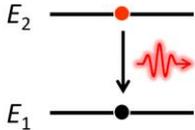


La luminescence

Rayonnement dû aux transitions atomiques



Atome au repos Atome excité Désexcitation avec émission d'un photon

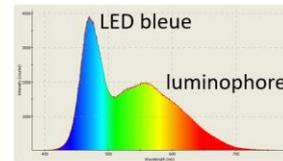
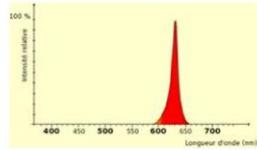
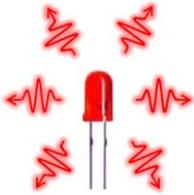


L'électron émet un photon pour revenir à sa position d'équilibre $hf = E_2 - E_1$



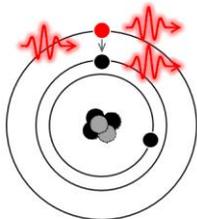
Les sources lumineuses

- Fluorescence
- Phosphorescence
- Chimiluminescence
- Bioluminescence
- Electroluminescence

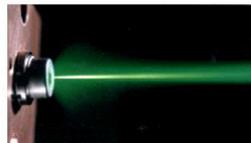
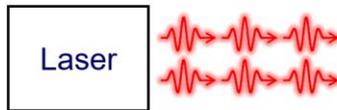


Le laser

Laser : *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

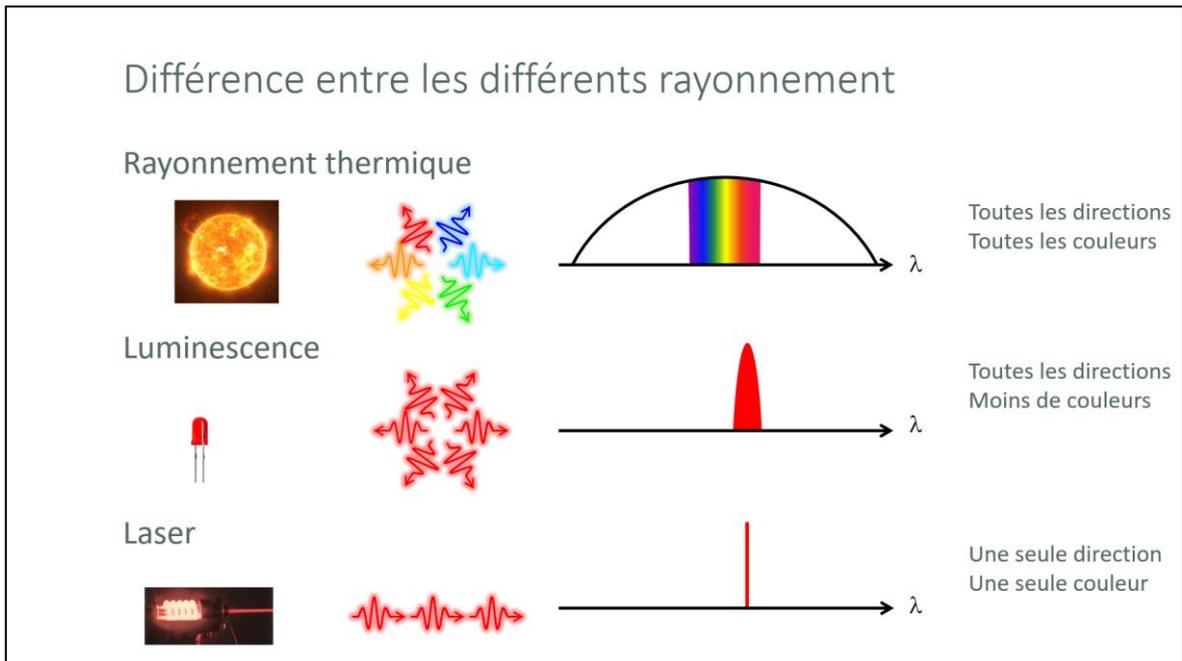


Emission stimulée

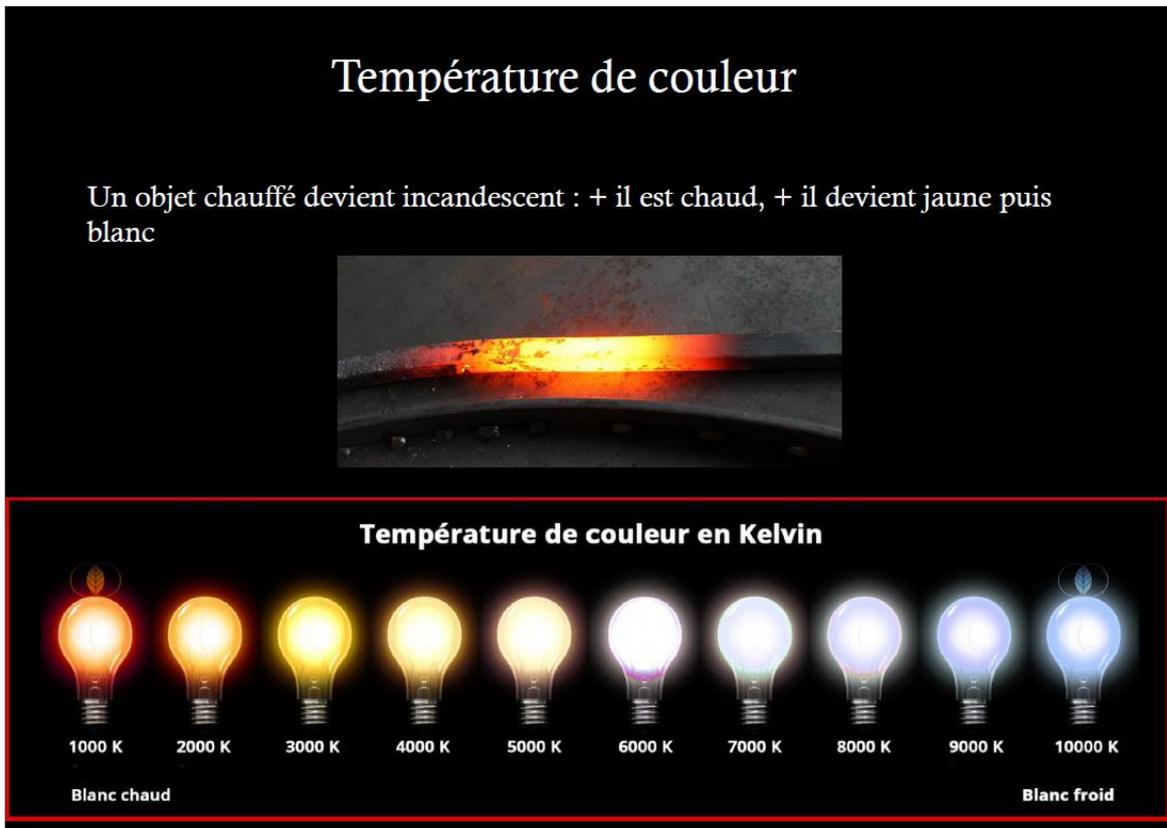


Les photons sont tous identiques, la lumière est **cohérente**.





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

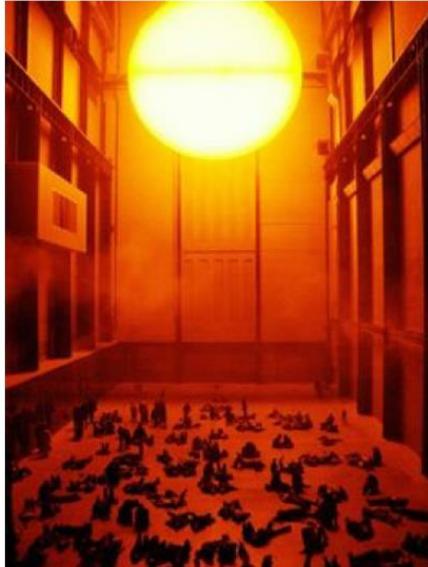


Figure 53 - *Alba*, Eduardo Kac, 2000, le lapin fluorescent.



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

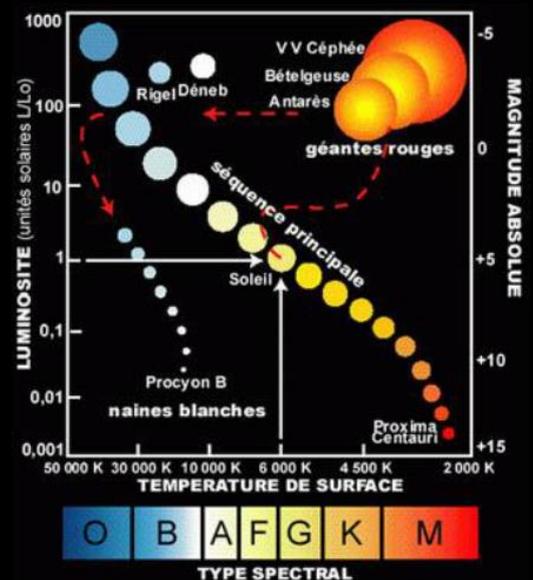
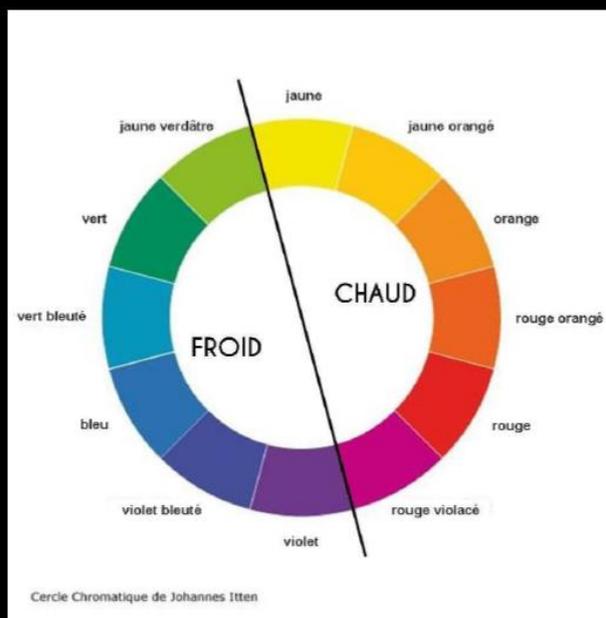




Olafur Eliasson (1967), *The Weather* project, 2003, ampoule à monofréquence, cadre en alu, film miroir, brouillard artificiel

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



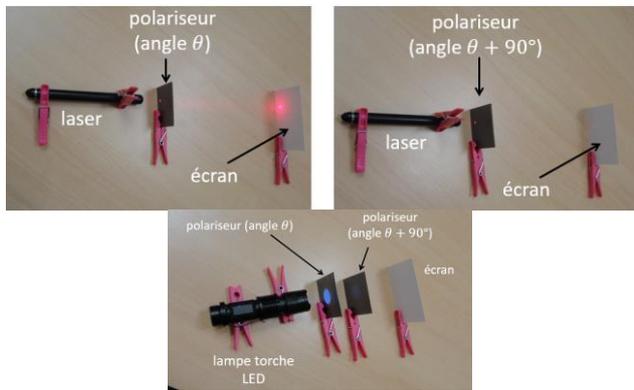
VI. Polarisation



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	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Polarisation – Polariseur	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 :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
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 Daussy / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

