

# DES EXPÉRIENCES SIMPLES POUR COMPRENDRE UNE PLANÈTE COMPLIQUÉE



## 2 La lumière et les couleurs

Texte: Bernardino Barrientos García

Images: Luis Adán Martínez Jiménez

Traduit par: Sandra Fuentes Vilchis, Paola Garcés, Thierry Calmus

# Universidad Nacional Autónoma de México

**Enrique Luis Graue Wiechers**

Recteur

**Leonardo Lomelí Vanegas**

Secrétaire général

**William Henry Lee Alardín**

Coordinateur de la Recherche Scientifique

**Jorge Volpi Escalante**

Coordinateur de la Diffusion Culturelle

**Joaquín Díez-Canedo F.**

Directeur général des publications et du développement éditorial

**Lucía Capra Pedol**

Directeur du Centro de Geociencias

**Susana A. Alaniz Álvarez**

**Ángel F. Nieto Samaniego**

**Manuel Lozano Leyva**

Coordinateurs de la Série

**Elisa López**

Conception

**Lluvia Landaverde**

Formation



Première édition: Juin 2018

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México

Centro de Geociencias

Universidad Nacional Autónoma de México

No. 3001, Boulevard Juriquilla, Querétaro

C.P. 76230, México

ISBN (Collection intégrale):

ISBN:

Imprimé et fabriqué au Mexique

Ce livre ne peut être reproduit en tout ou en partie, par aucun moyen électronique ou autre, sans autorisation écrite des éditeurs.

# Index

Introduction	3
Expériences de Newton	5
La réfraction de la lumière	7
L'arc en ciel	9
Créer un arc en ciel	10
Comment mesurer la taille d'un arc en ciel ?	11
Le disque de Newton	11
La polarisation de la lumière	12
Créer votre propre spectre de couleur	12
L'arc en ciel secondaire	13
De curieux détails sur l'arc en ciel	13
Le monde des couleurs	15
Conclusion	19
Remerciements	20
À propos de l'auteur	21
Isaac Newton	21

Comment serait le monde sans couleurs?

De quoi est fait l'arc en ciel ?

Pourquoi forme-t-il un arc de cercle ?

Pourquoi y a t-il des couleurs ?

# Introduction

La lumière est l'un des moyens les plus importants par lequel nous interagissons avec le monde qui nous entoure. Nous le faisons à travers notre sens de la vue. Donc, par le sens de la vue, nous pouvons obtenir notre nourriture, interagir avec les autres, aller d'un endroit à un autre, ou tout simplement profiter de la nature. À cet égard, qui n'a pas été surpris de voir le ciel bleu, les différentes couleurs de l'arc en ciel ou les tonalités rougeâtres d'un coucher de soleil ? Tout au long de l'histoire, ces événements ont surpris les différentes cultures en raison de leurs effets distinctifs spectaculaires. Tout particulièrement, l'arc en ciel impressionne par sa forme en arc de cercle, par le fait qu'il semble flotter entre la terre et le ciel et par ses couleurs. Et comment serait le monde sans couleurs ? Dans ce livret, nous allons explorer les différents aspects nécessaires à la formation d'un arc en ciel et à la façon dont nous percevons des objets et leurs couleurs.



Tout d'abord, permettez-moi de vous présenter nos deux amis : Isaac le hamster et son grand ami Carmelo le chat qui parlent de choses très intéressantes liées à la lumière.

# Expériences de newton

**Carmelo le chat** : Vous savez, Isaac, hier j'ai pu voir un fantastique arc en ciel et plusieurs questions auxquelles je ne pouvais pas répondre me sont venues à l'esprit..

**Isaac le hamster** : Quelles questions ? Peut-être que je peux vous aider à trouver les réponses.

**Carmelo le chat** : De quoi est fait l'arc en ciel ? Pourquoi forme-t-il un arc de cercle ? Pourquoi a-t-il des couleurs ?

**Isaac le hamster** : Quelles questions intéressantes ! Tu sais, Carmelo, l'une des premières personnes à fournir des réponses sensées à ces questions a été mon homonyme Isaac Newton, l'un des plus brillants scientifiques de tous les temps.

**Carmelo le chat** : Oh! Et comment a-t-il fait ?

**Isaac le hamster** : En 1666, Isaac Newton a mené l'expérience suivante. Dans sa chambre sombre, il a fait passer un rayon de lumière blanche du soleil à travers un petit trou percé dans un volet, et a ensuite transmis le rayon de lumière à travers un morceau de verre sous forme de prisme. Newton a observé que le rayon sortant du prisme était plus large et qu'il contenait toutes les couleurs, avec une répartition similaire à celle qu'on voit dans un arc en ciel. Aujourd'hui, on appelle ce phénomène un spectre de couleur. Nos yeux peuvent distinguer, sans beaucoup d'efforts, sept couleurs différentes. Newton a également noté que ces couleurs apparaissent toujours dans le même ordre ; par exemple, de haut en bas, rouge, puis orange, jaune, vert, bleu, bleu foncé (indigo) et enfin violet.

Pour mieux la voir, la lumière blanche est ici représentée en jaune.

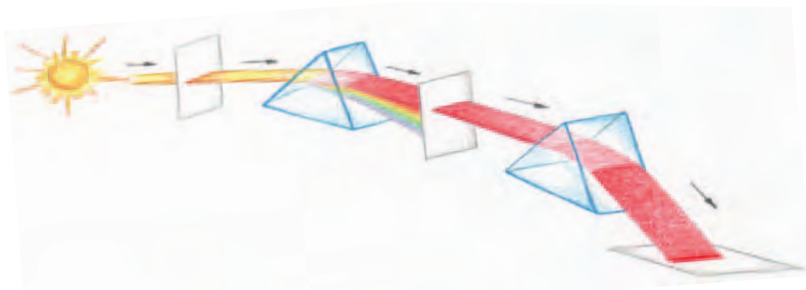


Lorsqu'un rayon de lumière blanche (ou lumière du Soleil) passe à travers un prisme de verre, le rayon se décompose en plusieurs couleurs.



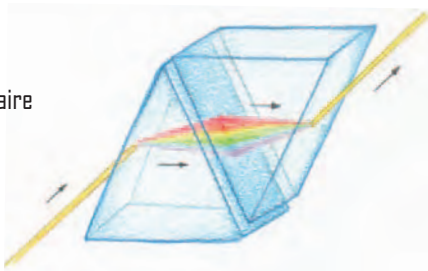
Pour être sûr que la lumière blanche était celle contenant toutes les couleurs et que la génération de celles-ci n'était pas une propriété du prisme, à partir du rayon multicolore formé par un premier prisme, Newton a sélectionné seulement une composante de couleur, en plaçant un morceau de carton avec un petit trou dans la trajectoire du rayon. Lorsque ce composant de lumière passait à travers un second prisme, il a noté qu'il n'y avait pas de nouvelles couleurs distinctes. A partir de cette expérience simple, Newton a conclu que la lumière blanche contenait toutes les couleurs, et que leur séparation (appelée dispersion chromatique de la lumière) est due à ce que chaque couleur était déviée ou se réfractait d'une quantité différente lorsque le rayon passait à travers le prisme.

