



Dossier pédagogique



L'ARC-EN-CIEL : SCIENCE, HISTOIRE ET LÉGENDES

Table des matières

I. Introduction.....	3
II. Mythes et croyances autour de l'arc-en-ciel	3
III. La science et l'arc-en-ciel.....	6
III.1 Les théories antiques.....	6
III.2 L'arc-en-ciel au Moyen Âge.....	8
III.3 Descartes (1596-1650).....	9
III.4 Isaac Newton (1643-1727).....	10
IV. Théorie et expériences.....	11
IV. 1 Définition et formation.....	11
IV. 2. La réflexion de la lumière.....	12
IV.2. La réfraction de la lumière.....	12
IV.3 La dispersion de la lumière.....	13
IV.4 L'arc en ciel.....	15
IV.5 Arcs primaire et secondaire	16
IV.6 Bande sombre.....	18
IV.7 Les arc surnuméraires.....	18
V. Références:.....	19

I. Introduction

L'arc-en-ciel est un phénomène optique dû à l'interaction de la lumière blanche émise par le soleil avec des gouttes d'eau. On peut observer un arc-en-ciel quand il y a de l'eau en suspension dans l'air et qu'une source lumineuse (en général le soleil) brille derrière un observateur.

Il peut se produire lorsqu'on est en présence de soleil et de pluie mais aussi de soleil ou d'une autre source lumineuse et d'une cascade ou d'un jet d'eau.

Depuis toujours, l'arc-en-ciel a intrigué les poètes, les philosophes et les physiciens. Son explication résulte d'un long cheminement d'idées depuis l'Antiquité jusqu'au XX^e siècle.

Dans ce dossier, nous présenterons quelques mythes anciens et les différentes découvertes qui ont permis d'expliquer ce phénomène.

II. Mythes et croyances autour de l'arc-en-ciel

Les premières traces écrites traitant de l'arc-en-ciel remontent à l'Antiquité, où, dans un grand nombre de cultures, il est lié à la religion et associé à certains dieux et déesses. Il est souvent considéré comme un *pontifex*, un pont entre le monde des hommes et celui des dieux. Nous nous limiterons, dans ce dossier, au Moyen-Orient et à l'Europe.



Plaque en terre cuite représentant la déesse Ishtar.
c. 1800 av. J.-C., British museum

En Mésopotamie, au III^e millénaire avant J.-C., les Sumériens associent l'arc-en-ciel à l'un des attributs de la déesse Inanna / Ištar, déesse de la fertilité, de l'amour et de la guerre.

L'arc-en-ciel : science, histoire et légendes

Pour les Juifs et les Chrétiens, il symbolise la réconciliation entre Dieu et l'humanité. En effet, il est brièvement cité dans le livre de la Genèse (Genèse 9, 13-14), lorsqu'après le déluge, la pluie cesse et un arc-en-ciel apparaît dans les nuées comme signe d'alliance entre Dieu et les hommes.

Quant au prophète Ezechiel (Ezechiel 1, 28), il représente Dieu trônant, environné d'une lumière semblable à l'arc-en-ciel ; il en est de même dans le Nouveau testament, livre de l'Apocalypse (4, 2-3). En conséquence, dans l'iconographie chrétienne du Moyen Âge on retrouvera l'arc-en-ciel d'une part en relation avec Noé, et, d'autre part, dans les représentations de Dieu en Majesté (*Majestas Domini*) et du Jugement Dernier. Il peut aussi être symbole de la Vierge Marie, ou représenter la Trinité. Il faut noter que les couleurs de l'arc-en-ciel ne sont pas toujours représentées en même nombre, ni identiques, ni dans le même ordre.



Le pacte entre Dieu et Noé, Genèse de Vienne, 6e siècle, Österreichische Nationalbibliothek, cod. theol. gr.31



Iris, lécythe attique peint en couleurs superposées (technique de Six). Provenance: Tanagra. ca. 500–490 BC

Dans le monde germanique enfin, l'arc-en-ciel ou Bifrost forme également un pont construit par les dieux, reliant leur monde à celui des hommes. Formé de trois couleurs et très solide, il va néanmoins s'effondrer quand, lors du combat final des dieux (Ragnarök), les fils de Muspell le chevaucheront.



Le Dieu Heimdallr, qui gardait le Bifrost. Emil Doepler, 1905.

L'arc-en-ciel : science, histoire et légendes

L'Europe connaît bien d'autres légendes concernant l'arc-en-ciel ; plusieurs sont relatives à l'or et à la richesse (notamment le fait qu'un trésor serait caché au pied de l'arc-en-ciel, conte popularisé aujourd'hui par la tradition irlandaise).

Plusieurs proverbes, dont voici quelques exemples, mentionnent l'arc-en-ciel :

*Si l'arc-en-ciel paraît,
Trois jours beaux, trois jours laids!*

*Arc-en-ciel double ou trop brillant,
De la pluie, encore, comme avant.*

*Arc-en-ciel du soir
Met le boeuf en repos;
Arc-en-ciel du matin
Met le boeuf en chemin.*

*Arc-en-ciel de vêpres
Rend le temps honnête;
Arc-en-ciel du matin
Met l'eau au moulin.*

L'arc-en-ciel est également un sujet récurrent dans la peinture :



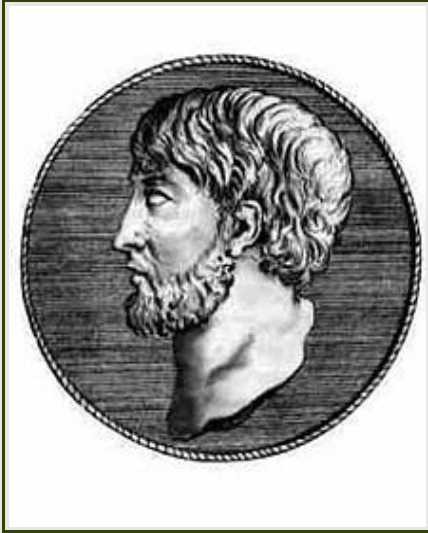
Pierre Paul Rubens, Paysage avec arc-en-ciel, 1636 (Wallace Collection)



Caspar David Friedrich, Paysage de montagne avec arc-en-ciel, 1810 (Museum Folkwang)

III. La science et l'arc-en-ciel

III.1 Les théories antiques



Anaximène de Milet, philosophe présocratique.

