

Théorie de la vision et du rayon lumineux d'Ibn al-Haytham

Une séquence du projet *Les découvertes en pays d'Islam*

Résumé

Au XI^e siècle de notre ère, Ibn al-Haytham explique pour la première fois dans l'histoire des sciences que si l'on voit, c'est parce que les objets qui nous entourent nous envoient, dans les yeux, une partie de la lumière qu'ils reçoivent. En reprenant quelques expériences imaginées par le savant arabe, les élèves découvrent plusieurs propriétés de la lumière, notamment sa propagation en ligne droite.

Le rayon lumineux

Ibn al-Haytham, la lumière et la vision <i>Cécile de Hosson</i>	2
Comment voit-on les objets qui nous entourent ? <i>À la découverte de la lumière</i> <i>Cécile de Hosson, avec la collaboration de Véronique Delaye</i>	11
Texte pour enfants <i>Anne Fauche</i>	19

Ibn al-Haytham, la lumière et la vision

Comment voit-on les objets qui nous entourent ? Quel phénomène physique explique que ce livre que vous avez sous les yeux soit... visible ? Aujourd'hui, de telles questions font presque sourire, et sans doute n'auriez-vous aucun mal à y répondre : si les objets sont visibles, c'est parce qu'ils renvoient dans nos yeux une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Derrière l'apparente simplicité de cette réponse se cachent pourtant des siècles de vives querelles. Et il fallut attendre le début du xvii^e siècle pour que le physicien Johannes Kepler y mette un terme en proposant une théorie géométrique de la vision : celle de l'image rétinienne. Cette théorie n'aurait sans doute pas pu voir le jour sans les travaux d'un savant arabe du nom d'Ibn al-Haytham qui, au xi^e siècle, va s'intéresser au mécanisme de la vision d'une manière tout à fait inédite : avec Ibn al-Haytham, la « lumière » devient un concept physique à part entière, et pour la première fois, la méthode expérimentale apparaît comme un cadre d'élaboration des découvertes scientifiques.

Avant Ibn al-Haytham : les Grecs

Dès le v^e siècle avant J.-C., de nombreux savants s'attachent à expliquer le phénomène de la vision sans qu'ils s'accordent sur une réponse unique. Pour certains, la vision se produit lorsque le « feu de la vue », envoyé par l'œil, rencontre la surface d'un objet à regarder. Cette théorie fera des émules chez des savants tels qu'Euclide ou Ptolémée, mais également chez les stoïciens¹. Ainsi, au ii^e siècle après J.-C., le grand médecin Galien soutient l'idée que

l'œil envoie vers les objets à regarder une substance invisible, le « pneuma », sorte d'excroissance tactile dotée de propriétés semblables à celles d'un bâton. À l'opposé, les atomistes, parmi lesquels Démocrite, Leucippe et, bien plus tard, le poète Lucrèce, expliquent la vision selon un mode inverse : les objets envoient continuellement des répliques d'eux-mêmes, des *effluves*, des *simulacres* ou *eidola* en grec, qui voltigent en tous sens et appuient sur l'air qui, lui-même, appuie sur les humeurs liquides de l'œil, un peu comme le ferait un tampon sur de la cire. Quant à la lumière elle-même, sa nature ne fait l'objet d'aucune interrogation.

Au-delà des théories antagonistes que nous venons de présenter, l'idée d'un agent intermédiaire émerge dès le iv^e siècle avant J.-C., chez Aristote. Pour ce dernier en effet, la vision est, comme tous les autres sens, un processus qui se produit lorsqu'un organe sensoriel (le nez, la bouche, l'œil, etc.) se trouve « mû » par une impression spécifique venant des objets, le « sensible propre ». Et pour Aristote, le « sensible propre » de la vue, c'est la couleur : « La sensation consiste à être mû et à pâtir [...]. C'est moyennant une passion subie par l'organe que se produit la sensation. [...] J'appelle sensible propre celui qui ne peut être perçu par un autre sens et qui ne laisse aucune possibilité d'erreur : tels pour la vue la couleur, pour l'ouïe le son, pour le goût, la saveur². »

Les savants de la science occidentale médiévale et préclassique hériteront de la controverse autour du « sens » de la vue et reprendront à leur compte les théories du « feu visuel » et des « simulacres ». Malgré les contributions marquantes des perspectivistes anglais du xiii^e siècle, tels Robert Grosseteste, Roger Bacon ou encore John Pecham³, les querelles perdureront en Europe jusqu'au début du xvii^e siècle, alors que déjà au début du xi^e siècle, en Égypte, Ibn al-Haytham élaborait le premier concept physique de « lumière », concept qui allait constituer une avancée décisive dans l'histoire du mécanisme optique de la vision.

Ibn al-Haytham et les théories de la vision

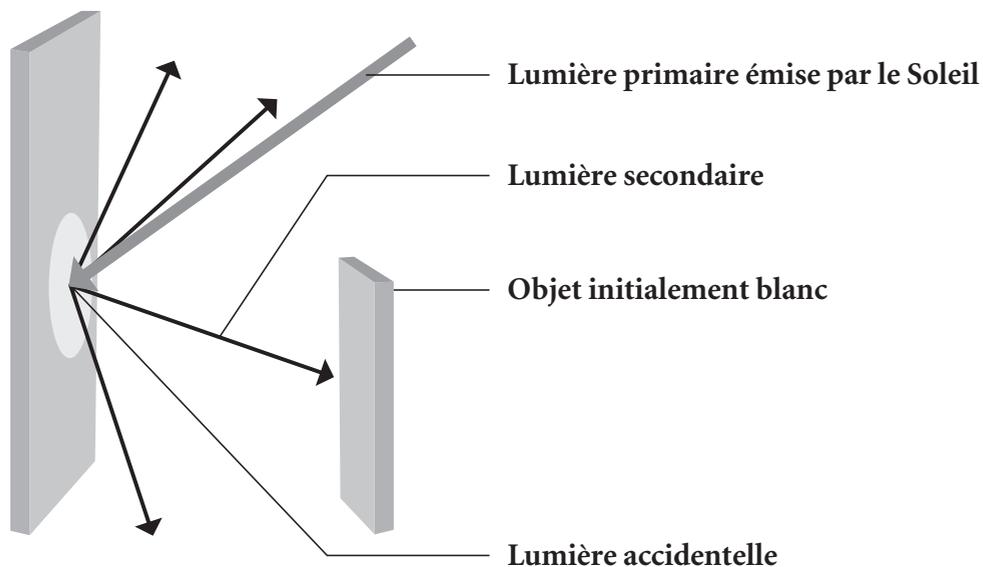
Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham (Ibn al-Haytham) naît à Bassora (Irak) vers 965 après J.-C. Attiré par l'effervescence intellectuelle qui règne alors en Égypte, il se rend au Caire sous le règne du calife fatimide al-Hakim. Il entreprend alors l'écriture d'un grand *Livre de l'optique*, le *Kitâb al-manâzîr*, dans lequel il décrit de façon extrêmement minutieuse toutes les étapes de l'élaboration de son nouveau modèle de la vision. Cette élaboration s'appuie sur une démarche où l'expérimentation joue un rôle de premier ordre : chaque avancée théorique est présentée comme découlant d'observations faites au cours d'expériences savamment imaginées. À travers ce livre, Ibn al-Haytham devient sans doute le premier à mettre en place la méthode expérimentale.