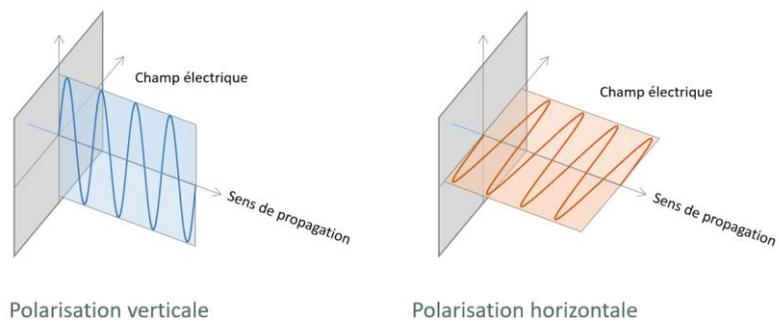
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

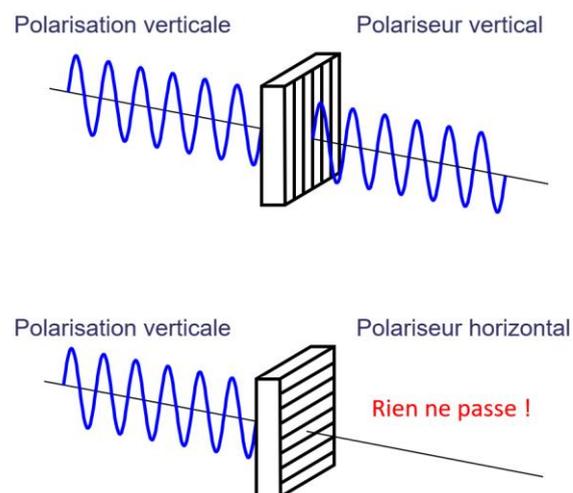
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

C'est quoi ?

C'est la direction de vibration du champ électrique



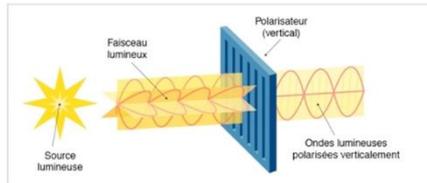
Effet d'un polariseur



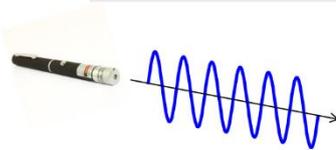
42

Polarisation

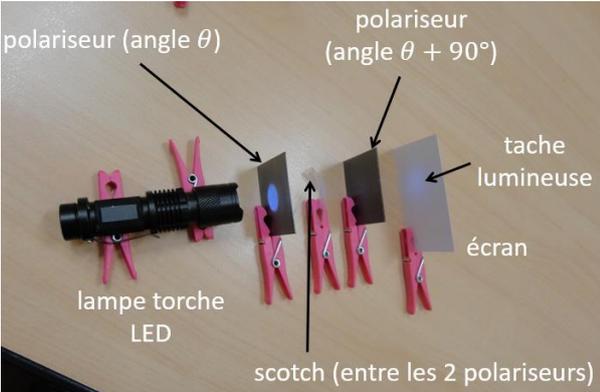
La lumière blanche n'est pas polarisée naturellement



Laser l'est



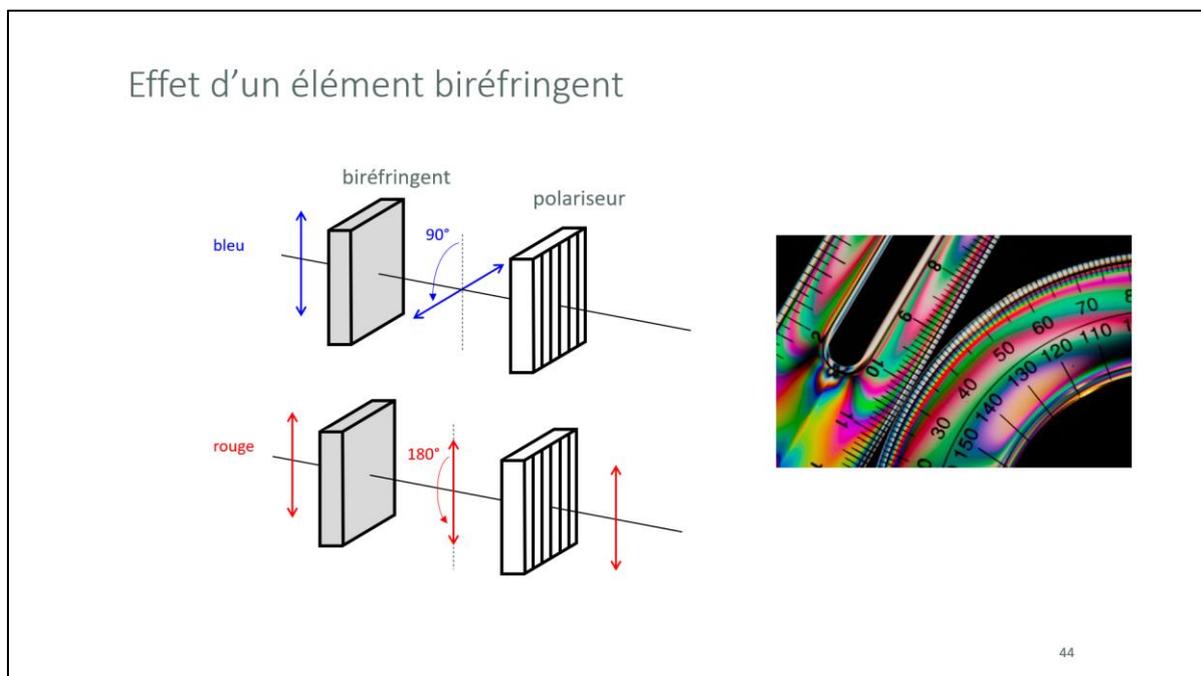
2. Polarisation et biréfringence

Thèmes : Etude de la biréfringence d'un matériau transparent	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– Polarisation– Polariseur– Biréfringence	Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">– Mettre en évidence la biréfringence du scotch– Interpréter l'effet d'un matériau biréfringent sur la polarisation de la lumière	
Liste du matériel : <ul style="list-style-type: none">– LED– 2 Polariseurs– Ecran– Scotch (non fourni)– Pincettes à linge	Illustration :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
Étapes : <ol style="list-style-type: none">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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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

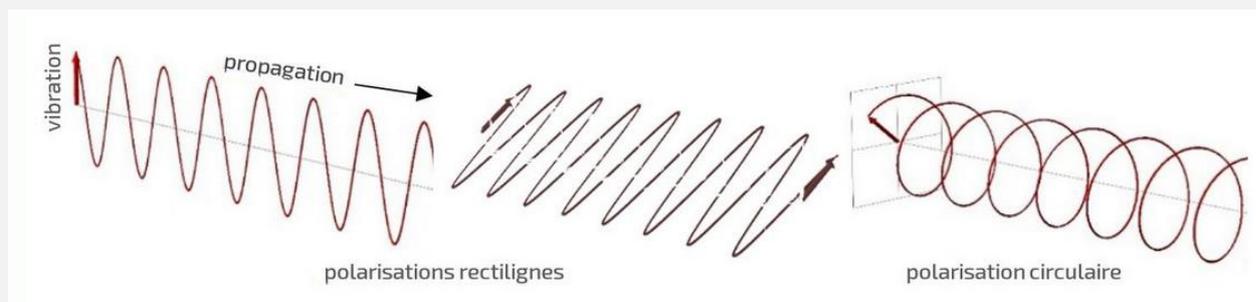
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation « Lumière entre art et science », MPLS de Bretagne 2023

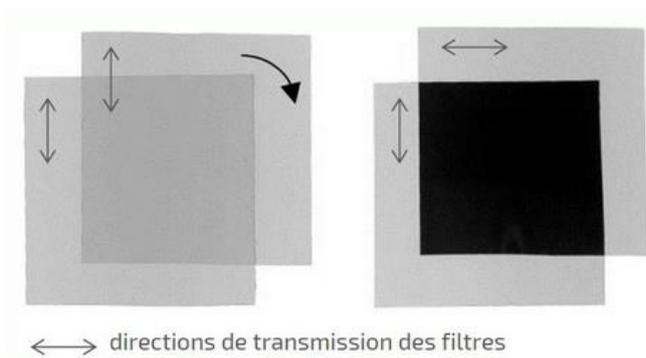


Atelier « Polarisation et biréfringence »

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.

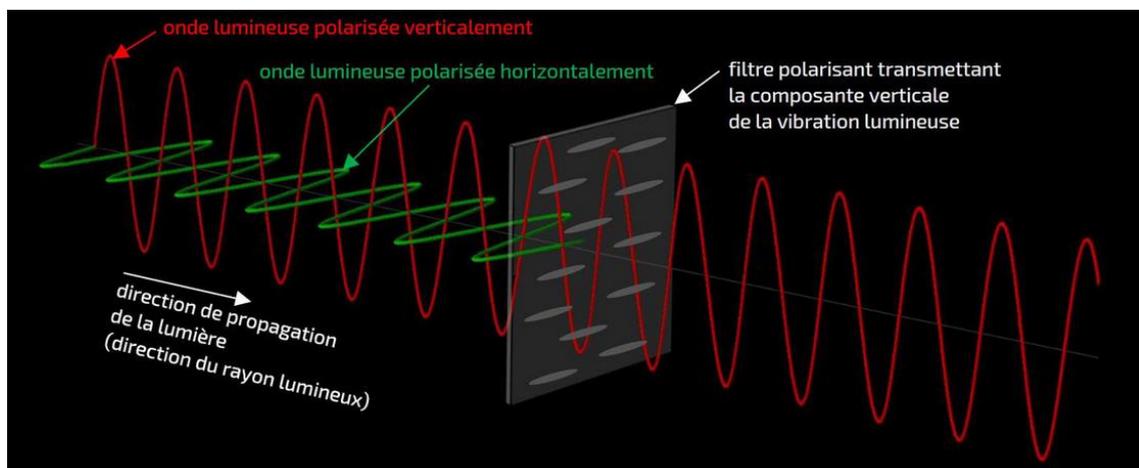




Les filtres polarisants sont généralement constitués d'un film plastique contenant des molécules en forme de bâtonnets, tous orientés dans la même direction. Si une onde lumineuse traverse le filtre avec son champ électrique dans la direction des molécules, des électrons sont mis en mouvement dans ces 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.

