



HAL
open science

La lumière et l'eau : à la découverte de l'arc-en-ciel avec al-Fârisî

Cécile de Hosson

► **To cite this version:**

Cécile de Hosson. La lumière et l'eau : à la découverte de l'arc-en-ciel avec al-Fârisî. Découvertes en pays d'Islam, 2009. <hal-02515242>

HAL Id: hal-02515242

<https://hal.science/hal-02515242v1>

Submitted on 13 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

La lumière et l'eau : à la découverte de l'arc-en-ciel avec al-Fârisî

Cécile de Hosson, avec la collaboration de Xavier Delaville

© Éditions Le Pommier, 2009

Objectifs :

La lumière blanche est constituée d'une infinité de couleurs.

Les gouttes de pluie décomposent la lumière blanche. Pour observer un arc-en-ciel, un observateur doit être dos au soleil et face à la pluie.

Les lumières colorées ne se comportent pas comme les pigments colorés (la peinture).

Référence au programme :

« Le ciel et la Terre : lumière et ombre ».

Matériel utilisé :

Verres à pied remplis d'eau, lampes torches, spots de couleur (rouge, vert et bleu).

L'approche que nous privilégions ici se veut plutôt empirique, tournée vers l'observation et l'expérimentation. Nous verrons par exemple qu'un arc-en-ciel n'est visible que dans certaines conditions d'observation et qu'il existe des points communs entre chaque arc-en-ciel, des invariants. À la suite d'al-Fârisî, les élèves seront amenés à explorer les conditions d'observation de l'arc-en-ciel. Ils découvriront ainsi les positions respectives de la source de lumière et de l'eau par rapport à eux-mêmes. Ils constateront également que les couleurs extrêmes de l'arc-en-ciel sont toujours les mêmes. Cette séquence sera aussi l'occasion de rompre avec certaines idées présentes chez

les enfants : l'arc-en-ciel n'est pas un objet matériel, il n'est pas davantage constitué de sept couleurs. Ces activités de découverte nous conduiront, enfin, à nous intéresser à quelques aspects de la physique des couleurs.

Pour le maître

La couleur est une sensation subjective qui résulte d'une interprétation cérébrale de la lumière reçue par la rétine de l'œil. Il n'existe donc pas de couleur « en soi » : c'est une réponse du cerveau à une excitation des cellules photoréceptrices de l'œil (les cônes situés dans la rétine) par la lumière. Cette excitation donne naissance à un signal nerveux transmis au cerveau *via* le nerf optique. Pour comprendre la couleur, il nous faut donc revenir sur le mécanisme physiologique de la vision. Cette approche vient compléter celle que nous avons présentée dans la partie consacrée à l'interprétation physique de la vision chez Ibn al-Haytham.

Considérons la lumière comme une onde. Une onde un peu particulière, certes, mais une onde quand même. On l'appelle « onde électromagnétique ». Elle est caractérisée par sa longueur d'onde que l'on mesure en nanomètres ($1 \text{ nm} = 0,000\ 000\ 001 \text{ m}$) ou, ce qui revient au même, par sa fréquence, mesurée en hertz. Notre œil (ou plus exactement ses cellules photoréceptrices) est sensible à des ondes électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre $7,5 \cdot 10^{14}$ et $4 \cdot 10^{14}$ Hz. Autrement dit, les cellules photoréceptrices envoient un signal au cerveau dès qu'elles sont atteintes par des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde varient entre 400 et 750 nm. On appelle l'ensemble de ces ondes, cette lumière, la « lumière visible », en ce sens qu'elle provoque la vision (n'oubliez pas que la lumière est invisible !). L'interprétation cérébrale en termes de « couleur » de la lumière reçue dépend de la longueur d'onde (ou de la gamme de longueurs d'onde) reçue. Ainsi, à chaque longueur d'onde est associée une couleur. Par exemple, la couleur violette est une sensation répondant à l'excitation des cellules photoréceptrices de l'œil par une lumière dont la longueur d'onde est comprise entre 400 et 450 nm. Lorsque l'œil reçoit une lumière de longueur d'onde unique, on parle de « lumière monochromatique », mais ce n'est pratiquement jamais le cas...

Le spectre de la lumière blanche est découpé de façon simplifiée en *trois bandes* correspondant aux couleurs rouge, vert et bleu appelées *couleurs fondamentales*.

L'homme a la faculté de distinguer un très grand nombre de couleurs (près de un million). Pourtant, la rétine ne possède pas autant de types de photorécepteurs qu'il y a de couleurs identifiables par l'homme. En fait, il existe trois types de cônes que nous appellerons b, v et r) respectivement sensibles à la lumière dont les longueurs d'onde sont comprises :

- entre 400 et 500 nm ;
- entre 500 et 550 nm ;
- entre 550 et 750 nm.