Au-delà des croyances religieuses et des mythes, les savants grecs vont tenter d'expliquer les mécanismes de la vision et indirectement l'arc-en-ciel ; les tentatives pour expliquer la nature de la lumière sont plus rares, ou découlent des études sur la vision.

Parmi les différentes théories développées, Anaximène (vers 585 - vers 525 av. J.-C.) voit dans les couleurs de l'arc-en-ciel le résultat d'un mélange entre les rayons du soleil et la noirceur des nuages. Les rayons du soleil rencontrent des nuages si épais qu'ils ne peuvent les traverser, et la lumière est ainsi renvoyée vers nos yeux.

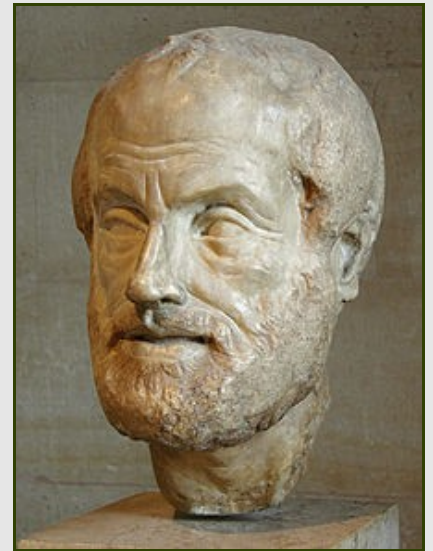
Un peu plus tard, Aristote (384-322 av. J.-C.) va donner une interprétation plus rationnelle de l'arc-en-ciel dans son ouvrage *Les météorologiques*. Mais avant d'aborder Aristote, il convient de donner un bref aperçu de l'une des théories de la vision, développée entre autres par Empédocle (vers 490 – vers 435 av. J.-C.), car elle sera en partie reprise par Aristote pour expliquer l'arc-en-ciel.

Empédocle réfute la théorie des simulacres défendue par les atomistes, selon lesquels une sorte « d'empreinte » des objets, l'*eidola*, rencontrerait au niveau de la pupille des effluves émanant de l'oeil, permettant ainsi la formation de l'image.

Pour lui, qui se rattache en l'occurrence aux Pythagoriciens, les yeux (comparés à des feux ou des lanternes) envoient vers les objets et le monde qui nous entoure des rayons visuels, sortant par quatre pores différents (chaque pore correspondant à une couleur : blanc, noir, rouge et vert-jaune). Comme la lumière fait aussi le trajet dans l'autre sens, des objets aux yeux, les objets produisent des émanations donnant des informations sur leurs formes, leurs couleurs et leur aspect général (qui proviennent du mélange des quatre éléments, feu, eau, air et terre). Les rayons visuels émis par les yeux entrent en contact avec ces informations, qu'ils rapportent aux yeux pour être interprétées.

L'explication de l'arc-en-ciel fournie par Aristote peut se résumer, de manière non exhaustive, comme suit :

- Les conditions requises pour son apparition :
Il faut une source de lumière, en général le soleil (Aristote mentionne aussi, bien qu'ils soient beaucoup plus rares et moins visibles, les arcs-en-ciel nocturnes qui peuvent se produire les jours de pleine lune), des nuages sombres chargés de pluie et les yeux de la personne qui observe le phénomène.
- La forme et la taille de l'arc-en-ciel :
Pour expliquer la forme circulaire de l'arc, Aristote avance une explication géométrique prometteuse, tenant compte de la position du soleil, du nuage et de l'observateur. L'arc ne forme jamais plus d'un demi-cercle, mais la portion de cercle peut être plus petite. La portion apparente à l'horizon varie selon le moment de la journée. Le nombre maximum d'arcs-en-ciel visibles en même temps est de deux ; les couleurs de chacun de ces arcs sont les mêmes, mais inversées.
- Les couleurs : L'arc-en-ciel n'a selon Aristote que trois couleurs principales : écarlate (rouge) vert et violet, bien qu'il y distingue d'autres nuances. Les différentes couleurs proviendraient de l'affaiblissement des rayons lumineux traversant divers milieux, la couleur rouge contenant le plus de lumière et le violet, le moins.
- La cause du phénomène : Aristote adopte ici, bien qu'il le rejette dans d'autres ouvrages, le mécanisme de la vision développé par Empédocle ; le phénomène serait dû à la réflexion des rayons visuels sur le nuage humide, comme si il était composé de petits miroirs.



Portrait d'Aristote. Copie romaine de période impériale (Ier ou IIe siècle ap. J.-C.) d'un bronze perdu réalisé par Lysippe.

Les théories d'Aristote exerceront, jusqu'aux Temps Modernes, une grande influence sur les savants qui étudient l'arc-en-ciel.

D'autres auteurs antiques vont aussi s'intéresser indirectement à l'arc-en-ciel.

Euclide, dans son ouvrage *Les Éléments* consacré à l'optique, reprend l'idée des rayons visuels; mais il s'intéresse principalement aux lois de propagation de la lumière, et non à sa nature ou à ses couleurs. Quant à Archimède (287-212 av. J.-C.) et Ptolémée (90-168), leurs traités sur l'optique ne nous sont pas parvenus, ou seulement de manière partielle; notons que Ptolémée suggère dans son ouvrage que le nombre des couleurs de l'arc est de sept et il reprend aussi la théorie des rayons visuels.

