

LUMIÈRE ET COULEURS

Parvis des Sciences

FdS Grenoble 2025





EXPÉRIENCES PROPOSÉES

- Comment se forment les arcs-en-ciel ?
 - Mélangeons les couleurs...
 - Pourquoi le ciel est bleu ?
 - Le soleil change-t-il de couleur ?
 - Pourquoi doudou brille dans le noir ?
- 

COMMENT SE FORMENT LES ARCS-EN-CIEL ?

Matériel

- o Bassine d'eau
- o Petit miroir plan que l'on peut tremper dans la bassine
- o Une lampe à lumière blanche
- o Un écran blanc
- o Des rideaux noirs (pénombre)

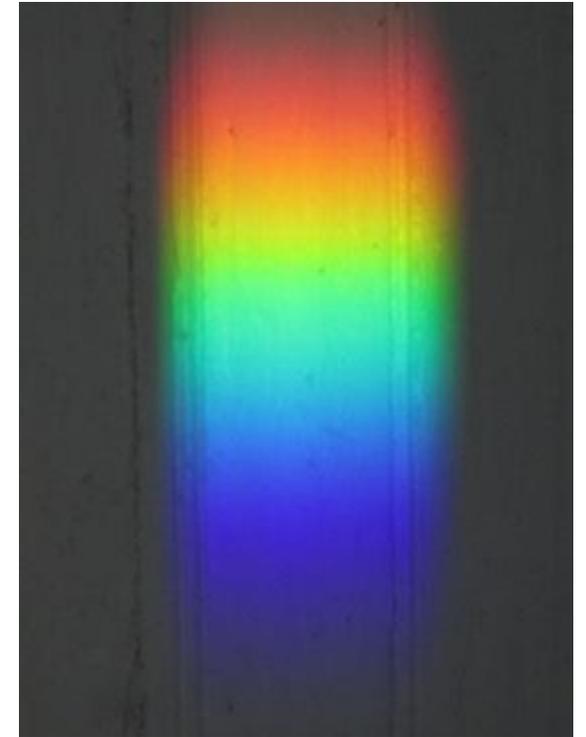
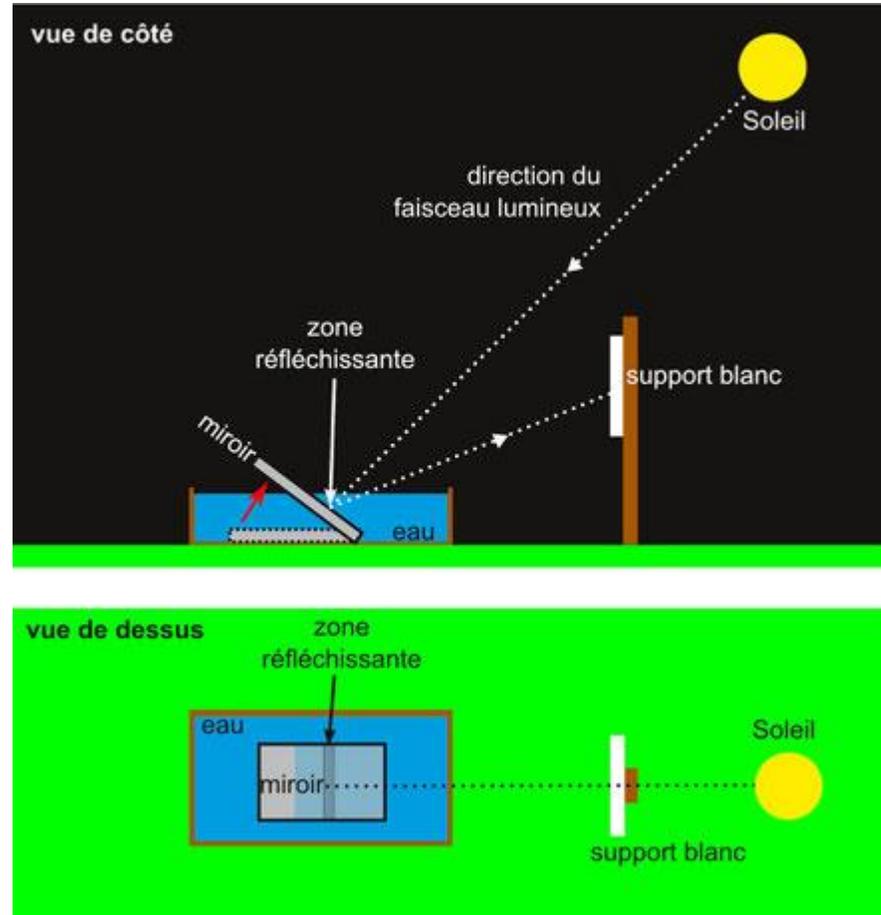
Principe de l'expérience