La proportion des cônes excités et la superposition des signaux émanant des différents cônes permettent, par synthèse additive, la vision de toutes les couleurs.

Il ne s'agit pas bien sûr de traiter tout cela avec des élèves de primaire. Mais cette mise au point théorique vous permettra sans doute de prêter une attention toute particulière à l'idée largement partagée selon laquelle couleur et matière colorée sont une seule et même chose. Ainsi, le caractère matériel que les élèves attribuent spontanément à la couleur s'oppose-t-il au caractère abstrait de la sensation de couleur produite par la lumière. Cela étant posé, entrons maintenant dans l'univers fascinant des lumières et des objets colorés.

Activité n° 1 : Les idées des élèves à propos de l'arc-en-ciel

Il s'agit ici de caractériser la façon dont les élèves comprennent et expliquent spontanément la formation d'un arc-en-ciel. Cette étape va orienter les séances qui suivront. La consigne proposée par le maître, « Représenter un arc-en-ciel de façon à ce qu'une autre personne puisse comprendre comment il se forme », est écrite au tableau. Les élèves y répondent de façon individuelle.

L'examen des productions des élèves soulève plusieurs questions relatives aux couleurs (combien y en a-t-il ? dans quel ordre se trouvent-elles ? cet ordre est-il toujours le même ?), à la chronologie des événements (faut-il que le soleil et la pluie soient présents en même temps, ou faut-il attendre qu'il ait

plu pour qu'apparaisse l'arc-en-ciel), aux positions respectives des éléments nécessaires à la formation de l'arc. Ces questions sont examinées lors d'un débat organisé par le maître. Pour chaque thématique retenue (couleurs dans l'arc, chronologie des événements, position du soleil, de la pluie), le maître affiche des dessins contradictoires au tableau et demande aux élèves de discuter la pertinence de ces dessins (voir la photo ci-dessous). Les élèves pensent que seule compte la présence de soleil et de pluie. Ils n'accordent aucune importance à la position du soleil dans le ciel. En revanche, ils débattent vivement de la position de la pluie par rapport à l'arc : est-elle « dedans », « derrière » ? Concernant le mécanisme général de formation de l'arc-en-ciel, les élèves s'entendent pour dire que « c'est la lumière du soleil qui vient se mettre dans l'eau, et cela forme les couleurs ». Signalons que l'observateur n'est jamais dessiné spontanément par les élèves.



Dessin d'élèves de cycle 3 (CM2) en réponse à la consigne : « Dessine un arc-en-ciel. Une autre personne doit comprendre, grâce à ton dessin, comment il se forme. » Certains dessins présentent des événements qui s'enchaînent dans le temps. Cette position fait l'objet d'une discussion : la moitié des élèves de la classe affirmant que la présence de pluie et de soleil doit être simultanée, comme l'illustre ce dessin.

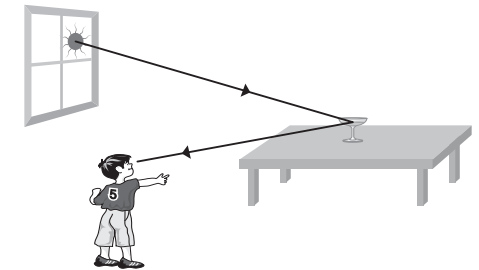
L'intervention du maître et la lecture du texte pour enfants permettent de répondre à certaines questions, notamment à celle concernant le nombre de couleurs : il n'y a pas sept couleurs dans l'arc-en-ciel (en général, on n'en distingue pas plus de quatre ou cinq). À la fin de la première séance,

certaines interrogations demeurent qui font écho à celles que se posent Nabil et Fadila dans le texte pour enfants. Elles sont écrites sur une affiche et définissent l'organisation des séances suivantes :

1. Quelles sont les couleurs qui délimitent l'arc-en-ciel ? Sont-elles toujours disposées de la même manière ?
2. Dans quelles conditions est-il possible de voir un arc-en-ciel ? Peut-on fabriquer un arc-en-ciel en classe ?
3. Peut-on toucher un arc-en-ciel ? Un arc-en-ciel est-il un objet matériel ?
4. Quelles hypothèses les savants ont-ils formulées pour expliquer la formation de l'arc-en-ciel à travers l'histoire ? Qu'est-ce que le savant al-Fârîsî a-t-il pu dire à Fadila et Nabil avant que le secret se perde dans la nuit des temps ?