**Carmelo le chat** : Dispersion chromatique ? Quel nom étrange !



**Isaac le hamster** : De plus, Newton pensait que si toutes les couleurs produites à la sortie du prisme étaient contenues dans le faisceau de lumière blanche, et qu'elles étaient à nouveau combinées, elles devaient produire de la lumière blanche. Pour vérifier cela, Newton a placé un autre prisme dans la trajectoire de l'éclair multicolore, mais inversé. Il avait raison : la bande de couleurs, au moment d'être combinée à nouveau, produisit de la lumière blanche.

C'est facile à faire



Si nos amis sont intéressés à mener cette expérience par eux-mêmes, ils peuvent se procurer deux prismes de verre, ou les acheter au Centre de recherche Optique ([www.cio.mx](http://www.cio.mx)) et les placer à environ 2 à 3 mm d'intervalle (voir figure)

# Refraction de la lumière

**Isaac le hamster** : Carmelo, vous savez ce qui arrive à un rayon de lumière qui passe d'un milieu transparent, tel que l'air, à un autre, par exemple le verre ?

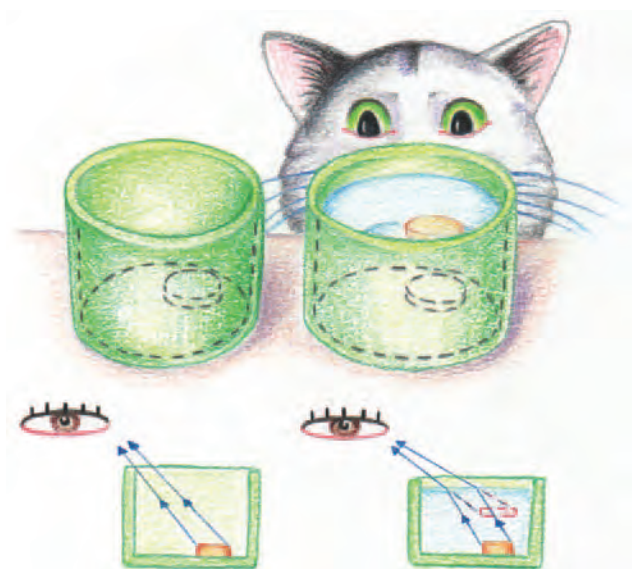
**Carmelo le chat** : Non. Que se passe-t-il ?

**Isaac le hamster** : Et bien il souffre d'une déviation de sa trajectoire. Ce phénomène est connu sous le nom de réfraction de la lumière. Avec le prisme, vous remarquerez peut-être que les deux, le rayon entrant et celui qui sort présentent un écart. A l'entrée, la lumière passe de l'air au verre et est réfractée ; de même à la sortie, parce que la lumière passe maintenant du verre à l'air.

**Carmelo le chat** : Je ne comprends pas, expliquez-moi un peu plus.

**Isaac le hamster** : Pour mieux comprendre ce qui est la réfraction de la lumière, invitons nos amis à faire l'expérience suivante. Placez une petite pièce de monnaie au fond d'une tasse dans une certaine position de telle façon que vous puissiez la voir depuis une certaine position. Ensuite, éloignez-vous progressivement jusqu'à ne plus voir que le bord de la pièce. La lumière du bord de la pièce se déplace directement vers vos yeux. Sans bouger, demandez à un ami de mettre de l'eau lentement dans la tasse. Qu'est-ce qui se passe ? Oui, c'est vrai, on voit de nouveau la pièce en entier ! Pourquoi Carmelo ?

**Carmelo le chat** : Eh bien ... euh ... euh ... mmm.



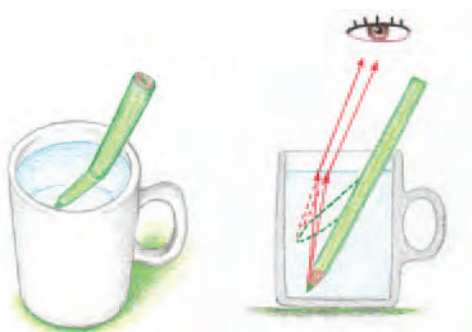
L'expérience de la pièce de monnaie. Sans eau, la lumière provenant du point A se déplace en ligne droite vers l'œil d'Isaac. Avec l'eau, la lumière qui provient de chaque point de la pièce se déplace le long de deux trajectoires vers l'œil d'Isaac.



**Isaac le hamster** : Avec de l'eau, le rayon de lumière qui va du bord de la pièce vers vos yeux passe de l'eau à l'air et est donc réfractée. Cette réfraction produit l'illusion que la lumière vient d'un point de la pièce qui est plus élevé que celui où elle est en réalité. Comme la même chose se passe avec tous les points de la surface de la pièce, vous avez l'impression que la monnaie est au-dessus de sa position réelle. Cela explique aussi pourquoi les objets dans une piscine sont apparemment plus proches. Le savez-vous ? Dans l'antiquité des Aborigènes lançaient des harpons pour rattraper les poissons d'une telle manière qu'ils compensaient intuitivement l'effet de réfraction, à savoir, au lieu de jeter le harpon à l'endroit où est perçu le poisson, ils le jetaient avec un certain angle de sorte qu'ils touchaient le point où se trouvait effectivement le poisson. L'image que nous voyons dans le verre d'eau est appelée image virtuelle, car elle n'est pas dans la position où on la voit.

**Carmelo le chat** : Meow ! Incroyable !

**Isaac le hamster** : La réfraction explique aussi pourquoi la forme des objets est modifiée lorsqu'ils sont introduits dans l'eau.



Distorsion d'un objet par le phénomène de réfraction.

Du côté droit, on voit que la pointe du crayon est plus élevée que lorsqu'il n'y a pas d'eau.

Les mirages dans le désert ou en voyage sur la route sont également dus à la réfraction de la lumière. Dans ces cas, on observe qu'il y a des objets au loin (généralement de l'eau) sur le sol, mais quand on arrive à l'endroit il n'y a rien. Ceci est un autre exemple de l'imagerie virtuelle.

**Carmelo le chat** : Aaaah ! Mais comment ça se fait ?

**Isaac le hamster** : Je vais vous donner un exemple grâce à la scène représentée sur ce tableau au mur. Là, le chameau voit au loin, apparemment sur le sol, un palmier dans un lac. Voyons voir ce qui se passe. En plein jour, l'air près du sol est beaucoup plus chaud que celui qui en est plus éloigné. Cette différence de température provoque que la lumière se réfracte différemment à chaque hauteur, c'est-à-dire, la capacité de l'air à réfracter la lumière dépend de sa température. Comme l'air a des températures différentes à différentes hauteurs, la lumière en provenance

d'un objet distant (comme le palmier) se décompose en plusieurs chemins avant d'atteindre l'œil de l'observateur. Ce qui semble en apparence être un lac est en réalité le ciel dont l'image virtuelle est vue sur le sol.