Dès les premières lignes du *Kitâb al-manâzîr*, Ibn al-Haytham inscrit son propos dans les débats qui opposent les tenants du « feu visuel » et ceux des « simulacres », rejetant de façon radicale les théories des premiers⁴. Pour cela, il recourt à deux phénomènes facilement observables : la dilatation de la pupille de l'œil et l'éblouissement. Commençons par l'éblouissement. Si un observateur est gêné lorsqu'il ouvre les yeux vers le soleil, c'est que l'œil n'est pas actif dans le processus de la vision et qu'il n'émet aucun « flux visuel ». Si tel était le cas, l'observateur devrait être capable de contrôler le flux envoyé, et il n'aurait aucune raison de souffrir en regardant un objet plutôt qu'un autre. L'œil est donc passif et sensible à un agent extérieur dont il a, dans une certaine mesure, le pouvoir de réguler l'effet. Cette certitude, Ibn al-Haytham la tient des descriptions anatomiques de l'œil dont il dispose et auxquels il consacre un chapitre entier de son traité d'optique.

Le rôle de chacune des parties de l'œil s'y trouve explicité et la pupille est présentée comme une petite ouverture susceptible de s'agrandir ou au contraire de se rétrécir sous l'effet des variations d'un agent provenant de l'extérieur. Pour autant, Ibn al-Haytham ne souscrit pas non plus aux théories atomistes. Selon lui, il est absurde de penser que la réplique d'une montagne, qui est très grande, puisse passer par l'ouverture de l'œil, qui, elle, est toute petite. Mais alors, si l'agent extérieur n'est pas une sorte de « copie » de l'objet, demande-t-il, qu'est-ce que cela peut être ? Pour lui, la réponse est claire : il s'agit de la lumière. Et voilà comment il s'y prend pour en convaincre le lecteur.

1. Les objets ordinairement éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent

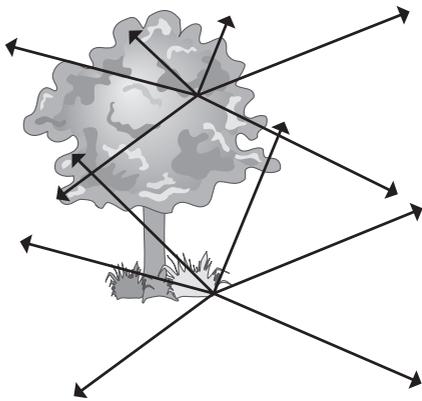
La première étape consiste à démontrer que n'importe quel objet éclairé se comporte comme une source lumineuse et renvoie la lumière qu'il reçoit dans toutes les directions. Pour cela, il recourt à l'expérience suivante : « Si un objet de couleur est placé à la lumière du soleil près d'un autre objet parfaitement blanc placé, lui, dans une zone ombragée, alors, la couleur du premier objet apparaîtra à la surface du second objet⁵. » Ibn al-Haytham poursuit et propose l'explication suivante : « De la lumière provenant d'un corps lumineux par lui-même (appelons-la lumière primaire ou essentielle) donne naissance à une lumière accidentelle à la surface de l'objet coloré d'où émane une lumière secondaire qui vient colorer l'objet blanc placé dans la zone ombragée » (voir la figure ci-dessous). Ce phénomène n'est pas une évidence de sens commun. En effet, la lumière qui est renvoyée par les objets, la lumière « secondaire » pour reprendre la terminologie d'Ibn al-Haytham, n'est pas visible et ne provoque, en général, aucun effet perceptible. En imaginant que les objets éclairés se comportent comme des sources lumineuses, Ibn al-Haytham réalise une avancée conceptuelle majeure, la première d'une longue série.



Schématisme de l'expérience de diffusion décrite par Ibn al-Haytham. L'objet de couleur éclairé par le soleil renvoie la lumière secondaire vers l'objet blanc, qui se colore à son tour.

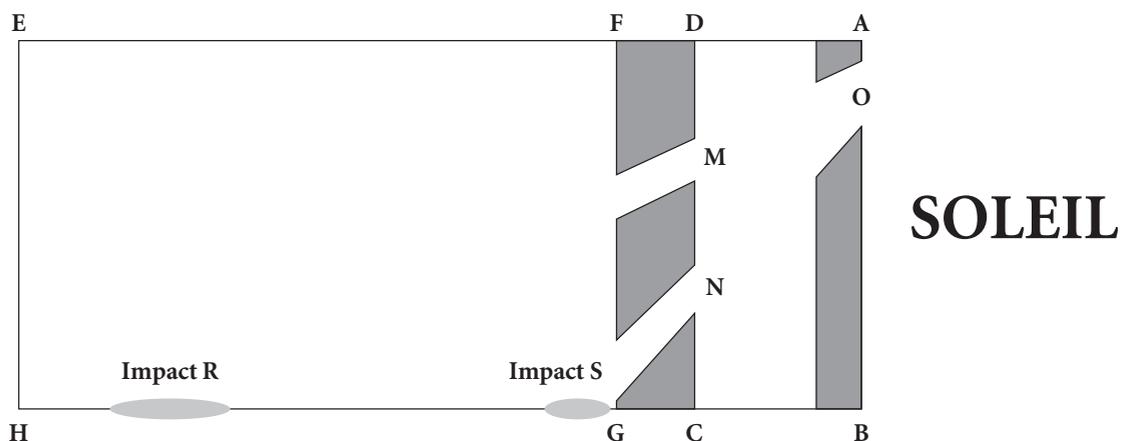
2. La lumière se propage en ligne droite à partir d'un point d'un objet lumineux par lui-même ou par diffusion

Ibn al-Haytham s'attache ensuite à caractériser le trajet de la lumière (que celle-ci soit émise par des objets lumineux par eux-mêmes ou non) et en propose un modèle géométrique. Dans un premier temps, il a l'idée de décomposer n'importe quelle source lumineuse en un ensemble de tout petits points eux-mêmes lumineux d'où émane, selon les cas, la lumière primaire ou la lumière secondaire (voir la figure ci-dessous).



