

Diffraction



EN BREF

MATERIEL FRAGILE
à manipuler
avec précaution

Cette valise est un outil permettant d'expliquer le phénomène de diffraction de la lumière, introduction au phénomène d'interférences lumineuses démontrant le caractère ondulatoire de la lumière. Elle illustre la décomposition de la lumière par un CD ou encore l'origine de la couleur bleue des ailes de certains papillons ou de la couleur des plumes de paons.

LES INTERFERENCES EN 3 MOTS

Les interférences lumineuses furent observées dès le XVI^{ème} siècle par Newton. Ce sont cependant les travaux de Thomas Young qui permirent d'interpréter ce phénomène par le caractère ondulatoire de la lumière.

Dans un premier temps, Thomas Young s'intéressa à la diffraction de la lumière par un fil. Les résultats qu'il obtenait ne pouvait correspondre avec une nature corpusculaire de la lumière. Il eut alors l'idée d'observer à travers deux trous d'épingle sur un écran la lumière d'une source ponctuelle. Il remarqua l'apparition de franges sombres et brillantes, les franges d'interférences. L'existence de ces franges ne pouvait être interprétée que par le caractère ondulatoire de la lumière. Cette expérience lui permit de remonter jusqu'à la longueur d'ondes des différentes couleurs qui composent la lumière.

Les applications des interférences sont multiples. On les utilise pour la réalisation des hologrammes mais elles sont aussi utilisées pour le contrôle industriel, la recherche ou encore dans les microscopes à polarisation.

PROGRAMMES SCOLAIRES

Primaire :

Les manipulations présentes dans cette valise peuvent être abordées dans le cadre de l'étude de Lumière et ombres dans le thème Le ciel et la Terre au cours du cycle 3.

Collège : 2^{nde} :

- Mesure de l'épaisseur d'un cheveu.

Lycée : T^{ale} S :

- La lumière, modèle ondulatoire.

CHERCHEURS ET LABORATOIRES ASSOCIES

Marc BRUNEL (IPR, Université de Rennes 1)

MATERIEL

MATERIEL A PREVOIR

Prise de courant

Une table d'environ 1m de longueur

MATERIEL PRESENT DANS LA VALISE



Un laser vert de classe II et son alimentation



Une diapositive avec cheveu (+ réserve)



Une source de lumière blanche et son alimentation



Surface gravée de CD et DVD



Une diapositive avec fentes verticales et horizontales



Un porte-diapositive



Une diapositive avec trous



Un tableau quadrillé magnétique + 1 rallonge + 1 multi-prise



Une diapositive avec fil de cuivre



Un tableau blanc + face avec papier millimétré + crayon



Une diapositive avec croisée de fils



Une diapositive de réseaux amusants



Une diapositive avec réseau en transmission



Les lasers utilisés sont de classe 1 ou 2. Cependant, en aucun cas les faisceaux ne doivent être pointés en direction d'un œil sous peine de dommages. Les lasers ne doivent pas être laissés sans surveillance.

MANIPULATION N° 1 : DIFFRACTION PAR UNE OUVERTURE ET PAR UN OBSTACLE

OBJECTIF

Illustrer le phénomène de diffraction qui se produit lorsque la lumière passe par une petite ouverture (de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde) ou rencontre un obstacle de l'ordre de grandeur de sa longueur d'onde.

MONTAGE



1. Placer le laser vert (B6), le porte diapositive (F6) et l'écran (N6),
2. Brancher le laser vert et viser la diapositive (cf « Viser la diapositive avec le laser »)
3. Placer la diapositive « 1a » sur le porte diapositive et la bloquer,
 - > Observer, à tour de rôle, les figures obtenues avec :
 - les fentes verticales de la plus large à la plus fine,
 - les fentes horizontale,
4. Placer la diapositive « 2a » sur le porte diapositive et la bloquer,
 - > Observer la figure obtenue avec le trou circulaire,
5. Placer la diapositive « 3a » sur le porte diapositive et la bloquer,
 - > Observer la figure obtenue avec le fil en cuivre,
6. Placer la diapositive « 4 » sur le porte diapositive et la bloquer,
 - > Observer la figure obtenue avec la croisée de fils,
7. Demander à l'auditoire de regarder la lumière en fermant un œil et en plaçant un cheveu (diapositive 6) à environ 5 cm de l'œil.