**Carmelo le chat** : Ah ! Comme dans les films !



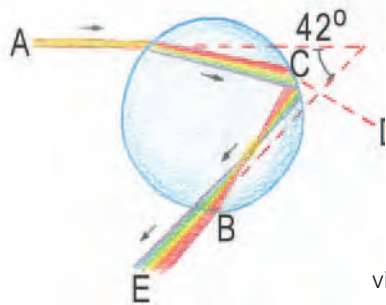
L'air à proximité d'une surface chaude provoque des images virtuelles des objets qui sont relativement loin de l'observateur. Ce phénomène est appelé mirage.

**Isaac le hamster** : Vous savez maintenant pourquoi la lumière est déviée ou se réfracte, mais vous ne savez toujours pas pourquoi chaque couleur est déviée d'une quantité différente, comme dans l'exemple de la décomposition des couleurs du prisme. L'explication moderne de ce phénomène est qu'un matériau transparent répond différemment à chaque couleur en raison de sa structure atomique.

**Carmelo the cat**: Hum !

## L'arc en ciel

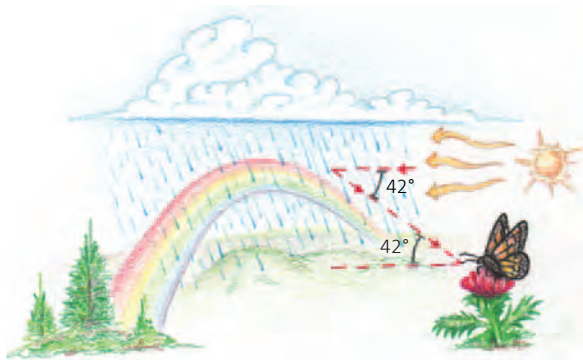
**Isaac le hamster** : Donc, la dispersion chromatique est la décomposition de la lumière blanche en toutes les couleurs, car chaque couleur est réfractée différemment quand elle passe d'un milieu à l'autre. Un exemple spectaculaire en est la formation d'un arc en ciel qui est formé parce que la lumière blanche du soleil est dispersée chromatiquement et se reflète à l'intérieur des gouttes de pluie. Je vais vous le montrer cela dans une figure. Tout d'abord, la lumière est déviée au passage d'une goutte (point A), et au moment de traverser à nouveau la surface (point C), elle subit une réflexion, fait très semblable à ce qui se passe dans un miroir. Ainsi, une fraction de la lumière qui provient du point A se reflète vers B alors que l'autre



fraction est transmise vers le point D, qui ne parvient pas aux yeux de l'observateur (E). Après cette réflexion, les rayons continuent de se séparer jusqu'à sortir de la goutte (point B). Par conséquent, chaque goutte provoque une petite dispersion de la lumière du soleil et toutes les gouttes qui sont dans une position entre l'observateur et le soleil contribuent à donner une image virtuelle d'un arc multicolore appelé précisément arc en ciel.

Pour un angle de  $42^\circ$  entre la direction d'observation et la direction du phénomène d'incidence de la lumière, il est plus perceptible. D'ailleurs, si l'on tient compte de la symétrie sphérique des gouttelettes, c'est-à-dire qu'elles sont perçues de la même façon dans toutes les directions, toutes les gouttes qui se rencontrent dans ledit angle forment un arc de cercle.

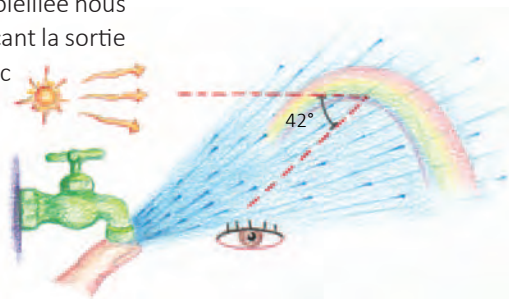
**Carmelo le chat** : Hum !



L'arc en ciel est formé en raison de la dispersion chromatique et la réflexion de la lumière du soleil dans les gouttes d'eau de pluie

## Créer un arc en ciel

**Isaac le hamster** : Dans une journée ensoleillée nous pouvons créer une petite douche en forçant la sortie de l'eau d'un robinet ou d'un tuyau avec le doigt. Ensuite, pour observer l'arc en ciel il faut veiller à ce que l'angle entre la direction d'incidence de la lumière et la direction d'observation soit de  $42^\circ$ .

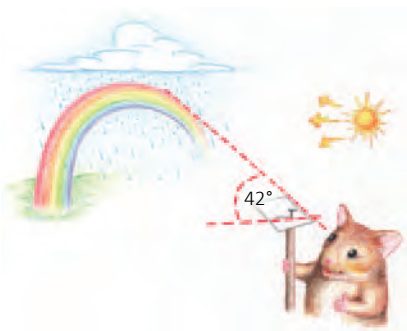


# Comment mesurer la taille d'un arc en ciel ?

**Isaac le hamster** : Dites-moi, Carmelo, comment pensez-vous que vous pouvez mesurer la taille angulaire de l'arc en ciel ?

**Carmelo le chat** : Avec une règle ? Non ?

**Isaac le hamster** : Pas exactement, mais je vous suggère de faire une autre expérience. Coupez un morceau de carton en rectangles d'environ 10 cm sur 20 cm et placez-les sur un support vertical avec un clou. Dirigez une extrémité du papier vers le bord de la partie supérieure de l'arc en ciel. Mesure l'angle entre l'ombre du clou, qui indique la direction de la lumière du soleil, et ledit bord du papier. Cet angle mesure la moitié de la taille angulaire de l'arc en ciel, environ  $42^\circ$ . C'est la taille de l'arc en ciel.



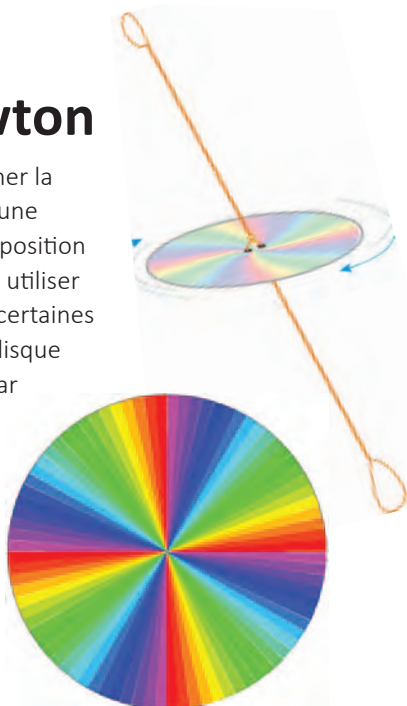
**Carmelo le chat** : Meow !

## Le disque de Newton

**Isaac le hamster** : Carmelo, pour recombinaison la lumière de différentes couleurs et obtenir une lumière blanche, on peut soit utiliser la disposition

Disque de Newton, utilisé pour obtenir la couleur blanche à partir de la combinaison des différentes couleurs. On peut le faire tourner grâce à un fil comme le montre la figure.

des deux prismes soit utiliser un disque contenant certaines couleurs. Lorsque le disque est mis en rotation, par exemple en attachant un ventilateur ou un moulin à vent, vos yeux perçoivent une couleur presque blanche.