Cet arbre, éclairé par le soleil, est considéré par Ibn al-Haytham comme un ensemble de petits points lumineux d'où est émise la lumière secondaire (ici, seuls deux points sont figurés). Attention : sur ce dessin, la lumière primaire n'est pas représentée.

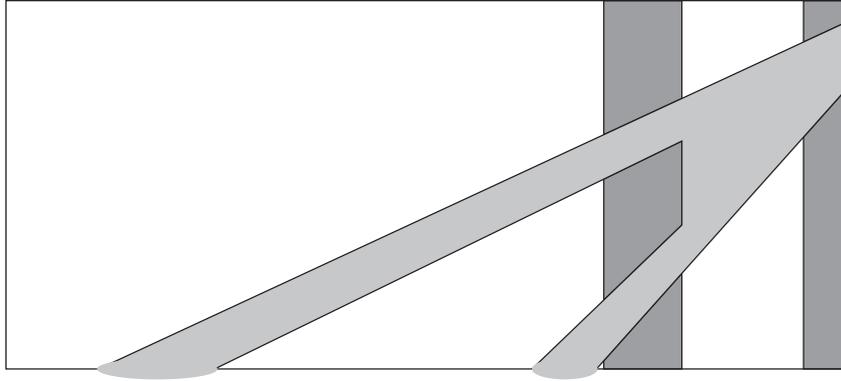
Puis, par une série d'expériences ingénieuses réalisées à l'aide de murs percés, il démontre que la lumière se propage suivant des lignes droites. Considérons par exemple le dispositif suivant : une pièce ABCD est éclairée par le soleil grâce à une ouverture circulaire située en O. Cette pièce est séparée d'une seconde pièce EFGH par un mur épais percé de deux ouvertures M et N (voir la figure ci-dessous). Deux impacts lumineux R et S apparaissent dans la pièce EFGH.



Représentation schématique du dispositif proposé par Ibn al-Haytham pour démontrer la propagation rectiligne de la lumière (voir *Kitâb al-manâzir*, livre I, chap. III).

Le rayon lumineux

La forme et la disposition des impacts lumineux ne peuvent s'expliquer que par le fait que la lumière primaire qui les crée se propage en ligne droite depuis l'ouverture O, ainsi que le montre la figure suivante.



La formation des impacts lumineux s'explique par le fait que le trajet de la lumière du soleil peut être représenté par des lignes droites.

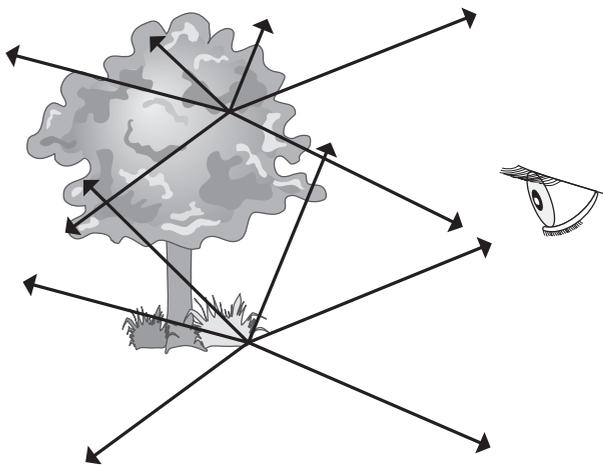
3. La lumière a un effet sur l'œil

Reste enfin à montrer que la vision se produit lorsque l'œil reçoit la lumière secondaire émise par les objets éclairés. En fait, et aussi paradoxal que cela puisse paraître, le phénomène de l'éblouissement marque le point de départ de la démonstration d'Ibn al-Haytham. Pour lui, si la lumière blesse l'œil et perturbe la vue, c'est qu'elle a un effet particulier sur l'œil : « Nous avons remarqué que lorsque l'œil fixe une lumière intense, celui-ci est blessé. De même, lorsqu'un observateur se tourne vers le soleil, il lui est impossible de le regarder fixement car son œil est blessé par la lumière provenant du soleil [...]. Tout cela montre que la lumière a un effet sur l'œil⁶. » Et pour en déduire que la lumière est le stimulus de la vue, Ibn al-Haytham raisonne non plus sur la lumière en tant qu'entité, mais sur la quantité de lumière que les objets (lumineux par eux-mêmes ou par diffusion) envoient vers l'œil. Il compare pour cela les effets de la lumière à ceux de la douleur : l'éblouissement provoque en général une douleur assez vive et persistante. En revanche, au cours d'une vision normale, aucune gêne n'est ressentie. On pourrait donc penser que, dans ce cas, la lumière n'atteint pas l'œil et qu'elle « reste » sur les objets éclairés. Pour Ibn al-Haytham, il n'en va pas ainsi. D'abord, les objets renvoient continuellement la lumière qu'ils reçoivent et il n'existe pas de seuil en deçà duquel la lumière reçue « reste-

Les Découvertes en pays d'Islam

rait » sur les objets. Ensuite, de même que certaines douleurs sont tout à fait supportables, l'entrée de la lumière dans l'œil peut être parfaitement supportable : « Les effets de la lumière sur l'œil sont de même nature que ceux de la douleur. Mais de même que certaines douleurs sont insupportables, d'autres, au contraire, lorsqu'elles sont plus faibles, ne gênent en rien l'organe qui les supporte. De telles douleurs ne sont alors pas perceptibles. Une lumière faible et modérée n'est pas ressentie comme de la douleur, tandis qu'une forte lumière provoque de la douleur. La seule chose qui change, c'est le plus ou le moins⁷. » Autrement dit, la lumière peut très bien entrer dans l'œil sans que l'on s'en rende compte. Dans ce cas, c'est juste qu'elle arrive en quantité moindre.

