

Histoire de l'arc-en-ciel

JEAN-LOUIS RICARD

Plus de 2 000 ans ont été nécessaires à la compréhension et à l'élaboration de la théorie de ce phénomène naturel.

Pour les Scandinaves c'est un pont entre le ciel et la Terre, permettant aux dieux de venir sur Terre ; pour les Incas, c'est un cadeau du Soleil ; pour d'autres Indiens, c'est l'arc de guerre des dieux de l'atmosphère ou le chemin emprunté par les morts pour monter au ciel. Selon une légende irlandaise, un pot d'or se trouverait à chaque pied de l'arc-en-ciel. Le phénomène est parfois assimilé à un monstre ou à un serpent. D'après le culte des Fôn du Dahomey, en Afrique occidentale, le dieu Dan de la fécondité et de la richesse se manifeste sous la forme d'un arc-en-ciel qui encercle le monde, et il est symbolisé par un serpent qui se mord la queue.

Les poètes grecs de l'Antiquité l'identifient à l'écharpe multicolore de la déesse Iris. Fille du Titan Thaumas et de l'Océanide Électre, elle est sœur des Harpies, créatures répugnantes au corps d'oiseau et à tête de femme, ravisseuses d'enfants et d'âmes. Zéphyr, le vent d'Ouest, aurait été son époux. Elle est figurée sur des vases et sur des bas-reliefs vêtue d'une longue tunique, les cheveux retenus par un bandeau et des ailes aux épaules : elle porte une écharpe légère dont les couleurs au soleil font un arc-en-ciel.

Dans la Bible, l'arc-en-ciel est le symbole de l'alliance que Dieu a conclue avec l'homme après le déluge : la postérité de Noé n'a plus à craindre un nouveau déluge. Dans l'Apocalypse, l'arc-en-ciel apparaît autour du trône de Dieu sous forme de lumière. Ce phénomène naturel a été très souvent représenté, mais quelle en était l'interprétation ?

Aristote est le premier philosophe à s'intéresser à l'arc-

en-ciel. Dans les *Météores*, il suppose que les rayons solaires se réfléchissent sur la surface externe des gouttes d'eau du nuage et que l'ombre de ce dernier, mêlée aux rayons du soleil, produit les couleurs de l'arc. Selon Aristote, le nuage est une surface d'eau noire ; or, la lumière traversant une surface noire devient rouge, comme la flamme du bois qui brûle : c'est l'origine de la couleur rouge de l'arc-en-ciel. Aristote ne voit que trois couleurs, le rouge, le vert et le violet. Ces deux dernières couleurs sont dues à l'atténuation de l'intensité lumineuse avec la distance : une réflexion proche expliquerait la couleur rouge, une réflexion plus éloignée le vert et la plus lointaine, le violet. Les Grecs, et notamment Aristote, distin-



Iris, parée de son écharpe, symbolisait l'arc-en-ciel pour les Grecs. Elle est représentée ici, sur un boîtier de montre.

guaient mal la lumière de la vision. La théorie d'Aristote, peu compatible avec les théories actuelles, domina pourtant pendant près de 2 000 ans.

Contrairement à l'ouïe et à l'odorat, la vue, comme le toucher, était un sens actif : selon Platon, un «quid» (quelque chose) sortait de l'œil pour se diriger vers l'objet et le tâter. Euclide, puis Ptolémée, donnèrent les principales caractéristiques de ce rayon visuel émergeant de l'œil, notamment qu'il se propage en ligne droite.

L'OPTIQUE ARABE

Les Arabes abandonnent la notion de rayon visuel émis par l'œil au profit du rayon de lumière issu de l'objet et pénétrant dans l'œil. Né à Bassorah, en Irak, en 965, et mort au Caire, en 1039, Alhazen comprend que la réfraction est un phénomène fondamental en optique. Il donne les lois de la réflexion, et établit des lois qualitatives observées lors de phénomènes de réfraction. Son *Discours de la lumière* ne sera imprimé en Occident qu'en 1572. Jusqu'à la fin du XIV^e siècle, l'optique arabe aura une influence notable ; elle ne sera supplantée par l'optique de l'Occident qu'à la fin du XVI^e siècle.

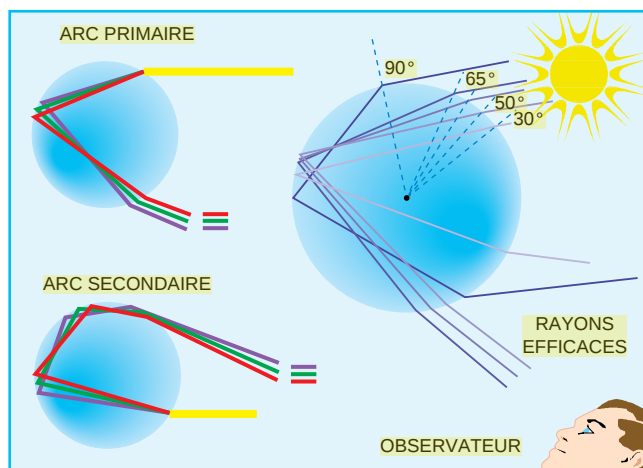
Ainsi, au XIII^e siècle, Robert Grosseteste, évêque de Lincoln et fondateur de l'école scientifique d'Oxford, s'intéresse à la réfraction. Il pressent que la réfraction est à l'origine des arcs-en-ciel, mais son interprétation est fautive. Il formule une loi erronée de la réfraction, où le rayon réfracté suit la bissectrice de l'angle formé par la normale et le rayon incident (depuis plusieurs siècles, Alhazen avait formulé une théorie plus élaborée). En 1266, constatant que des arcs-en-ciel apparaissent aussi dans des cascades, son disciple Roger Bacon émet l'idée que l'arc-en-ciel est produit par des réflexions dans les gouttes de pluie. Contrairement à Grosseteste, il ne mentionne pas la réfraction dans les causes possibles d'un arc-en-ciel.

À la même époque, à la fin du XIII^e siècle, le physicien et philosophe polonais Vitellion, reprend les hypothèses d'Alhazen et montre que la déviation des rayons lumineux par la réfraction est d'autant plus importante que le milieu est dense. Il comprend que ce phénomène intervient dans la formation des arcs-en-ciel. Son œuvre, méconnue, ne sera publiée qu'en 1572, en même temps que celle d'Alhazen.

C'est un autre dominicain, le moine Thierry de Freiberg (1250-1310), qui observe la réfraction à l'aide de flacons



La théorie de l'arc-en-ciel n'a été élucidée qu'à la fin du xx^e siècle. Pourtant Descartes avait compris que les rayons du Soleil qui traversent les gouttes de pluie et subissent une réfraction donnent



un arc primaire ; ceux qui subissent deux réfractions sont la cause de l'arc secondaire. Un observateur ne voit que les rayons dont l'angle d'incidence est proche de 59 degrés.

de verre remplis d'eau, assimilés à des gouttes de pluie fortement grossies. Il retrouve l'ensemble des phénomènes qui produisent un arc-en-ciel : le déplacement rectiligne des rayons du Soleil, les réflexions et les réfractions qu'ils subissent, la valeur de l'angle où apparaissent le phénomène et les différentes couleurs. Selon lui, les couleurs résulteraient du mélange de deux qualités, l'éclat et l'obscurité. Toutefois, ces résultats ont été peu diffusés.

Né à Messine en 1494, Francesco Maurolico fut moine dans un monastère isolé des Pouilles. Son œuvre, *Photismi de lumine et umbra* (Lumières sur la lumière et sur l'ombre), achevée en 1567, est considérée comme le meilleur ouvrage d'optique du xvi^e siècle. Il y traite notamment de la formation de l'arc-en-ciel. Il considère que la lumière se réfléchit sur la partie extérieure convexe et sur la partie intérieure concave des gouttes d'eau. Toutefois, cet ouvrage eut une influence minime, car il ne fut publié qu'en 1601.

La théorie de l'arc-en-ciel a été ébauchée au début du xvii^e siècle, par Marc Antonio De Dominis, évêque de Spalatro. En captant les rayons du Soleil dans un ballon rempli d'eau dont il modifie la hauteur, il forme des arcs-en-ciel sur les murs de son laboratoire. En observant le parcours des rayons lumineux dans le ballon, il montre que les rayons du Soleil sont réfractés en pénétrant dans une goutte d'eau ; ils sont réfléchis par le fond de la goutte qui se comporte comme un miroir concave ; ils ressortent de la goutte en subissant une nouvelle réfraction.

En 1604, Johannes Kepler publie un supplément à Vitellion ; il répond à presque toutes les questions anciennes, mais ne parvient pas à établir la loi de la réfraction. Toutefois, Kepler amorce

la démarche qui sera reprise avec succès, quelques années plus tard, par Descartes. En considérant l'œil comme une sphère, il calcule les chemins optiques sous différentes incidences.

LA THÉORIE CLASSIQUE

En 1637, René Descartes reprend la théorie de De Dominis et la complète. Il montre qu'un arc-en-ciel résulte des lois de la réflexion et de la réfraction. Il établit que le rapport des sinus de l'angle d'incidence et de réfraction est constant quel que soit l'angle d'incidence (la loi avait déjà été établie, vers 1620, par le Hollandais Willebrod Snell, aussi nommé Snellius). Les rayons lumineux issus du Soleil supposé ponctuel arrivent parallèlement en différents points de la goutte de pluie, qu'ils abordent sous plusieurs angles d'incidence.

Les rayons qui subissent une seule réflexion donnent l'arc primaire ; l'arc secondaire, extérieur, est produit par une double réflexion à l'intérieur des gouttes. Tous les rayons incidents ne sont pas efficaces, c'est-à-dire visibles par l'observateur : seuls les rayons qui arrivent sous une incidence proche de 59 degrés pour l'arc primaire et de 71 degrés pour l'arc secondaire le sont.

Enfin, Isaac Newton donne une explication satisfaisante de la coloration de l'arc-en-ciel. En expérimentant avec des prismes, il montre que la lumière blanche est un mélange de couleurs, et que chaque couleur a un indice de réfraction différent.

Un rayon lumineux provenant du Soleil est réfracté à l'entrée et à la sortie de la goutte, ce qui sépare les rayons monochromatiques composant la lumière solaire. L'effet de chaque goutte est transitoire, mais la permanence du phénomène s'explique par la succession rapide

des gouttes de pluie. Si la théorie de Descartes et de Newton explique la décomposition de la lumière, elle ne justifie pas la présence des arcs surnuméraires, qui apparaissent vers l'intérieur de l'arc-en-ciel, du côté lumineux de l'arc primaire.

Thomas Young en trouva l'explication en 1803 : il montra que la superposition de plusieurs ondes peut provoquer un renforcement ou une atténuation de l'intensité lumineuse, c'est-à-dire que les ondes peuvent interférer. Ainsi, deux rayons déviés dans la même direction par une goutte d'eau interfèrent soit positivement, soit négativement, donnant naissance à une série de bandes alternativement sombres et brillantes. L'aspect des arcs surnuméraires dépend de la taille des gouttes, et l'on distingue rarement de tels arcs quand le diamètre des gouttes dépasse un millimètre.

Aujourd'hui, quatre théories coexistent et expliquent les différents phénomènes observés lors d'un arc-en-ciel : la théorie «classique» de Descartes, Newton et de Young qui s'applique pour les grosses gouttes d'eau (supérieures à un millimètre) ; celle de Georges Biddel Airy, datant de 1838, pour les gouttes dont le diamètre est supérieur à 0,1 millimètre ; celle de Gustav Mie, élaborée en 1908, est fondée sur les équations électromagnétiques de Maxwell : elle est «exacte», mais lourde ; enfin, la théorie du moment cinétique complexe, établie par Vijay Khare, en 1975, donne des résultats très proches de ceux de Mie, tout en s'affranchissant des longs calculs informatiques.

Jean-Louis Ricard est chercheur, à Météo-France, à Toulouse.