# Polarisation de la lumière

**Isaac le hamster :** Carmelo, vous savez maintenant qu'un arc en ciel est formé de la pluie et de la lumière du soleil, et que le ciel ne doit pas être complètement nuageux. En outre, l'angle entre la direction d'incidence de la lumière et la direction d'observation doit être de  $42^\circ$ .

Pendant un jour pluvieux et ensoleillé à la fois, localisez l'arc en ciel. Munissez-vous de verres teintés et polarisés et observez l'arc en ciel. Que se passe-t-il ? Une partie de l'arc disparaît ! Sans retirer les verres, tournez la tête à environ  $90$  degrés dans toutes les directions et observez le changement. Outre la couleur, une autre caractéristique importante est la polarisation de la lumière. Les verres polarisants, comme les yeux de certains insectes et, à la différence de ceux des êtres humains, ont la capacité de détecter la polarisation. Les verres polarisants sont conçus pour bloquer ou absorber la lumière de certains types de polarisation. On sait que la lumière réfléchiée par les gouttelettes d'eau acquiert une polarisation différente en fonction de la position de celles-ci au-dessus de l'arc en ciel. Par conséquent, en observant l'arc en ciel avec des verres teintés, la lumière provenant de certaines parties de l'arc est complètement bloquée et l'autre partiellement transmise à nos yeux.

**Carmelo le chat :** Polarisation, je n'en avais pas entendu parler auparavant.

## Créer votre propre spectre de couleur

**Isaac le hamster :** Carmelo, cherchez un miroir et placez-le dans un récipient avec de l'eau. Utilisez une feuille blanche pour observer la lumière réfléchiée par le miroir à environ deux mètres. Vous remarquerez sur la feuille un magnifique spectre de couleurs. Comment s'est-il formé ? Notez que, de tous les rayons lumineux qui atteignent le miroir, certains entrent dans l'eau et se reflètent dans le miroir, puis sont réfractés lorsqu'ils quittent l'eau. Ces rayons subissent les mêmes effets que ceux mentionnés dans la formation de l'arc en ciel, à savoir, réfractés deux fois et réfléchis une fois.

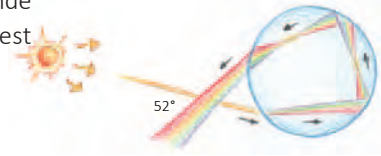
Notez aussi qu'en réalité il n'y a pas seulement sept couleurs mais une infinité. Par exemple, si vous regardez attentivement le spectre formé, vous pouvez remarquer qu'il y a beaucoup de nuances de rouge, de vert, et ainsi de suite.



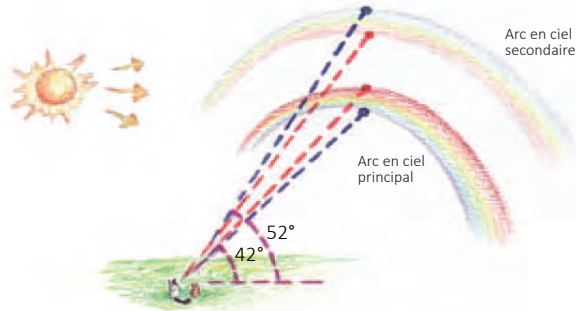
# L'arc en ciel secondaire

**Isaac le hamster** : Carmelo, si vous regardez attentivement un arc en ciel, peut-être que vous remarquerez la présence d'un autre arc de faible intensité autour du premier. Cet arc plus léger est connu comme arc secondaire et se produit parce que la lumière dans les gouttes subit une seconde réflexion. Dans ce cas, l'ordre des couleurs est l'inverse de l'arc en ciel principal.

**Carmelo le chat** : Oui, je l'ai déjà vu.



En plus de l'arc-en-ciel principal, un autre se forme un peu au-dessus. Cet arc est connu comme arc secondaire.



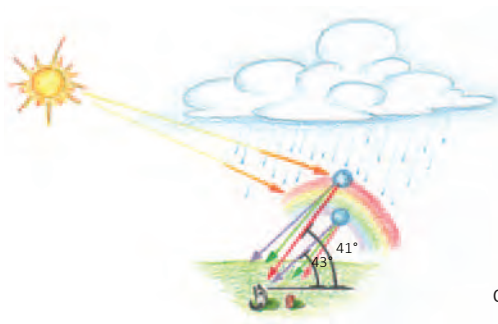
## Des détails curieux à propos de l'arc en ciel

**Carmelo le chat** : Et vous pouvez passer à travers un arc en ciel ?

**Isaac le hamster** : Non. Lorsque qu'on se place à un endroit particulier, on voit l'arc provoqué par les gouttelettes d'eau qui répondent à un angle de  $42^\circ$  entre la direction d'incidence de la lumière et celle d'observation. Quand on se dirige vers l'arc en ciel, des gouttes d'eau différentes de celles précédentes sont celles qui répondent à l'angle précédent. Par conséquent, quand on se déplace, l'arc en ciel le fait aussi et on a l'impression qu'il est fixe ; bien sûr, aussi longtemps qu'il y aura des gouttes de pluie qui réfléchissent la lumière dans nos yeux.

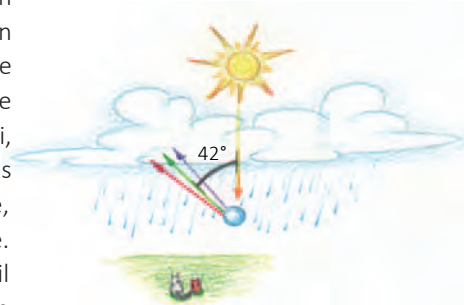
**Carmelo le chat** : Je vois que dans l'arc principal le rouge est au-dessus du violet, mais selon ce qui se passe avec la lumière dans une seule goutte d'eau, cela devrait être inversée.

**Isaac le hamster** : Très bon point. L'angle de  $42^\circ$  où se trouve l'arc par rapport à la direction d'incidence de la lumière sur les gouttelettes est en fait une moyenne. Pour la composante rouge, l'angle exact est  $43^\circ$  et  $41^\circ$  pour le violet. Cela fait que la largeur angulaire de l'arc en ciel est de  $43^\circ - 41^\circ = 2^\circ$ . Lorsque la composante rouge diffusée par une certaine goutte atteint les yeux d'un observateur, la composante violette ne le fait pas. Néanmoins, la composante violette d'une



2ème goutte située à  $2^\circ$  au-dessous de la première va le faire. Ainsi, le rouge provient de gouttelettes qui se trouvent dans la partie la plus externe de l'arc en ciel, alors que le violet provient de celles situées dans sa partie la plus interne. Les gouttelettes qui contribuent à la formation d'un arc en ciel ont un diamètre approximatif

entre 0,25 mm et 4 mm. La forme des gouttes les plus grosses ont tendance à s'aplatir au cours de leur chute vers le sol ; ceci est contraire à ce qu'on pense habituellement, à savoir que les gouttes sont allongées. Par contre, la forme des plus petites est sphérique. L'angle de  $42^\circ$  entre la direction d'incidence de la lumière et de l'observation dépend également des moments de la journée où vous observez un arc en ciel. Lorsque le soleil est haut dans le ciel, par exemple à midi, la lumière de l'arc n'atteint habituellement pas un observateur et, à ce moment de la journée, il est très rare de voir un arc en ciel de la terre. Cependant, le soir ou le matin, quand le soleil est presque à l'horizon, vous pouvez voir un arc en ciel dans toute son splendeur.



