

## 1 Quelle est la nature de la lumière ?

**EN UN SEUL PARAGRAPHE...** ce qui va être abordé ! 3000 ans d'histoire. La dualité onde-corpuscule. Les ondes électromagnétiques. La définition d'une onde. Le domaine visible. Le fait que NEWTON a le premier interprété correctement la dispersion de la lumière par un prisme, et isolé les différentes lumières colorées du spectre visible.

**Qu'est-ce que la lumière ?** Réponse du physicien Richard FEYNMAN, prix Nobel américain 1965 : à la fois des *gouttes* et des *vagues*. Des gouttes, car la lumière est formée de grains d'énergie, les photons ; des vagues, car c'est un flux de vagues électromagnétiques. À la place de « vague », en physique on utilise le terme d'« ondes ». Une onde est la propagation d'une perturbation, sans transport de matière, mais avec transport d'énergie. La lumière se présente ainsi tantôt comme un flux de corpuscules, les photons, et tantôt comme une onde. C'est la dualité onde-corpuscule, et comme nous le verrons dans l'année, cette double identité de la lumière est indispensable pour expliquer tous les phénomènes physiques.

a. Qu'est-ce que la dualité onde-corpuscule de la lumière ?

.....  
.....

La nature de la lumière est un thème de recherche qui remonte jusqu'aux écrits grecs d'il y a 3000 ans ! Un net progrès a été réalisé par Isaac NEWTON, dès 1666. Il avait alors 24 ans, et devait apporter un esprit nouveau à la science : celui de raisonner sur l'observation et non de spéculer sur des hypothèses.

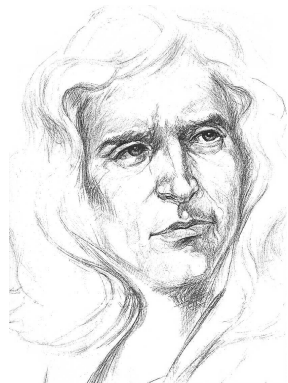


FIG. 1 – Isaac NEWTON.

Voici un extrait de la lettre qu'il a envoyé au secrétaire

de la prestigieuse Royal Society of LONDON, pour faire état de ses expériences.

*A Letter of Mr. Isaac Newton, Professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his New Theory about Light and Colors: sent by the Author to the Publisher from Cambridge, Febr. 6. 1672; in order to be communicated to the R. Society.*

S I R,  
TO perform my late promise to you, I shall without further ceremony acquaint you, that in the beginning of the Year 1666 (at which time I applyed my self to the grinding of Optick glasses of other figures than Spherical,) I procured me a Triangular glass-Prisme, to try therewith the celebrated *Phænomena of Colours*,

L'importance de sa découverte pour la compréhension de la couleur est telle que nous nous permettons de citer de larges extraits de cette lettre essentielle (traduite de l'anglais) :

« Monsieur,

Pour tenir la promesse que je vous ai faite, je vous fais part sans plus de cérémonie qu'au début de l'année 1666 (époque à laquelle je m'appliquais à tailler des verres optiques de formes différentes de la sphère), je me procurai un prisme triangulaire en verre pour réaliser les fameux phénomènes des couleurs. Ayant à cet effet obscurci ma chambre et fait un petit trou dans mes volets pour laisser pénétrer une quantité convenable de lumière solaire, je plaçai mon prisme devant l'ouverture de telle sorte qu'elle soit réfractée sur le mur opposé.

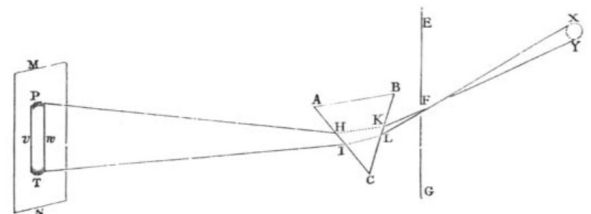


FIG. 2 – L'expérience avec le prisme.