VISER LA DIAPOSITIVE AVEC LE LASER

1. Descendre le porte diapositive au plus bas,
2. Allumer le laser vert et ajuster le afin que son rayon traverse le haut de la diapositive et arrive sur l'écran blanc.
3. Remonter et déplacer la diapositive afin que le rayon laser éclaire le trou ou l'obstacle souhaité.

OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS

Eclairage des fentes verticales ¹

>> On observe sur l'écran une « tâche de diffraction » (a) composée d'une alternance de tâches sombres et lumineuses suivant une ligne horizontale.

La tâche centrale est brillante. Elle est entourée de tâches satellites deux fois moins larges et moins lumineuses que la tâche centrale.

On peut noter que la taille de la figure de diffraction dépend de la grandeur de l'ouverture.

Eclairage de la fente horizontale ²

>> On observe sur l'écran une « tâche de diffraction » composée d'une alternance de tâches sombres et lumineuses suivant une ligne verticale.

La tâche centrale est brillante. Elle est entourée de tâches satellites deux fois moins larges et moins lumineuses que la tâche centrale.

On peut noter que la taille de la figure de diffraction dépend de la grandeur de l'ouverture.

Eclairage du trou circulaire ³

>> On observe que la « tâche de diffraction » est un cercle entouré d'anneaux sombres et brillants. Pour que la déviation des rayons par le trou soit grande, donc que le phénomène de diffraction soit bien visible,

il faut que la dimension du trou soit du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de l'onde.

Eclairage du fil en cuivre ⁴

>> On observe la même figure de diffraction que celle obtenue avec une fente.

Eclairage de la croisée de fils ⁵

>> On observe sur l'écran une tâche de diffraction ayant la forme d'une croisée de fils.

Regarder la lumière en fermant un œil et en plaçant un cheveu à environ 5 cm de l'œil.

>> On observe là encore une figure de diffraction.



(a) « principales figures de diffraction » en fin de document

CONCLUSION

La lumière est une onde

Lorsqu'une onde rencontre un obstacle ou doit passer par une petite ouverture, elle s'éparpille derrière l'obstacle ou l'ouverture, on dit qu'elle est diffractée.

C'est vrai pour une onde acoustique (la voix par exemple), c'est vrai pour une onde mécanique (des vagues à la surface de l'eau par exemple), c'est vrai aussi pour la lumière, qui est un phénomène ondulatoire (onde électromagnétique).

Par contre, contrairement aux vagues sur l'eau (*b*) ou au son dans l'air, la lumière n'a pas besoin de milieu de propagation puisqu'elle est capable de se déplacer dans le vide.

Ce phénomène de diffraction s'explique par le postulat de Huygens (1678) comme quoi la lumière se propage de proche en proche et chaque élément de surface atteint par l'onde se comporte comme une source secondaire qui émet des ondes sphériques, donc dans toutes les directions (*c*).

Que la lumière s'étale, c'est une chose qu'on comprend avec le principe des ondelettes de Huygens, mais pourquoi y a-t-il une succession de zones éclairées et de zones noires ? En effet on pourrait s'attendre à une zone seule tache plus ou moins étalée...

L'explication est liée à l'idée d'interférences : les différentes ondelettes interfèrent entre elles et la somme des ondelettes peut donner des zones brillantes là où les crêtes des ondes se rencontrent, ou des zones sombres là où une crête d'une ondelette s'ajoute à un creux d'une autre ondelette (du coup la somme fait zéro !). (*d*)

Quelques remarques :

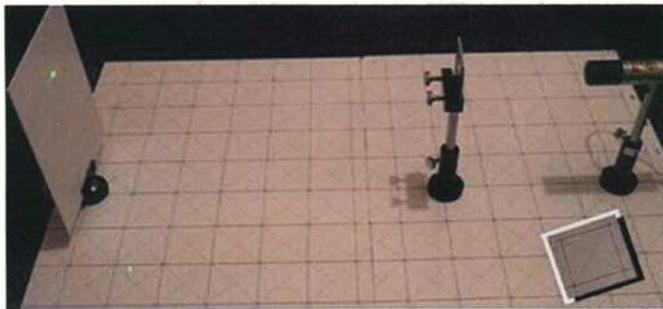
- > Un objet allongé dans une direction provoque un étalement de la lumière dans la direction perpendiculaire : c'est particulièrement net dans le cas des fentes,
- > Quand l'objet est circulaire, la lumière est diffractée dans toutes les directions, d'où les anneaux concentriques.
- > Plus l'ouverture est petite, plus la tache de lumière diffractée est grande ; on le vérifie aisément avec la série de fentes, ou de trous.

MANIPULATION N° 2 : MESURE DE L'ÉPAISSEUR D'UN CHEVEU

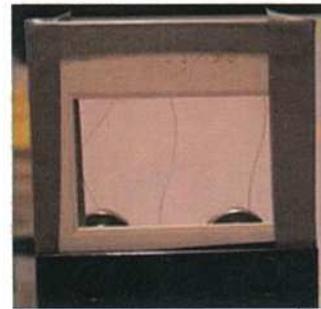
OBJECTIF

Mesurer l'épaisseur d'un cheveu en utilisant les propriétés de la diffraction

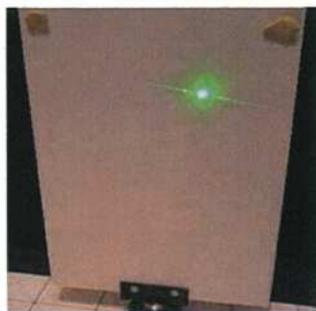
MONTAGE



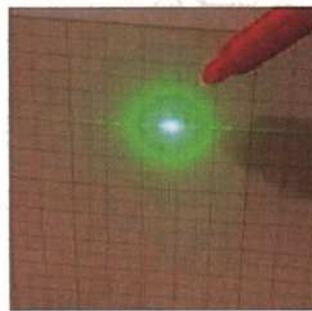
1 et 2



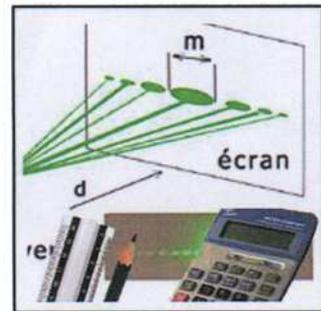
3



4



5



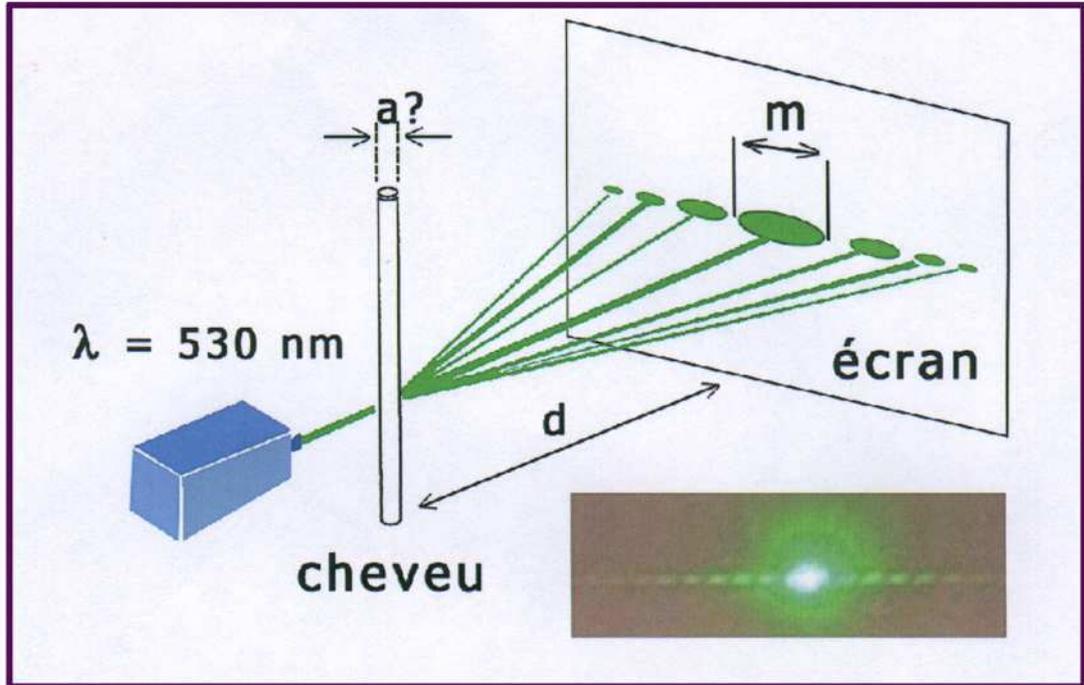
6

1. Placer sur le tableau magnétique, le laser vert en B6, le porte diapositive en F6 et l'écran face millimétrée en N6,
2. Brancher le laser vert et viser la diapositive (cf « Viser la diapositive avec le laser »)
 - Mesurez et notez la distance « d » entre le porte diapositive et l'écran,
 - Les carreaux présents sur la plaque magnétique mesures 5cm sur 5cm
3. Placer la diapositive 6 sur le porte diapositive et la bloquer,
4. Observez la figure de diffraction obtenue,
5. Pivoter l'écran millimétré afin que ses lignes correspondent à l'alignement de la figure de diffraction
 - Marquez les limites des différentes taches,
6. Mesurez « m » et calculez « a » à l'aide de la formule

$$a = (2 \times l \times d) / m$$

MESURE ET INTERPRETATIONS

Mesurer et noter les distances et grandeurs suivantes :



- > Longueur d'onde « λ » du laser utilisé (= 530 nm)
- > largeur « m » de la tache principale (= largeur de 2 taches périphériques = 1 cm)
- > distance « d » entre la diapositive et l'écran (= 50 cm)
- > utiliser la formule « $a = (2 \times \lambda \times d) / m$ » et calculez ainsi « a » l'épaisseur du cheveu,

$$\begin{aligned}
 a &= (2 \times \lambda \times d) / m \\
 a &= (2 \times 530 \times 10^{-9} \times 50 \times 10^{-2}) / 1 \times 10^{-2} \\
 a &= (53000 \times 10^{-11}) / 1 \times 10^{-2} \\
 a &= 53000 \times 10^{-9} \text{ mètre} \\
 a &= 53 \times 10^6 \text{ mètre} \\
 a &= \mathbf{53 \text{ micro mètre}}
 \end{aligned}$$

Le cheveu est donc d'une épaisseur d'environ 50 micro mètre.

NOTEZ BIEN

Quel que soit le motif, le paramètre physique donnant l'ordre de grandeur de la tache de diffraction est : λ / a ,
c'est-à-dire le rapport de la longueur d'onde à la dimension caractéristique du système diffractant (vrai pour la fente, le trou circulaire, le réseau). (e)

(e) Schémas explicatifs en fin de document

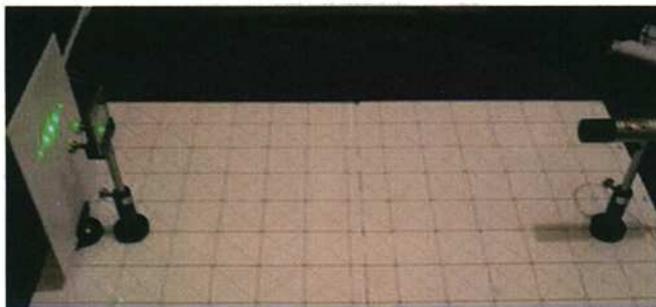
MANIPULATION N° 3 : RESEAUX

Un réseau de diffraction est un dispositif optique composé d'une série de fentes parallèles, ou de rayures réfléchissantes. Ces traits sont espacés de manière régulière, l'espacement est appelé le « pas » du réseau.

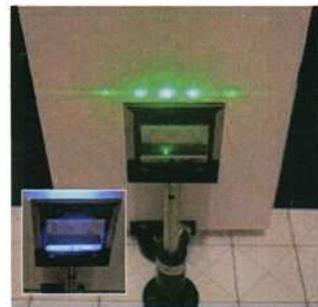
OBJECTIF

Illustrer le phénomène de diffraction de la lumière par un réseau.

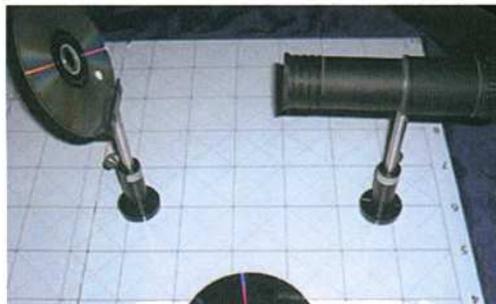
MONTAGE



1



2



3



4

1. Placer sur le tableau magnétique, le laser vert en B6, le porte diapositive en M6 et l'écran en N6,
- Brancher le laser vert et viser la diapositive « réseau de diffraction »,
2. Observer la figure de diffraction obtenue à travers le réseau,
- Remplacer le laser par la lumière blanche et répétez l'opération,
3. Eclairez le CD et le DVD avec la lumière blanche,
4. Regarder le CD et DVD à la lumière du jour.
5. Répéter l'installation (1) avec la diapositive 8 et observez.

OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS

Observer la figure de diffraction obtenue en éclairant un réseau avec une lumière laser

>> Sur l'écran on peut observer des tâches de couleur verte qui correspondent aux lieux d'interférences. Les nombreux points obtenus sont tous équidistants et de même amplitude. Ils sont séparés par de larges zones d'obscurité.

Autour de la tâche centrale, on a de part et d'autres des tâches satellites équidistantes et toutes de même intensité.

Plus le réseau est serré, plus les tâches sont distantes les unes des autres.

Observer la figure de diffraction obtenue en éclairant un réseau avec de la lumière blanche

>> On observe une décomposition de la lumière blanche qui est constituée de l'ensemble du spectre visible.

Regarder le CD avec de la lumière blanche puis à la lumière du jour.

>> On observe une décomposition de la lumière. Le CD est composé d'un multitude de piste de l'ordre du micromètre. L'ensemble de ces pistes constitue un réseau de réflexion. Ce réseau est observé par réflexion de la lumière. Le CD constitue donc un réseau en réflexion.

Regarder le DVD avec de la lumière blanche puis à la lumière du jour.

>> On observe le même phénomène cependant il y a moins de tâches. Ceci est du "au pas" du réseau qui est plus important dans le cas d'un DVD.

Répéter l'installation (1) avec la diapositive 8 et observez

Contrairement aux manipulations faites depuis le début, on peut aussi calculer la forme de l'objet diffractant pour obtenir une figure d'interférence choisie : par exemple, un carré lumineux, ou le logo de l'Europe, ou un cercle uniformément brillant... (cf fiches plastifiées)...

Contrairement à n'importe quel autre type de projection d'image, ici il n'y a pas de mise au point à faire (les interférences ont lieu dans une direction donnée et pas dans un plan donné). La figure est nette aussi bien à 10 cm qu'à 1 km...

CONCLUSION

Un réseau de diffraction est un dispositif optique composé d'une série de fentes parallèles, ou de rayures réfléchissantes. Ces traits sont espacés de manière régulière, l'espacement est appelé le « pas » du réseau.

Si la distance entre les traits est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière, le réseau permet d'obtenir des figures de diffraction :

> si l'on envoie une lumière laser (une seule longueur d'onde), le réseau réfléchit plusieurs taches ; la direction de réflexion des taches dépend de la distance entre les traits et de la longueur d'onde.

> si l'on envoie de la lumière blanche, le réseau décompose la lumière à la manière d'un prisme. Toutes les couleurs ne sont pas diffractées de la même manière. Le rouge, qui a une longueur d'onde plus grande est davantage diffracté donc dévié que le vert et que le bleu qui ont une longueur d'onde plus petite.

C'est ce qui explique que l'on observe un arc-en-ciel après la pluie ou les couleurs que l'on observe sur un CD.

Ce phénomène est aussi à l'origine de la couleur des plumes de paons ou des ailes de certains papillon