Dans le monde romain, Sénèque (1-65) développe aussi dans ses *Questions naturelles* un petit chapitre sur l'arc-en-ciel. Celui-ci est selon lui une image imparfaite du soleil (à qui il doit sa forme et ses couleurs) ; si l'arc se forme sur un nuage concave et humide, Sénèque évoque aussi les gouttes d'eau individuelles qui pourraient jouer le rôle de petits miroirs.

Vers 200, Alexandre d'Aphrodise (vers 150 - vers 215) commentateur d'Aristote, est le premier à mettre en évidence la bande sombre qui apparaît entre deux arcs-en-ciel (un paradoxe selon la théorie des couleurs d'Aristote). C'est en son honneur que cet espace porte le nom de « bande d'Alexandre » .

III.2 L'arc-en-ciel au Moyen Âge

Au Haut Moyen Âge, les auteurs latins n'apportent pas de nouvelles contributions à la connaissance de l'arc-en-ciel, et en restent à des hypothèses simples ou des observations basiques. Ainsi, selon la courte explication d'Isidore de Séville (vers 560-636), l'arc est formé par les nuages creux recevant les rayons du soleil, tandis que la variété de couleurs est créée par l'eau limpide, l'air lumineux et les nuages obscurs.

Dans le monde arabe, l'œuvre des Grecs, et notamment d'Aristote, était abondamment étudiée et commentée par les savants. Le plus fameux d'entre eux, Avicenne (980-1037), confesse avec honnêteté son impuissance à offrir une explication complète et satisfaisante du phénomène ; néanmoins il avance une hypothèse importante : le fait que la lumière n'est pas reflétée par le nuage, mais par des particules d'humidité, à condition toutefois que le fond soit sombre.

Quant au phénomène de réfraction, s'il est connu depuis l'Antiquité, et étudié par un savant tel qu'Alhazen (ou Ibn al-Haytham, c. 965-1039), qui renouvelle également toute la question de l'optique, nul ne songe à l'utiliser pour l'interprétation de l'arc-en-ciel.

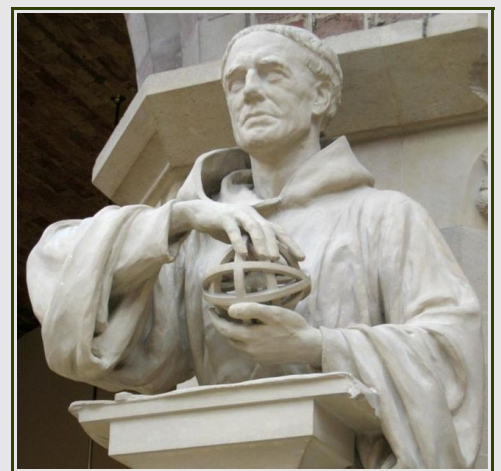
Dans l'Europe du XIII^e s. cependant, les études relatives à l'optique reprennent avec vigueur dans les milieux universitaires et, en particulier, au sein des ordres mendiants (Dominicains et Franciscains), désormais familiers avec les ouvrages grecs et arabes. C'est là que la réfraction va être utilisée pour la première fois.



Portrait de Robert Grosseteste.
Manuscrit du 14^e s. — British
Library Harley MS 3860, f.48

En effet, Robert Grosseteste (vers 1175-1253), professeur à Oxford et évêque de Lincoln, introduit la notion de réfraction – concernant le nuage dans son ensemble - dans son explication de l'arc-en-ciel (*De iride*). Selon lui, la lumière est réfractée à plusieurs reprises dans un cône de vapeur d'eau, qui descend du nuage concave vers la terre, et dont la densité est variable. Les couleurs dépendent à la fois de la pureté du milieu, de la clarté de la lumière et du nombre de rayons. Sa théorie fut en partie adoptée par Albert le Grand (vers 1200-1280), qui réintroduisit cependant la notion de gouttes individuelles. Grosseteste n'avait cependant pas fait usage de l'expérience afin de valider sa théorie.

C'est un autre savant d'Oxford, Roger Bacon (1214-1294), qui introduit la réfraction dans l'étude de l'arc-en-ciel ; c'est ainsi qu'il observe que plus le soleil est bas, plus l'arc est haut, et il calcule correctement que l'altitude maximale de l'arc est de 42°. Il constate aussi que l'arc-en-ciel se déplace avec l'observateur (et qu'il y a donc autant d'arcs-en-ciel que d'observateurs), et en conclut que l'arc est dû à un phénomène de réflexion.



Statue de Roger Bacon (1214-1294),
Université d'Oxford

Un peu plus tard, le Dominicain Dietrich von Freiberg (ou Thierry ou Theodoric de Freiberg, vers 1240 – ap. 1311) avance la première explication correcte de l'arc-en-ciel. À peu près au même moment, et de manière tout à fait indépendante, la même théorie est exposée par Kamal al-Din al-Farisi et son maître, Qutb al-Din al-Shirazi. Expérimentant à l'aide d'une sphère remplie d'eau, considérée comme une goutte d'eau, Dietrich von Freiberg décrit le phénomène de réfraction – réflexion – réfraction à l'intérieur de chaque goutte d'eau, et même celui de double réflexion dans le cas de l'arc secondaire. Pour que les rayons soient visibles, les gouttes doivent se trouver dans une position déterminée par rapport au soleil et à l'oeil ; les différentes couleurs proviennent de trajets lumineux différents – ce que Newton devait plus tard démontrer.

Les théories de Dietrich, ignorées durant les Temps Modernes (comme celles d'al-Farisi), ne furent redécouvertes qu'au début du XIXe siècle. À la Renaissance, on en revient donc aux explications d'Aristote, à peu de chose près.