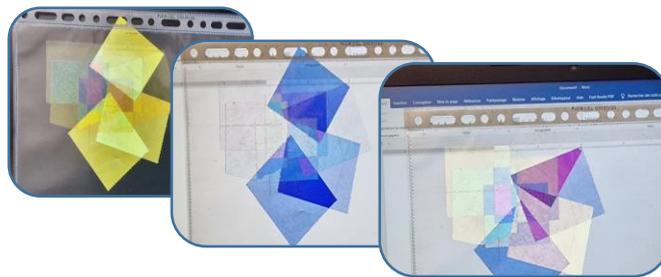


Nous vous proposons ici d'utiliser soit votre **smartphone**, soit une **tablette** ou votre **ordinateur**. L'idéal étant d'afficher sur votre appareil une page blanche. On peut prendre en photo une feuille blanche et l'affichée sur l'écran du smartphone/tablette. Sur l'ordinateur, on peut ouvrir une 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 :

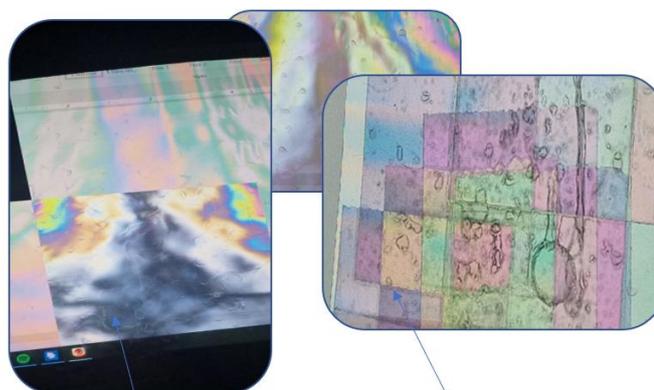
1. Collez sur la feuille plastique transparente quelques morceaux de rubans adhésifs partiellement superposés. **Attention au sens de collage. Il doit rester le même.**
2. Dans un second temps, collez une seconde série de morceaux de scotch en effectuant un simili de rosace. Continuez à superposer les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



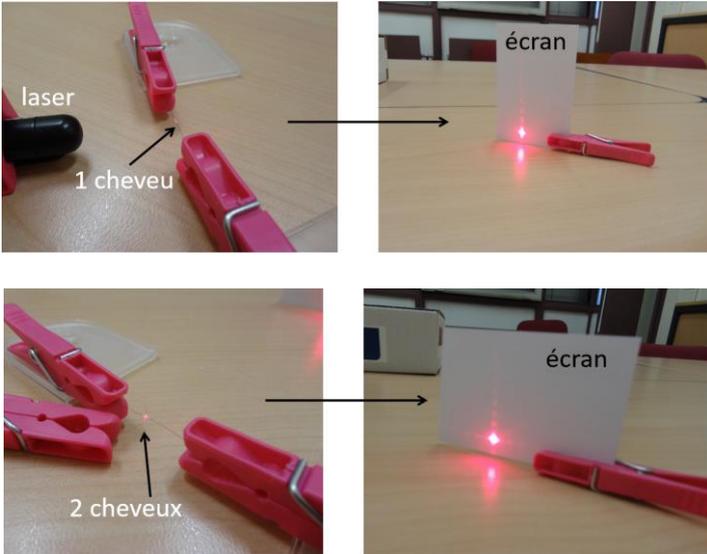


VII. Onde lumineuse



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

1. Diffraction par un obstacle

Thèmes : Mise en évidence du phénomène de diffraction de la lumière	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> 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	Illustration :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
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, alignées verticalement si le cheveu est placé horizontalement et horizontalement si le cheveu est 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)	

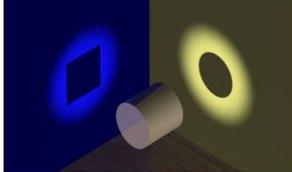
Ressources complémentaires

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 ?

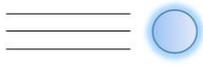
Onde ou particule ? → Onde **ET** particule



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



Onde



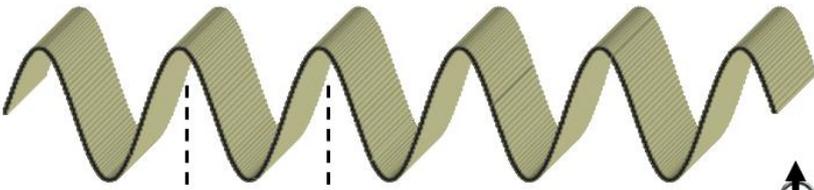
Particule (photon)



Représentation communément admise d'un photon



Exemple d'onde périodique : les vagues



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


$$\lambda = v T$$

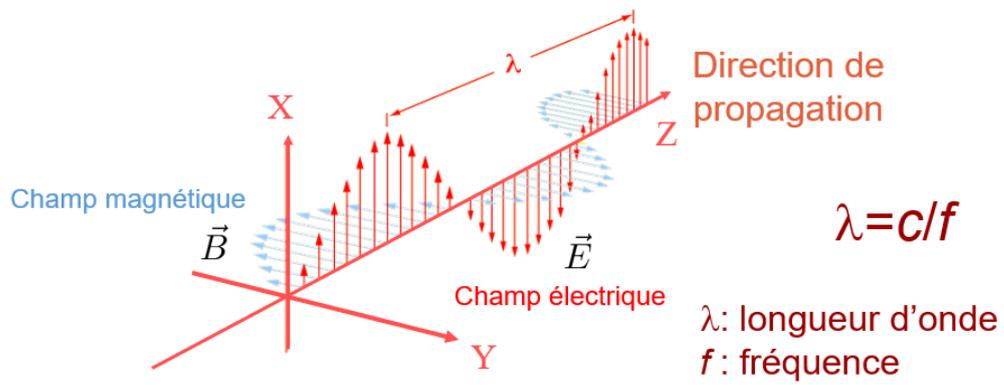
↑
Vitesse de déplacement des vagues

Temps entre deux vagues = période T (s)

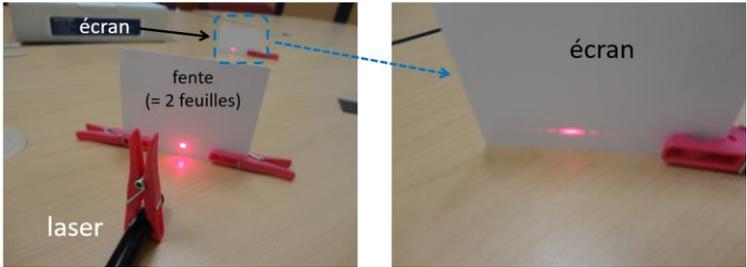


La lumière c'est...

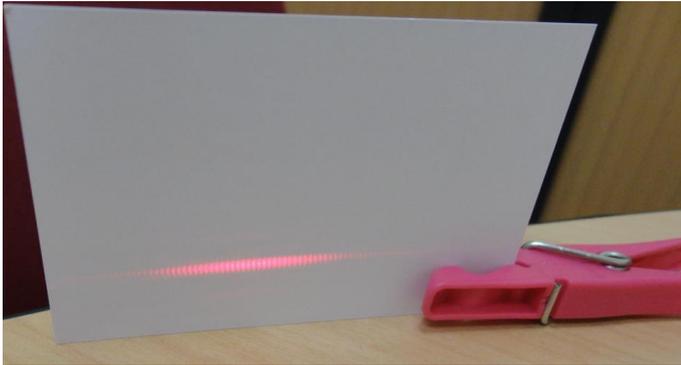
... un **champ électrique** et un **champ magnétique** qui se propagent à la vitesse $c = 300\,000$ km/s dans le vide



2. Diffraction par une fente

Thèmes : Mise en évidence du phénomène de diffraction de la lumière par une fente	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– Diffraction– Onde lumineuse	Conditions : Durée de l'expérience : 30 min Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">– Observer le phénomène de diffraction de la lumière par une fente– Introduire le modèle ondulatoire de la lumière	
Liste du matériel : <ul style="list-style-type: none">– Laser– Fente (feuille, non fournie)– Ecran– Pincettes à linge	Illustration :  <p>© R. Dubessy – LPL/USPN</p>
Étapes : <ol style="list-style-type: none">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 écran3. Modifier la largeur de la fente et observer l'impact sur les taches obtenues sur l'écran	
Remarques/conseils : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Interférences – Onde lumineuse	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 – Pincettes 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 pincettes 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)	

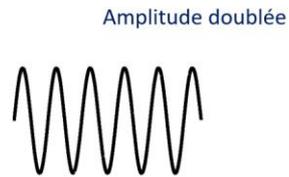
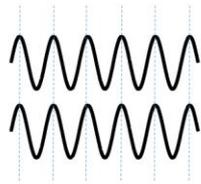
Ressources complémentaires

Les concepts essentiels

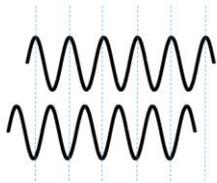
Source : Thierry Chartier (Institut Foton-ENSSAT) pour formation MPLS de Bretagne 2023

Interférences

Superposition de 2 ondes en phase



Superposition de 2 ondes en opposition de phase

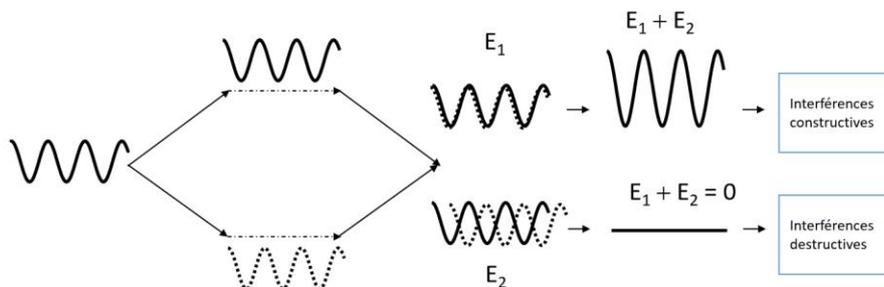


37

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



Zones où l'eau n'oscille pas !



38

De nombreuses applications !



Holographie



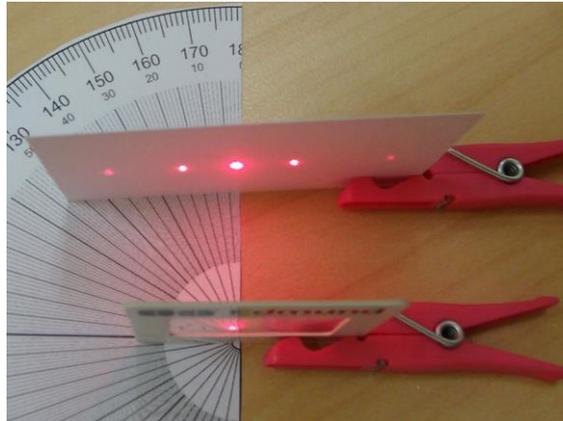
Détection
des ondes gravitationnelles



Irisations
sur les bulles de savon

Atelier « Mesure de la longueur d'onde d'un laser par diffraction sur un réseau »

Conception de l'atelier : Romain Dubessy (LPL-Université Sorbonne Paris Nord) 2017 et Alain K. Tossa (Université d'Abomey-Calavi - Bénin) 2024



Mesurer l'angle de diffraction pour les ordres $p = \pm 1, \pm 2$.

En utilisant la relation entre l'angle de diffraction (noté θ_p), le nombre de traits par mètre (noté n) et la longueur d'onde de la lumière (noté λ), déterminer la longueur d'onde du pointeur laser rouge.