- La bassine est remplie à mi-hauteur d'eau et on place un miroir plan dedans de manière inclinée. La partie supérieure du miroir ne doit pas être immergée.
- Montrer, en envoyant un rayonnement lumineux sur le haut du miroir, que ce dernier permet de réfléchir les rayonnements. On peut illustrer avec un schéma.
- Envoyer le rayonnement vers la partie immergée du miroir de manière à décomposer la lumière blanche et à obtenir un arc en ciel sur l'écran blanc.



COMMENT SE FORMENT LES ARCS-EN-CIEL ?

Schéma de l'expérience



OBJECTIFS DE L'EXPÉRIENCE

MIROIR

Montrer que la lumière est réfléchiée par les miroirs et illustrer par un tracé de rayon

RAYON

Utiliser la réflexion du miroir pour introduire la notion de rayon et de propagation rectiligne de la lumière

INTERFACE

La frontière entre deux milieux se nomme interface (ex : interface eau/air) et elle le siège de nombreux phénomènes physiques

RÉFRACTION

A l'interface eau/air, les rayons sont plus ou moins déviés en fonction de leur couleur : c'est la réfraction qui est à l'origine des arcs-en-ciel

SPECTRE

La lumière du soleil (ou lumière blanche) est un mélange de plusieurs lumières colorées

Note : il est possible de faire un lien entre la nécessité d'incliner le miroir (évite la compensation de la réfraction à chaque interface) et la forme d'une goutte (interfaces d'entrée et de sortie non parallèle) pour les groupes plus avancés.

MÉLANGEONS LES COULEURS...

Matériel

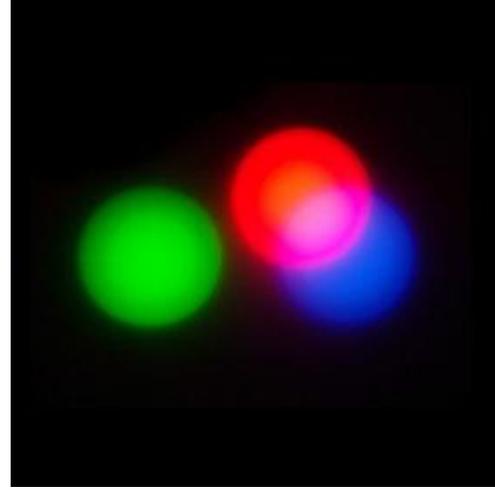
- Des peintures (aquarelle ?) et de quoi les mélanger.
- Des lampes LED de couleur (RVB) ou des lampes avec filtres colorées (voir Lycée Argouges).
- Un écran blanc
- Multiprise pour les lampes
- Des rideaux noirs (pénombre)

Principe de l'expérience

- Dans un premier temps, on revient avec eux sur les mélanges de peintures colorées et les résultats attendues. Pour les tout petits, on pourra même réaliser les mélanges et revenir sur le vocabulaire des couleurs.
- Réaliser le mélange des couleurs primaires (lumières) sur l'écran deux à deux et discuter des résultats ($R+V = \text{Jaune}$; $R+B = \text{Magenta}$; $B+V = \text{Cyan}$). On comparera avec les mélanges de peinture.
- Réaliser le mélange des 3 couleurs primaires (lumières) et montrer que l'on obtient une lumière blanche. A comparer avec le mélange en peinture (obtention noir) et à lier avec la décomposition de la lumière blanche.