III.3 Descartes (1596-1650)

L'explication correcte est redécouverte et précisée par Descartes. Celui-ci, qui connaît les travaux antérieurs de Willebrord Snell (1581-1626), publie en 1637, en appendice au *Discours de la méthode*, son traité de *Dioptrique*, dans lequel il énonce la loi (dite de Snell-Descartes) liant angle d'incidence et angle de réflexion/réfraction.

Dans un autre appendice au discours, *Les Météores*, Descartes s'intéresse à l'arc-en-ciel ; il utilise aussi une boule remplie d'eau, et revient aux conclusions de von Freiberg et al-Farisi : l'arc-en-ciel est la conséquence d'une réflexion (ou deux pour l'arc secondaire) et de deux réfractions dans une goutte d'eau.



Portrait de Descartes d'après Frans Hals (1582/1583–1666)

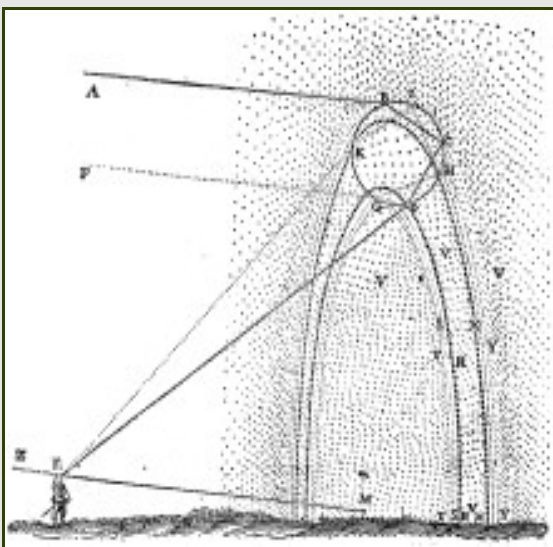
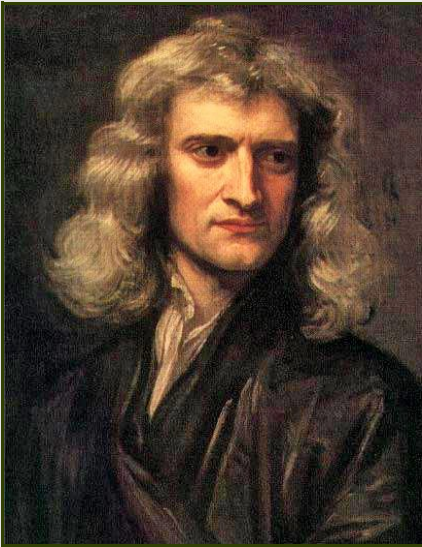


Schéma de René Descartes sur la formation des arcs-en-ciels primaires et secondaires.

Calculant précisément la valeur des angles lors du trajet des rayons lumineux dans la goutte, Descartes note que les rayons émergeant de la goutte après une seule réflexion sont plus concentrés autour de 42° , ceux qui émergent après deux réflexions autour de 50° . Ce sont les rayons efficaces. Entre 42° et 51° , il y a absence de lumière réfractée, d'où le phénomène de la bande sombre dite d'Alexandre. C'est aussi la raison pour laquelle la ligne extérieure de l'arc primaire et la ligne intérieure de l'arc secondaire sont plus clairement définies que leurs opposées.

En revanche, l'explication de Descartes sur les couleurs n'est pas convaincante. Selon lui, des petites particules sphériques, composantes de la lumière, se mettent à tourner lorsqu'elles sont réfractées ; quand elles tournent plus vite, le résultat est la couleur rouge, tandis que quand elles tournent moins vite, c'est la couleur bleue.

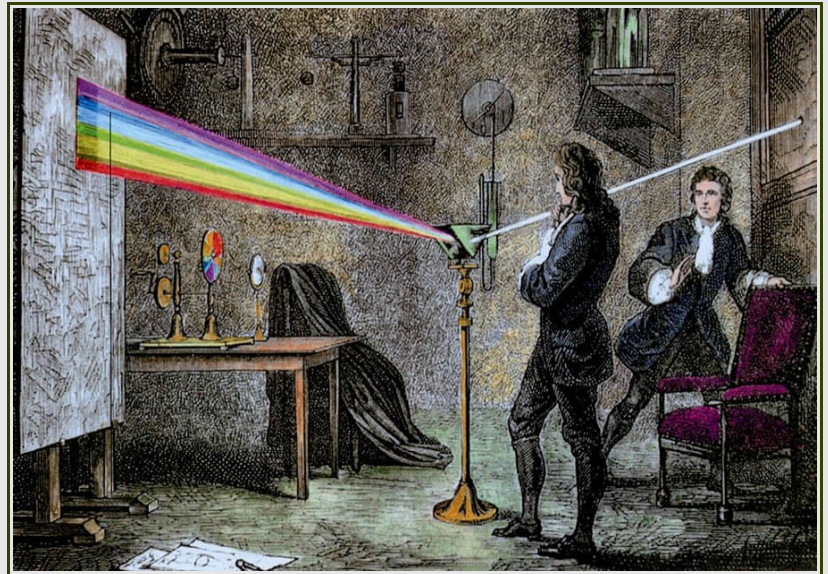
III.4 Isaac Newton (1643-1727)



Portrait d'Isaac Newton âgé de 46 ans par Godfrey Kneller (1689).

Il découvre que chaque couleur a un indice de réfraction (ou réfrangibilité) spécifique, c'est-à-dire qu'elle est déviée de manière différente en passant à travers le prisme (ou à travers une goutte d'eau), en fonction de sa longueur d'onde. C'est la dispersion, responsable de l'apparition de l'arc-en-ciel, c'est-à-dire en réalité de plusieurs arcs décalés, de couleurs différentes, issues de gouttes différentes.