Pour cela, utiliser la formule des réseaux en incidence normale : $\sin \theta_p = n p \lambda$

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 miutes, 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	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Hologramme – Diffraction	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 ! – On peut réaliser des hologrammes en couleurs : https://youtu.be/TF-a-cip3ag?si=uDR73-DPOjDlnJ8c	
Auteur : Christophe Daussey / Romain Dubessy (LPL/USPN)	

VIII. Emission/détection pilotées par Arduino



Source : TP en Licence 3 à l'Université Alioune Diop de Bambey (Sénégal)

© Christophe Daussy (LPL – USPN)

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



Arduino IDE 2.0.3

The new major release of the Arduino IDE is faster and even more powerful! In addition to a more modern editor and a more responsive interface it features autocompletion, code navigation, and even a live debugger.

For more details, please refer to the [Arduino IDE 2.0 documentation](#).

Nightly builds with the latest bugfixes are available through the section below.

SOURCE CODE
The Arduino IDE 2.0 is open source and its source code is hosted on [GitHub](#).

DOWNLOAD OPTIONS

- Windows** Win 10 and newer, 64 bits
- Windows** MSI installer
- Windows** ZIP file
- Linux** AppImage 64 bits (X86-64)
- Linux** ZIP file 64 bits (X86-64)
- macOS** Intel, 10.14: "Mojave" or newer, 64 bits
- macOS** Apple Silicon, 11: "Big Sur" or newer, 64 bits

Une fois installé, ouvrez le logiciel



La fenêtre suivante doit s'ouvrir !



```
sketch_jan04a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

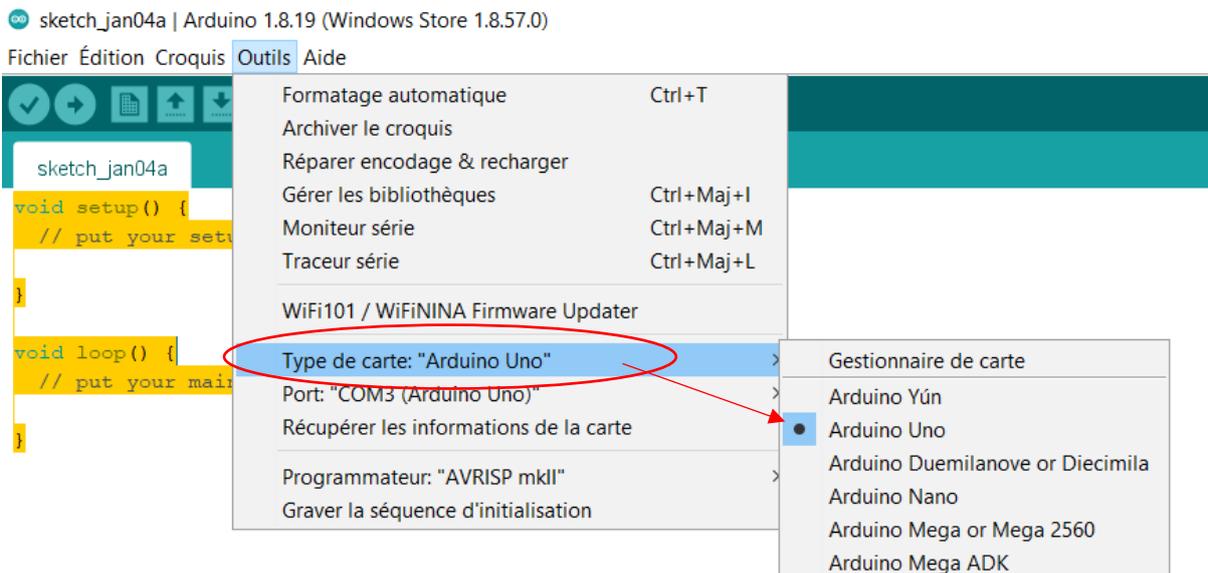
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

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

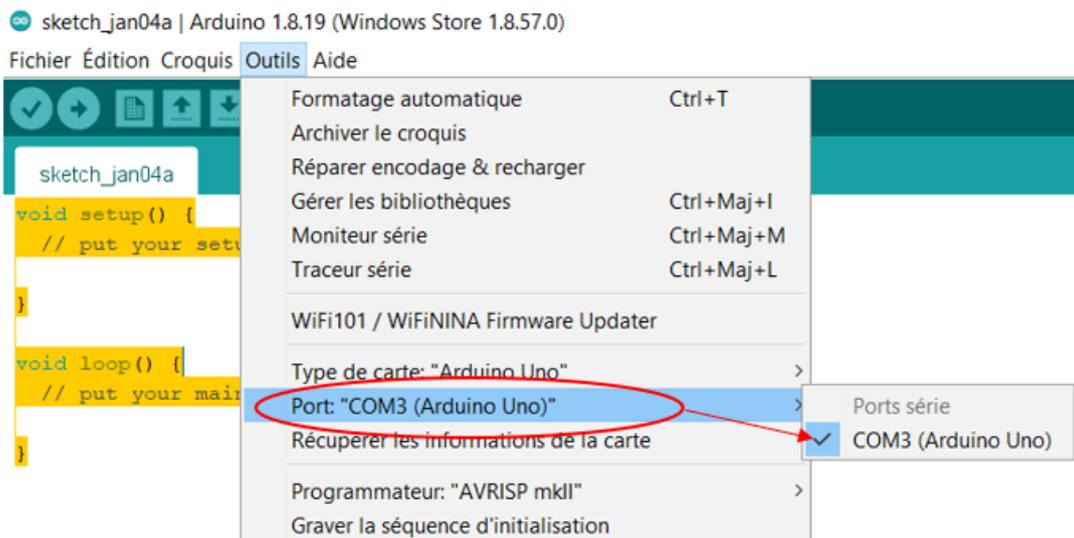


[Remarque : la carte Arduino sera alimentée par le câble USB – Il reste possible d'alimenter la carte par une alimentation externe, mais cela n'est pas fournie dans le kit LightBox]

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 :

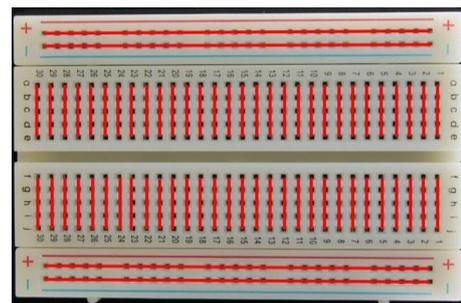
- Pensez à ponctuer toutes les lignes de code par un point-virgule (sauf accolade ouvrantes...)
- Pensez à vérifier que le module Arduino est bien reconnu par votre interface de programmation, et que le port série sélectionné dans le logiciel correspond bien à votre module Arduino.
- Bien déclarer les 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 »).

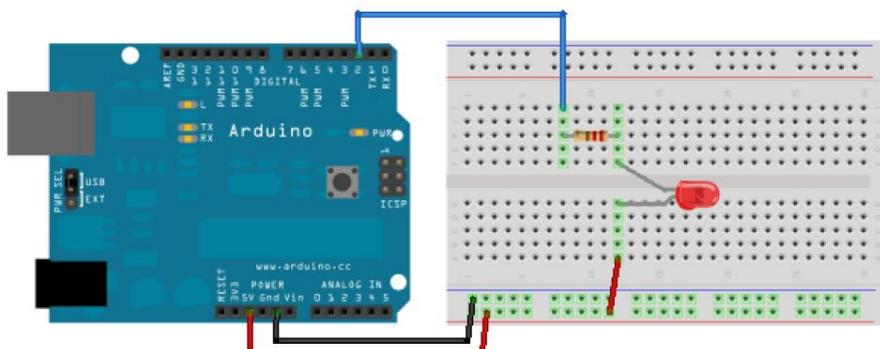
Les « trous » sont interconnectés de la façon suivante (les traits rouges représentent les connexions en « fond » de plaquette) :

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 $V_{cc}=+5V$ 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 $V_{cc}=+5V$ 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 $V_{cc}=+5V$ de l'Arduino, et enfin les deux sorties SDA et SCL doivent être connectés aux bornes SDA et SCL de l'Arduino.

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

Pour l'utilisation de ce module, nous vous conseillons d'installer les bibliothèques 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 bibliothèques : 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 bibliothèques 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 bibliothèque 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
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 bibliothèque 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 :

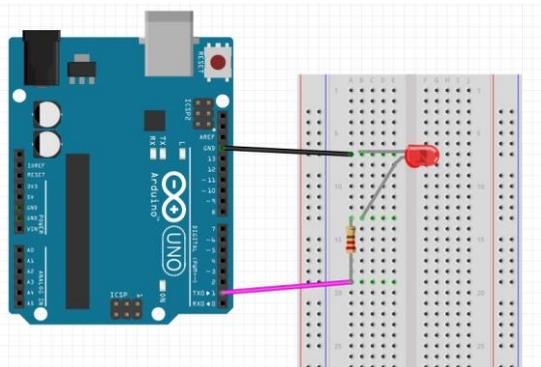


Schéma réalisé avec fritzing © E. Millour

Étapes :

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)

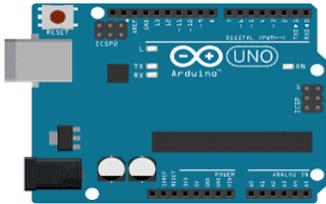
Ressources complémentaires

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

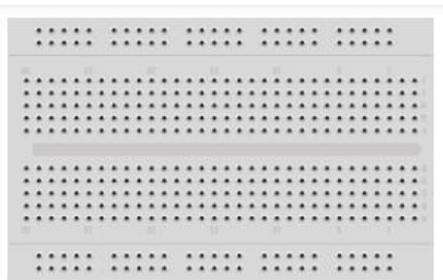
1 carte Arduino



1 LED rouge / verte / bleue 1 résistance de 220 Ohms



1 platine de câblage

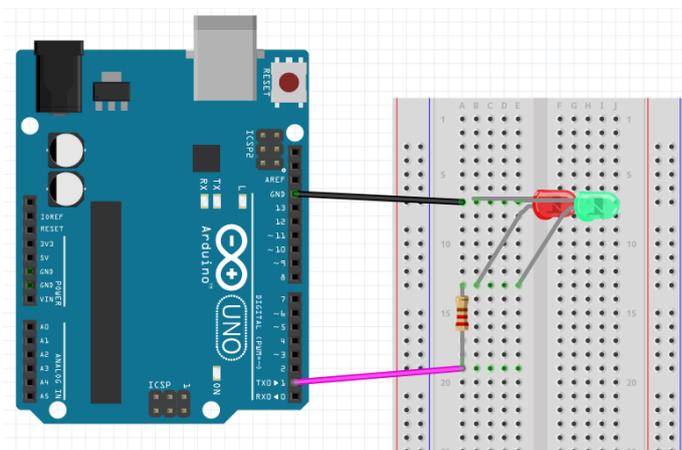


Des fils de connexion



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

}

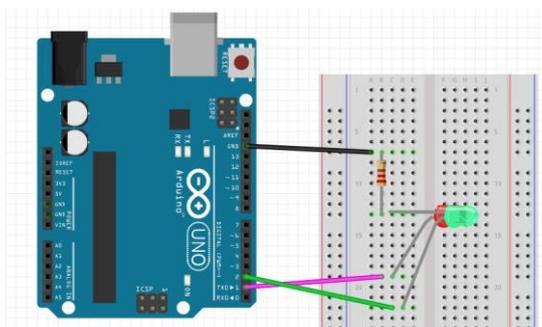
```

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.