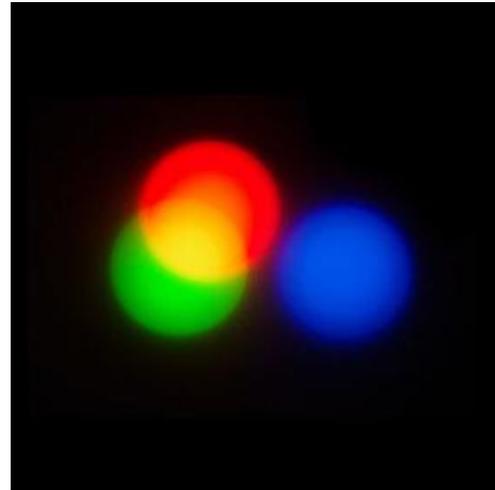
MÉLANGEONS LES COULEURS...



Mélange de couleurs primaires
deux à deux



Mélange de couleurs primaires
toutes ensembles



OBJECTIFS DE L'EXPÉRIENCE

NOMMER

Connaître le nom des couleurs primaires et secondaires (lumière et peinture)

MÉLANGE

Reconstruire le spectre du visible à partir de 3 couleurs primaires (système RVB) et faire le lien avec les écrans

DIFFÉRENCE

Différencier les mélanges de lumières (émission) et les mélanges de peintures (absorption)

ŒIL

Faire le lien avec le fonctionnement de l'œil qui repose sur les bâtonnets (intensité lumineuse) et 3 types de cônes.

ILLUSION

Le cerveau compile les informations envoyées par l'œil pour reconstruire l'image. En alternant suffisamment rapidement les couleurs dans une zone, on peut aboutir à une synthèse (toupie).

Note : Le dernier objectif sera abordé en utilisant des toupies comprenant une alternance de tranches colorées. En les faisant tourner suffisamment vite, les cônes correspondant à ces deux couleurs sont activés sur l'ensemble de la toupie et le cerveau a l'impression qu'elle n'est composée que d'une seule couleur homogène.

POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?

Matériel

- Un aquarium en verre rectangulaire ou **un bocal cylindrique à bords droits**
- De l'eau et du lait écrémé
- Une pipette et un agitateur
- Un écran blanc et une lampe LED blanche
- Des rideaux noirs (pénombre)