Ce fut d'abord un divertissement très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites, mais au bout d'un moment je me mis à les examiner plus soigneusement et fus [amené] à l'expérience cruciale (*Experimentum Cruceis*) qui fut ceci :

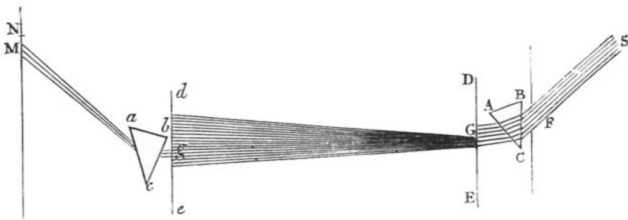


FIG. 3 – L'expérience cruciale.

Je pris deux panneaux et plaçai l'un d'eux près de la fenêtre de l'autre côté du prisme, de telle sorte que la lumière puisse passer à travers un petit trou pratiqué dans ce but et tomber sur l'autre panneau que je plaçai à une distance d'environ 12 pieds, y ayant aussi pratiqué un petit trou pour qu'une partie de la lumière incidente puisse le traverser. Ensuite, je plaçai un second prisme derrière ce second panneau de telle sorte que la lumière ayant traversé les deux panneaux puisse également le traverser et soit à nouveau réfractée avant d'atteindre le mur. »

NEWTON tire de ses expériences une conséquence fondamentale : la lumière blanche peut être décomposée (on parle de *dispersion* par le prisme), et elle est formée de toutes les couleurs possibles (première expérience) ; et qu'une fois décomposée, si l'on prend un rayon d'une couleur particulière, il n'est pas décomposé à son tour (seconde expérience). La lumière blanche n'est donc pas *pure*, quoique l'on considère sous cet adjectif vague de « pur ».

b. Qu'a découvert NEWTON ?

.....

.....

c. Est-ce une réponse au problème de la *nature* de la lumière ?

.....

**La découverte de la nature de la lumière** s'est présentée de manière fortuite à un esprit brillant : James Clark MAXWELL.

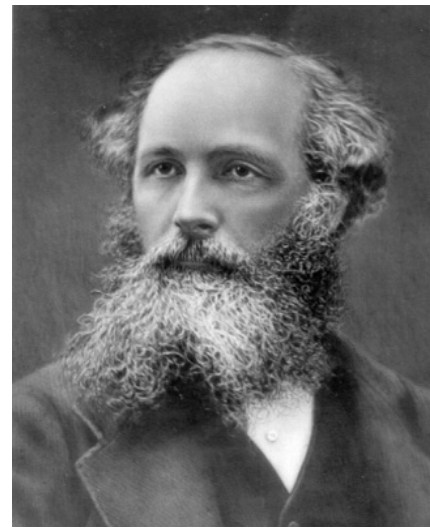


FIG. 4 – James Clerk MAXWELL.

En 1865, MAXWELL s'emploie à unifier l'électricité et le magnétisme, dans des équations aussi simples qu'efficaces. À l'aide de ces équations, il est alors capable de montrer de façon purement théorique l'existence des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire des ondes qui sont créées par les mouvements des charges électriques. Cherchant à déterminer la vitesse de ces ondes, il obtint un résultat égal à la vitesse de la lumière, dont la toute récente et toute première détermination est le fait du français Armand Hippolyte Louis FIZEAU, en 1849. La conclusion est évidente : la lumière est une onde électromagnétique particulière, le domaine de ces ondes étant vaste !

d. De quel type sont les ondes visibles ?

.....

.....

Ainsi, **les ondes visibles** ne représentent qu'une infime partie des ondes électromagnétiques. Le domaine visible n'est pas placé dans les ondes électromagnétiques au hasard ; c'est le résultat d'une adaptation de notre œil au maximum d'émission du Soleil, qui est dans le vert, au centre du spectre visible ! Le domaine des ondes électromagnétiques est représenté ci-dessous. On parle de *spectre* à ce propos, car c'est ce que l'on obtient en partie à la sortie d'un prisme, et cela a tellement surpris que les scientifiques ont donné un nom qui laisse penser qu'il s'agit d'un phénomène paranormal (un *spectre* = un fantôme !). En réalité, la magie n'est que dans les yeux des ignorants, et vous pourrez bientôt utiliser votre connaissance de science pour jouer de sacrés tours de magie. Par généralisation, on appelle *spectre* tout graphique dont l'axe horizontal est en fréquence.