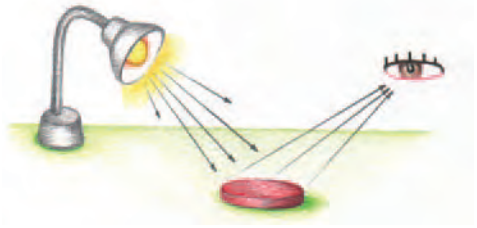
Ces figures représentent une goutte d'eau et la dispersion chromatique provoquée par un rayon de lumière à midi (figure ci-dessus) et au coucher ou lever du soleil (figure ci-dessous).





# Le monde des couleurs

**Isaac le hamster** : Carmelo je vais enfin vous décrire la manière dont nous pouvons voir la couleur des différents objets qui nous entourent. Nous pouvons voir la plupart des objets parce qu'ils sont éclairés. Il y a des objets qui ont leur propre lumière, comme le soleil, une lampe ou une luciole. Vous pouvez penser à un objet comme s'il était composé de nombreux points où chaque point reçoit de la lumière ; il en absorbe une partie et une autre partie est réfléchie dans toutes les directions. Si certains rayons de cette lumière dispersée atteignent les yeux d'un observateur, l'observateur peut voir l'objet. Si l'objet absorbe toute la lumière, alors aucune lumière n'atteint l'observateur et par conséquent, il le perçoit en noir. Ainsi, le noir est l'absence de lumière et n'est pas une couleur à proprement parler. De même, s'il y a de la lumière quelque part, mais qu'il n'y a pas d'objet qui la reflète à nos yeux, tout apparaît en noir. Ceci explique pourquoi la couleur du ciel est noire la nuit, à l'exception des étoiles et des planètes. Les étoiles ont leur propre lumière parce qu'elles sont comme notre Soleil ; pourtant les planètes et la Lune n'ont pas de lumière propre, cependant elles brillent. Pourquoi ?



**Carmelo le chat** : Parce qu'elles reflètent la lumière du soleil !

**Isaac le hamster** : Très bien ! De plus, si les objets n'absorbent pas toute la lumière, ils sont perçus de la couleur de la lumière qu'ils reflètent. Dans le cas d'une pièce rouge, elle est perçue de cette couleur car elle absorbe toute la lumière blanche, sauf la partie de couleur rouge. De même, si un objet éclairé par la lumière blanche est perçu jaune, c'est qu'il absorbe le bleu, c'est-à-dire qu'il reflète le vert et le rouge principalement. Ainsi, en éclairant un objet jaune avec une lumière bleue, l'objet sera noir parce que la lumière entrante est totalement absorbée. On sait que la combinaison de trois couleurs, appelées couleurs primaires, peut produire toutes les autres en fonction de la quantité utilisée pour chacune. Les couleurs primaires sont le rouge, le vert et le bleu. Ainsi, par exemple, en combinant des parties égales de rouge et vert, nous obtenons le jaune, et si nous combinons des parties égales de vert et bleu nous obtenons le bleu ciel. La combinaison des trois couleurs primaires à parts égales produit le blanc. Une autre série de couleurs primaires est formée par le bleu ciel, le magenta et le jaune. Lorsque ces couleurs sont combinées à parts égales elles produisent la couleur noire. En peinture, il est commun de prendre le rouge, le bleu et le jaune comme couleurs primaires.

Un détail intéressant est que la couleur la plus employée dans les drapeaux des pays est la rouge, l'une des couleurs les plus attirantes parce que d'habitude elle est associée à la couleur du feu et du sang.

**Carmelo le chat** : C'est pour ça que la couleur rouge est utilisée pour les feux de circulation ?



**Isaac le hamster** : Exactement. D'un autre côté, d'autres couleurs de la nature, par exemple le bleu du ciel ou le blanc des nuages ne peuvent pas être expliqués uniquement en utilisant le phénomène de l'absorption. Outre la réflexion, l'absorption et la réfraction, il existe un autre phénomène appelé dispersion. Dans ce cas, il s'agit d'objets formés par d'autres très petits qui absorbent et diffusent la lumière dans presque toutes les directions. Ces petits objets peuvent être par exemple les différentes molécules qui composent l'air, des gouttelettes d'eau qui forment des nuages, les grains de matériau formant la craie, les cristaux de glace qui forment la neige, celles qui forment le lait, etc. S'il n'y avait pas les particules qui constituent l'air, le ciel serait noir pendant la journée parce qu'il n'y aurait rien pour disperser la lumière du soleil jusqu'à nos yeux. Ceci a été constaté sur les premières photographies prises de la Lune en plein jour, en 1969, où le ciel sur la Lune apparaît comme un fond noir. En effet, l'atmosphère de la Lune est pratiquement inexistante et ne contient presque pas de molécules qui puissent disperser la lumière.



**Carmelo le chat** : Que c'est intéressant un ciel noir en plein jour !

**Isaac le hamster** : Lorsque les petites particules sont inférieures à un cinquantième de l'épaisseur d'un cheveu, par exemple les différentes molécules formant l'air, la quantité de lumière diffusée par une particule dépend de la couleur avec laquelle elle est éclairée. Une molécule d'azote (qui est le principal composant de l'air avec 78%) diffuse principalement la couleur bleue ; d'autres couleurs sont également dispersées, mais en plus petites quantités. Ceci est l'une des raisons principales pour lesquelles le ciel bleu

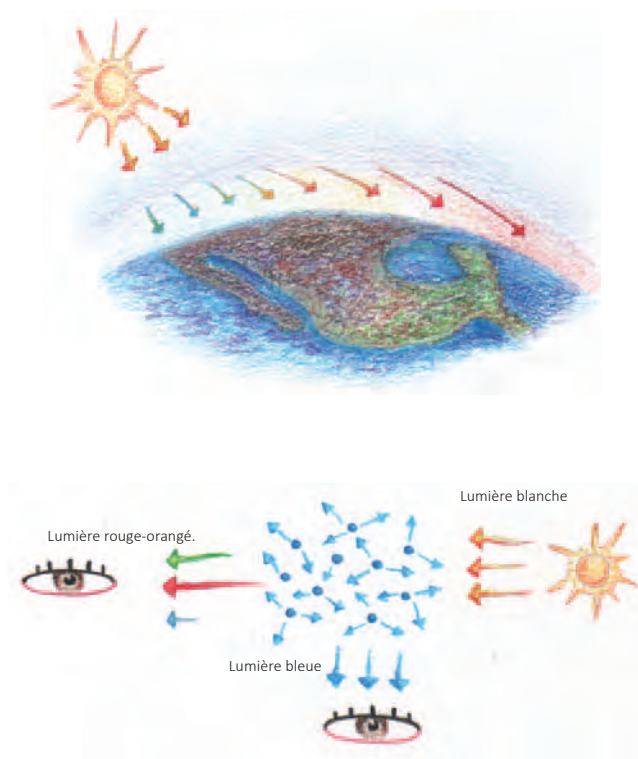
Cette photo a été prise le 20 juillet 1969, par le premier homme qui marcha sur la Lune, l'astronaute Neil A. Armstrong. Au premier plan, apparaît Edwin E. Aldrin et un module d'expérimentation sismique ; au fond, le module lunaire Eagle (Aigle), et au milieu, marqué d'une flèche, un miroir rétro-réfléteur. Avec ce dernier dispositif, on a appris que la Lune s'éloigne de la Terre de 3,8 cm par an. Photo gracieusement fournie par la NASA, AS11-40-5948, [http://Grin.hq.nasa.gov/BROWSE/apollo11\\_1.html](http://Grin.hq.nasa.gov/BROWSE/apollo11_1.html).

apparaît quelle que soit la direction dans laquelle vous regardez. Cela explique aussi le rouge des couchers de soleil car la composante bleue qui atteint nos yeux au crépuscule est très diminuée.