C'est Newton qui explique le phénomène de l'arc-en-ciel dans sa totalité. Il décompose la lumière blanche à travers un prisme et observe (comme bien d'autres avant lui) le spectre, les différentes couleurs qui sont celles de l'arc-en-ciel. Il considère qu'elle sont au nombre de sept.



Newton peut donc déterminer la largeur de l'arc-en-ciel, $2^{\circ}15'$ pour l'arc primaire et $3^{\circ}40'$ pour l'arc secondaire (l'intervalle entre les deux étant de $8^{\circ}25'$).

Newton, ainsi que plusieurs autres scientifiques (Halley, Bernoulli, Hermann), appliquant la méthode cartésienne, établissent la formule par laquelle déterminer le rayon des arcs provenant d'un nombre plus élevé (supérieur à 2) de réflexions à l'intérieur de la goutte. Halley détermina ainsi que le troisième et le quatrième arcs devaient apparaître autour du soleil (la clarté de l'arrière-plan les rendant dès lors difficilement visibles).

IV. Théorie et expériences



IV. 1 Définition et formation

Un arc en ciel est un arc coloré avec du rouge à l'extérieur et du violet à l'intérieur (arc primaire). Entre ces deux couleurs, il y a une infinité de couleurs mais notre œil distingue surtout de l'orange, du jaune, du vert, de l'indigo et du bleu. Scientifiquement, on appelle ce phénomène : un photométéore, c'est-à-dire un phénomène optique qui apparaît dans l'atmosphère terrestre, quand la lumière solaire (ou lunaire) y subit une réflexion, réfraction, diffraction ou des interférences déterminées par des circonstances particulières.

En particulier, l'arc-en-ciel est produit par la réfraction et la réflexion successives de la lumière dans des gouttelettes d'eau. Il peut s'agir, comme on l'a vu plus haut, de la lumière du soleil ou d'une lumière artificielle sur une cascade, la pluie, un jet d'eau, des embruns marins...

Un arc-en-ciel se situe toujours à l'opposé du soleil : le soleil, l'observateur et le centre du cercle dont fait partie l'arc-en-ciel sont sur la même ligne.

En général, l'observateur voit seulement une partie de l'arc-en-ciel. Cela dépend de l'endroit où il se trouve et du moment de la journée. En effet, l'horizon cache souvent une grande partie de l'arc-en-ciel. Par ailleurs, plus le soleil est proche de l'horizon, c'est-à-dire la soir ou le matin, plus l'arc sera grand.

Il existe également des arcs-en-ciel lunaires, c'est-à-dire produit par la lumière de la lune quand elle est pleine.

Les arcs-en-ciel les plus spectaculaires ont lieu lorsque la moitié du ciel opposée au soleil est obscurcie par les nuages mais que l'observateur est à un endroit où le ciel est clair.

Les arcs-en-ciel les plus colorés nous apparaissent après un orage ou une averse importante, lorsque les gouttes qui permettent la dispersion de la lumière sont plus volumineuses.

La visibilité de l'arc-en-ciel dépend du mouvement des gouttes de pluie, de la position du Soleil et de celle de l'observateur au sol. Chaque individu observe donc un arc-en-ciel différent qui dépend de sa propre position. Lorsque l'observateur se déplace, l'arc en fait autant. Il est donc impossible d'atteindre un arc-en-ciel et de récupérer le trésor qui, selon la légende, serait caché à son pied !

IV. 2 La réflexion de la lumière

Expérience

Matériel

- Un miroir
- Un écran noir ou tout autre fond noir
- Une feuille blanche
- Une source de lumière : lampe de poche...

Mode opératoire

Envoyez un faisceau de lumière sur différents matériaux et comparez leur comportement vis-à-vis de la lumière (absorption, réflexion, transmission) .

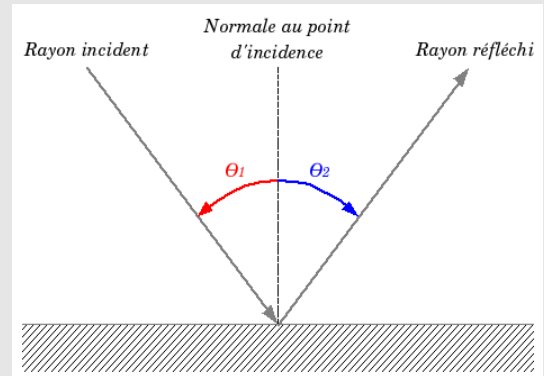
Qu'observe-t-on lorsqu'on éclaire une feuille blanche ?

Une feuille noire ?

Et le miroir ?

Loi de la réflexion de la lumière

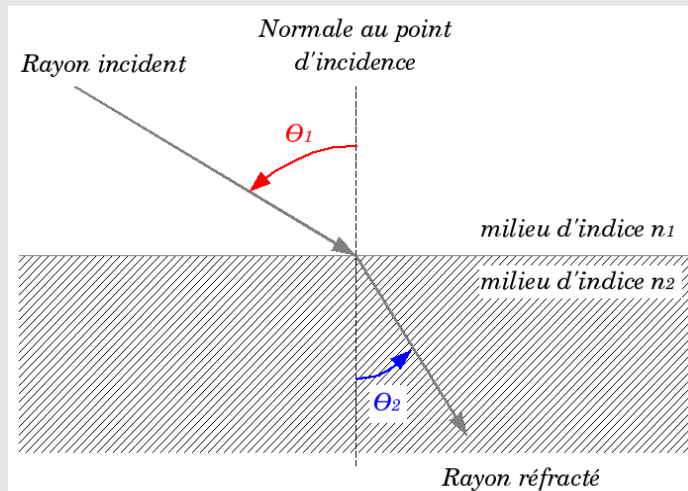
Lorsqu'un rayon lumineux atteint une goutte d'eau, une partie de ce rayon est réfléchi.