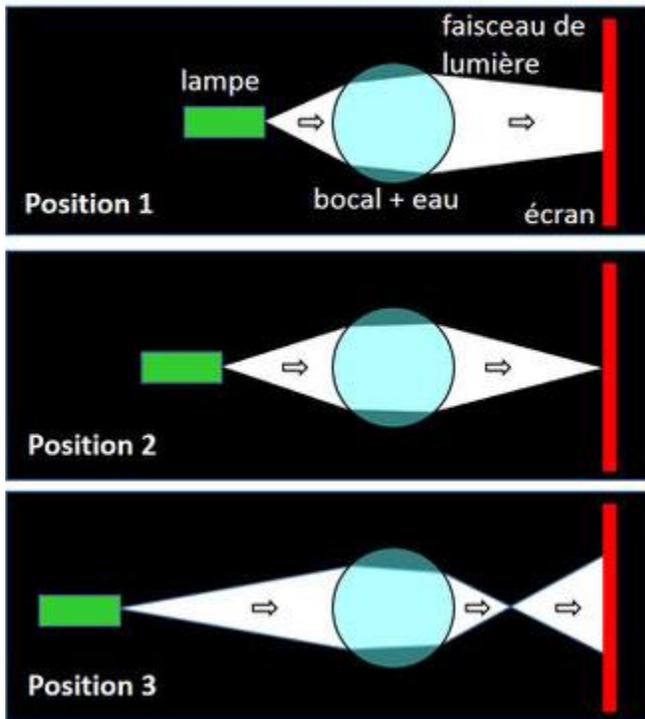
Principe de l'expérience

- La lampe LED est placée sur le plan de travail, à plat, dans l'alignement de l'écran et du bocal. On remplit le bocal quasi entièrement et on déplace la lampe de manière à avoir une image de cette dernière sur l'écran.
- On ajoute quelques gouttes de lait dans l'eau à l'aide de la pipette et on homogénéise avec l'agitateur. La solution prend une couleur bleutée et l'image de la lampe sur l'écran devient jaune.
- Plus on ajoute de lait et plus l'image de la lampe devient orangée. On remarque également que l'intensité lumineuse transmise diminue.

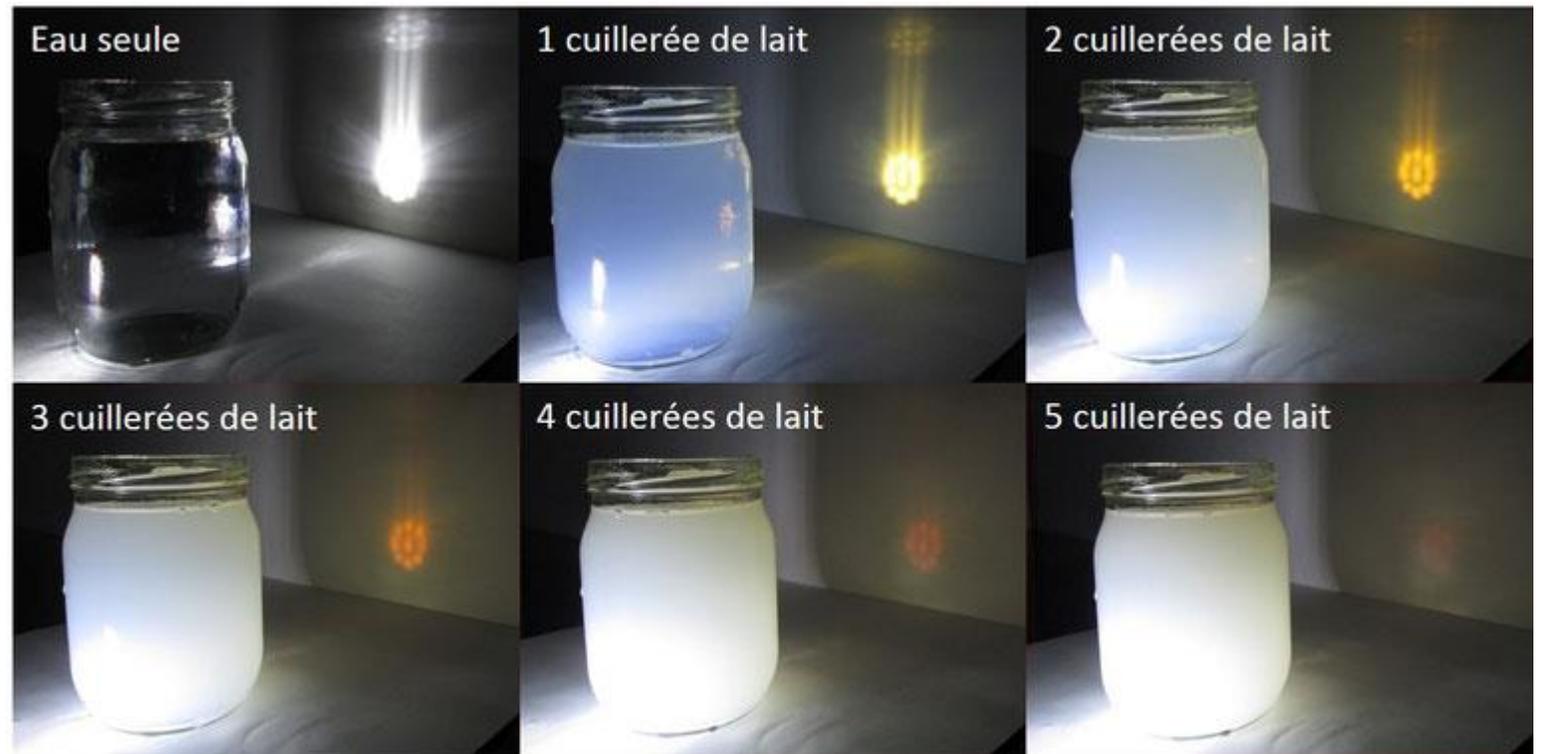


POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?