Activité n° 2 : Fabriquer un arc-en-ciel en classe

Afin de répondre aux trois premières questions listées ci-dessus, il faudrait que les élèves puissent disposer d'un arc-en-ciel. Or, ce phénomène étant assez rare dans la nature, l'enseignant invite les élèves à réfléchir à un moyen de produire les couleurs de l'arc-en-ciel en classe. Il ne fait aucun doute pour les élèves que l'eau (la pluie, en particulier) est nécessaire à la formation de l'arc-en-ciel. Il faut également du soleil. Certains suggèrent d'utiliser l'eau d'un jet dans la cour de récréation en plein soleil. Cette expérience est réalisée par beau temps. D'autres proposent de faire passer de la lumière dans l'eau d'un récipient. Les élèves sont alors regroupés par quatre et disposent d'un verre à pied rempli d'eau et d'une lampe torche. La salle de classe est obscurcie et chaque groupe s'attache à produire les couleurs de l'arc-en-ciel. Au bout de quelques minutes de recherche, ils constatent qu'il est possible d'observer un tout petit arc-en-ciel à l'intérieur de l'eau du verre.



Celui-ci n'est pas visible par tous les élèves du groupe, mais uniquement par ceux qui se trouvent dos à la lampe. L'expérience est ensuite refaite à l'aide de la lumière du soleil filtrant par les fenêtres.



Un arc-en-ciel est également visible grâce à la lumière du soleil, à condition, encore une fois, que les élèves aient le soleil dans le dos.

Les élèves constatent que l'ordre des couleurs est toujours le même (du violet au rouge), que l'action du soleil et de l'eau est simultanée, que l'arc-en-ciel n'est pas un objet que l'on peut prendre dans ses mains, et, surtout, que son apparition dépend de la position de l'observateur par rapport à l'eau et par rapport à la source de lumière. Reste désormais à répondre à la quatrième question : comment est-on parvenu à comprendre la formation de l'arc-en-ciel ?

Activité n° 3 : Approche historique

Le phénomène de l'arc-en-ciel a suscité de nombreuses interprétations au cours des siècles. L'animation « La théorie de l'arc-en-ciel d'al-Fârisi » présentée sur le site du projet (www.lamap.fr/decouvertes) en rappelle quelques-unes qu'il est intéressant de discuter avec les élèves. Après avoir situé dans l'espace et dans le temps (à l'aide de documents mis à disposition par le maître ou sur Internet) les différents savants dont l'animation fait mention (Aristote, Ibn Sinâ, Ibn al-Haytham et al-Fârisi), on leur demande d'associer chaque explication ou avancée conceptuelle au savant qui en est l'auteur (voir le tableau ci-dessous).

Savant cité dans l'animation	Son explication du phénomène de l'arc-en-ciel
Aristote	Des petits miroirs présents dans les nuages renvoient la lumière du soleil. Cette lumière renvoyée est impure et formée de plusieurs couleurs.
Ibn Sinâ	La pluie est nécessaire à la formation de l'arc-en-ciel.
Ibn al-Haytham	Des sphères remplies d'eau dévient la lumière du soleil.
Al-Fârisi	Un arc-en-ciel n'est visible que lorsqu'un faisceau lumineux provenant du soleil et pénétrant dans une goutte de pluie pénètre dans l'œil d'un observateur. Pour cela, l'observateur doit être face à la pluie et dos au soleil.

Ce travail documentaire, assisté de l'animation, donne lieu à la production d'une frise chronologique : « Contribution des savants de langue arabe à l'explication de l'arc-en-ciel ».



Les explications proposées par Aristote, Ibn Sinâ, Ibn al-Haytham et al-Fârisi sont placées sur une frise chronologique réalisée par les élèves à l'issue du visionnage de l'animation et de l'activité documentaire qui l'accompagne.

Mais certaines questions restent en suspens, notamment celle de la présence des couleurs. À ce stade, les gouttes d'eau restent dotées d'un pouvoir mystérieux, sortes de boîtes noires, capables de révéler la palette infinie des couleurs qui composent la lumière du soleil. Il faudra en effet attendre le xvii^e siècle et les travaux d'Isaac Newton pour en comprendre l'origine. Même si la question de l'origine des couleurs de l'arc-en-ciel n'est pas abordée ici, il apparaît tout à fait possible d'envisager des activités visant à familiariser les élèves avec certaines notions relatives à la physique de la lumière blanche et à la vision des lumières colorées. Ce faisant, nous conduirons les élèves à distinguer le comportement de la matière colorée (et notamment les mélanges de pigments qui leur sont familiers) et celui de la lumière colorée.

Activité n° 4 : Additionner les lumières colorées

1. Produire et voir des couleurs avec des mélanges de lumières colorées

Les situations proposées maintenant ont pour but de créer un conflit entre ce que les élèves s'attendent à voir et ce qu'ils observeront en effet. Cette déstabilisation vise à les doter d'une nouvelle approche de la couleur, différente de celles qu'ils ont acquises en art visuel par exemple, lorsqu'ils ont mélangé certaines peintures pour en obtenir de nouvelles.

Chaque groupe d'élèves dispose de trois sources de lumière de différentes couleurs : une source rouge, une verte et une bleue. On leur demande quelles couleurs ils peuvent fabriquer avec toutes ces sources. Leurs réponses sont fortement influencées par la confusion entre les mélanges de peintures et les mélanges de lumières colorées. Certains élèves prévoient, par exemple, qu'ils vont obtenir du « marron en mélangeant du vert et du rouge, ou en mélangeant les trois lumières ». Toutefois, l'expérimentation les conduit à dissocier les deux phénomènes. L'association la plus surprenante est sans doute l'addition du faisceau rouge et du faisceau vert, qui produit de la lumière jaune (et non du marron, comme le mélange de rouge et de vert en peinture). L'addition lumière verte + lumière bleue = lumière cyan, et l'addition lumière rouge + lumière bleue = lumière magenta. Quant à la somme des trois faisceaux rouge, vert et bleu, elle produit de la lumière blanche.

2. Fabriquer des ombres colorées

Pour la plupart des élèves, une ombre est noire, ou grise. Cette dernière activité devrait leur permettre de comprendre qu'une ombre n'est pas un objet matériel noir et qu'elle ne se comporte pas comme une tache sombre. En fait, une ombre est une zone de moindre intensité lumineuse, elle renvoie donc peu de lumière à l'œil. Si elle est éclairée par une autre source que celle qui lui a donné naissance, elle va recevoir (et donc renvoyer) une partie de la lumière de cette autre source. Et si cette deuxième source est colorée, alors l'ombre deviendra une zone colorée comme nous allons le voir. Comprendre la formation des ombres colorées n'est possible que si l'on a parfaitement intégré le fait qu'une ombre n'est pas une chose !

Étape 1 : On demande tout d'abord aux élèves de prévoir ce qu'ils verront s'ils éclairent un objet (leur stylo, par exemple) avec une lumière rouge. Le stylo est placé verticalement sur une feuille de papier blanc. Les élèves

observent l'ombre du stylo sur la table. Celle-ci apparaît gris foncé. Elle est entourée de lumière rouge.

Étape 2 : Que se passe-t-il maintenant si l'on éclaire ce même stylo à la fois en lumière rouge et en lumière verte (les deux sources étant placées l'une à côté de l'autre) ? Que verra-t-on sur la feuille de papier ? Pourquoi ? Certains élèves prévoient qu'ils vont obtenir deux ombres entourées de lumière jaune, résultat de l'addition des lumières verte et rouge. Mais aucun d'entre eux n'imagine que les ombres obtenues puissent être colorées, ce qui est pourtant le cas comme l'atteste la vérification expérimentale : l'ombre précédente est éclairée en lumière verte et renvoie donc cette lumière verte vers les yeux de l'observateur qui voit... une ombre verte. Par ailleurs, le stylo intercepte une partie de la lumière verte. Il se forme une deuxième zone d'ombre éclairée cette fois-ci en lumière rouge. Les élèves observent donc deux ombres du stylo, chacune de couleur distincte, l'une rouge, l'autre verte. Autour de ces zones, les couleurs se mélangent. Lumière rouge + lumière verte = lumière jaune.

Étape 3 : Que se passe-t-il maintenant si l'on éclaire le stylo avec une source bleue et une source rouge ? Puis avec trois sources : bleue, rouge et verte ? Cette étape semble difficile pour les élèves de cycle 3. En fait, chacune des ombres formées par les trois sources lumineuses est éclairée par deux sources. Elle renvoie donc un mélange de deux lumières colorées vers l'œil de l'observateur. On s'attend donc à voir sur l'écran trois zones circulaires magenta, jaune et cyan, entourées d'un mélange de lumières verte, bleue et rouge, soit de la lumière blanche !



L'interprétation globale de l'arc-en-ciel paraît difficilement accessible à des élèves de l'école primaire ou de collège. Pourtant, la voie ouverte par les savants de langue arabe à partir du x^e siècle après J.-C. permet d'amorcer en classe la compréhension d'un phénomène merveilleux qui continue de fasciner la plupart des enfants.