IV.3 La réfraction de la lumière

Loi de la réfraction de la lumière

Une partie du rayon lumineux va traverser la surface de l'eau et sera réfracté en raison du changement de milieu. En effet, la direction du rayon va être modifiée car la vitesse de la lumière est plus faible dans l'eau que dans l'air.



Remarque : le rayon réfléchi et le rayon réfracté seront moins intenses que le rayon incident car ils se partagent son énergie.

Expérience 1

Matériel

- Un bac opaque
- De l'eau
- Une pièce

Mode opératoire

Placez une clef dans un bac opaque. L'observateur voit la pièce. Il recule jusqu'à ne plus voir la pièce dans le bac. Ensuite, versez de l'eau dans le bac, sans faire bouger la pièce. Celle-ci réapparaît comme par magie!

Expérience 2

Matériel

- Un verre
- De l'eau
- Une pique à brochette

Mode opératoire

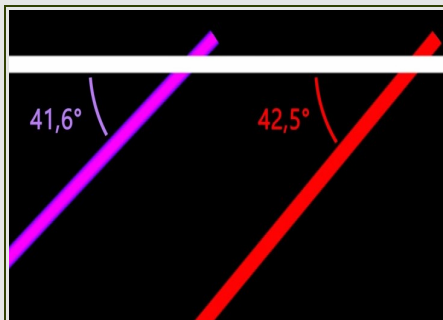
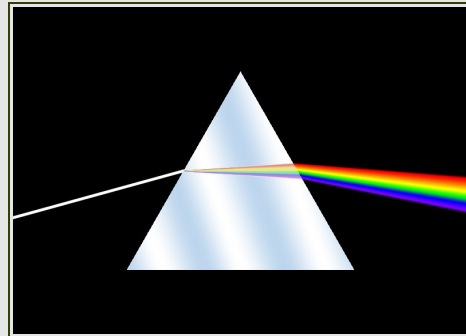
Versez de l'eau dans un verre. Placez la pique à brochette dans le verre et regardez en vous mettant à la même hauteur que le verre.

Que voit-on ?

IV.4 La dispersion de la lumière

Les couleurs de l'arc-en-ciel

La lumière (venant du soleil) résulte d'une superposition de couleurs. C'est ce qui permet d'expliquer l'origine des couleurs de l'arc-en-ciel. En effet, l'indice de réfraction d'un milieu (ici l'eau) dépend de la couleur de la lumière qui le traverse.



Chaque couleur est donc réfractée différemment et ressort de la goutte d'eau avec un angle différent, ce qui permet de les voir séparément.

Ce phénomène est appelé la **dispersion** de la lumière.

L'angle de la lumière rouge est de $42,5^\circ$ et de $41,6^\circ$ pour le violet.

Expérience du prisme

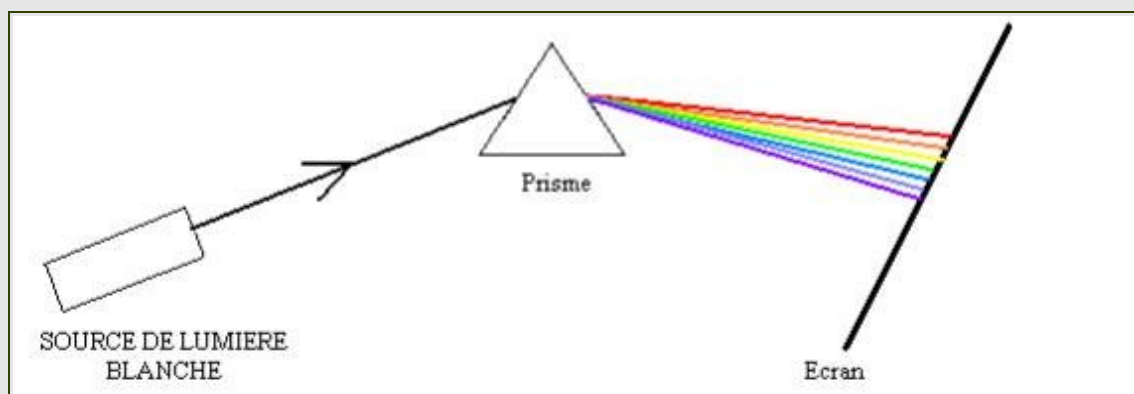
Matériel

- Une lampe
- Un prisme en verre
- Un écran blanc
- Une fente

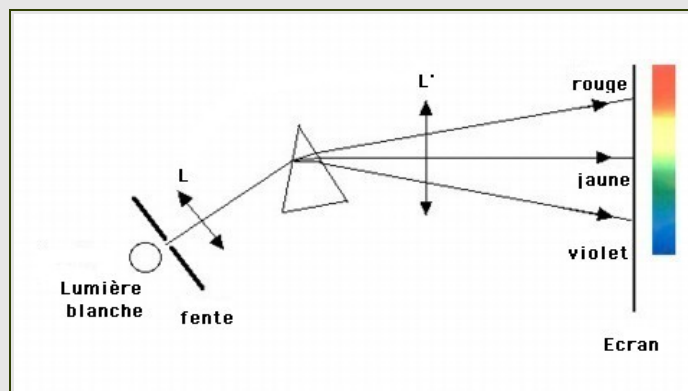
Mode opératoire

Posez le prisme, côté triangulaire en bas, sur l'écran blanc et éclairez une des surfaces rectangulaires au moyen de la lampe de poche.

Observez les rayons lumineux de l'autre côté du prisme sur la feuille.