Pour caractériser ces ondes, on utilise soit la longueur d'onde, qui n'est rien d'autre que la distance entre les

crêtes de l'onde ; soit la fréquence, qui est comme vous le savez déjà le nombre d'oscillations par seconde. La longueur d'onde est notée  $\lambda$  (lettre grecque *lambda*) et est exprimée en mètre (symbole m) ; la fréquence est notée  $f$  et est exprimée en hertz (symbole Hz), c'est-à-dire l'inverse d'un temps ( $s^{-1}$ ).

e. Donnez la définition et l'unité de la longueur d'onde. Même question pour la fréquence.

.....  
 .....

**La gamme des longueurs d'onde** visibles est de 400 nm à 800 nm (nanomètre, avec  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). C'est minuscule.

Et inversement, la gamme des fréquences est entre  $7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  et  $3,75 \times 10^{14} \text{ Hz}$ . C'est énorme.

On se convaincra de la logique selon laquelle longueur d'onde et fréquence sont inverses l'une de l'autre, en réfléchissant aux vagues sur la plage : à SAINT JEAN-DE-LUZ, pour surfer LA vague, il faut parfois attendre un bon quart d'heure, une autre façon de dire que les vagues de grande longueur d'onde sont peu fréquentes !



FIG. 5 – La Belharra est une vague géante et rare à SAINT JEAN-DE-LUZ.

Vous devez connaître les limites en longueur d'onde du spectre visible.

f. Quelles sont les limites, en longueur d'onde, du domaine visible ?

.....

On peut retrouver quelques **couleurs** de proche en proche, par pure logique ; retenez pour l'instant que plus les ondes

électromagnétiques ont des longueurs d'onde petites, plus elles sont dangereuses ! Car qui dit petites longueurs d'onde, dit taille proche des atomes et des molécules qui nous constituent, donc danger pour notre ADN, en particulier !

Donc, en dessous de 400 nm, on trouve les ultraviolets, les rayons X puis les rayons gamma. Tout cela est dangereux.

À contrario, tout va bien pour les grandes longueurs d'onde, avec au-delà de 800 nm les infrarouges, si agréables, car ce sont eux qui nous réchauffent par rayonnement lorsque l'on se met au coin du feu ou à proximité d'un radiateur ; suivent ensuite les micro-ondes et les ondes radio (les téléphones portables utilisent des micro-ondes d'une puissance de 1 watt au maximum, et peuvent donc en théorie agiter les molécules d'eau comme dans un four à micro-ondes — en pratique, l'effet est faible).

À 400 nm, limite des ultraviolets, on trouve le violet comme couleur extrême du spectre ; et à l'autre bout du spectre visible, à 800 nm, limite des infrarouges, on trouve le rouge. On peut alors trouver d'autres couleurs de proche en proche, par étape :

1. Violet à gauche car vers les petites longueurs d'ondes, rouge à droite car vers les grandes longueurs d'onde (car en général, l'axe horizontal des abscisses est orienté de la gauche vers la droite, ce qui correspond au sens de lecture...) :

violet	rouge
--------	-------

2. Bleu à côté du violet, orange à côté du rouge, ce n'est que pure logique :

violet bleu	orange rouge
-------------	--------------

3. Jaune à côté de l'orange, c'est logique aussi :

violet bleu	jaune orange rouge
-------------	--------------------

4. Il ne reste plus qu'à placer le vert au centre du spectre :

violet	bleu	vert	jaune	orange	rouge
--------	------	------	-------	--------	-------

et ainsi on a reconstitué l'ordre des couleurs dispersées par le prisme.

g. Citez les couleurs principales dispersées par le prisme.

.....

.....

h. Rappelez la couleur qui est la plus déviée par le prisme. Précisez : s'agit-il de la lumière de plus courte longueur d'onde, ou de plus grande longueur d'onde ?