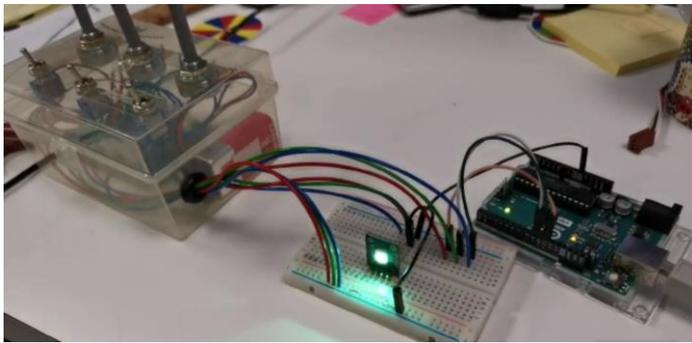


Code permettant d'allumer puis d'éteindre la LED.

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	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">- Synthèse additive des couleurs- Pixel	Conditions : Durée de l'expérience : 1 h Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">- 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 : <ul style="list-style-type: none">- Carte Arduino + connectique- Source LED RVB- PC (non fourni)- Lentille convergente- Ecran	Illustration :  <p>© Equipe Fête de la Science - Institut de la Vision (Sorbonne Université)</p>
Etapes : <ol style="list-style-type: none">1. Câbler la LED RVB sur la carte Arduino2. 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 : <ul style="list-style-type: none">- 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 §

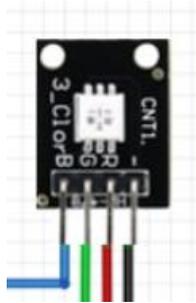
```
const int led_r=11;
const int led_v=10;
const int led_b=12;
//fonction d'initialisation de la carte
void setup() {
  pinMode(led_r,OUTPUT);
  pinMode(led_v,OUTPUT);
  pinMode(led_b,OUTPUT);
}

// 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

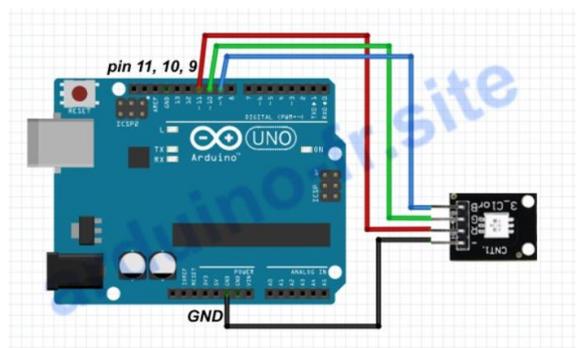
La diode RVB permet d'obtenir toute une palette de couleur. Pour cela il faudra fournir une valeur comprise entre 0 et 255 pour chacune des couleurs Rouge – Vert et Bleue. La codification reprend celle d'un logiciel de traitement d'image ou d'attribution des couleurs sur une suite bureautique.



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

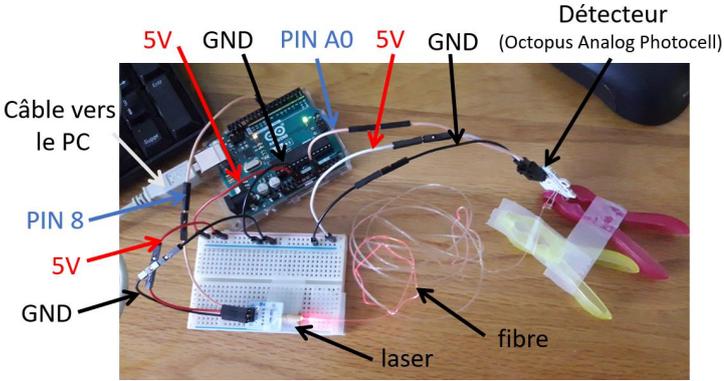
void setup() {
  pinMode(R, OUTPUT);
}

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'décrémte 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	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– Réflexion totale/Fibre optique– Codage binaire– Télécommunication	Conditions : Durée de l'expérience : 3-4 h Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– Carte Arduino + connectique– Diode laser / Photodétecteur– Fibre optique / Barreau de plexi– Source LED– Pinces à linge + Patafix– PC (non fourni)	Illustration :  <p>Crédit : C. Daussy – LPL/USPN</p>
Etapes : <ol style="list-style-type: none">1. Guidage de la lumière dans une fibre optique avec le pointeur laser et observation de la réflexion totale dans le barreau2. Initiation au codage (Morse ou binaire) d'un signal transmis par la LED ou du pointeur laser3. 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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 : <ul style="list-style-type: none">– 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)

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

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

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

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

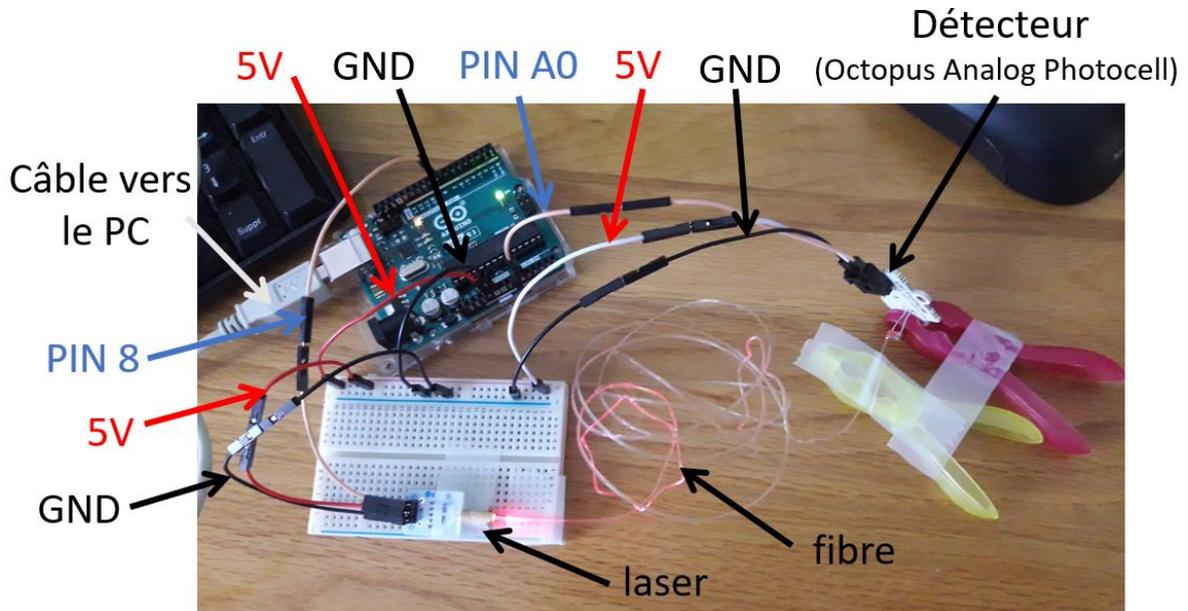
Codage binaire du 6 : 0 1 1 0



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 test du laser seul (sans détecteur ni fibre optique) :

Ecrire le programme ci-dessous.

Fichier Édition Croquis Outils Aide

```
✓ ↻ 📄 ⬆️ ⬇️ Téléverser
laser_clignote
const unsigned int laserPin = 8;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

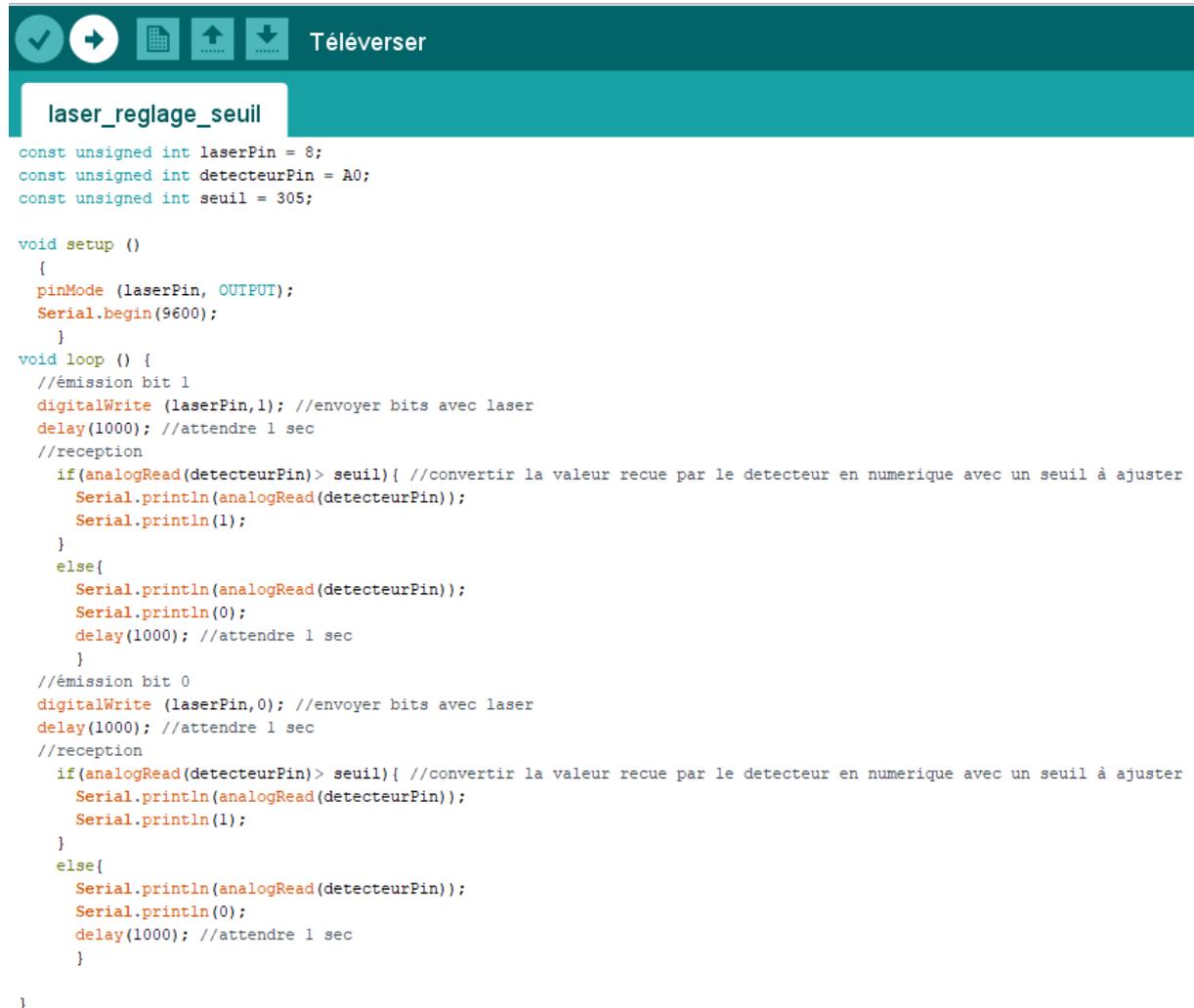
  pinMode(laserPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(laserPin, 1);
  delay(1000);
  digitalWrite(laserPin, 0);
  delay(1000);
}
```

Programme test laser + détecteur et réglage du seuil :

Ecrire le programme ci-dessous.

Fichier Édition Croquis Outils Aide