Réalisez la même expérience en plaçant une fente devant la lampe comme sur le schéma ci-dessous :



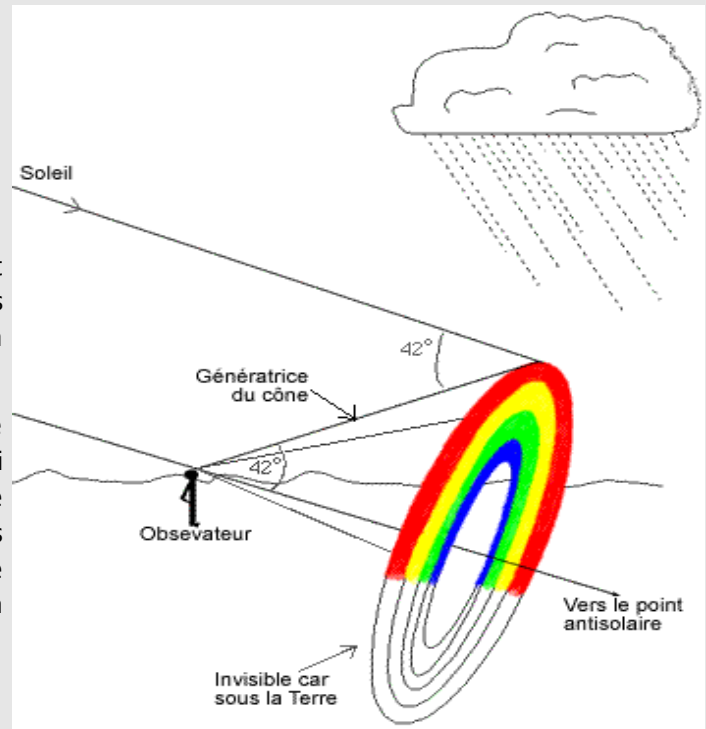
IV.5 L'arc-en-ciel

La forme de l'arc-en-ciel

La lumière renvoyée par les gouttes de pluie dessine un cercle qui représente la base d'un cône de 42 degrés, dont le sommet est occupé par l'observateur. Chaque goutte d'eau dévie les rayons du soleil en fonction de leur longueur d'onde. C'est la direction de cette déviation qui crée cet angle de 42 degrés.

S'il nous semble être un arc, c'est parce que le cercle est interrompu par le sol. Si l'observateur se trouvait dans le ciel (dans un avion par exemple), il pourrait voir un cercle entier.

On observe par ailleurs parfois un second arc derrière le premier, plus grand et moins lumineux. Il est aussi formé par les rayons solaires, mais leur angle d'entrée dans les gouttes est tel qu'ils sont réfléchis deux fois contre la paroi. Ils en ressortent alors avec un angle de 51 degrés et le spectre se trouve inversé par rapport à l'arc primaire.



Reproduire un arc-en-ciel

Matériel

- Un petit miroir
- Une bassine
- De l'eau
- De la lumière (spot ou soleil)
- Un écran blanc

Mode opératoire

Versez de l'eau dans la bassine.

Plongez le miroir à moitié dans l'eau avec une inclinaison d'environ 45°.

Éclairez le miroir avec une lampe et orientez le reflet de la lumière vers l'écran blanc.



Qu'observez-vous ? Pourquoi ?

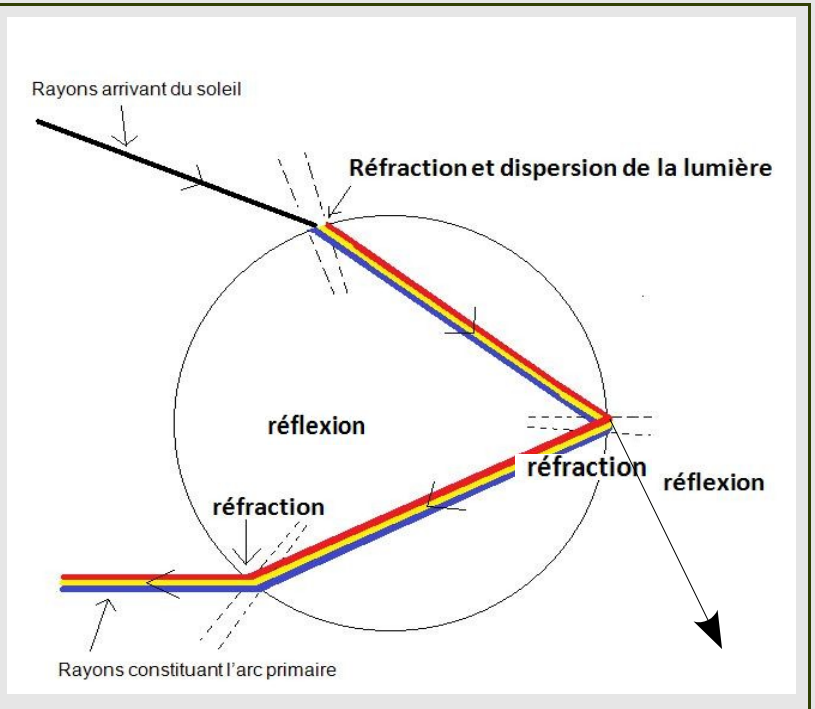
IV.6 Arcs primaire et secondaire

Dans de bonnes conditions d'observation, on peut voir deux arcs : l'arc primaire et l'arc secondaire. Les arcs primaire et secondaire sont provoqués respectivement par une simple réflexion et par une double réflexion de la lumière au sein des gouttes d'eau.

Arc primaire

Le rayon réfracté va rencontrer le fond de la goutte sur lequel il va se réfléchir. L'intensité de ce rayon réfléchi est de nouveau affaiblie.

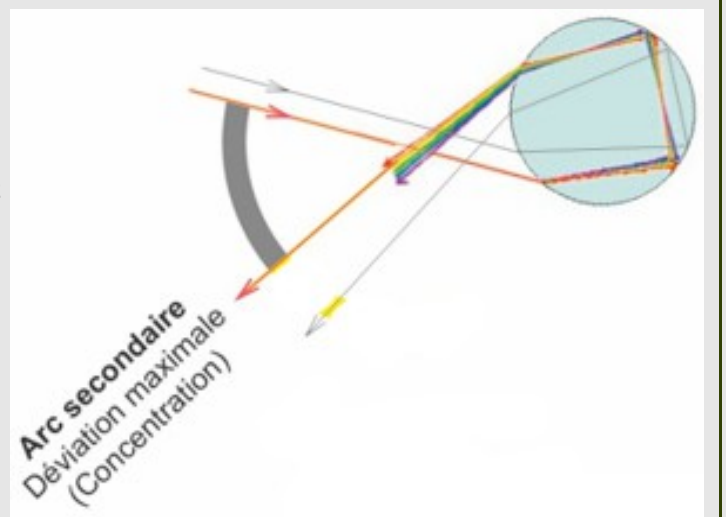
Bien entendu, il y a une réfraction à l'entrée et à la sortie de la goutte.



L'arc secondaire est moins lumineux et apparaît sous un angle de 50-53° dans la direction opposée au Soleil. En raison de la réflexion supplémentaire, les couleurs de ce second arc sont inversées par rapport à l'arc primaire, avec le bleu à l'extérieur et le rouge à l'intérieur, et l'arc est moins lumineux.

Arc secondaire

Comme le rayon réfléchi dans la goutte est réfléchi une deuxième fois dans la goutte, puis réfracté en dehors de celle-ci, on aura un deuxième arc qu'on appellera arc secondaire.



Théoriquement, on peut encore observer un 3^{ème}, un 4^{ème} ou un 5^{ème} arc etc... provoqué par les différentes réflexions dans la goutte. A chaque fois, l'ordre des couleurs est donc inversé par rapport à l'arc précédent et l'intensité diminue. Ce qui explique qu'on les voit très rarement.

IV.7 Bande sombre

Bande sombre d'Alexandre

Entre les premier et deuxième arcs-en-ciel, une bande plus sombre apparaît. Cela correspond à la zone de la goutte d'eau comprise entre l'angle de 42° caractérisant la fin du premier et l'angle de 50° caractérisant le début du second arc. Cette bande intermédiaire où il y a un déficit de lumière a été appelée la "bande sombre d'Alexandre", en l'honneur d'Alexandre d'Aphrodise qui la décrit le premier.

Ap= Arc primaire

BA= Bande d'Alexandre

As= Arc secondaire



IV.8 Les arcs surnuméraires

On peut aussi observer des arcs dits surnuméraires.

Les « arcs surnuméraires » sont des arcs supplémentaires au nombre de deux ou trois qui apparaissent, parfois, au-dessous de l'arc primaire ou au-dessus de l'arc secondaire (plus difficile à observer), c'est-à-dire toujours du côté du violet (voir photo ci-contre). Ces arcs sont dus à des phénomènes d'interférence de la lumière lors de ses différentes réflexions dans les gouttes d'eau, mais dépendent également d'autres facteurs, comme la diamètre des gouttes d'eau.

Les arcs surnuméraires apparaissent lorsque le diamètre des gouttes est inférieur à 1 mm environ et entourent rarement les arcs secondaires. Ils reçurent leur première explication par Thomas Young (1773-1829), qui mit en évidence la théorie ondulatoire de la lumière, et les interférences entre les ondes lumineuses lors de leur réflexion.



V. Références:

Ouvrages

- BIÉMONT É., *Météores et effets lumineux dans l'atmosphère terrestre*, Presses Universitaires de France, Collection "Que sais-je?" n°3146, Paris (1997)
- BIÉMONT É., *La lumière*, Presses Universitaires de France, Collection "Que sais-je?" n°48, Paris (1996)
- BOYER C.B. , *The Rainbow. From Myth to Mathematics*, Princeton University Press, 1987.
- EASTWOOD B. S., « Robert Grosseteste's Theory of the Rainbow. A chapter in the History of Non-experimental Science », *Archives internationales d'histoire des sciences*, 77, 1966.
- GOLTHER W. , *Handbuch der germanischen Mythologie*, 1908.
- HISPALENSIS Isidorus, *Etymologiae*, XIII, éd. et trad. G. Gasparotto, Paris, 2004.
- LORCIN M.-Th., L'arc en ciel au XIII^e siècle, *Les couleurs au Moyen Âge* [en ligne]. Aix-en-Provence : Presses universitaires de Provence, 1988 (généré le 04 août 2014). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/pup/3657>>. ISBN : 9782821836853.
- *Lexikon der christlichen Ikonographie*, III, 1971, col. 521-522.
- LINDBERG D.C. , « Roger Bacon's Theory of the Rainbow : Progress or Regress? », *Isis*, 57/2, 1966.
- MAITTE B. , *Histoire de l'arc-en-ciel*, Seuil, 2005.
- RÖSCH S. , « Der Regenbogen in der Malerei », *Studium generale*, 1960, p. 418-426.
- THUAN Trinh Xuan, *Dictionnaire amoureux du Ciel et des Étoiles*, Plon, 2009.

Sites web

- <http://remacle.org/bloodwolf/philosophes/Aristote/meteorologie3.htm#II>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Arc-en-ciel#Historique_de_la_d.C3.A9couverte_de_sa_formation
- <http://remacle.org/bloodwolf/philosophes/seneque/questionsnaturelles1.htm>
- <http://www.iesr.ephe.sorbonne.fr/index6980.html>
- <http://www.als.uhp-nancy.fr/conferences/dossiers/Lumiere/03-Boyer.pdf>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Bifr%C3%B6st>

Ce dossier a été réalisé par le Centre National d'Histoire des Sciences asbl.
Boulevard de l'Empereur 4, 1000 Bruxelles
Courriel : astrolabium@astrolabium.be

Il est téléchargeable sur <http://www.astrolabium.be>