**Carmelo le chat** : Mais à midi la partie du ciel près du soleil n'est pas rouge. Pourquoi ?

**Isaac le hamster** : Très bon point ! Dans ce cas, la lumière à proximité de la direction du Soleil a plutôt un ton jaune pâle. La différence de couleur perçue à midi par rapport à celle perçue le soir est à mettre en relation avec la quantité différente de lumière bleue présente dans la lumière perçue par un observateur. Si la quantité de bleu est nulle, la lumière aura une teinte orange à rougeâtre ; par contre, s'il y a une petite quantité de bleu combiné avec d'autres couleurs, le résultat serait une lumière avec une teinte jaunâtre. Le soir, la quantité de bleu qui atteint un observateur est moindre, puisque dans cette période de la journée la lumière blanche du soleil doit traverser une plus grande quantité d'air qu'à n'importe quel autre moment de la journée. Par conséquent, à ce moment-là, la composante bleue subit une plus grande diffusion et ne parvient pratiquement pas à un observateur.

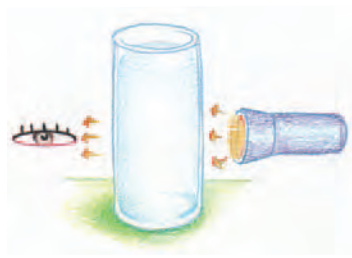
**Carmelo le chat** : Je n'arrête pas d'être étonné ! Vous m'étonnez de plus en plus.



Diffusion de la lumière blanche (qui contient des quantités égales de rouge, vert et bleu) par différentes molécules d'air (points bleus). Les flèches bleues représentent la diffusion de la lumière principalement bleue.

**Isaac le hamster** : Pour vérifier cela, nous invitons nos amis à faire l'expérience suivante. Munissez-vous d'un verre transparent et remplissez-le avec de l'eau (environ 350 ml). Ensuite ajoutez de 20 à 40 gouttes de lait (1-2 ml) et mélangez. Dans une pièce sombre, demandez à un ami d'éclairer le verre du haut vers le bas avec une lampe de poche. Si vous l'observez de côté, vous remarquerez peut-être que la lumière a une couleur bleue très pâle. Toutefois, si vous observez par dessous, vous verrez que la lumière de la lampe de poche a une couleur rouge-orange. Dans cette expérience, les particules de lait (molécules de graisse et de protéines) ont le même effet sur la lumière blanche de la lampe de poche que celui de différentes molécules d'air sur la lumière blanche du Soleil. Enfin, si vous illuminez le récipient par l'un des côtés et que vous observez le côté opposé, que vous attendez-vous à voir ? Et bien, à nouveau la lumière avec une teinte rougeâtre, mais pas aussi rouge que dans le cas précédent, puisque dans ce cas, la lumière traverse moins de lait, ce qui diminue le phénomène de dispersion de la couleur bleue.

Expérience démontrant la diffusion de lumière blanche par une solution de lait dans l'eau. Observez ce qui se passe quand vous voyez la lumière diffusée par une lentille polarisée dans différentes positions d'observation. Dans chaque position, tournez les lentilles



**Isaac le hamster** : Maintenant, si les objets se composent de particules un peu plus grandes que les particules décrites ci-dessus, la diffusion de la lumière n'a plus de préférence pour certaines couleurs et les petits objets diffusent toutes les couleurs en quantités égales. Le résultat est qu'un observateur reçoit toutes les composantes de couleur et perçoit ainsi la lumière diffusée de couleur blanche. Cela se produit justement lorsque le soleil illumine et traverse les gouttelettes d'eau qui composent un nuage et c'est pour cela qu'on

les perçoit en couleur blanche. Mais pourquoi certains nuages sont sombres ?

**Carmelo le chat** : Ils reçoivent peu de lumière...

**Isaac le hamster** : Précisément ! Parfois, la partie supérieure des nuages projette des ombres sur la partie inférieure ; celle-ci reçoit donc moins de lumière, et, par conséquent, il y a peu de diffusion de la lumière. De plus, si un nuage est relativement épais, l'un de ses côtés va recevoir peu de lumière et il apparaîtra plus sombre.

**Carmelo le chat** : Ah !

**Isaac le hamster** : Ce même mécanisme à l'origine de la blancheur des nuages fait que le sel, le sucre, les mousses, la craie, la neige, etc., soient également perçus en blanc. Cependant, les minuscules particules qui composent ces objets sont individuellement transparentes à la lumière. Vous pouvez le vérifier en observant un grain de sel isolé puis un paquet de grains. Le grain apparaît transparent, mais le paquet a une couleur blanche. Un phénomène similaire se produit avec des bulles : elles sont individuellement transparentes, mais la mousse formée d'un grand nombre de bulles apparaît de couleur blanche.

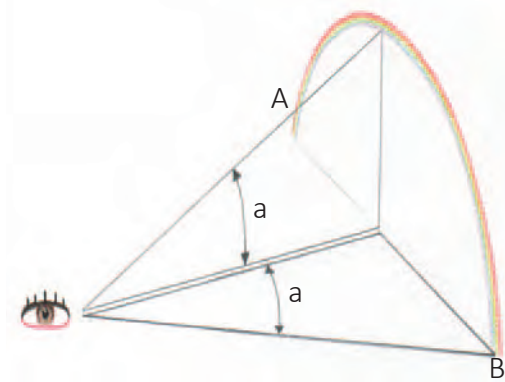
**Carmelo le chat** : Bien sûr ! Je ne l'avais pas remarqué.

## Conclusions

**Isaac le hamster** : Carmelo, il est maintenant possible de répondre à vos questions initiales sur l'arc en ciel : a) de quoi est-il fait ? b) pourquoi est-ce un arc de cercle ? Et c) pourquoi est-ce qu'il a des couleurs ? Les réponses sont les suivantes : a) de lumière, b) d'abord, dans une goutte d'eau, les phénomènes de dispersion et de réfraction chromatiques sont plus visibles sous un angle très précis entre la direction de la lumière et la direction de l'observation. Deuxièmement, en raison de la géométrie sphérique des gouttelettes, toutes les gouttelettes conformes à l'angle précédent reflètent la lumière d'une manière similaire. Troisièmement, toutes ces gouttes situées à angle constant par rapport à un observateur génèrent un cône dont le sommet se trouve dans les yeux de l'observateur ; la projection de ce cône sur la paroi de la pluie est un arc de cercle. c) En raison de la dispersion chromatique de la lumière produite par les gouttes d'eau lorsqu'il pleut.

Dans cette figure, il est montré que la projection d'un demi-cône sur un plan

est la base du cône, c'est-à-dire un demi-cercle. Un cône est une figure géométrique qui est obtenu en faisant tourner une ligne droite autour d'un axe de révolution (ligne pointillée centrale) à angle constant  $a$ . Cela se produit dans l'arc en ciel, où  $a = 42^\circ$  et où la direction de la lumière du Soleil correspond à l'axe de révolution. Dans ce dessin, seule la moitié du cône est représentée, car c'est ce qui se produit généralement lorsqu'un



arc en ciel est formé, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de gouttelettes d'eau au-dessous du sol qui puissent générer l'autre moitié du cône ou l'autre demi-cercle équivalent. Cependant, si nous observons la pluie d'un avion ou d'une montagne, il est possible que nous puissions observer le cercle complet. Sur la figure, on peut voir que la taille angulaire de l'arc en ciel est de  $2\alpha = 84^\circ$ , c'est-à-dire la quantité de degrés entre deux points diamétralement opposés sur l'arc en ciel, par exemple entre A et B. Sur cette même figure, on voit aussi que deux personnes produisent des cônes distincts en raison de de leurs positions différentes et que, par conséquent, ils voient des arcs en ciel légèrement différents.

**Carmelo le chat :** Maintenant, je comprends la raison du mot «arc», mais je ne connais toujours pas la raison du mot «iris».

**Hamster Isaac :** Le mot «iris» vient du nom d'une déesse de la mythologie grecque qui a ensuite été considérée comme la personnification de l'arc de lumière multicolore. C'est pourquoi nous connaissons l'arc en ciel sous ce nom. À l'heure actuelle, le mot «iris» est associé à des choses colorées, par exemple, avec la partie qui définit la couleur de nos yeux.

Mes amis, avant de nous séparer, Carmelo et moi vous invitons à réaliser toutes les expériences que nous vous avons présentées dans ce fascicule. Souvenez-vous des sages paroles de Confucius : “Ils me l’ont raconté et j’ai oublié, le l’ai vu et je l’ai compris, je l’ai fait et je l’ai appris”.



Quelle conversation intéressante ont eue nos deux amis, Isaac et Carmelo ! Grâce à eux, nous avons appris beaucoup de choses. J'espère qu'ils nous inviteront à leur prochain entretien.

## Remerciements

J'exprime mes sincères remerciements à Tzaidel Vilches Muños pour avoir examiné le style du manuscrit. Je voudrais également remercier Jorge García Márquez, Efraín Mejía Beltrán, Bernardo Mendoza Santoyo, Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto Samaniego et Manuel Lozano, qui ont étudié l'aspect technique du document.

# À propos d'Isaac Newton (1643-1727)

Il est considéré comme le scientifique le plus important dans l'histoire de la science. Il est né le 4 janvier 1643 à Woolsthorpe, dans le Lincolnshire, en Angleterre. Autodidacte pendant sa période étudiante, il obtient en 1665 un diplôme en arts de l'Université de Cambridge. À cette époque, pour obtenir ce diplôme, on devait montrer des connaissances dans divers domaines, comme l'histoire, le latin, les mathématiques, la religion, etc. La période entre 1664 et 1689 a été la plus productive pour Newton d'un point de vue scientifique, car il est l'auteur de contributions importantes dans diverses branches des mathématiques et de la physique, telles que la description de la nature de la lumière, l'invention du calcul, la généralisation du théorème binomial, la formulation des lois de la mécanique classique et de la loi du refroidissement ainsi que de la loi de la gravitation universelle. En 1685, il publie ce qui est considéré comme le travail scientifique le plus important de tous les temps, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Principes mathématiques de la philosophie naturelle). Ce livre, comme la plupart des livres de science des XVIIIe et XIXe siècles, a été écrit en latin. Aujourd'hui, la langue la plus utilisée pour communiquer les progrès scientifiques dans le monde est l'anglais.

Une anecdote célèbre dit que Newton a découvert la loi de la gravité quand il a vu une pomme tomber d'un arbre. Apparemment, à partir de ce fait, il se rendit compte que la pomme avait chuté sous l'influence de la Terre grâce à une force invisible, qu'il appela force de gravité. Il supposa que ce même type d'influence existait entre toute autre paire d'objets, par exemple la Terre et la Lune. Avec la loi de la gravité, Newton a pu expliquer des phénomènes physiques importants, tels que le mouvement des planètes et l'origine des marées. À l'aide de ses observations sur la diffusion chromatique de la lumière, Newton s'est rendu compte que les télescopes de son temps, utilisés pour voir des objets éloignés (par exemple les planètes), formaient différentes images pour chaque couleur, ce qui provoquait que les images finales des objets étaient floues. Il a noté que ce problème était dû à l'utilisation de lentilles en verre dans les télescopes. Newton essaya de résoudre ce problème en utilisant différentes combinaisons de lentilles, mais en raison de leur faible qualité à cette époque, il n'atteint pas son objectif. Cependant, ce problème fut résolu en utilisant des miroirs. Les miroirs ne produisent pas de dispersion chromatique car la lumière ne pénètre aucun matériau. À l'heure actuelle, la plupart des télescopes les plus puissants du monde sont construits à l'aide de miroirs. Newton a construit son télescope de miroirs en 1670.

## À propos de l'auteur

**Bernardino Barrientos García** est diplômé en ingénierie électromécanique de l'Institut Technologique de León en 1993. Il a obtenu son master et son doctorat en sciences, spécialité optique, au Centre de Recherches en optique, AC (CIO), en 1994 et 1999. Il est actuellement chercheur au CIO. Son domaine de recherche est l'application de techniques optiques en mécanique.



## A propos des traducteurs

**Thierry Calmus** a obtenu son Doctorat en Géologie Structurale à l'Université Paris VI en 1983. Il est chercheur titulaire à l'Institut de Géologie de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM), membre de l'Académie des Sciences Mexicaine ainsi que du Système National de Recherche (SNI). Il a reçu le prix Professeur de l'Année en 2017 attribué par l'Union Géophysique Mexicaine. Il a publié 60 articles scientifiques, dont un grand nombre sur la géologie et la tectonique du nord-ouest du Mexique. Il a été co-éditeur en chef de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas de 2012 à 2016 et chef de la Station Régionale du Nord-Ouest de l'Institut de Géologie de 2002 à 2011.

**Paola Garcés** rédige actuellement son mémoire de maîtrise en Lettres Modernes à l'Université Nationale Autonome du Mexique. Elle a obtenu sa licence en Langue et Littérature françaises à l'UNAM en 2009 et son diplôme comme professeur de français en 2004 Commission de Langues Étrangères, UNAM. Elle est professeur titulaire à l'École Nationale Préparatoire de l'UNAM. Elle a participé dans des projets pour la diffusion du français à travers les sciences de la vie et de la santé et dans des projets sur l'enseignement bilingue concrètement avec les matières de Géographie et de Biologie.

**Sandra Fuentes Vilchis** a obtenu sa licence en Littérature Française et sa maîtrise en Littérature Comparée à l'Université Nationale Autonome du Mexique en 1993. Elle est professeure titulaire à l'École Nationale Préparatoire et actuellement Responsable du Département de Français dans cette Institution. Elle a participé à la Comisión evaluatrice des professeurs de l'ENP, ainsi qu'à plusieurs programmes PAPIME et INFOCAB de l'UNAM.

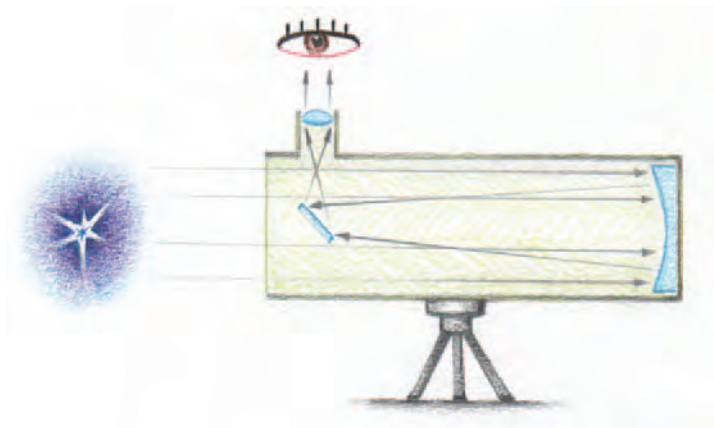
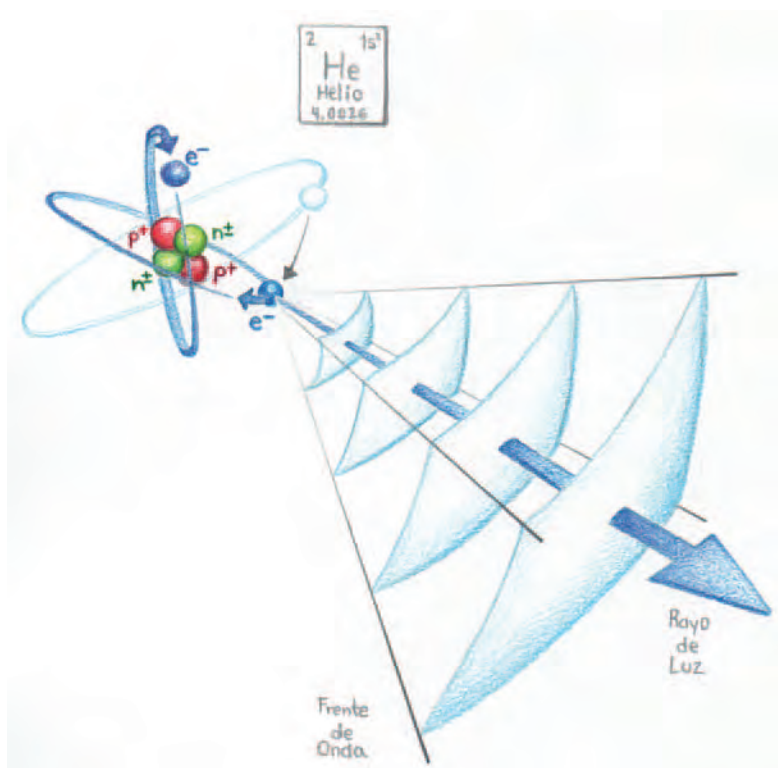


Schéma de la lumière provenant d'un objet très éloigné, par exemple d'une étoile. La lumière frappe un miroir à l'arrière du télescope et se reflète dans un plus petit miroir. La lumière passe alors par un ensemble de lentilles, appelé oculaire, pour former une image de l'objet lointain dans l'œil de l'observateur..

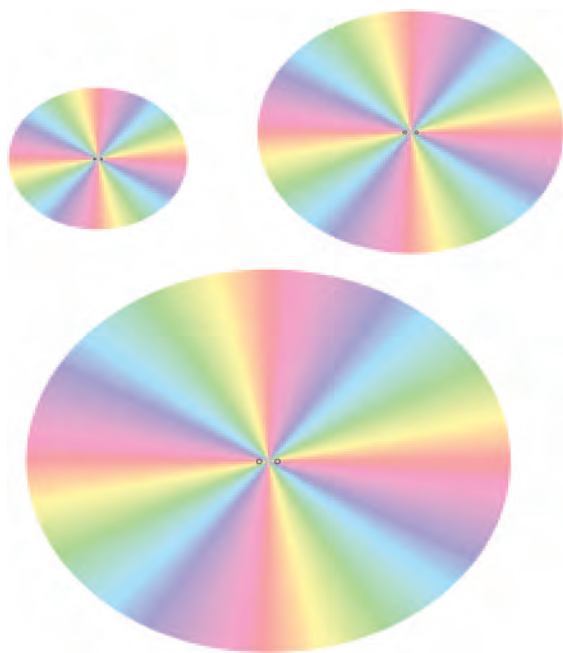
Le télescope newtonien construit au Centre de recherche Optique (León, Guanajuato).



La lumière est un type d'énergie (capacité à produire des changements) qui peut être décrite sous la forme de rayons (lignes). Les rayons se propagent à la vitesse de 300,000 kilomètres par seconde (km/s). A cette vitesse, ils peuvent faire 7.5 fois le tour de la planète en seulement une seconde. Les rayons ne sont pas déviés si le milieu dans lequel ils se propagent ne change pas. Dans le cas contraire, par exemple au passage de l'air à l'eau, les rayons changent de direction, conformément aux principes de réfraction et de réflexion. La lumière peut également être décrite comme un flux de particules d'énergie appelés photons. Curieusement, elle peut être aussi assimilée à une onde qui a à la fois les propriétés d'une particule électrique et d'une onde électromagnétique.



Ce fascicule a bénéficié de l'appui des projets PE400216, PE104916 (DGA-PAUNAM) et CONACYT SEP\_SEB 264549, lesquels ont pour objet l'enseignement des langues étrangères par l'intermédiaire de textes scientifiques.





Préparé pour la Escuela Nacional Preparatoria UNAM

La série «Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée» est inspirée des plus belles expériences de l'histoire, publiées par le magazine Physics World en septembre 2002. Elles ont été choisies pour leur simplicité, leur élégance et l'influence transformatrice qu'elles ont exercées sur la pensée scientifique de leur temps.

Chaque livret de cette série est consacré à l'une de ces expériences. Notre but est de faire comprendre, par l'expérimentation, les phénomènes se produisant dans notre vie quotidienne et dans notre planète.

Cette brochure est dédiée à l'expérience "La décomposition de la lumière" d'Isaac Newton.

Livrets de cette série:

1. La pression atmosphérique et la chute des corps
- 2.- La lumière et les couleurs.

Téléchargez la série intégrale sur le site:  
<http://www.geociencias.unam.mx>