Propagation rectiligne de la lumière, décomposition des objets éclairés en un ensemble de points lumineux, traitement quantitatif de la lumière : en quelques pages, Ibn al-Haytham est parvenu à construire un ensemble de principes révolutionnaires, en rupture avec son temps et avec le sens commun, illustrés par un argumentaire expérimental remarquable. C'est à partir de ces principes qu'il formule un modèle optique de la vision qui inspirera de nombreux savants après lui : « Les objets éclairés émettent, dans toutes les directions, de la lumière à partir de l'impact lumineux à leur surface. Lorsque l'œil se trouve face à un objet éclairé, il est situé sur le trajet de la lumière qui part de l'objet. Et comme la propriété de la lumière est d'affecter la vue et que le propre de l'œil est d'être sensible à la lumière alors, la vue s'exerce grâce à la lumière qui, partant de l'objet, atteint l'œil » (voir la figure ci-dessous).



Le modèle de la vision selon Ibn al-Haytham. L'observateur voit l'arbre lorsque que de la lumière provenant de chacun des points de cet arbre pénètre, en quantité ni trop forte ni trop faible, dans son œil. Là non plus, la lumière primaire n'est pas représentée.

Ibn al-Haytham meurt au Caire après 1040. Ses écrits, connus et traduits en Europe dès le XIII^e siècle, influenceront les travaux des savants européens des XIV^e et XV^e siècles, qui se réclameront de sa pensée et lui rendront des hommages fervents. Au XVII^e siècle, Kepler s'appuiera explicitement sur ses principes optiques pour élaborer sa théorie de la formation de l'image rétinienne. Les avancées conceptuelles d'Ibn al-Haytham marquent donc le début d'une nouvelle ère pour l'optique qui devient, avec lui, la science de la lumière.

Notes

1. On associe souvent les Anciens à la découverte du « rayon lumineux » et des lois de la propagation de la lumière. En fait, si Euclide et Ptolémée travaillent à établir les premières lois de la réflexion, celles-ci concernent la modification du trajet de la substance émise par l'œil et non celui de la « lumière », qui n'est alors pas définie comme un objet indépendant susceptible de se déplacer. Sous la plume d'Euclide, le « rayon » devient l'outil géométrique du regard, non celui de la lumière. Voir, à ce sujet, Gérard Simon, *Le Regard, l'être et l'apparence*, Seuil, 1988.
2. Aristote, *De l'âme*, livre II, 5-7. Pour davantage de détails sur la vision chez Aristote, on pourra se reporter à l'ouvrage de Bernard Maitte, *Une histoire de l'arc-en-ciel*, Seuil, 2005.
3. Voir à ce sujet Dominique Raynaud, *La Sociologie des controverses scientifiques*, PUF, 2003.
4. Ibn al-Haytham, comme tous les savants arabes qui s'intéressent à l'optique, se met à l'école des auteurs grecs. Cet héritage est constitué en particulier de la traduction de l'*Optique* d'Euclide et de la majeure partie de l'*Optique* attribuée à Ptolémée, des *Météorologiques* et du traité *De l'âme* d'Aristote ainsi que des travaux de Galien sur l'anatomie de l'œil.
5. Ibn al-Haytham, *Kitâb al-manâzir*, livre I, chap. II.
6. Ibn al-Haytham, *Kitâb al-manâzir*, livre I, chap. II.
7. Ibn al-Haytham, *Kitâb al-manâzir*, livre I, chap. VI.

Les Découvertes en pays d'Islam

Bibliographie

Aristote, *De l'âme*, trad. E. Barbotin, Les Belles Lettres, 1989.

Ahmed Djebbar, *Une histoire de la science arabe*, entretiens avec Jean Rosmorduc, Seuil, coll. « Points Sciences », 2001.

Ibn al-Haytham, *Kitâb al-manâzir, The Optics of Ibn Al-Haytham*, trad. (anglais) A.I. Sabra, Warburg Institute-Université de Londres, 1989, 2 vol.

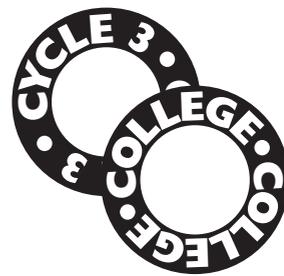
Johannes Kepler, *Paralipomènes à Vitellion (1604)*, trad. C. Chevalley, Vrin, 1980.

Lucrece, *De la nature*, éd. bilingue, trad. E. Ernout, nouv. éd. rev. et corr., Les Belles Lettres, 1985, 2 vol.

Bernard Maitte, *Histoire de l'arc-en-ciel*, Seuil, 2005.

Dominique Raynaud, *Sociologie des controverses scientifiques*, PUF, 2003.

Gérard Simon, *Le Regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*, Seuil, 1988.



Comment voit-on les objets qui nous entourent ? *À la découverte de la lumière*

Objectifs :

Pour voir un objet, il est nécessaire que de la lumière provenant de cet objet pénètre dans les yeux de l'observateur.

Les objets ordinairement éclairés renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent.

Référence au programme :

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

Matériel utilisé :

Cartons colorés, lampes de poche, boîte à chaussures.

Au XI^e siècle après J.-C., Ibn al-Haytham explique pour la première fois dans l'histoire des sciences que si l'on voit, c'est parce que les objets qui nous entourent nous envoient, dans les yeux, une partie de la lumière qu'ils reçoivent. En reprenant quelques expériences imaginées par le savant arabe, nous vous proposons d'aller, avec Nabil et Fadila (*cf.* le texte pour enfant), à la découverte de la lumière et de quelques-unes de ses propriétés.