.....

i . Citez les principaux domaines des ondes électromagnétiques, dans l'ordre (aidez vous de la figure 6).

.....

**Références**

Bernard VALEUR, *La couleur dans tous ses états*, Belin Pour la Science.  
 Eugène HECHT, *Optique*, 4<sup>e</sup> édition, Pearson Éducation.  
 Roger LAMOULINE, *Voir, nommer et figurer les couleurs*, Atelier Perrousseaux.  
 Isaac NEWTON lui-même pour les dessins de ses expériences.  
 A. RENSHAW pour le portrait de NEWTON, 1960.

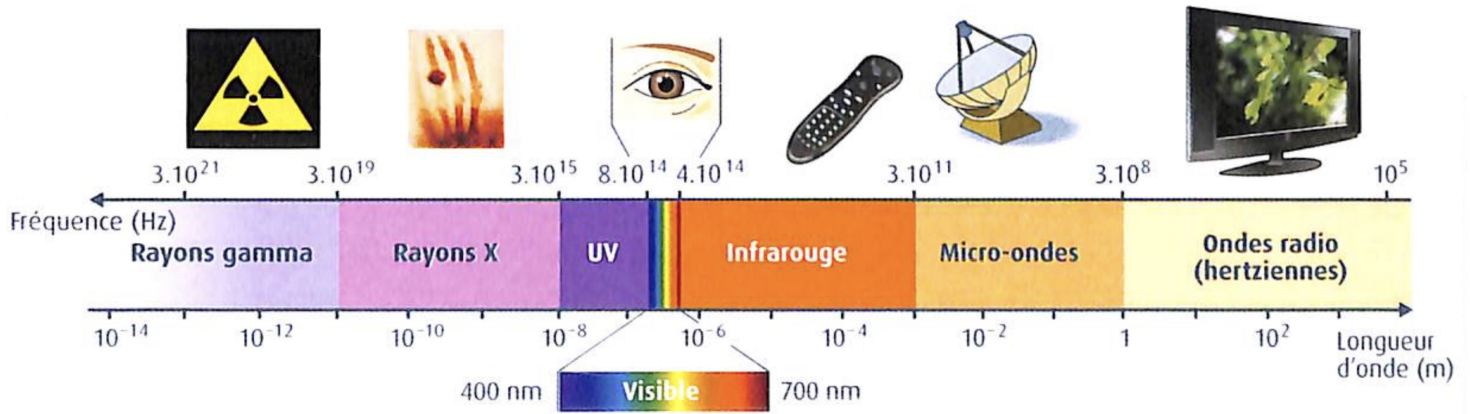


FIG. 6 – Spectre des ondes électromagnétiques.

## Correction des exercices du chapitre 17

### Rayonnement thermique

#### 17.1 Filament d'une lampe de poche

- Dans l'ordre croissant de la température du filament : b ; c ; a ; e et d.
- d pour la pile neuve ; e pour la pile après 10 min ; et cetera dans l'ordre inverse des températures du filament.

#### 17.2 Lampe halogène

### Spectres de raies

#### 17.3 Spectres et éléments

La flamme laisse apparaître les raies des éléments calcium et strontium.

#### 17.4 Spectres du zinc et du mercure

### Spectres d'absorption

#### 17.5 Titane ou nickel dans l'étoile

La lumière émise par la « surface » de l'étoile (la *photosphère*, de spectre continu, traverse son « atmosphère » (la *chromosphère*), dans laquelle sont présent des éléments à déterminer. Ces éléments absorbent sélectivement certaines radiations monochromatiques, qui sont du coup absentes du spectre continu de l'étoile. Ici, on constate l'absence des raies du Titane, preuve de la présence de ce dernier dans la chromosphère stellaire.

#### 17.6 Raies d'émission et spectre stellaire

## Exercice du chapitre 17 (suite)

17.7 N° 3 p. 146

17.8 N° 5 p. 146

17.9 N° 14 p. 149

17.10 N° 16 p. 149