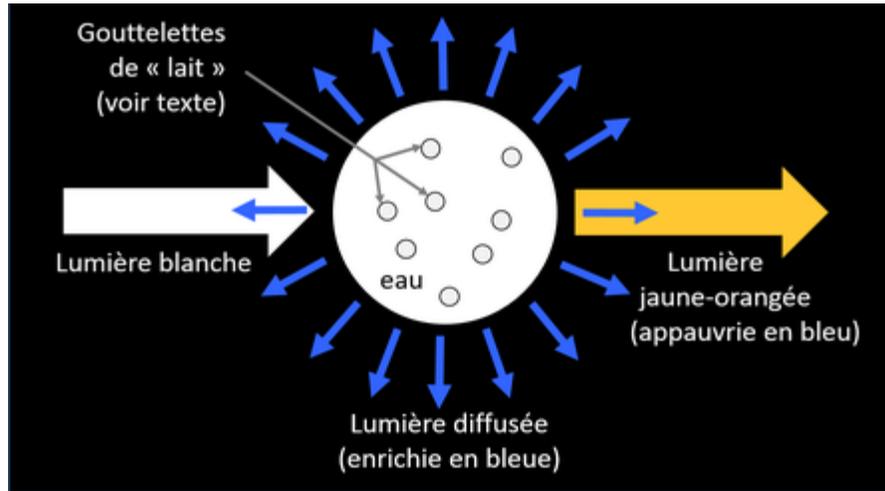
Schémas des faisceaux lumineux (vus de dessus) pour différentes positions de la lampe



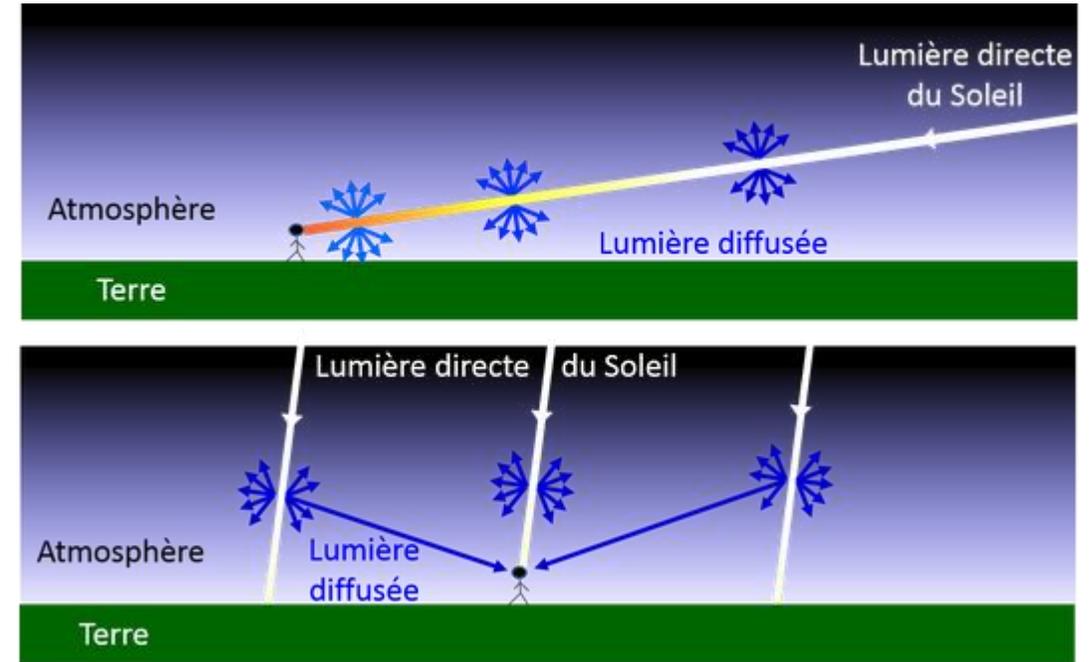
Diffusion de Tyndall de la lumière blanche en fonction de la concentration en objets diffusant (particules de caséine de $0,1 \mu\text{m}$ ici).



POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?



- En traversant le bocal, la lumière blanche interagit avec un composant du lait (la caséine) sous forme de gouttelettes de 0,1 microns. Les gouttelettes diffusent préférentiellement les couleurs froides (bleus) d'où l'aspect bleuté de la solution.
- La lumière transmise sera quant à elle appauvrie en bleu et contiendra plus de couleurs chaude. C'est pour cette raison que le soleil nous apparaît jaune la plupart du temps.



- En augmentant la quantité de diffuseurs (par allongement du trajet parcouru par la lumière ou par augmentation de la concentration en diffuseur), on appauvrit de plus en plus la lumière transmise qui tend vers le orange puis le rouge. C'est ainsi que le soleil nous apparaît orange/rouge à l'aube et au crépuscule.

POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?

Pour aller plus loin

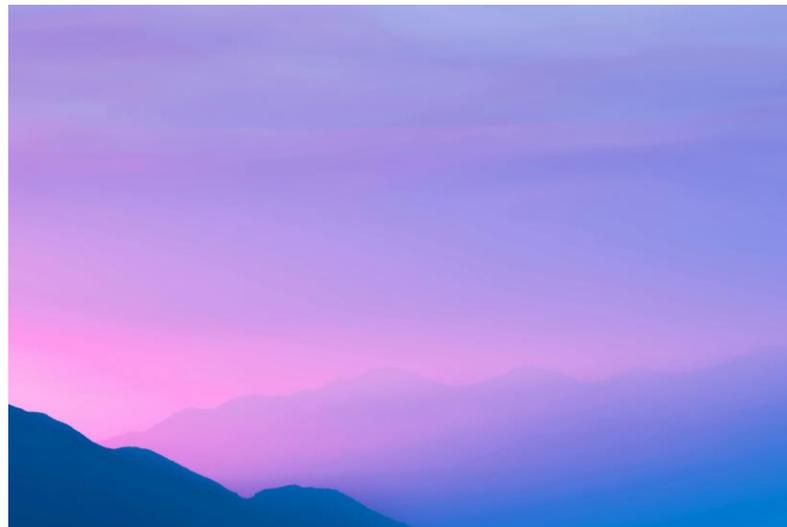
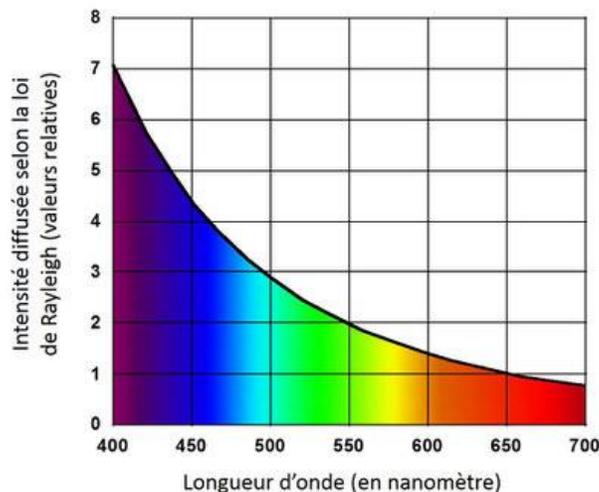
- La lumière est (entre autre) une onde caractérisée par sa longueur d'onde (λ). Les phénomènes de diffusion dépendent du ratio entre cette longueur d'onde et la taille du diffuseur.
 - ❖ Pour un diffuseur de taille similaire ou supérieur à λ , on se place dans le cadre de la diffusion de Mie. La lumière est diffusée fortement dans toutes les directions sans distinction basée sur λ . Le diffuseur apparaît alors blanc (ex : nuage, lait entier, mayonnaise...).



POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?

Pour aller plus loin

- La lumière est (entre autre) une onde caractérisée par sa longueur d'onde (λ). Les phénomènes de diffusion dépendent du ratio entre cette longueur d'onde et la taille du diffuseur.
 - ❖ Pour un diffuseur de taille fortement inférieure à λ (quelques nm jusqu'à la taille de petites molécules comme O₂ ou N₂), on se place dans le cadre de la diffusion de Rayleigh. L'intensité de la lumière diffusée est alors inversement proportionnelle à λ^4 . Les lumières « froides » sont donc bien plus diffusées que les lumières « chaudes » (ex : couleur du ciel et du soleil vu de la Terre). L'efficacité de diffusion est cependant faible en raison de la taille des diffuseurs.



POURQUOI LE CIEL EST BLEU ? LE SOLEIL CHANGE-T-IL DE COULEUR ?

Pour aller plus loin

- La lumière est (entre autre) une onde caractérisée par sa longueur d'onde (λ). Les phénomènes de diffusion dépendent du ratio entre cette longueur d'onde et la taille du diffuseur.
 - ❖ Pour un diffuseur de taille proche ou légèrement inférieur à λ , on se place dans le cadre de l'effet Tyndall. L'intensité du rayonnement diffusé est toujours inversement proportionnel à λ^4 mais la taille plus importante du diffuseur augmente fortement l'efficacité de diffusion (ex : yeux bleus, opalescence de certains minéraux, fumée bleutée de cigarette).



OBJECTIFS DE L'EXPÉRIENCE

DISTINGUER

Montrer la différence entre absorption et diffusion tout en prouvant qu'elles peuvent être à l'origine de la couleur perçue

MODÉLISER

L'atmosphère n'est pas une dispersion aqueuse de lait mais un modèle simple est capable de représenter plus aisément un phénomène physique malgré ses limites

MOUVEMENT

Les mouvements de la Terre, sur son axe et autour du Soleil, modifient notre perception de notre environnement et rendent plus complexe la compréhension des phénomènes physiques

RELATIVITÉ

La couleur du ciel et du soleil dépendent du lieu d'où on les observe (Lune, Mars, Terre, etc.) démontrant la nécessité de définir un référentiel d'observation, voir de perception

ECHELLE

Les phénomènes physiques ne sont pas liés qu'à la nature du matériau et dépendent également beaucoup de sa taille, de sa forme, etc. Un même matériau peut prendre des couleurs différentes

Note : Cette expérience simple permet de toucher du doigt des concepts fondamentaux en physique et plus globalement en Sciences. Si les plus petits seront moins facilement réceptifs, on peut déjà tenter d'introduire ce vocabulaire et ces « grandes » idées.

POURQUOI DOUDOU BRILLE DANS LE NOIR ?

Matériel

- Des tétines et/ou une peluche phosphorescente
- Encre fluorescente + papier/stylo
- Solution de nanoparticules fluorescentes
- Quelques billets
- Lampe UV (détecteur billet)
- Des rideaux noirs (pénombre)

Principe de l'expérience

- On peut tout d'abord montrer la notion de fluorescence en leur faisant écrire un message à l'encre fluorescente. Le message sera invisible à la lumière blanche mais pourra être observé sous lampe UV. Les fioles d'encres peuvent directement être mises sous la lampe. Montrer également que la fluorescence cesse dès que le message est éloigné de la source UV.
- Passer un billet et la fiole de nanoparticules sous la lampe pour montrer la possibilité de marquer/protéger des objets.
- Placer les objets phosphorescents et constater la différence avec la fluorescence (intensité, temps de vie).



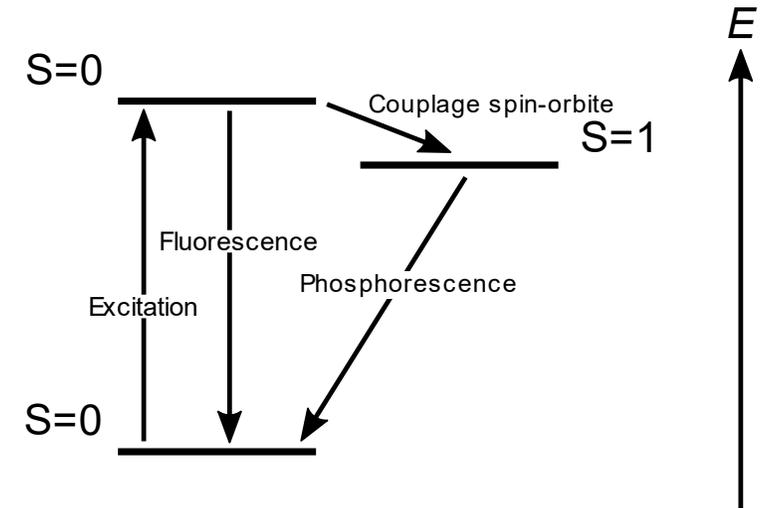
POURQUOI DOUDOU BRILLE DANS LE NOIR ?

- Nous avons vu qu'en interagissant avec la matière, la lumière peut-être réfléchi (miroir), transmise (eau, verre), diffusé (lait) ou absorbé (peinture colorée, milieu non transparent).
- La lumière transporte de l'énergie. Lorsque la lumière est absorbée par la matière, cette énergie induit une perturbation, une excitation des particules de la matière.
- Cette énergie peut-être dissipée de différentes manières. Elle peut, entre autre, être réémise à nouveau sous forme de lumière. On appelle ce phénomène la **photoluminescence**.
- On distingue deux différents types de photoluminescence : la **fluorescence** et la **phosphorescence**.
- Un composé fluorescent est un composé capable d'absorber de la lumière énergétique et qui va réémettre **RAPIDEMENT** des rayonnements de plus faibles énergies en se désexcitant. Le billet de banque est recouvert de motifs imprimés à l'encre fluorescente, la solution contient des nanoparticules fluorescentes (possibilité de faire un schéma).



POURQUOI DOUDOU BRILLE DANS LE NOIR ?

- Un composé phosphorescent est un composé capable d'absorber de la lumière énergétique mais il **met beaucoup plus de temps à se désexciter**. Par conséquent, la luminescence d'un objet phosphorescent est moins intense mais perdure dans le temps (plusieurs dizaines de minutes jusqu'à quelques heures). Les doudous, tétines et autres objets qui brillent dans nos chambres sont donc phosphorescents !



OBJECTIFS DE L'EXPÉRIENCE

OBSERVER

Comparer deux familles de matériaux luminescent et noter la différence de dynamique de relaxation

MATÉRIAU

Montrer la diversité des propriétés des matériaux en incluant leurs interactions avec la lumière

ENERGIE

La notion très abstraite d'énergie peut-être directement sondée avec les composés fluorescents. On peut s'appuyer sur l'arc-en-ciel pour montrer la perte d'énergie lors de la fluorescence

APPLICATION

Un matériau n'est ni bon ni mauvais : il doit être adapté à l'application visée. On pourrait par exemple ouvrir le débat sur l'usage des plastiques dans notre société

TEMPORALITÉ

Nous avons montré que le comportement d'un matériau peut dépendre de leur taille. La notion de temps et de dynamique est également importante pour caractériser un matériau.

Note : On pourra ouvrir le sujet vers d'autres sources de luminescence comme l'électroluminescence avec les LED, la bioluminescence que produisent les algues ou les méduses, la chimiluminescence utilisée par les TIC sur les scènes de crimes (luminol) pour mettre en évidence des fluides biologiques, etc.

D'AUTRES SOURCES DE LUMINESCENCE