Les enfants et la vision

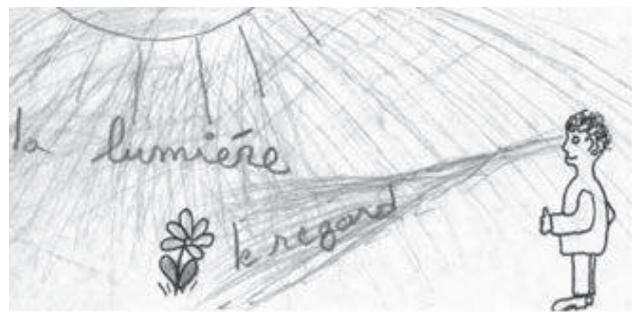
Lorsqu'on demande à de jeunes enfants « comment on voit les objets qui nous entourent », la plupart d'entre eux répondent que si l'on voit, c'est

Les Découvertes en pays d'Islam

parce que l'œil envoie « un regard », « une vision », « la vue », « quelque chose qui prend la forme et la couleur de l'objet », bref, une entité de nature assez mal définie, qui, sortant de l'œil, va à la rencontre des objets à regarder, épouse leur forme, presque comme le ferait une main. Même si ces tendances sont très majoritaires, on notera que certains enfants expliquent que si l'on voit, c'est parce que l'œil reçoit de la lumière et qu'il envoie ensuite quelque chose vers les objets. D'autres, moins nombreux encore, pensent que quelque chose vient frapper l'œil depuis les objets : des couleurs, une image, l'objet lui-même... jamais la lumière ! Bien sûr, tous les enfants savent, comme Nabil, que sans lumière on ne voit rien. Mais son rôle se limite pour eux à éclairer les objets et c'est tout (voir ci-dessous).



« Le soleil, il éclaire la fleur, et le bonhomme, il envoie des trucs, des rayons de voir, et ça lui permet de voir la fleur », Geoffroy (5 ans, école Pasteur, Bailly, 78).



« La lumière éclaire la fleur et l'homme envoie un regard sur elle. »
Franck (9 ans, école Karine, 67).

Il est toujours intéressant de connaître la façon dont les enfants expliquent un phénomène. Cette entrée en matière permet de prendre la mesure du chemin à parcourir, de partir de l'enfant lui-même pour le conduire vers la connaissance (et non l'inverse !) et d'adapter son action pédagogique en conséquence.

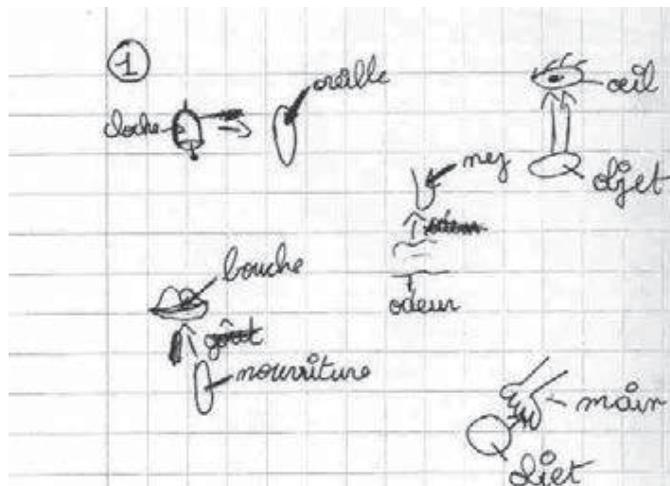
Dans cette perspective, on peut commencer par demander aux enfants d'expliquer comment on voit les objets ordinaires : un stylo posé sur une table, une gomme, leurs camarades de classe... Nous leur proposerons ensuite une série d'activités visant à leur faire comprendre que, s'il est nécessaire de regarder pour voir (en ce sens, la flèche sortant de l'œil sur le dessin a toute sa raison d'être), il est également indispensable que de la lumière

Le rayon lumineux

provenant des objets éclairés pénètre dans l'œil de l'observateur. Signalons que pendant toute la durée des activités proposées, les enfants travaillent par groupes de quatre ou cinq.

Les cinq sens fonctionnent tous de la même façon

Aristote est l'un des premiers à supposer que la vue, comme tous les autres sens, est le résultat de la réception par l'œil de quelque chose provenant de l'extérieur. Cet argument peut constituer un point de départ de notre parcours. En effet, les enfants savent que si l'on entend, c'est parce que le son parvient jusqu'à nos oreilles, que si l'on sent, c'est parce que les odeurs parviennent jusqu'à notre nez, etc. Il est donc possible de leur suggérer que tous les sens obéissent au même mode de fonctionnement : la réception d'un stimulus par un organe spécifique.



Dessin d'un groupe d'élèves de l'école Karine de Strasbourg (67) en réponse à la question : « Pensez-vous que tous les sens fonctionnent de la même façon ? », accompagné du commentaire suivant : « Nous, on pense que oui, parce que chaque partie du corps reçoit quelque chose.

De fait, un raisonnement par analogie guidé par une question du type : « Pensez-vous que tous les sens fonctionnent de la même façon ? » les conduit à admettre assez facilement que la sensation est le résultat d'une mise en contact d'un organe sensoriel avec un agent extérieur (voir le dessin ci-dessus). Ce qui demeure délicat, en revanche, c'est l'identification du stimulus de la vue : « Pour l'ouïe ou l'odorat, on sait ce que c'est, mais pour

la vue... », disent nombre d'entre eux, pourtant convaincus d'une unité dans le fonctionnement général de la sensation. C'est donc ce stimulus que nous allons les aider à découvrir.

La lumière a un effet sur l'œil : l'éblouissement et la dilatation de la pupille

Lisons maintenant le texte pour enfants. Plusieurs questions restent sans réponse : pourquoi Nabil ne peut-il pas regarder le soleil en face ? de quoi parle Fadila lorsqu'elle évoque les « points noirs au milieu de nos yeux » ? Intéressons-nous tout d'abord à la pupille, ce petit trou placé devant la cornée, sorte de diaphragme qui régule la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil. La dilatation de la pupille est facilement observable. L'expérience suivante permet de s'en rendre compte. Les enfants sont placés deux par deux, l'un en face de l'autre, dans une pièce sombre, sans lumière. Au moment précis où le maître allume les lampes de la classe, les enfants constatent que les pupilles du camarade placé en face d'eux se rétractent très rapidement. À ce stade, il convient d'être vigilant sur les raisons invoquées par les enfants : le rétrécissement de la pupille n'est pas forcément associé à l'entrée de la lumière dans l'œil, mais au simple fait qu'il y a de la lumière dans la pièce ! Le lien avec l'entrée de la lumière dans l'œil peut alors être suggéré par l'évocation d'une situation d'éblouissement : « Est-ce vraiment parce que Nabil est trop jeune qu'il ne peut pas regarder le soleil ? » Non, bien sûr, c'est parce qu'il ne supporte pas qu'une trop grande quantité de lumière pénètre dans son œil. Les enfants comprennent cela très facilement. La pupille aurait donc pour rôle de contrôler l'entrée de la lumière dans l'œil. Ce phénomène est d'ailleurs particulièrement marqué chez le chat.