```
const unsigned int laserPin = 9;
const unsigned int detecteurPin = A0;
const unsigned int seuil = 305;

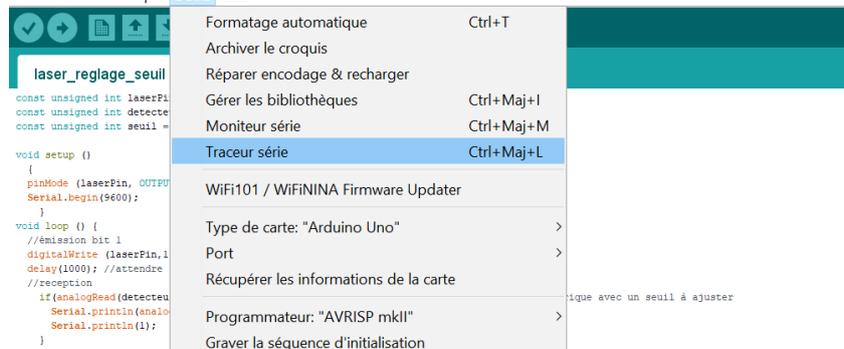
void setup ()
{
  pinMode (laserPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop () {
  //émission bit 1
  digitalWrite (laserPin,1); //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
  }
  //émission bit 0
  digitalWrite (laserPin,0); //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
  }
}
}
```

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

laser_reglage_seuil | Arduino 1.8.19

Fichier Édition Croquis Outils Aide



Formatage automatique	Ctrl+T
Archiver le croquis	
Réparer encodage & recharger	
Gérer les bibliothèques	Ctrl+Maj+I
Moniteur série	Ctrl+Maj+M
Traceur série	Ctrl+Maj+L
WiFi101 / WiFiNINA Firmware Updater	
Type de carte: "Arduino Uno"	>
Port	>
Récupérer les informations de la carte	>
Programmeur: "AVRISP mkII"	>
Graver la séquence d'initialisation	

Programme transmission du code secret par laser :

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) ou bien le traceur série (raccourci CTRL+Maj+L).



IX. Energie solaire



Source : <https://www.pinterest.fr/pin/681943568593703289/>

1. La LED à énergie solaire

Thèmes :

Observation de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique et inversement

Mots clés :

- Cellule solaire
- Energie
- Courant, tension

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

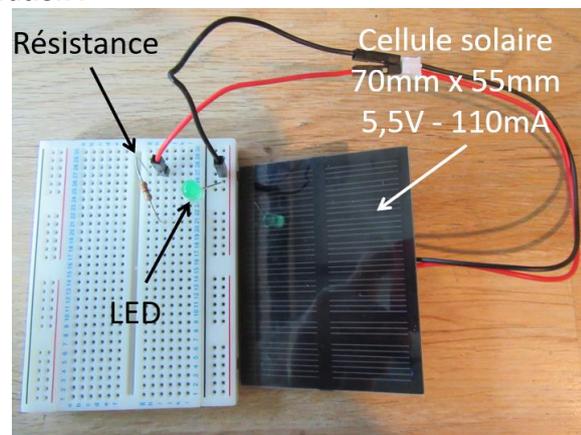
Objectifs :

- Expérimenter la production d'énergie électrique avec un panneau solaire
- Introduire les concepts associés : énergie, courant et tension

Liste du matériel :

- LED
- Résistance
- Cellule solaire (70 x 55mm)
- Plaquette test
- Câbles

Illustration :



© C. Daussy – LPL/USPN

Etapes :

1. Réaliser l'expérience présentée sur la photo ci-dessus
2. Eclairer la cellule solaire avec la lumière du soleil ou une autre source lumineuse

Remarques/conseils : Attention au sens de branchement de la LED !

Observations et interprétations :

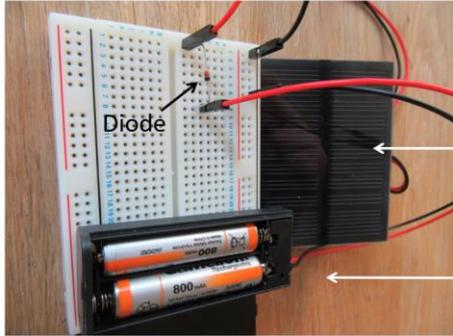
- La LED s'allume lorsque la cellule solaire reçoit une énergie lumineuse suffisante pour que la tension délivrée par la cellule solaire dépasse une tension seuil (1,5-2V suivant la LED)
- Comparer l'intensité de la LED pour différentes sources lumineuses (soleil, LED, lampe à incandescence, laser...)
- Faire la même expérience avec la cellule solaire 40mm x 40mm. Qu'observez-vous ?

Ouvertures et applications :

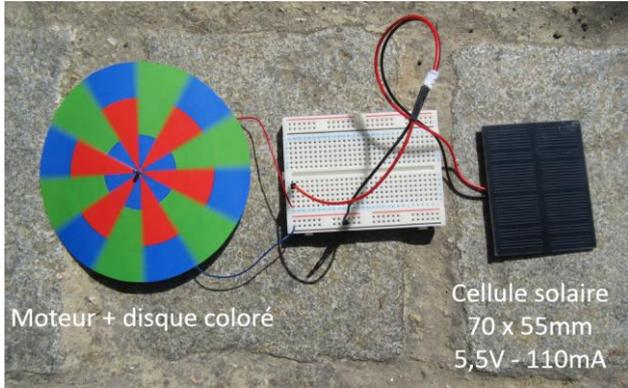
- Fonctionnement des panneaux solaires (effet photoélectrique)
- Production d'énergie électrique solaire : l'énergie photovoltaïque

Auteur : Christophe Daussy (LPL/USPN)

2. Le chargeur solaire de batteries

Thèmes : Conversion et stockage de l'énergie	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : <ul style="list-style-type: none">– Cellule solaire– Batterie– Energie, courant, tension	Conditions : Durée de l'expérience : 12h Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : <ul style="list-style-type: none">– Expérimenter la conversion et le stockage d'énergie– Introduire les concepts associés : énergie, courant et tension	
Liste du matériel : <ul style="list-style-type: none">– Cellule solaire (70 x 55mm)– Diode– 2 batteries AAA– Support de batteries– Plaquette test– Câbles	Illustration :  <p>Cellule solaire 70 x 55mm 5,5V - 110mA</p> <p>Batteries rechargeables AA - 1,5V</p> <p>© C. Daussy – LPL/USPN</p>
Etapes : <ol style="list-style-type: none">1. Réaliser l'expérience présentée sur la photo ci-dessus avec des batteries déchargées2. Eclairer la cellule solaire avec la lumière du soleil ou une autre source lumineuse pendant environ 12h	
Remarques/conseils : La diode permet d'éviter que les batteries ne se déchargent en bloquant le courant vers la cellule solaire (par exemple pendant la nuit). Attention au sens de branchement de la diode !	
Observations et interprétations : <ul style="list-style-type: none">– Estimer le temps attendu pour une charge complète des 2 batteries– En fin d'expérience, tester la charge des batteries en les utilisant pour alimenter par exemple le pointeur laser	
Ouvertures et applications : <ul style="list-style-type: none">– Fonctionnement des panneaux solaires (effet photoélectrique), production d'énergie photovoltaïque– Combiner cette expérience avec la LED solaire pour imaginer un éclairage solaire qui se recharge la journée et s'allume la nuit	
Auteur : Christophe Daussy (LPL/USPN)	

3. Le moteur solaire

Thèmes : Conversion de l'énergie solaire en énergie mécanique	Niveau : <input type="checkbox"/> Premier degré (jusqu'à 10 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Second degré (11 ans à 17 ans) <input checked="" type="checkbox"/> Supérieur (plus de 18 ans)
Mots clés : – Cellule solaire – Moteur à courant continu – Energie, courant, tension	Conditions : Durée de l'expérience : 1h Atelier par groupes de 2-4 élèves
Objectifs : – Expérimenter la conversion d'énergie solaire en énergie électrique puis mécanique – Introduire les concepts associés : énergie, courant et tension	
Liste du matériel : – Cellules solaires (70 x 55mm ou 40mm x 40mm) – Moteur – Disque coloré – Plaquette test – Câbles	Illustration :  <p>Moteur + disque coloré</p> <p>Cellule solaire 70 x 55mm 5,5V - 110mA</p> <p>© C. Daussy – LPL/USPN</p>
Etapes : 1. Réaliser l'expérience présentée sur la photo ci-dessus 2. Eclairer la cellule solaire avec la lumière du soleil 3. Réaliser le montage précédent en remplaçant la cellule 70 x 55mm (5,5V – 110mA) par 1 puis 2 cellules 40mm x 40mm (1,5V – 100mA) que vous monterez en série puis en parallèle	
Remarques/conseils : L'expérience fonctionne mieux en plein soleil ! Il peut arriver que le moteur se bloque. Ne pas hésiter à tourner le rotor à la main pour le débloquer.	
Observations et interprétations : – Observer l'effet de l'orientation de la cellule solaire (par rapport à la lumière incidente) ou de son occultation partielle sur la vitesse de rotation du moteur – En alimentant le moteur avec les 2 cellules 40mm x 40mm (1,5V – 100mA), observer l'effet sur la vitesse de rotation du moteur : – d'un montage en série (courant électrique et vitesse de rotation inchangés) – d'un montage en parallèle (augmentation du courant électrique et de la vitesse de rotation)	
Ouvertures et applications : – Fonctionnement des panneaux solaires (effet photoélectrique), production d'énergie photovoltaïque – Principe de fonctionnement et caractéristiques des moteurs à courant continu (couple, vitesse, courant, tension...) – Montages électriques en série ou en parallèle et calculs associés du courant et de la tension délivrés par les cellules solaires	
Auteur : Christophe Daussy (LPL/USPN)	

Atelier « Chauffer au soleil »

Source : Estelle Blanquet (LACES, Université Côte d'Azur) Sciences à l'école, Côté jardin - *le guide pratique de l'enseignant*, Éditions du Somnium 2010 (téléchargeable gratuitement en ligne)

Chauffer au Soleil

E-21

Objectif général :

Savoir que le Soleil permet de chauffer un liquide et mettre en évidence expérimentalement l'influence de quelques paramètres.



Matériel

 *Par groupe* : une boîte à chaussures ; du papier aluminium ; 4 petits pots bébé ou petites bouteilles en plastique ; un thermomètre ; un miroir (ou du carton recouvert d'aluminium) ; une vitre ou un morceau de plastique épais transparent (boîte à tarte) de la taille de la boîte à chaussures ; des plaques (ou boîte) en polystyrène ; du coton ; des loupes (facultatif) ; un thermomètre ; un cure-dents ou un pic en bois pour amuse-gueule ; un verre doseur ou une éprouvette graduée ; un entonnoir ; de l'eau.

Pour l'enseignant : une bombe de peinture blanche et une de peinture noire ; des loupes ; 2 lampes de bureau inclinables identiques ; une tablette de chocolat ; 2 assiettes ; une boîte à chaussures ; un morceau de carton épais format A3 ; un manche à balai ; un saladier transparent.

Budget

 Thermomètre : 4 € ; cure-dents : 2 € les 50 ; miroir incassable : 2 €.

Préparation : 5 minutes

 Découper un petit côté d'une boîte à chaussures et déposer un objet au fond de la boîte.

Conditions spécifiques

Savoir lire la température d'un thermomètre (cf. Annexe A-1). Les expériences peuvent être menées aussi bien en hiver qu'en été, à condition que le ciel soit bien dégagé. Les réaliser avant les élèves afin d'évaluer les temps d'exposition nécessaires pour des résultats probants dans les conditions de la classe.

Difficultés travaillées :

Ne faire varier qu'un paramètre à la fois. Un isolant limite les échanges de chaleur entre deux milieux à des températures différentes. Il peut être utilisé aussi bien pour empêcher la chaleur d'entrer que de sortir. Les matériaux qui contiennent de l'air sont de très bons isolants thermiques.

Lien avec le programme :
réaliser certains gestes techniques, les déchets : réduire, réutiliser, recycler



Cycles 2 & 3



6 à 8 heures



Séquences E-02
Sur les traces d'Ératosthène

Séquence E-04
Solide, liquide : deux états d'une même matière ?

Séquence M-09
Miroirs (maternelle)

Déroulement
succinct

Étapes	Objectifs	Modalités de mise en œuvre
Comment chauffer de l'eau au Soleil ?	S'approprier un problème. Proposer un protocole expérimental.	<i>Travail collectif, en groupe et mise en commun</i>
La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ?	Concevoir un protocole expérimental et ne faire varier qu'un paramètre à la fois.	<i>Travail en groupe et mise en commun</i>
Les miroirs permettent-ils à l'eau de chauffer plus ?	Découvrir qu'il faut orienter correctement les miroirs pour qu'ils renvoient la lumière vers le récipient. Découvrir que le Soleil se déplace dans le ciel.	<i>idem</i>
L'orientation a-t-elle une influence ?	La lumière du Soleil arrive dans une direction donnée. Comprendre qu'un objet placé dans un plan perpendiculaire à cette direction reçoit le plus de chaleur.	<i>idem</i>
Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ?	Découvrir qu'empêcher l'air de s'échapper favorise l'augmentation de température à l'intérieur du dispositif.	<i>idem</i>
Entourer le dispositif de polystyrène a-t-il une influence sur la température de l'eau ?	En empêchant la chaleur de s'échapper du dispositif, un isolant évite de perdre de la chaleur et favorise le chauffage de l'eau.	<i>idem</i>

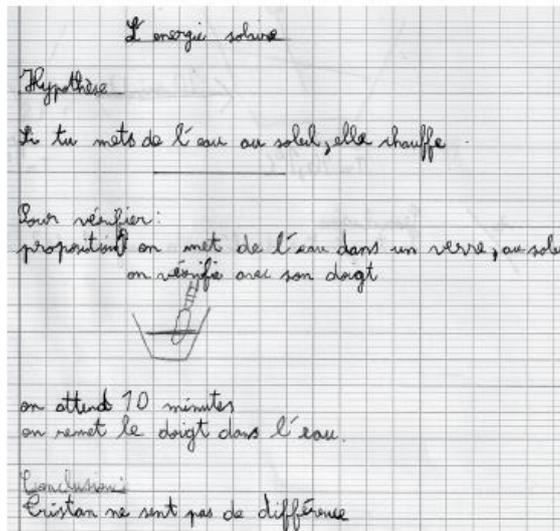
1/ Comment chauffer de l'eau au Soleil ?

La plupart des élèves savent que le Soleil chauffe. Il peut brûler la peau. *Peut-on l'utiliser pour chauffer de l'eau ?* Les élèves pensent en général que c'est possible. *Comment procéder ?* La plupart du temps, ils proposent simplement de mettre de l'eau au Soleil et d'attendre. Ils estiment souvent que son échauffement sera suffisant pour être ressenti avec le doigt. L'expérience s'avère rarement concluante : le doigt n'est pas assez sensible.

Descriptif



On admet que la température de l'échantillon de référence (e.g. eau du robinet) ne varie pas.



Les élèves proposent alors d'utiliser un thermomètre : on mesure la température de l'eau avant exposition, puis après l'avoir laissée au Soleil. La différence est faible mais mesurable (quelques degrés).

Les élèves sont souvent déçus : ils savent que l'on peut obtenir de l'eau vraiment très chaude au Soleil. Si ce n'est pas le cas, vous pouvez indiquer que certaines douches solaires sont si efficaces qu'il est nécessaire de mélanger leur eau à de l'eau froide.

Peut-on améliorer le dispositif ? Laissez les groupes réfléchir à la question et proposer leurs idées. Les élèves pensent spontanément aux miroirs (parfois aux loupes). Si vous leur présentez l'image d'une douche solaire, ils imagineront sans doute de peindre le récipient en noir, pensant de façon erronée que le noir « attire » la chaleur. Si personne n'en parle, évoquez des exemples comme les

sièges brûlants d'une voiture restée au soleil, ou une serre dans laquelle le sol reste chaud : cela devrait les conduire à proposer d'enfermer le récipient dans un espace vitré.

On peut alors vérifier si ces propositions favorisent l'échauffement de l'eau. Précisez bien que, pour éviter de gaspiller du matériel et de perdre du temps, la classe va essayer de déterminer la meilleure façon de s'y prendre *avant* de construire un dispositif et tester chaque idée. Demandez ensuite aux élèves de présenter leurs protocoles sur une affiche pour faciliter le débat. Sur chacune doit apparaître le test proposé et la procédure envisagée.

La comparaison des affiches montre la diversité des solutions et la difficulté qu'il va y avoir à comparer les résultats des différents groupes.



Certains groupes font varier plusieurs paramètres à la fois. Il est alors utile d'indiquer au tableau *Ce que l'on peut faire varier* (récipient, quantité d'eau, couleur du récipient, durée d'exposition, moment de l'exposition, présence d'un environnement clos ou non, utilisation de miroirs ou de loupes ; les élèves peuvent également penser à la présence d'une isolation ou à l'orientation relative du récipient et du dispositif) et ce que l'on choisit de changer.



Par souci de robustesse, deux groupes au moins doivent réaliser chaque expérience.

Une première discussion permet de se mettre d'accord sur le choix des récipients et de leur contenu : ils doivent être tous pareils, dans la même matière, contenir la même quantité d'eau. Des petits pots ou des bouteilles en plastique identiques conviennent. Les élèves s'accordent aussi sur la nécessité de contrôler la température de l'eau *avant* de commencer les expériences. Différentes expériences peuvent alors être mises en place en parallèle : tester l'influence de la couleur du récipient, des miroirs, des loupes.

2/ La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ?

Les élèves exposent simultanément au Soleil, pendant une vingtaine de minutes, divers récipients contenant de l'eau, certains transparents, d'autres de couleur blanche, noire, ou recouverts d'aluminium.



Il est préférable de peindre les récipients plutôt que de les couvrir de papier blanc ou noir. L'explication en est complexe (échauffements parasites, déplacements d'air autour des bouteilles...).

Suivant la durée d'exposition, la disparité des températures sera plus ou moins prononcée. L'eau de la bouteille noire est la plus chaude, celle de la bouteille recouverte d'aluminium la moins chaude.

21 août, Nice, 33 cl d'eau	Papier aluminium	Papier blanc fin	Bouteille transparente	Papier noir épais
14h	26°C	26°C	26°C	26°C
14h30	29°C	30°C	32°C	33°C
15h	31°C	34°C	37°C	39°C

Exemple de relevé de températures

On peut tout à fait en rester à ce constat. Néanmoins beaucoup d'élèves sont alors convaincus que «le noir attire la lumière», ce qui est incorrect. Dans les mêmes conditions, un objet noir reçoit autant de lumière qu'un autre, mais en absorbe plus. C'est cette lumière absorbée qui est transformée en chaleur.

Comment dépasser cette difficulté ? Il est possible de montrer aux élèves qu'un objet de couleur blanche renvoie la lumière, contrairement à un objet noir (sombre). Prévoir un environnement obscur pour l'expérience. Découper un petit côté d'une boîte à chaussures et y placer un objet puis positionner une lampe parallèlement au grand côté de la boîte. L'objet est dans l'obscurité. Comment l'éclairer sans toucher à la lampe ? On peut utiliser un miroir. Et si on n'a pas de miroir ? Une simple feuille de papier blanc suffit. Si l'obscurité est suffisante et la lampe suffisamment puissante, la diffusion de la lumière sur des feuilles colorées suffit également à éclairer l'objet (cf. M-09). Plus la feuille est sombre, moins elle est efficace pour éclairer l'objet. Avec une feuille noire, l'objet n'est pas éclairé (ou presque).

On a constaté que l'eau de la bouteille noire était plus chaude que celle des autres bouteilles. Un objet noir, qui absorbe la lumière, chauffe plus qu'un objet qui la renvoie. Proposez alors aux élèves de réaliser deux pochettes en papier identiques en tout point sauf la couleur, de glisser un thermomètre à l'intérieur de chacune et de les placer de la même façon au Soleil. Que pensent-ils qu'il va se passer ? La pochette noire va voir sa température monter beaucoup plus rapidement que la blanche. Dix à vingt minutes d'exposition suffisent à confirmer l'hypothèse.



Que se passe-t-il si l'on expose deux récipients transparents contenant un même volume de café (d'eau colorée sombre) et d'eau au Soleil dans des conditions identiques ? La température de l'eau colorée est supérieure à celle de l'eau transparente.



Une bonne partie de la lumière traverse une bouteille transparente sans y être absorbée : autant de lumière de perdue pour chauffer l'eau.



Sur un miroir, la lumière est essentiellement réfléchi : on peut dire qu'elle est «renvoyée» dans une direction privilégiée. Sur une feuille de papier, une partie en est absorbée et une autre renvoyée dans toutes les directions : le physicien dira que la lumière est partiellement diffusée. Une feuille blanche renvoie une bonne partie de la lumière qu'elle reçoit, alors qu'une feuille noire l'absorbe.



L'ombre d'une bouteille d'eau est très intrigante : elle est extrêmement lumineuse à certains endroits et beaucoup moins à d'autres.

L'ensemble bouteille/eau forme en fait un dispositif optique complexe qui modifie la direction des rayons lumineux et concentre la lumière comme une loupe. Ces zones de surintensité lumineuse portent le doux nom de *caustique*.



3/ Les miroirs permettent-ils de chauffer plus ?



Le four solaire d'Odeillo, dans les Pyrénées, utilise à la fois un miroir parabolique fixe et des miroirs plans inclinables. Ces derniers renvoient la lumière du Soleil vers le miroir parabolique à mesure que le Soleil suit sa course.

D'autres dispositifs optiques comme la loupe concentrent la lumière du Soleil en une petite zone. Une loupe bien utilisée peut brûler du papier noir (qui absorbe plus de lumière et donc chauffe plus que du papier blanc).



Des miroirs plans ne *concentrent* pas la lumière, ils la *renvoient* dans une autre direction. Concentrer la lumière, en ce qui nous concerne, consiste à modifier la directions des rayons lumineux pour les faire converger sur une zone donnée. Si l'on envoie de la lumière parallèle (celle du soleil) sur un miroir parabolique (on en trouve dans les phares de voiture), celle-ci se concentre en revanche en un point, le *foyer* du miroir : il y fait alors très chaud.

Les élèves imaginent la plupart du temps qu'il suffit de placer des miroirs à proximité des récipients, sans se préoccuper de leur orientation. À la suite du travail précédent, ils doivent pourtant pouvoir expliquer la nécessité de les orienter correctement. Les miroirs réfléchissent alors la lumière vers la bouteille et permettent à plus de lumière d'arriver sur elle : cela devrait permettre de chauffer plus. Seuls la présence et le nombre de miroirs doivent changer d'un dispositif à l'autre. On constate facilement que des miroirs qui dirigent la lumière vers la bouteille en élèvent notablement la température.

Ceux qui ont laissé leur dispositif une trentaine de minutes au soleil sont souvent étonnés d'observer que leurs miroirs ne sont plus convenablement orientés. Dans l'intervalle, le Soleil s'est déplacé et le miroir ne renvoie plus la lumière dans la bonne direction. La lumière du soleil change de direction : la façon dont arrive la lumière sur le récipient pourrait-elle avoir une influence sur l'échauffement du liquide ? Cette observation permet d'introduire un paramètre souvent oublié par les élèves : l'inclinaison de la lumière incidente.

4/L'orientation a-t-elle une influence ?

Lors d'une journée ensoleillée, les élèves savent souvent que c'est en tout début d'après midi que le Soleil «tape» le plus. *Comment expliquer que le Soleil nous chauffe plus à certains moments qu'à d'autres ?* Il est possible que certains élèves associent ce phénomène à la variation de l'inclinaison de ses rayons, mais c'est rare.

Proposez une expérience. Découpez une tablette de chocolat en deux parties égales, déposez-les horizontalement sur deux assiettes plates. Une lampe doit se trouver au-dessus d'une assiette et l'éclairer d'en haut ; l'autre doit éclairer la seconde de côté, en lumière aussi rasante que possible. Les ampoules doivent avoir la même puissance et être à la même distance du chocolat. Demandez alors aux élèves ce qui change entre les deux dispositifs. Seule l'orientation des lampes diffère. *Que va-t-il se passer d'après eux ?* Ils peuvent ne pas encore en avoir d'idée très précise. Pendant la quinzaine de minutes nécessaires pour une observation, les élèves dessinent le dispositif et écrivent ce qu'ils pensent qu'il va se passer. Il est ensuite facile de constater que le chocolat sous éclairage vertical est devenu tout mou, alors qu'il est encore dur sous l'autre lampe. L'inclinaison de la lampe a donc une influence sur la quantité de chaleur reçue par le chocolat.



Avec les plus âgés, il est possible d'entourer l'ampoule d'un cylindre de papier et d'observer sur une table la taille de la zone ainsi éclairée. La superficie éclairée en incidence verticale est beaucoup plus petite qu'en lumière rasante. La lampe envoie dans les deux cas la même quantité de lumière, partagée entre un nombre plus ou moins grand de carrés de chocolat. La quantité de lumière absorbée par un carré est donc plus importante en incidence verticale qu'en lumière rasante.

Que se passe-t-il au soleil ?

Il est facile d'associer l'effet de la lampe à celui du Soleil. *Comment connaître l'inclinaison de la lumière ?* En aucun cas on ne regarde le Soleil directement (risque de dommage oculaire !). Les élèves peuvent proposer de planter un bâton verticalement dans le sol. La droite passant par l'extrémité du bâton et celle de l'ombre donne la direction de la lumière incidente. Une autre possibilité consiste à incliner un manche à balai posé sur le sol jusqu'à ce qu'il n'ait plus d'ombre. Sa direction indique alors celle du Soleil.



Si les élèves n'ont jamais travaillé sur les ombres, une mise au point s'avère nécessaire. Plantez un cure-dents verticalement dans un carton et faites-leur observer la taille de l'ombre obtenue en variant l'inclinaison d'une lampe torche. Plus l'éclairage est rasant, plus l'ombre est grande.



Il fait plus chaud en été qu'en hiver parce que les rayons du soleil arrivent plus verticalement sur le sol. La distance de la Terre au Soleil est un facteur bien moins important (dans l'hémisphère nord, la Terre est même plus proche du Soleil en hiver qu'en été).



Lorsque la lumière arrive perpendiculairement à une surface, les opticiens parlent d'*incidence normale*.

E-21 Chauffer au Soleil

La taille de celle d'un piquet au soleil donne donc une indication sur la hauteur de l'astre dans le ciel. On pourra alors faire le lien entre l'expérience réalisée avec du chocolat et celle réalisée à la lumière du soleil.

Un élève
en pleine explication.
Quelle est la direction
de la lumière du Soleil ?



Une fois déterminée la direction de la lumière, on peut vérifier si l'orientation de l'objet par rapport à celle-ci a une influence sur son échauffement. Les élèves conçoivent différents dispositifs.

Ils peuvent comparer l'évolution de la température indiquée par deux thermomètres inclinés différemment. Ils ont vu avec le chocolat qu'il fond plus vite lorsque la lampe est à la verticale de la surface éclairée. L'utilisation de pochettes en papier identiques (noires) dans lesquelles on glisse un thermomètre facilite le travail. On les expose en même temps en les inclinant plus ou moins par rapport à la direction des rayons du Soleil. Par exemple, l'une est posée sur un carton horizontal (pour l'isoler du sol qui peut-être très chaud) et l'autre inclinée de façon à ce que la lumière arrive perpendiculairement à sa surface. Pour cela, on plante un bâton perpendiculairement à la pochette, qu'on incline ensuite de façon à ce que le bâton n'ait plus d'ombre.

On observe alors l'évolution de la température dans les deux pochettes. Au bout d'une vingtaine de minutes, la différence de température permet de conclure. Exposer ce que l'on cherche à chauffer perpendiculairement à la lumière du Soleil permet un échauffement plus important. C'est ce qui s'était également passé avec le chocolat placé sous une lampe.

Les élèves peuvent également choisir d'exposer un même objet, pendant une même durée et dans la même position, à deux moments de la journée où l'inclinaison de la lumière est très différente, mais où la température extérieure est sensiblement la même. On obtient le même résultat : plus la lumière arrive verticalement sur l'objet, plus il s'échauffe.



L'inclinaison des pochettes est plus facile à ajuster que celle des rayons du soleil...



L'orientation des maisons «écologiques» est souvent choisie pour optimiser leur chauffage par le soleil.

5/ Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ?

Après ces questions d'optique, il est temps de revenir à l'idée initiale d'enfermer le récipient dans un espace vitré. Les élèves peuvent comparer l'évolution de la température de deux récipients identiques, soumis à la même exposition et contenant la même quantité d'eau, laissés pour l'un à l'air libre et pour l'autre recouvert d'un saladier transparent (ou placés dans des boîtes à chaussures, dont une seule recouverte d'une vitre). Dans les deux cas, l'eau enfermée voit sa température monter plus haut que celle restée à l'air libre. Lorsqu'on soulève la vitre ou le saladier, on sent une bouffée d'air chaud s'échapper, comme lorsque l'on ouvre les portes d'une voiture stationnée longtemps au Soleil. L'air est emprisonné et s'échauffe lui aussi sans possibilité de s'échapper. On peut supposer qu'en supprimant les mouvements d'air, on empêche le refroidissement du récipient par l'air qui l'entoure.



Prévoir une exposition assez longue (1 à 2 heures)

6/ Entourer le dispositif de polystyrène a-t-il une influence sur la température de l'eau dans le récipient ?

Les élèves viennent de constater qu'enfermer le récipient permettait d'augmenter la température de l'eau. On a supposé que c'est parce que le milieu entourant le récipient restait chaud. Peut-on encore améliorer le système ? Une possibilité serait d'empêcher la chaleur contenue dans le dispositif, dans la boîte à chaussures par exemple, de s'échapper. Il existe pour cela une technique : l'isolation. Les enfants connaissent peut-être quelques isolants (laine, laine de verre, polystyrène). *Que se passe-t-il si l'on entoure d'isolant les côtés non exposés au soleil de la boîte à chaussures ?* Il est préférable de travailler avec des pochettes noires contenant un thermomètre, la variation de température étant plus importante que si l'on utilise de l'eau. En observant l'évolution de la température dans deux boîtes en tous points identiques sauf l'isolation, on constate que la température monte plus dans la boîte isolée.

Il ne reste plus qu'à concevoir et à construire un dispositif prenant tous ces acquis en compte pour chauffer de l'eau, ou un œuf. N'hésitez pas à présenter aux élèves de la documentation sur les chauffe-eau ou fours solaires (trouvée dans les ouvrages scolaires ou des magazines). Ils devraient être en mesure de comprendre les choix techniques faits par les concepteurs.



Les échanges thermiques de notre corps avec son environnement se répartissent à parts plus ou moins égales entre ceux liés au rayonnement et ceux liés à la circulation de l'air.

Pour aller plus loin :

L'ouvrage *Vivre avec le Soleil* (Hatier, 2009) propose des démarches d'investigation pour inciter les élèves à se protéger du Soleil.

Propositions d'animations**Première animation :**

- Comment chauffer de l'eau au Soleil ?
- La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau ? (*prévoir, lancer l'expérience et la dessiner*)
- Les miroirs permettent-ils à l'eau de chauffer plus ? Comment les positionner ? (*expérience déjà en cours, faire lire les températures et déplacer les miroirs pour les orienter correctement*)
- Que se passe-t-il quand on place le récipient dans un espace clos ? (*les élèves visiteurs doivent concevoir le protocole ; leur proposer un tableau à remplir avec ce qui peut changer et ce que l'on change ; expérience déjà en cours : faire lire les températures*)

Ce qui peut changer	Boîte 1	Boîte 2
Couleur et matière de la boîte	Noire, en carton	La même
Miroirs utilisés	Aucun	Aucun
Quantité d'eau utilisée	La moitié d'un petit pot	La même
Température initiale de l'eau	18°C	La même
Couverture de la boîte	Aucune	Vitre
(isolation de la boîte)	Aucune	Aucune
(orientation de la boîte)	Posée sur la table	La même

Deuxième animation :

- Comment chauffer de l'eau au Soleil ?
- La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la température de l'eau qu'il contient ? (*prévoir, lancer l'expérience et la dessiner*)
- L'orientation a-t-elle une influence ?
- À quoi faut-il également être attentif pour un bon chauffage de l'eau ? (*présenter le dispositif optimisé et discuter des différents éléments*)