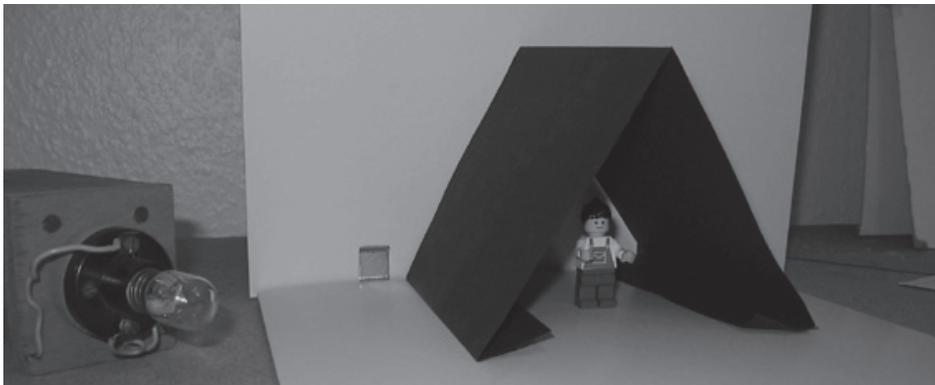
Mais quel lien y a-t-il avec la vision des objets ordinaires ? Pour le savoir, il est nécessaire de construire l'idée que les objets éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent.

Les objets renvoient la lumière qu'ils reçoivent...

Ce phénomène s'appelle la « diffusion ». Il peut être observé en éclairant une feuille colorée en lumière blanche à proximité d'un mur blanc. À condition

Le rayon lumineux

d'orienter convenablement la lampe et la feuille colorée, on constatera que le mur se teinte de la couleur de la feuille : la lumière issue de la lampe est renvoyée par la feuille colorée sur le mur blanc qui renvoie à nouveau cette lumière dans les yeux de l'observateur. La diffusion peut être découverte par les enfants grâce à des expériences conçues pour répondre à la question suivante : « Comment faire pour qu'une boule blanche se colore de vert d'un côté et de rouge de l'autre en utilisant uniquement des ampoules blanches ? » Les enfants disposent de feuilles de couleur, de lampes de poche et d'une grosse boule de polystyrène blanc. Après quelques essais, ils parviennent à obtenir une boule rouge et vert et comprennent que les feuilles de couleur ont renvoyé la lumière de la lampe vers la boule blanche.



On peut alors leur proposer d'autres expériences mettant en jeu le phénomène de diffusion. Chaque groupe d'enfants dispose par exemple du montage de la photographie ci-dessus (afin que le faisceau lumineux soit exclusivement dirigé vers l'avant et pour éviter toute diffusion parasite de la lumière, il est vivement conseillé de couvrir la lampe d'un manchon de papier noir). L'enseignant demande alors : « Si on éteint toutes les lampes sauf celle du montage, pourrez-vous voir le personnage sous sa tente ? Pourquoi ? » Beaucoup d'enfants pensent qu'à partir du moment où la lampe est allumée, le personnage devient visible. Or, il n'en est rien : lorsque la lampe est allumée, la lumière n'atteint pas le personnage. Celui-ci ne renvoie donc aucune lumière dans l'œil de l'observateur placé en face de lui. On demande alors aux enfants de trouver un moyen de voir le personnage sans toucher à l'orientation de la lampe. Certains proposent d'intercepter le faisceau lumineux avec un miroir pour renvoyer la lumière vers le personnage, d'autres suggèrent d'utiliser une feuille de papier blanc. En fait, on peut remplacer

Les Découvertes en pays d'Islam

le miroir par tout autre écran, y compris un écran noir (une feuille noire renvoie au minimum 10 % de la lumière qu'elle reçoit) ! Le plus amusant est de remplacer le miroir par sa propre main ou par des écrans de couleurs différentes. Dans ce dernier cas, on pensera systématiquement à demander aux enfants : « Que verra-t-on si j'intercepte le faisceau de lumière par une feuille de couleur bleue, rouge, etc. ? » Les objets éclairés renvoient donc de la lumière. Le personnage sous sa tente également. En effet, si la lumière repart des feuilles de couleur qui interceptent le faisceau de la lampe ou du miroir, il n'y a pas de raison qu'elle s'arrête en atteignant le personnage ! Mais alors, c'est peut-être cela, le « quelque chose » qui, venant des objets, vient frapper l'œil, et qui fait que l'on voit.

... et on voit lorsque cette lumière pénètre dans l'œil

Il reste pourtant une difficulté de taille à surmonter. En effet, beaucoup d'enfants ne reconnaissent que de la lumière entre dans leurs yeux que dans le cas où ils ressentent une certaine gêne. Il existe pour eux un seuil en deçà duquel la lumière ne « repart » pas des objets éclairés. Ce seuil est subjectif, il correspond au moment où leur vue n'est plus perturbée. Or, lorsque la vue s'exerce sans douleur (c'est-à-dire la plupart du temps), la lumière pénètre dans l'œil mais en quantité moindre. Il en va de même pour l'ouïe : si un bruit assourdissant est vite insupportable, un son modéré provoque une sensation agréable. Il s'agit donc ici de conduire les enfants vers l'idée que l'œil reçoit continuellement de la lumière depuis les objets éclairés alors même que l'on ne s'en rend pas compte. L'analogie avec l'ouïe peut être un bon point de départ, surtout si elle s'est révélée efficace lors de la première étape.

Les enfants savent maintenant que s'ils voient, c'est parce que les objets éclairés envoient de la lumière dans leurs yeux. L'animation reprend pas à pas le cheminement intellectuel que nous venons de faire avec les élèves. Il serait donc judicieux de l'utiliser à ce stade de la séquence comme document de synthèse. Il s'agit désormais de caractériser certaines des propriétés de cette lumière, notamment son invisibilité et le caractère rectiligne de sa trajectoire.

La lumière est invisible « de profil »

Pour la plupart des enfants, la lumière s'apparente aux sources qui lui donnent naissance (les lampes, le soleil, la flamme d'une bougie) ou aux impacts lumineux visibles sur les objets. Ainsi, ils sont persuadés qu'ils verraient la lumière si celle-ci passait à côté d'eux. À l'appui de cette certitude, ils rappellent souvent que les faisceaux laser ou la lumière des phares des voitures sont visibles la nuit (ce qui est visible, ce sont en fait les particules en suspension dans l'air, notamment les petits grains de poussière ou les fines gouttelettes d'eau. Ces particules renvoient la lumière qu'elles reçoivent dans les yeux de ceux qui les regardent). Nous leur proposons donc d'imaginer une expérience qui permette de savoir si la lumière est visible « de profil » ou non. Certains élèves proposent de fermer les volets de la classe et de regarder la lumière qui passe par les interstices des volets. Résultat : aucun trait de lumière n'est visible dans la classe. D'autres suggèrent la construction d'une boîte qui permette de « piéger » la lumière. Il s'agit d'une boîte à chaussures dont l'intérieur est peint en noir et que l'on troue de part en part. Chaque trou est associé à un tube et, sur un côté de la boîte, une petite fenêtre est découpée. Il suffit ensuite d'allumer une lampe de poche placée à l'extrémité de l'un des tubes et de regarder par la fenêtre pour « voir » passer la lumière. Or, après avoir réalisé l'expérience, les enfants constatent qu'une fois de plus, on ne voit... rien ! Certains proposent alors de placer un objet blanc à différents endroits de la boîte et de regarder à nouveau par la fenêtre : alors que l'objet est bien visible lorsqu'il se trouve sur le trajet de la lumière (il renvoie la lumière qu'il reçoit dans l'œil de l'observateur), il demeure invisible s'il se trouve hors du faisceau.

La lumière se propage en ligne droite

Il s'agit maintenant de s'interroger sur le trajet de la lumière. Quelques enfants invitent l'enseignant à reprendre la boîte noire de l'expérience précédente et à allumer la lampe en laissant le couvercle ouvert. Cette proposition suscite un vif débat au sein de la classe : pour certains, cela ne donnera aucune indication quant au trajet suivi par la lumière, puisque celle-ci est invisible. Effectivement, aucun constat ne peut être tiré de cette expérience.



On propose alors aux enfants de réfléchir en groupe à la situation suivante : une boule blanche de polystyrène est éclairée par une lampe. Un écran dans lequel trois trous ont été percés est placé de l'autre côté de la boule. Un schéma accompagne le dispositif expérimental (voir le dessin ci-dessus). À partir du dessin distribué par l'enseignant, les enfants vont chercher à prévoir ce que l'on verra à travers les trois trous lorsque la lampe sera allumée. La mise en commun des dessins permet de constater la diversité des représentations de la propagation de la lumière, souvent tracée courbe, contournant les objets placés sur sa trajectoire, et rarement rectiligne. En fait, l'expérience permet de constater que la source lumineuse n'est visible que depuis les trous du haut et du bas. Depuis le trou du milieu, on parvient à distinguer l'ombre de la boule de polystyrène. La confrontation des prévisions des enfants avec l'expérience conduit la plupart d'entre eux à modifier leur dessin. Certains parviennent alors à l'idée d'une propagation rectiligne de la lumière. À ce stade de l'activité, les enfants peuvent remarquer qu'une ombre est une zone qui ne reçoit pas (ou reçoit peu) de lumière. C'est le cas ici de la zone sombre visible derrière la boule au niveau du trou du milieu : l'œil placé derrière ce trou ne reçoit pas de lumière de la lampe. C'est la raison pour laquelle cette zone, vue de face, apparaît plus sombre. Nous nous appuyerons sur cet acquis pour comprendre la formation des « ombres colorées » (voir le chapitre sur l'arc-en-ciel).

Ainsi donc, si nous voyons les objets qui nous entourent, c'est que ceux-ci renvoient dans nos yeux une partie de la lumière qu'ils reçoivent. Cette lumière n'est certes pas visible, mais l'on peut représenter son trajet par des lignes droites, puisque, précisément, elle se propage en ligne droite tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle. Le parcours pédagogique proposé ici est construit en référence au génie d'un savant arabe qui fut, au XI^e siècle, le premier à développer une véritable démarche expérimentale.

Le jeu favori de Nabil et de sa sœur Fadila était de résoudre les énigmes qui surgissaient dès qu'ils se mettaient à observer ce qui se passait autour d'eux, ou en eux. Ils étaient d'autant plus passionnés qu'avec le temps, un peu de magie s'en mêlait, comme le jour où ils voulurent percer le secret de la lumière...

Ce jour-là, Nabil et Fadila venaient de s'installer sous une petite tente au bord du fleuve. Ils l'avaient confectionnée dans un vieux drap vert qui leur permettait, en plus de se protéger du soleil, de passer inaperçus à qui les chercherait au milieu des papyrus. Ils inspectèrent le paysage qu'ils voyaient par la petite embrasure, jusqu'à ce que Nabil interpelle sa sœur :

— Fadila, comment le grand palmier de l'autre côté du fleuve peut-il passer tout entier par l'entrée de la tente pour que nos yeux puissent le voir ? Il est très haut, l'ouverture de la tente est petite, et nos yeux encore plus !

— Nos yeux lui envoient peut-être de quoi le transformer en une image rétrécie, d'abord jusqu'à l'entrée de la tente, puis jusqu'à eux...

Fadila s'interrompt. Elle regardait Nabil, il lui semblait qu'il était devenu tout vert.

— Nabil, est-ce que tu me vois verte, moi aussi ?

— Oui, c'est bizarre, regarde, même nos vêtements n'ont plus la même couleur !

Il sortit sa main à l'extérieur et, sous la lumière du jour, celle-ci reprit sa couleur ordinaire. Il leva alors les yeux droit vers le soleil, mais la douleur l'obligea à y renoncer et il rentra sous la tente, l'air fâché. Fadila se moqua de lui :

Les Découvertes en pays d'Islam

— Nabil, si tu voyais ta tête, toute verte en plus ! Pourquoi as-tu l'air si furieux ?

— Parce que je ne peux pas regarder le soleil en face !

— C'est à cause des points noirs au milieu de nos yeux, qui ne deviennent pas assez petits. Nous sommes trop jeunes et nos yeux n'ont pas encore appris à le faire !

Nabil n'avait pas l'air convaincu, d'ailleurs il n'avait jamais vu aucun adulte regarder le soleil en face. Fadila changea de sujet pour dérider son frère :

— Et la nuit, tu crois que tu pourrais voir clair sans devoir te transformer en chat ?

— Si, justement, j'aimerais bien être un chat. Le rond noir du milieu des yeux serait une fine fente le jour et un gros cercle la nuit, et mes yeux brilleraient tellement que je verrais tout !

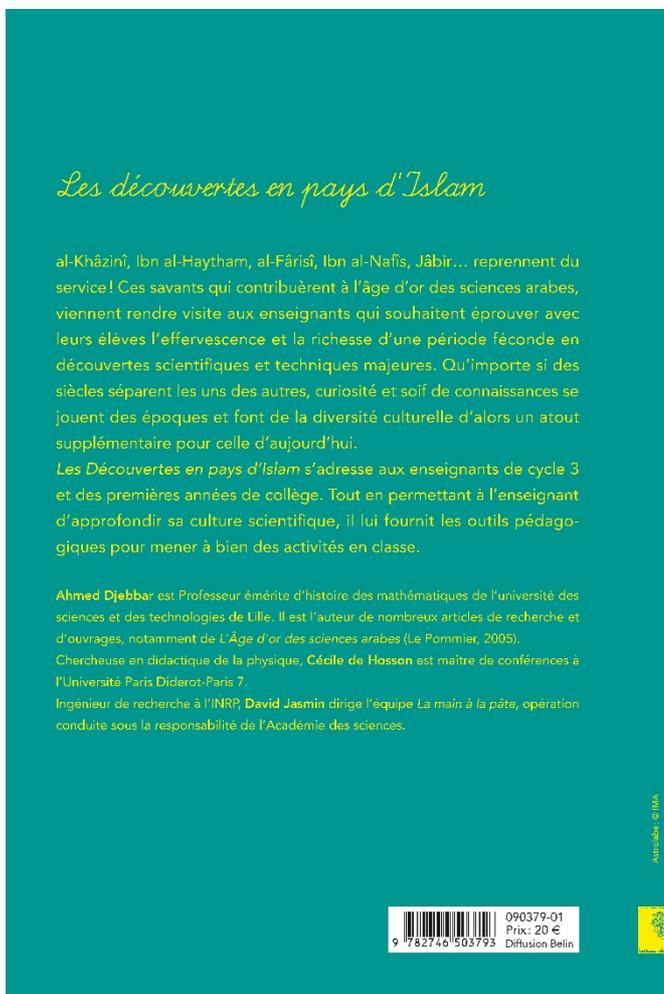
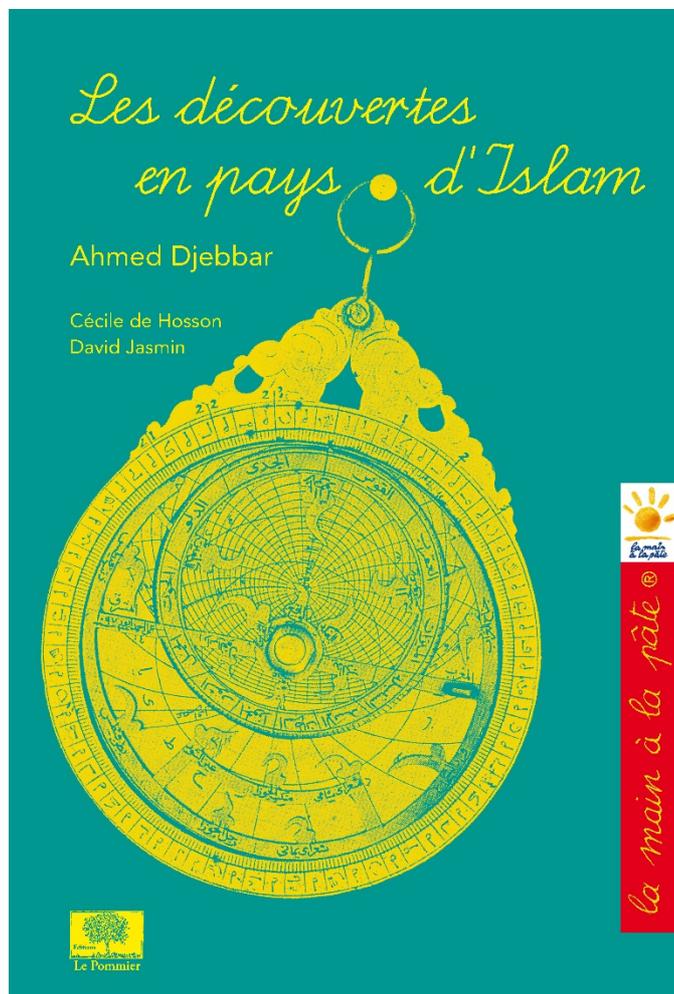
Nabil avait retrouvé le sourire mais il était, comme Fadila, frustré de leurs énigmes restées sans réponse. C'est alors qu'un léger souffle de vent pénétra dans la tente et qu'un homme à la barbe blanche, coiffé d'un turban et habillé d'un long manteau brun s'assit près d'eux :

— Bonjour, je m'appelle Abu Ali al-Hasan ibn al-Haytham. Je vous écoute depuis un moment et je crois que je peux vous aider. Revenez ici demain à la même heure, et je vous aiderai à entrer dans le secret de la lumière, comme je l'ai fait moi-même il y a bien longtemps.

Et l'homme disparut comme il était venu, dans un souffle de vent, inexplicablement. Nabil et Fadila recouvrirent la tente de tiges de papyrus et rentrèrent chez eux, impatients du jour suivant.

Ce qui se passa le lendemain ne nous est pas parvenu, c'était il y a si longtemps, la mémoire s'est perdue ! Il n'en reste pas moins que c'est bien Ibn al-Haytham qui a le premier compris le secret de la lumière et la façon dont nos yeux voient. Et d'une manière ou d'une autre, comme il a autrefois accompagné Nabil et Fadila, il accompagne aujourd'hui tous ceux et toutes celles qui se posent les mêmes questions. D'une manière ou d'une autre...

Cette ressource est issue du projet thématique *Les découvertes en pays d'Islam*, paru aux Éditions Le Pommier.



Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE