



HAL
open science

Un support d'enseignement du mécanisme de la vision inspiré de l'histoire des sciences

C. de Hosson, Wanda Kaminski

► **To cite this version:**

C. de Hosson, Wanda Kaminski. Un support d'enseignement du mécanisme de la vision inspiré de l'histoire des sciences. *Didaskalia* (Paris), 2006, 28. hal-01663312

HAL Id: hal-01663312

<https://hal.science/hal-01663312>

Submitted on 15 Dec 2017

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.

■ COMPTE RENDU D'INNOVATION

Report of innovation

Un support d'enseignement du mécanisme de la vision inspiré de l'histoire des sciences

**A teaching tool for an optical explanation
of vision inspired by some elements
of the history of optics**

**Un soporte educativo para la explicación
del mecanismo de la visión inspirado
de la historia de las ciencias**

**Eine Unterrichtsstütze für die Erklärung
des Mechanismus des Sehens durch Elemente
aus der Geschichte der Wissenschaften**

Cécile de Hosson

Laboratoire de didactique des sciences physiques
Université Paris 7
cecile.dehosson@paris7.jussieu.fr

Wanda Kaminski

IUFM de Reims
Laboratoire de didactique des sciences physiques
Université Paris 7
wanda.kaminski@noos.fr

Résumé

Cet article présente l'élaboration et l'analyse d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision inspiré d'une controverse historique. L'attention portée aux raisonnements d'élèves de 12-13 ans, avant enseignement d'optique, montre que ceux-ci n'associent l'entrée de la lumière dans l'œil qu'à l'éblouissement. D'une façon générale, ils expliquent la vision soit dans un sens œil-objet, soit dans un sens objet-œil. L'histoire antique et médiévale est témoin d'idées analogues : comme les élèves, les savants s'opposent sur le sens de la vue. Dès le XI^e siècle, Alhazen ouvre la voie à un consensus et fournit des arguments permettant de considérer la lumière comme un stimulus de la vue. Le moyen d'enseignement proposé ici est construit en référence au cheminement historique : il intègre la controverse du sens de la vue et la solution d'Alhazen. Ces idées constituent la trame d'un texte (un dialogue) présenté à des élèves de 12-13 ans avant enseignement. L'analyse d'entretiens, menés avec ces élèves, montre que le processus d'apprentissage est favorisé par l'identification des élèves aux savants mis en scène, et indique une prise de conscience de leur acte cognitif qui profite de l'approche historique.

Mots clés : *vision, histoire des sciences, controverse, dialogue, séance d'enseignement.*

Abstract

This paper deals with the development and analysis of a teaching sequence inspired by the age-old controversy surrounding eyesight and its associated mechanism. Prior to being taught about visual optics, the group of 12-13 year olds involved in the study believed that light could only penetrate the eye due to saturation. Furthermore, they felt that human eyesight could be best explained by the emission of something from either the object itself or from the eye. History would have it that in Ancient and Medieval times scholars held similar scientific beliefs surrounding the "direction of vision" (i.e. which, of the eye or the object seen, was the emitter). In the 11th century Alhazen opened the way to consensus by arguing that sight might well be a result of the eye being stimulated by light. The teaching sequence developed here makes reference to these historical events by assimilating both the "direction-of-vision" controversy as well as Alhazen's theory on eyesight. The ideas were integrated into a dialogue which was tested on twelve 12-13 year olds. Analysis of the pupil input shows that they are more implicated in the learning process when they identify with the actors on stage playing the roles of scholars.

Keywords: *eyesight, history of science, controversy, dialogue, teaching-learning sequences.*

Resumen

Este artículo presenta la elaboración y el análisis de un soporte educativo para la explicación del mecanismo óptico de la visión, soporte inspirado de una controversia histórica. Los razonamientos observados en alumnos de 12 a 13 años antes de abordar el tema de la óptica, muestran que éstos sólo asocian la entrada de la luz en el ojo al deslumbramiento. De manera general, explican la visión, sea en un sentido ojo-objeto, sea en un sentido objeto-ojo. La historia antigua y medieval fue testigo de ideas análogas : como los alumnos, los sabios se opusieron sobre la dirección de la vista. Ya en el siglo XI, Alhacén abrió el camino a un consenso y proporcionó argumentos que permitieron considerar la luz como un "stimulus" de la vista. El apoyo educativo propuesto aquí se construye en referencia a la progresión histórica. Estas ideas constituyen la trama de un texto (un diálogo) presentado a alumnos de 12 a 13 años antes de la explicación. El análisis de las conversaciones llevadas a cabo con dichos alumnos, muestra que el proceso de aprendizaje se encuentra favorecido por la identificación de los alumnos con los sabios puestos en escena e indica una toma de conciencia de su acto cognitivo que se beneficia de la perspectiva histórica.

Palabras clave: *visión, historia de las ciencias, controversia, diálogo, secuencia de enseñanza.*

Zusammenfassung

Dieser Artikel stellt die Ausarbeitung und die Analyse einer Unterrichtsstütze dar, die für die Erklärung des optischen Mechanismus des Sehens aus einer historischen Kontroverse entwickelt wurde. Die Aufmerksamkeit, die vor Beginn des Optikunterrichts den Gedankengängen von zwölf- bzw. dreizehnjährigen Schülern geschenkt wurde, zeigt, dass für diese Schüler Licht in ihre Augen nur dann eindringen kann, wenn sie geblendet werden. Im allgemeinen erklären sie das Sehvermögen entweder in einer Richtung Auge-Gegenstand oder in einer Richtung Gegenstand-Auge. Die Geschichte der Antike und des Mittelalters weist ähnliche Vorstellungen auf: wie die Schüler sind die Wissenschaftler gegensätzlicher Meinung über die Richtung des Sehens. Schon im 11. Jahrhundert bahnte Alhazen den Weg für einen Konsens und führte Argumente an, die es ermöglichten, das Licht als Stimulus für das Auge zu betrachten. Die hier vorgeschlagene Unterrichtsstütze bezieht sich auf die historische Entwicklung: sie integriert die Kontroverse über die Richtung des Sehens und die Lösung von Alhazen. Diese Ideen bilden die Grundlage eines Textes (eines Dialogs), der vor Beginn des Unterrichts zwölf- bzw. dreizehnjährigen Schülern vorgelegt wurde. Die Untersuchung der mit diesen Schülern geführten Gespräche zeigt, dass der Lernprozess durch die Identifikation der Schüler mit den in Szene gesetzten Wissenschaftlern begünstigt wird und weist auf eine

mögliche Bewusstwerdung ihres kognitiven Akts hin, der seinerseits Nutzen aus der historischen Herangehensweise zieht.

Schlüsselwörter: *Sehen, Geschichte der Wissenschaften, Kontroverse, Dialog, Unterrichtssequenz.*

INTRODUCTION

L'acquisition du mécanisme optique de la vision implique que l'élève modifie ses conceptions et qu'il construise un modèle dans lequel la lumière devient une entité invisible qui relie l'objet regardé à l'œil de l'observateur. Cette construction nécessite un effort d'abstraction important qui mérite une aide particulière. En complément de toutes les formes d'accompagnement pédagogique disponibles (expériences, études de documents papier ou vidéo...), nous avons choisi d'utiliser un support littéraire : un dialogue inspiré du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de Galilée, que nous avons élaboré à partir d'éléments d'histoire des théories de la vision.

L'utilisation de la forme littéraire dialoguée à des fins pédagogiques est omniprésente dans l'histoire des idées et dans celle plus particulière des sciences. Au V^e siècle avant J.-C., les dialogues platoniciens apparaissent comme une transposition littéraire des exigences philosophiques de la rhétorique définie par Platon : l'art oratoire doit servir ce que Platon appelle la « psychagogie », c'est-à-dire la formation des esprits. Celle-ci a pour procédé la dialectique et pour but la recherche de la vérité. Et c'est par la méthode dite de la « maïeutique » (celle de l'accouchement) que le fondateur de l'Académie, par la voie de Socrate, amène ses disciples sur le chemin de la connaissance. Galilée (1632) reprend, plus de vingt siècles plus tard, la structure fondatrice de la forme dialoguée socratique afin de mettre en scène la science de son temps.

Les modalités pédagogiques et littéraires du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* sont telles qu'elles poussent le lecteur à s'identifier, non avec la figure même de Galilée, mais avec un représentant de l'opinion commune. Le lecteur est ensuite amené à récuser cette opinion et à lui substituer des idées novatrices par la réalisation de ce que Feyerabend qualifie de « saut formidable de l'imagination » (Feyerabend, 1975). La genèse de notre dialogue exploite ce même procédé d'identification. Les personnages mis en scène dans le texte s'affrontent sur le « sens » de la vue, jouant ainsi un épisode de l'une des controverses les plus longues de l'histoire des sciences. Une étude portant sur les raisonnements des élèves à propos de la vision nous laisse supposer que cet affrontement fait écho à un débat qui pourrait se tenir au sein d'un groupe d'élèves interrogés sur le fonctionnement de la vision. Sans chercher à réduire l'écart entre la psychogenèse et

l'histoire des sciences, nous prenons le parti d'exploiter la proximité de quelques aspects de l'interprétation de la vision qui constitueraient des obstacles possibles à la construction d'un modèle physique de la vision.

Dans sa tentative d'associer l'histoire des sciences à l'enseignement, notre travail s'inscrit dans un champ qui a fait l'objet de plusieurs recherches en didactique des sciences. Nombre d'entre elles ont su poser les jalons d'une réflexion visant à faire de l'utilisation d'épisodes d'histoire des sciences une ressource pour l'enseignement (Audigier & Fillon, 1991 ; Benseghir & Closset, 1993 ; Guedj, 2005 ; Laugier & Dumon, 2003 ; Méheut *et al.*, 2004 ; Merle, 2002 ; Saltiel & Viennot, 1985). En nous inspirant des principes méthodologiques d'une *teaching experiment* (expérience d'enseignement) (Komorek & Duit, 2004), nous exposerons les réactions d'élèves de 12-13 ans à qui nous avons proposé une séance d'enseignement conçue à partir de ce dialogue. Nous chercherons à caractériser quelques éléments d'évaluation de cette séance. En particulier, nous regarderons si l'intérêt des élèves et leur engagement profitent de la possibilité qui leur est offerte de reconnaître leurs conceptions dans celles exprimées par les personnages du texte.

LES ÉLÈVES ET LE RÔLE DE LA LUMIÈRE DANS LA VISION

L'optique est un domaine qui a donné lieu à de nombreuses recherches en didactique dans le monde (Anderson & Karrqvist, 1983 ; Chauvet, 1994 ; Gallili, 1996 ; Guesne, 1984 ; de Hosson & Kaminski, 2002 ; Kaminski, 1989 ; La Rosa *et al.*, 1984 ; Osborne & Black, 1993 ; Tiberghien, 1983 ; Viennot, 2002). D'une façon générale, rares sont les élèves qui reconnaissent que les objets ordinairement éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent. La lumière est identifiée aux sources primaires dont elle est issue, ou à la zone d'éclairement parfois visible à la surface de l'objet et non à l'entité invisible qui se propage à partir des objets ordinairement éclairés. Ajoutons que pour la plupart d'entre eux, l'entrée de lumière dans l'œil n'est admise qu'au prix de la gêne provoquée par l'éblouissement, situation particulière au cours de laquelle la vision est difficile, voire impossible (de Hosson, 2004).

Nous nous intéressons spécifiquement à la façon dont 227 élèves de 12-13 ans expliquent spontanément la vision (avant tout enseignement d'optique). A partir d'une vignette où figurent une fillette et une fleur, nous leur demandons de répondre à la question suivante : « explique le mécanisme de la vision, c'est-à-dire la façon dont on voit les objets qui nous entourent. Tu peux utiliser la vignette si tu le souhaites. ». L'objectif de cette enquête est de détecter le « sens » privilégié par les élèves pour expliquer la vision. La très

grande majorité des élèves interrogés (204 sur 227, soit 90 % des élèves) répond à cette question en complétant, avec des flèches, la vignette proposée. La figure 1 ci-dessous rend compte des différentes manières d'ajouter des flèches sur les copies recueillies au cours de l'enquête¹.

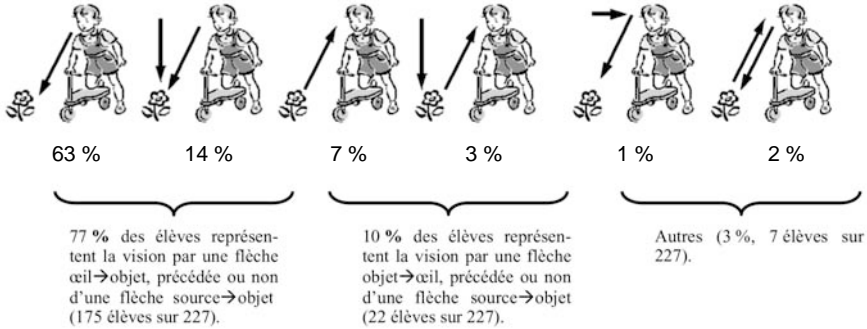


Figure 1 • **Synthèse des résultats obtenus à la question : « explique le mécanisme de la vision ». Ces résultats concernent uniquement les réponses des élèves ayant représenté des flèches sur le dessin, soit 204 élèves sur les 227 interrogés (90 % du total)**

En outre, 14 élèves (sur 227) expliquent la vision par l'envoi de quelque chose depuis l'œil, sans l'aide du dessin. Au total, ce sont 196 élèves sur 227 (86 % des élèves interrogés) qui expliquent la vision à l'aide d'un médiateur orienté dans le sens œil → objet, tandis que 31 élèves sur 227 (14 % des élèves interrogés) privilégient un sens objet → œil. L'attention portée au vocabulaire utilisé par les élèves pour désigner ce qui entre ou ce qui sort de l'œil indique que la lumière n'est que très rarement le protagoniste de leurs explications. Le mot « lumière » apparaît dans 2 % de la totalité des réponses (5 élèves sur 227), et se rapporte à l'entité qui pénètre dans l'œil, sans que celle-ci provienne nécessairement de l'objet regardé. Le phénomène de la diffusion et l'entrée de la lumière dans l'œil constituent les principes fondateurs d'un modèle physique de la vision simple et acceptable. Nous pouvons donc nous attendre à ce que l'acquisition d'un tel modèle soit très difficile pour les élèves.

Un regard sur l'histoire des sciences nous permet de constater qu'il a fallu près de quinze siècles pour que la lumière soit posée pour la première fois comme *stimulus* de la vue, et cinq siècles supplémentaires pour que cette explication soit acceptée de façon consensuelle par la communauté savante (Lindberg, 1976 ; Park, 1997 ; Rashed, 1997 ; Ronchi, 1956 ; Simon, 1988).

(1) Enquête réalisée sur la base d'un questionnaire papier-crayon distribué à 227 élèves répartis dans quatre établissements de Seine-Saint-Denis et des Yvelines.

HISTOIRE DES THÉORIES DE LA VISION : COMMENT LA LUMIÈRE EST DEVENUE LE STIMULUS DE LA VUE

« Lumière : Fluide très délié qui, en affectant notre œil de cette impression vive que l'on nomme clarté, rend les objets visibles. Ce fluide réside, comme intermède, entre l'objet visible et l'organe qui en reçoit l'impression et il occupe, par lui-même et par son action l'intervalle qui les sépare. Ce qui rend la clarté, ce qui rend les objets visibles est donc une matière, dont l'action peut être plus ou moins forte suivant les circonstances. »

Cette définition, adoptée en 1781 par l'Académie royale des sciences (Brisson, 1781), intègre différents éléments conceptuels permettant d'envisager une explication de la vision rationnellement acceptable du point de vue du rôle de la lumière. Elle est l'aboutissement d'un cheminement rationnel de pensée qui passe par l'élaboration d'un certain nombre de principes, celui de la diffusion notamment, et par l'observation raisonnée de quelques phénomènes tels que l'éblouissement et la dilatation pupillaire de l'œil. C'est ce cheminement que nous souhaitons retracer ici.

Entre le V^e siècle avant J.-C. et le II^e siècle après J.-C., la vision fait l'objet d'interprétations diverses et antagonistes. Les penseurs de l'Antiquité qui se sont interrogés sur la manière dont on voit se sont rapidement heurtés au problème du « sens » de la vue. Au V^e siècle avant J.-C., deux théories coexistent (et s'affrontent parfois) : d'une part, celle d'une émission depuis l'œil (théorie de l'extramission) défendue par les platoniciens et par les stoïciens et d'autre part, celle de la réception dans l'œil de quelque chose provenant de l'objet (théorie de l'intromission), soutenue par les atomistes. Pendant près de vingt siècles, et malgré les avancées remarquables de l'optique arabe du XI^e siècle, l'optique physique et physiologique sera témoin de l'une des plus longues controverses de son histoire.

Les premiers savants arabes qui s'intéressent à l'optique se mettent à l'école des auteurs grecs. A la suite d'Aristote (*De l'âme*, 1989 ; *De la sensation et des sensibles*, 2000), Alhazen (*Livre de l'optique*, 1989 ; *Le discours de la lumière*, 1968) rejette de façon radicale les théories extramissionnistes du « rayon visuel » ; il va également s'affranchir des interprétations des atomistes tout en conservant l'idée de réception par l'œil d'un *quid* venant de l'objet. Dans son *Livre de l'optique* (*Kitab al Manazir*), Alhazen expose la démarche qui, de la controverse portant sur le sens de la vue, le conduit à formuler une explication révolutionnaire du mécanisme de la vision, dans laquelle la lumière devient le médiateur invisible entre l'objet et l'œil de l'observateur.

Alhazen va donc prendre part aux débats qui opposent extramissionnistes et intromissionnistes, en analysant avec soin chacune des idées en jeu dans le débat, et se positionne clairement en faveur des théories de l'intromission. L'unité de fonctionnement sensoriel défendue par Aristote dans son

traité *De l'âme* semble avoir joué un rôle déterminant dans la posture adoptée par Alhazen. Rappelons que, d'après Aristote, les sens fonctionnent selon un principe unificateur, celui de la « passion » :

« La sensation consiste à être mû et à pâtir (...). C'est moyennant une passion subie par l'organe que se produit la sensation » (Aristote, *De l'âme*).

Ainsi, la sensation est-elle « l'acte commun du sensible et du sentant ». Par sensible, il faut entendre tout ce qui provient des objets et qui provoque la sensation ; par sentant, les organes des cinq sens lorsqu'ils sont le lieu de la sensation. Appliqué à la vision, ce schème sensitif fait de la vision une « passion » dans laquelle le sentant est l'œil et le sensible la couleur.

Alhazen précise ensuite les conditions qui permettent à la vue de s'exercer. Ainsi un objet peut être vu directement s'il existe un espace ininterrompu et non opaque entre l'œil et l'objet ; si l'on peut conduire des lignes droites imaginaires depuis cet objet vers l'œil et enfin, si de la lumière est présente à la surface de cet objet (nous parlerions aujourd'hui d'impact lumineux). Dans ce dernier cas la lumière présente sur l'objet, la « lumière accidentelle » (Alhazen), envoie dans toutes les directions une « lumière secondaire » accompagnée de la couleur de l'objet. La « lumière accidentelle » est créée par la lumière qui atteint l'objet depuis une source lumineuse, « lumière primaire », ou depuis un autre objet éclairé. Un objet opaque se comporte donc comme une source lumineuse. Le phénomène de la *diffusion* vient d'être interprété pour la première fois. Pour Alhazen, la lumière d'une source lumineuse apparaît sur les corps opaques éclairés, elle s'y fixe et donne naissance à une « lumière secondaire ». Puis Alhazen propose toute une série d'expériences qui tendent à prouver que la lumière et les couleurs affectent la vue et provoquent certains effets sur l'œil :

« L'œil est blessé lorsqu'il regarde une source de lumière très intense, l'œil conserve pendant un certain temps la forme et la couleur d'un objet fortement éclairé, la vue est perturbée si la lumière de l'objet est trop forte ou trop faible ou si une lumière intense éclaire les yeux ou le milieu intermédiaire situé entre l'œil et l'objet » (*Kitab al Manazir*, livre I, chapitre 6, notre traduction).

En fait, et aussi paradoxal que cela puisse paraître, le problème de l'éblouissement semble être au fondement des théories de la vision développées par Alhazen. Pour lui, si la lumière blesse l'œil et perturbe la vue, c'est qu'elle a un effet particulier sur l'œil et sur la vue.

Et pour en déduire que la lumière est le *stimulus* de la vue, il raisonne non seulement sur la lumière en tant qu'objet conceptuel, mais sur la quantité de lumière que les objets (lumineux par eux-mêmes ou par diffusion) envoient vers l'œil :

« 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. Le fait qu'une lumière intense blesse les yeux est la preuve que lumière et douleur sont de même nature. Par conséquent, quels que soient ses effets, perceptibles ou non, ceux provoqués par la lumière sur l'œil sont tous

de même nature et ce qui change ce n'est que le plus ou moins. 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 moins.* » (*Kitab al Manazir*, livre I, chapitre 6, c'est nous qui soulignons).

Autrement dit, l'œil a la sensation de l'éclairement, et cette sensation est commandée par la quantité de lumière qui pénètre l'œil ; l'œil voit l'objet lorsque la quantité de lumière provenant de cet objet n'est ni trop forte, ni trop faible. C'est donc par un traitement quantitatif qu'Alhazen parvient à poser la lumière comme *stimulus* de la vue.

Malgré un argumentaire très expérimental, certains principes énoncés par Alhazen relèvent d'une géniale intuition et non d'une induction empiriste. Ainsi en est-il de la doctrine selon laquelle la lumière est le *stimulus* de la vue. Nous l'avons déjà évoqué, cette doctrine n'est pas une évidence de sens commun. Dire que la lumière entre dans l'œil, même lorsque l'on n'est pas ébloui, et que c'est grâce à cela que l'on voit nécessite la réalisation d'un saut conceptuel dont Alhazen est à l'origine. L'agent médiateur de la vue, celui qui fait le lien entre l'œil et l'objet, est identifié à une entité invisible qui, dans le cas de la vision ordinaire, ne provoque pas d'effet sensible. Tout le génie d'Alhazen réside selon nous dans le fait d'avoir su créer un objet conceptuel (la lumière) qui se prête au jeu d'une intuition quantitative, un objet dont il est possible de parler en termes de plus ou moins. Si l'on s'en tient à une explication de la vision destinée aux élèves de collège, la proposition d'Alhazen exposée ici demeure suffisante et conforme aux exigences scientifiques actuelles.

ACTION DIDACTIQUE

Notre action didactique consiste en la réalisation et en l'analyse d'une séance d'enseignement construite à partir des éléments historiques présentés dans la section précédente et agencés dans une perspective didactique. Cette séance propose l'exploitation d'une courte scène dialoguée que l'une de nous (de Hosson) a elle-même créée (cf. annexe), intégrée à un scénario didactique approprié.

Présentation du *Dialogue sur les manières dont s'effectue la vision*

Le texte est une conversation entre trois personnages qui débattent de la façon dont s'effectue la vision. C'est donc un texte essentiellement argumentatif. Les protagonistes de notre dialogue portent les mêmes noms que ceux du *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* de Galilée, et remplissent une fonction à peu près identique : Simplicio joue le rôle du

contradictoire, Sagredo celui du médiateur, quant à Salviati il est le détenteur de l'autorité. Dans l'échange, Sagredo reste prudent. Son discours est sans cesse modéré par des expressions telles que « sans doute », « il semble que ». Simplicio, quant à lui, est beaucoup plus affirmatif et catégorique. En outre, il s'emporte facilement.

Nous avons essayé de construire un texte qui soit à la fois scientifique et littéraire. Le discours prend les allures d'une conversation plutôt cordiale. Les opinions sont librement exprimées, et la conversation s'achève sur un consensus acquis grâce à la contribution de chacun. Nous avons choisi d'écrire notre dialogue dans un style qui indique explicitement aux élèves que la conversation se déroule dans le passé. Cette modalité d'écriture est pour nous un moyen de signaler aux élèves que les idées dont il est question dans le texte ont réellement existé. Lorsqu'ils reconnaîtront leurs pensées dans celles qu'expriment nos personnages, nous pourrions alors bénéficier des avantages pédagogiques d'un procédé d'identification. En outre, nous avons pris soin, dans la mesure du possible, d'associer leurs idées aux savants qui les représentent, à savoir à Lucrèce (*De rerum natura*, 1985), à Aristote et à Alhazen.

La structure générale du texte est inspirée de la reconstruction historique que nous avons présentée plus haut. Chaque étape de la réflexion s'appuie sur les éléments qui, de notre point de vue, constituent les idées clés d'une élaboration rationnelle du mécanisme optique de la vision, à savoir :

- Les cinq sens fonctionnent sur un principe identique : un organe spécifique est sensible à un *stimulus* extérieur ;
- Une lumière trop forte « blesse » les yeux ;
- Les objets ordinairement éclairés renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent ;
- Un peu de la lumière renvoyée par les objets ordinairement éclairés pénètre dans l'œil de l'observateur.

Ces idées clés forment l'ossature autour de laquelle notre dialogue s'organise. Celui-ci intègre également une part des raisonnements spontanés des élèves à propos de la vision et du rôle de la lumière dans la vision. Notre texte débute par la polémique autour du sens de la vue. Progressivement il va amener les élèves à construire une explication du mécanisme de la vision qui s'appuie sur une nouvelle idée de la lumière. Nous avons cherché à aménager des transitions en créant des filiations entre des idées qui nous semblaient parfois indépendantes les unes des autres, de façon à rendre le passage de l'une à l'autre plus aisé. L'organigramme ci-dessous (voir figure 2) rend compte de l'architecture générale du dialogue, des transitions (le plus souvent sous forme de sauts conceptuels) et des paliers de raisonnement :

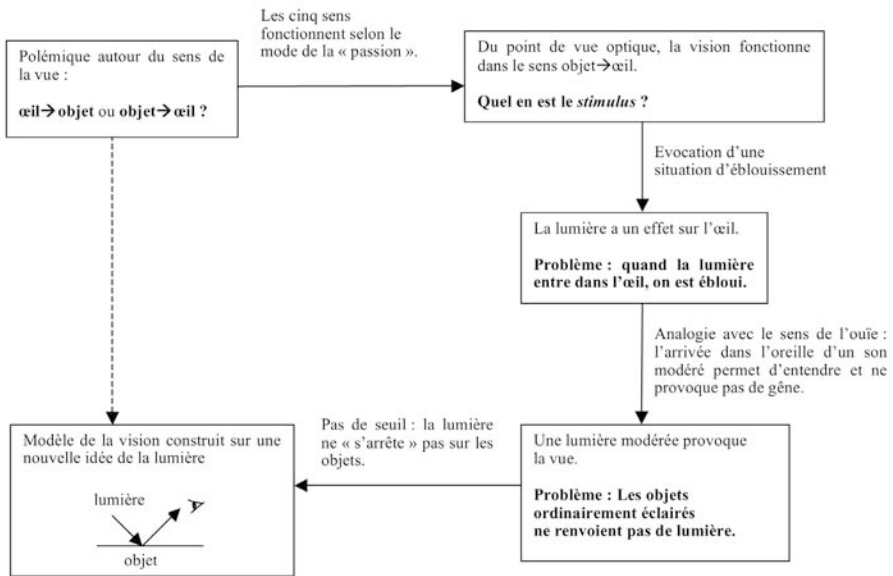


Figure 2 • Organigramme représentant la structure du *Dialogue sur les manières dont se fait la vision*. Les flèches en traits pleins représentent l'itinéraire cognitif du texte. La flèche en pointillés désigne le parcours habituellement emprunté par l'enseignement

La dernière étape de la structure du *Dialogue*, modèle de la vision construit sur une nouvelle idée de la lumière, présentée dans l'organigramme et reprise dans le tableau 1 ci-dessous, est marquée par l'exposition d'une théorie qui rompt avec l'empirisme et le sens commun. Contrairement à ce que pense Simplicio, le fait que la sensation d'éblouissement cesse ne signifie pas que la lumière ne pénètre plus dans l'œil. A ce stade, il est nécessaire que Simplicio revienne sur la relation de causalité qu'il établit entre l'arrivée de la lumière dans l'œil et la sensation d'éblouissement. C'est ainsi qu'il pourra admettre que la lumière entre dans l'œil alors qu'il ne s'en rend pas compte.

DESCRIPTION DE LA RECHERCHE SUR L'IMPACT DE LA SÉANCE

Nous allons désormais examiner la façon dont des élèves n'ayant jamais reçu d'enseignement d'optique s'approprient notre dialogue. Notre intention est de leur proposer une séance d'enseignement construite à partir de ce texte, et de suivre pas à pas leur cheminement. En analysant leurs réactions, en les confrontant avec celles que nous aurons anticipées, nous entendons dégager les éléments qui nous permettront de mesurer l'impact pédagogique et didactique de cette situation d'enseignement. Pour cela, nous faisons le choix d'une expérimen-

tation, non pas lors d'une séance de classe, mais au cours d'entretiens réalisés avec six binômes d'élèves de quatrième interrogés successivement, avant enseignement de l'optique. L'orientation de notre investigation trouve son point d'ancrage dans une réflexion méthodologique plus large centrée sur les « séquences d'enseignement-apprentissage » (Méheut & Psillos, 2004).

Notre objectif est de pouvoir valider un certain nombre d'hypothèses locales dont les résultats seraient transposables à une situation réelle de classe. L'analyse que nous présentons ici tient compte des principes qui fondent ce que Komorek et Duit appellent une *teaching experiment* (expérience d'enseignement) (Duit, 2000 ; Komorek & Duit, 2003). Cette méthode de recherche permet d'approcher de façon assez précise l'activité de l'élève, ses questionnements, ses réactions. En outre, elle constitue une base pour l'élaboration d'une séance de classe. Bien entendu, nous assumons ici le rôle de l'interviewer et celui de l'enseignant.

	Explicitation du contenu du texte	Anticipation des réactions des élèves
Etape 1 : Polémique autour du sens de la vue (A→B).	Simplicio et Salviati sont réunis à l'initiative de Sagredo qui souhaite comprendre « comment se fait la vision ». Simplicio soutient que la vue s'exerce dans un sens œil→objet. Sagredo quant à lui cite les atomistes grecs et évoque un sens objet→œil. Salviati ne donne pas de réponse mais pose le problème de la vision « comme le résultat d'une passion ».	Les élèves sont invités à exprimer leurs idées à propos du fonctionnement de la vision (avant lecture). Nous nous attendons à ce que certains d'entre eux s'opposent sur le sens de la vue. La lecture du début du dialogue devrait les amener à s'identifier avec Simplicio ou avec les savants grecs cités par Sagredo.
Etape 2 : Unité de fonctionnement des cinq sens (A→B).	Salviati fait appel à l'autorité d'Aristote et propose trois exemples (ouïe, odorat, goût) en associant pour chaque sens concerné l'organe sensoriel à son <i>stimulus</i> . Simplicio et Sagredo admettent que la vue fonctionne sur le mode de la passion (raisonnement par analogie). S'ensuit alors la question de l'identification du <i>stimulus</i> de la vue.	Les exemples choisis par Salviati devraient aider les élèves à accepter l'idée que la sensation s'explique par l'action d'un agent extérieur sur un organe spécifique. On s'attend alors à ce qu'ils s'interrogent sur la nature de ce qui entre dans l'œil pour expliquer la vision.
Etape 3 : Le phénomène de l'éblouissement (B→C)	Salviati évoque une situation d'éblouissement.	L'évocation d'une situation d'éblouissement par Salviati devrait conduire les élèves à admettre que la lumière a un effet sur l'œil.
Etape 4 : Traitement quantitatif de la lumière et diffusion (C→D).	L'idée que l'œil est sensible à la lumière déstabilise Sagredo et Simplicio qui conclut : « l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir ». Salviati prépare le saut conceptuel qui permettra à Simplicio et Sagredo d'admettre que l'entrée de la lumière dans les yeux ne s'accompagne pas toujours d'une gêne. Il recourt à un raisonnement par analogie avec l'ouïe pour faire accepter la relation entre « entrée d'une lumière modérée » et « vision ». Sagredo semble réceptif au raisonnement de Salviati, Simplicio le rejette en argumentant que les objets que l'on voit n'envoient pas de lumière.	Détour par le problème du renvoi de la lumière par les objets ordinairement éclairés (hors lecture). Nous nous attendons à ce que les élèves parlent d'un seuil en dessous duquel un objet éclairé ne renvoie plus de lumière. Ce seuil devrait correspondre au cas où ils ne sont plus éblouis par l'objet : « la lumière reste sur l'objet ». Après discussion, certains d'entre eux pourront être sensibles à l'analogie avec l'ouïe proposée par Salviati.
Etape 5 : Diffusion et modèle de la vision (D→E).	Salviati propose à Simplicio et Sagredo de suivre son raisonnement, inspiré par la théorie d'Alhazen, où sont associés « une lumière très intense » à l'éblouissement, et « une lumière ni trop forte ni trop faible » à la vision. Par ailleurs, Sagredo déduit que le fait de voir implique que les objets éclairés renvoient continuellement la lumière qui les éclaire.	Ils peuvent admettre qu'un objet éclairé renvoie une partie de la lumière qu'il reçoit alors même qu'ils ne se rendent pas compte de son arrivée dans l'œil et que c'est cela qui rend cet objet visible et non le simple fait d'être éclairé. Ils accepteraient de passer d'un raisonnement discontinu en « tout ou rien » à un raisonnement continu en « trop », « pas assez », « suffisamment ».

Tableau 1 • Séquence d'enseignement articulée autour du *Dialogue*, associé aux effets didactiques attendus

La conduite de l'entretien est présentée sous la forme d'un scénario fondé sur une lecture suivie du texte. Elle s'appuie sur la progression schématisée par l'organigramme de la figure 2 et reprise dans le tableau 1. Les différentes étapes de lectures sont figurées directement dans le texte par les repères A, B, C, D et E. Pour chacune de nos questions ou interventions, nous indiquons les réactions probables ou les effets supposés. Ces associations a priori (question / réaction) constituent les hypothèses que nous souhaitons mettre à l'épreuve de l'expérimentation. Enfin chaque entretien est prévu pour une durée d'une heure (lecture du *Dialogue* et entretien avec un binôme).

D'une façon plus générale, nous entendons montrer que notre texte suscite l'intérêt, non seulement par sa forme, mais également par la possibilité qu'il offre aux élèves de se projeter dans le débat exposé. Sur ce point, nous chercherons à savoir s'ils sont sensibles à la dimension historique du *Dialogue* en leur demandant à la fin de l'entretien et de façon ouverte leur avis sur le texte.

Analyse des entretiens

Nous proposons une synthèse des discussions que nous avons enregistrées puis retranscrites. Les résultats obtenus ne concernent que les 12 élèves que nous avons interviewés. Par conséquent, ils ne peuvent pas faire l'objet d'une quelconque généralisation. Malgré tout, ils nous permettront sans doute de dégager un certain nombre de pistes de réflexion pour une utilisation ultérieure de notre *Dialogue* en séance de classe.

1^{re} PHASE : EXPLICATION SPONTANÉE DU MÉCANISME DE LA VISION

Globalement, la moitié des élèves (6 sur les 12 interrogés) explique la vision par l'envoi de « quelque chose » depuis l'œil, désigné par les termes « vision », « regard » ou encore un « radar ». Trois élèves disent que l'œil reçoit une « image » ou un « truc » de la part de l'objet. La lumière n'est spontanément évoquée que par un élève. Celui-ci interprète la vision d'une façon tout à fait satisfaisante : « la vue c'est la lumière qui entre dans l'œil ». Son explication est néanmoins rejetée par sa camarade ; selon elle, si la lumière entre dans les yeux, on est ébloui. Etienne et Julie (binôme 5) ne s'opposent pas sur le sens de la vue (ils l'envisagent tous les deux dans le sens objet→œil), mais sur la nature de l'entité qui, partant de l'objet, pénètre dans l'œil. Pour Etienne il s'agit de la lumière, pour Julie d'une image. Dans trois binômes (sur les six concernés par notre recherche) les élèves expriment des opinions contradictoires. Suite à ces échanges, les élèves restent chacun

avec leur conception du « sens » de la vue. Cinq élèves expliquent la vu dans un sens œil→objet, cinq dans un sens objet→œil. Deux ne proposent aucune explication.

2^e PHASE : LES CINQ SENS FONCTIONNENT SUR UN PRINCIPE IDENTIQUE, CELUI DE LA « PASSION »

Nous leur proposons de lire le début du *Dialogue*, depuis « Je vous ai réunis aujourd'hui... » (A) jusqu'à « des odeurs dans le nez » (B). Suite à cette première période de lecture, certains élèves ne manquent pas de souligner qu'ils reconnaissent leurs avis (et leur désaccord) dans les idées évoquées par les protagonistes de la conversation.

Notre objectif est ici d'amener les élèves à accepter que la vue fonctionne sur le même mode que tous les autres sens, à savoir que l'organe sensoriel est stimulé par un agent extérieur. Nous leur demandons s'ils sont d'accord avec Salviati pour affirmer que tous les sens fonctionnent de la même façon. Tous les élèves reconnaissent la « logique » de l'argumentation aristotélicienne et la comparaison explicite avec les autres sens s'avère probante. Parmi les cinq élèves qui avaient évoqué dans un premier temps l'idée d'un sens œil→objet, quatre disent qu'ils se sont finalement peut-être trompés. C'est le cas notamment d'Océane (binôme 3) : « je crois que je me suis trompée. Ça doit marcher comme le son. Il y a un truc qui rentre dans l'œil ».

Tous les élèves ayant changé d'avis sur le sens de la vue paraissent convaincus du bien-fondé du raisonnement de Salviati, mais ils se trouvent confrontés à la difficulté d'identifier l'entité censée pénétrer l'œil. Ainsi pour Florestan : « ce serait logique que tous les sens fonctionnent pareil, mais bon, c'est quoi le truc qui entre dans l'œil ? ». Annabelle (binôme 1) pose une question analogue : « je crois que c'est quelque chose qui entre dans l'œil, mais quoi ? Ça doit être quelque chose qu'on ne connaît pas encore ».

A l'issue de cette deuxième phase de l'entretien, 11 élèves (sur les 12 interrogés) semblent convaincus que la vision d'un objet résulte de l'action sur l'œil d'un agent extérieur provenant de cet objet. Le début du *Dialogue* a conforté les élèves qui avaient émis l'hypothèse d'un fonctionnement de la vue dans le sens objet→œil, et a convaincu la quasi-totalité de ceux qui suggéraient une émission depuis l'œil. Et même si l'identification du *stimulus* demeure très difficile, elle fascine tous les élèves.

3^e PHASE : LA SENSATION D'ÉBLOUISSEMENT

La deuxième phase de l'entretien s'achève donc sur la question de l'entité qui, partant des objets, entre dans l'œil. Nous proposons aux élèves de lire la réplique de Salviati depuis « nous avons la sensation du goût » (B)

jusqu'à « pendant dix secondes ? » (C) et de répondre à la question posée par Salviati.

Tous les élèves répondent que regarder le Soleil est insoutenable et dangereux. Certains associent la sensation d'éblouissement au simple fait de l'entrée de la lumière du Soleil dans les yeux. Pour Kevin (binôme 6), il est impossible de regarder fixement le Soleil car, dans ce cas, « la lumière vient dans nos yeux ». En revanche, pour trois binômes, les raisons invoquées rendent explicitement compte de l'excès de lumière qui arrive alors dans l'œil. Thomas (binôme 3) parle d'un « surplus de lumière sur la rétine ». Ces réponses laissent entrevoir les prémices d'un raisonnement quantitatif.

4^e PHASE : PEUT-ON ÊTRE ÉBLOUI PAR DES OBJETS ORDINAIRES ?

Nous leur demandons ensuite s'ils pensent pouvoir être éblouis par un objet et de décrire alors ce qu'il se passe. Nous entendons mettre en évidence, dans les raisonnements des élèves, l'existence subjective d'un seuil à partir duquel la lumière « resterait » sur l'objet vu. Cela signifierait que la diffusion n'est pas perçue comme un phénomène associé à l'éclairage, mais plutôt comme la manifestation d'un renvoi de lumière par les objets uniquement lorsque celle-ci est trop forte. A la question « pensez-vous pouvoir être ébloui par un objet ? », la plupart des élèves répond que c'est possible à condition que l'objet soit un miroir ou qu'il soit très fortement éclairé.

Pour Alexis, on est ébloui car la lumière « rebondit » sur l'objet et blesse l'œil. C'est également l'avis de Camille pour qui « la lumière vient sur l'objet, rebondit et agresse l'œil ». Conformément à ce que nous supposions, la majorité des élèves interrogés associe l'entrée de lumière dans l'œil à la sensation d'éblouissement. Pour ces élèves, le renvoi de la lumière par les objets est reconnu dans les situations où les objets aveuglent. Dans ces cas-là, la lumière est tellement « forte » qu'elle rebondit sur les objets. Autrement dit, il existe chez certains élèves un seuil à partir duquel la lumière n'est pas renvoyée par les objets, et ce seuil est déterminé par la seule perception sensorielle (le fait de ne plus être ébloui). Huit élèves (sur les 12 interrogés) disent que le moment où l'éblouissement cesse correspond au moment où la lumière « reste » sur l'objet. C'est le cas notamment de Kevin et de Florestan (binôme 6) :

Prof² : A votre avis, est-ce que, à part le Soleil, on peut être ébloui / par exemple, par un objet ? Est-ce que vous pourriez être éblouis par ce stylo, là ?

Florestan : Si la lumière est très forte, elle peut se refléter // Elle se reflète sur le stylo et elle entre dans l'œil, et on est ébloui.

Prof : Et à partir de quand on n'est plus ébloui ?

Florestan : Quand la lumière elle se reflète plus.

Kevin : *Elle reste* sur les objets.

(2) Dans chacun des extraits présentés ici, « prof » désigne les auteurs.

Pour ces élèves, le moment où la sensation d'éblouissement disparaît correspond au seuil à partir duquel la lumière ne rentre plus dans l'œil. Celui-ci coïncide, selon eux, avec le moment où les objets ne renvoient plus de lumière.

Quatre élèves expriment l'avis opposé. Pour eux les objets renvoient continuellement la lumière qu'ils reçoivent sans que l'on s'en rende compte. Ainsi pour Charles (binôme 2) : « *la lumière elle repart toujours mais on s'en rend pas compte, c'est comme si elle ne repartait pas, c'est très faible* ». A ce moment-là de l'entretien, nous n'avons pas les moyens de savoir si Charles fait le lien entre la vision et l'entrée de la lumière dans l'œil.

A l'issue de cette quatrième phase, deux élèves (Etienne et Thomas) interprètent la vision de façon conforme à nos attentes. Deux autres élèves (Camille et Charles) disent que les objets éclairés renvoient la lumière qu'ils reçoivent sans subordonner ce phénomène à une sensation de gêne ou d'éblouissement, mais nous ignorons si ces élèves font le lien entre la vision des objets et l'envoi de la lumière par les objets dans l'œil de l'observateur. En outre, parmi ces quatre élèves, deux (Camille et Etienne) appuient spontanément leur raisonnement sur un argument biologique lié au fonctionnement de la pupille. Par ailleurs, les huit autres élèves (c'est-à-dire la grande majorité) admettent que les objets renvoient la lumière uniquement lorsque celle-ci est suffisamment forte pour « rebondir ». Dans ce cas, elle pénètre l'œil de l'observateur qui est alors ébloui. L'entrée de la lumière dans l'œil serait, pour ces élèves, un facteur limitant pour la vue.

5^e PHASE : RAISONNER EN QUANTITÉ DE LUMIÈRE (ANALOGIE AVEC L'OUÏE)

Nous rappelons aux élèves que nous cherchons à comprendre comment fonctionne la vision. Puis nous les invitons à poursuivre la lecture du texte, depuis « Quelle idée ! » (C) jusqu'à « provoque l'ouïe » (D). Nous souhaitons mesurer les effets d'une analogie avec le mécanisme de l'ouïe. La deuxième phase de l'entretien nous a permis de constater que le rapprochement entre la vue et l'ouïe semblait poser quelques difficultés aux élèves. Certains parmi eux avaient notamment souligné qu'il leur paraissait difficile de trouver un équivalent du son pour la vue. A cette nouvelle phase de l'entretien, Kevin et Florestan (binôme 6) paraissent sensibles à l'analogie proposée par Salviati, même s'ils expriment une réserve :

- Kevin : Ben en fait // En fait, c'est faux ce qu'on a dit avant.
Prof : Comment ça ?
Kevin : Ben, les objets ils envoient toujours de la lumière, et c'est ça qui permet de voir.
Prof : Et on n'est pas ébloui alors ?
Florestan : Non, c'est une question de quantité / de quantité.
Prof : Expliquez-moi ça.
Florestan : Ben la vision // la vision, c'est quand de la lumière entre dans l'œil, mais pas trop. C'est un juste milieu.
Kevin : Mais, quand même, ce qui est bizarre c'est *qu'on s'en rend pas compte, alors que pour le son, on l'entend, mais la lumière, on la voit pas.*

L'analogie avec le sens de l'ouïe conduit Kevin et Florestan à proposer une explication du mécanisme de la vision correcte, dans laquelle la lumière est traitée de façon quantitative : « c'est une question de quantité » confirme Florestan. Il semble que pour ces deux élèves l'entrée de la lumière dans l'œil ne soit plus considérée comme la cause de l'éblouissement mais comme la cause de la vision. Kevin revient sur ces précédentes assertions (« les objets ne renvoient pas la lumière ») pour finalement affirmer que « les objets envoient toujours de la lumière » et que « c'est ça qui permet de voir ». Il réalise que cette interprétation « bizarre » demande un certain effort d'imagination : « on s'en rend pas compte », puisque le son n'est pas comparable à la lumière : « *le son on l'entend, mais la lumière on la voit pas* ». La « lumière » dont il est question ici ne désigne ni les sources ni les impacts lumineux, mais la « lumière qui se voit ». A son tour, Kevin affirme que la lumière est une entité invisible. Après cette période de lecture, Kevin, Florestan et Charles construisent une nouvelle idée de la lumière et de la vision, en rupture avec leurs conceptions initiales. De même en est-il pour Alexis (binôme 4) :

« C'est pas pareil que ce qu'on a dit avant. En fait, la lumière, elle rentre toujours dans les yeux quand on voit. C'est juste qu'elle rentre moins. Du coup, on la sent pas. »

Là encore, l'analogie avec le sens de l'ouïe conduit Pierre et Alexis à traiter la lumière de façon quantitative pour construire un modèle de la vision rationnellement acceptable. C'est une démarche identique qui permet à Océane (binôme 3) de rejoindre l'opinion de son camarade :

« Eh ben, il a raison, on sent pas la lumière, mais elle rentre dans l'œil quand même. C'est juste qu'il faut pas qu'il y en ait trop pour voir. C'est une question de quantité. »

A l'issue de cette cinquième phase d'entretien, neuf élèves (sur les douze concernés par notre expérimentation) reconnaissent que la lumière est le *stimulus* de la vue. L'analogie avec le sens de l'ouïe paraît les orienter vers un raisonnement dans lequel la lumière est traitée de façon quantitative. La diffusion devient pour ces élèves un phénomène associé à l'éclairement et non une conséquence de la grande quantité de lumière qui atteint l'objet. La majorité des élèves remet en cause l'existence d'un seuil commandé par une sensation d'éblouissement en deçà duquel la lumière ne serait plus renvoyée par les objets. L'éblouissement et l'entrée de la lumière dans l'œil deviennent des faits dont l'association n'est plus exclusive.

6^e PHASE : EXPLICATION DU MÉCANISME OPTIQUE DE LA VISION

Les entretiens se poursuivent par une dernière étape de lecture. Nous invitons les élèves à lire le texte jusqu'à la fin (depuis « Si je comprends bien » (D) jusqu'à « je suis séduit par votre théorie », E). Suite à cette lecture, nous leur demandons ce qu'ils pensent du raisonnement de Salviati. Tous les élèves qui, à l'issue de la phase précédente, expliquaient la vision de façon satisfaisante voient leur opinion confortée par les propos de Salviati, ce qui ne manque pas d'enthousiasmer un certain nombre d'entre eux.

Alors que la lecture du *Dialogue* s'achève, tous les élèves semblent admettre que la vision d'un objet nécessite l'envoi de lumière par cet objet dans les yeux de l'observateur. Cette sixième étape peut paraître plus transmissive que les précédentes puisque le modèle de la vision est présenté dans le texte par Salviati. Cependant, il nous semble important de rappeler que l'explication de Salviati est en fait, pour neuf des douze élèves interrogés, un support de confirmation. En outre, il convient de signaler qu'elle n'est pas donnée d'emblée, mais qu'elle constitue l'issue d'un itinéraire cognitif dans lequel tous les élèves se sont engagés. Or, pour trois d'entre eux, ce cheminement n'a certes pas abouti à la formulation d'une interprétation de la vision satisfaisante, mais il leur a permis de s'investir dans une démarche de recherche, de formuler des hypothèses illustrées par un certain nombre d'expériences de pensée. Au bout du compte, ces élèves se sentent concernés par le problème du mécanisme de la vision, ce qui leur permet de s'approprier une nouvelle idée de la lumière et de la vision. Le tableau 2 rend compte de ce résultat : les zones grisées désignent les élèves qui expliquent la vision de façon satisfaisante. Les noms en gras désignent les élèves qui expliquent la vision dans un sens objet→œil.

	Binôme 1 Annabelle et Camille	Binôme 2 Charles et Morgane	Binôme 3 Océane et Thomas	Binôme 4 Pierre et Alexis	Binôme 5 Etienne et Julien	Binôme 6 Kevin et Forestan
Explication spontanée du mécanisme de la vision	Camille : œil→objet vision	Charles : œil→objet radar	Océane : œil→objet vision	Pierre : Pas de réponse	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : œil→objet radar
	Annabelle : œil→objet regard	Morgane : objet→œil image	Thomas : objet→œil truc	Alexis : Pas de réponse	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil image
	Pas de Polémique	Polémique	Polémique		Polémique autour de la nature de l'entité	Polémique
Explication après l'argument de l'unité de fonctionnement des 5 sens	Camille : œil→objet vision	Charles : objet→œil ??	Océane : objet→œil ??	Pierre : objet→œil Forme	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil ??
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil Flash, couleur	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil Image
Explication après l'expérience de pensée de l'éblouissement	Camille : objet→œil ??	Charles : objet→œil ??	Océane : objet→œil ??	Pierre : objet→œil Forme	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil ??
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil Flash, couleur	Julie : objet→œil image	Forestan : objet→œil Image
Explication après l'analogie avec le sens de l'ouïe	Camille : objet→œil ??	Charles : objet→œil lumière	Océane : objet→œil lumière	Pierre : objet→œil lumière	Etienne : objet→œil lumière	Kevin : objet→œil lumière
	Annabelle : objet→œil ??	Morgane : objet→œil ??	Thomas : objet→œil lumière	Alexis : objet→œil lumière	Julie : objet→œil lumière	Forestan : objet→œil lumière

Tableau 2 • Synthèse de l'évolution des raisonnements des élèves à propos du mécanisme de la vision

BILAN : LES ÉLÈVES ET LE *DIALOGUE*

L'objectif de cette dernière partie d'entretien est de recueillir l'avis des élèves sur le texte qu'il leur a été proposé. Nous leur avons simplement demandé si celui-ci leur avait semblé difficile, utile et pour quelles raisons. Leurs réponses viennent éclairer les questions relatives à la motivation suscitée par le texte. Elles sont à la fois riches et variées, mais elles peuvent faire malgré tout l'objet d'un traitement thématique qui met en évidence certaines récurrences (même si les élèves ne se prononcent pas tous sur des sujets identiques).

La spécificité littéraire du texte

À l'exception d'Annabelle qui trouve le *Dialogue* « difficile », les élèves le jugent plutôt accessible. C'est le cas par exemple de Thomas (binôme 3) :

« Un dialogue, là comme ça, c'est plus facile à lire, c'est aéré et ça donne envie de lire. Et puis, ce texte, il n'est pas trop dur finalement. Au début, j'ai eu un peu peur que ce soit comme du français ancien, difficile à comprendre. Et en fait, ça va, c'était facile. »

D'autres élèves apprécient, comme Thomas, le procédé littéraire utilisé, et disent préférer le *Dialogue* à d'autres types de textes habituellement utilisés en classe. Florestan (binôme 6) trouve le texte « moins ennuyeux que ceux de d'habitude parce que c'est une discussion ».

La dimension métacognitive

Certains élèves reconnaissent spontanément avoir appris quelque chose et avouent être troublés par le fait que ce savoir nouvellement acquis soit en opposition avec ce qu'ils pensaient initialement. Pour Annabelle (binôme 1) : « l'entretien est perturbant parce qu'on arrive avec une idée et on ressort avec une autre ». Ce qui est intéressant c'est que lorsqu'on leur pose clairement la question, ces élèves sont capables de préciser à quel moment de la lecture ou de l'entretien ils pensent avoir compris le mécanisme optique de la vision. Annabelle explique que « quand on sait que les sens fonctionnent de la même façon, ça aide ». Pierre (binôme 4) quant à lui affirme qu'il a compris « quand ils parlent de l'éblouissement ».

La dimension transdisciplinaire

Quelques élèves s'attachent à la dimension transdisciplinaire du *Dialogue*. Ils remarquent que celui-ci se trouve au carrefour de plusieurs disciplines, et présentent cet aspect comme un argument favorable ainsi que le montre ce commentaire d'Étienne (binôme 5) :

- Étienne : Moi je pense qu'un texte comme ça, ça donne de la cohérence aux matières.
Prof. : C'est-à-dire ?
Étienne : Eh bien, ça fait un lien avec l'histoire-géo par exemple. Parce qu'on s'embrouille quand on change toujours de sujet.

À ce propos, Florestan précise que ce type de support « pourrait être utilisé en français », et il ajoute que « ça changerait de faire de la physique en français ». Camille suggère, quant à elle, qu'il pourrait être « intéressant d'étudier l'époque de la discussion en même temps en cours d'histoire ». Ces élèves semblent particulièrement sensibles au fait que le texte puisse potentiellement favoriser des liens entre certaines disciplines scolaires.

La dimension historique : l'identification aux savants disparus

Huit élèves reviennent sur la dimension historique du *Dialogue*, dimension qui, selon eux, présente de nombreux avantages. La controverse historique telle que nous l'avons mise en scène dans notre texte permet aux élèves d'avoir accès à la pensée des anciens, ce que la plupart paraît apprécier, comme Julie (binôme 5) : « C'est intéressant de parler des gens, avant, de ce qu'ils ont fait / ce qu'ils pensaient » ou Kevin : « Ce qui est marrant, c'est qu'on disait la même chose qu'eux ». L'intérêt pour la pensée du savant disparu est également souligné par Océane (binôme 3) :

« Moi j'ai bien aimé. C'est de l'histoire des sciences et c'est bien parce que ça sert à savoir ce que les autres pensaient avant. En plus, moi ce que j'ai dit tout à l'heure [l'œil envoie une vision], c'était comme le début du texte alors ça me rassure de voir qu'il y en a qui ont pensé pareil. »

L'argument développé par Océane montre que l'opportunité qui est offerte aux élèves de pouvoir s'identifier aux personnages du texte a quelques effets positifs. D'une part, le fait qu'ils puissent rapprocher leurs conceptions des idées des anciens semble leur permettre de dédramatiser la portée de leur erreur (Balibar, 1993) ou, sur un registre identique, de valoriser leurs réponses lorsque celles-ci sont correctes. C'est en tout cas l'opinion d'Étienne (binôme 5) :

« Moi je savais que les théories du début étaient fausses et ça fait plaisir de contredire un savant et d'avoir raison. »

Par le jeu de l'identification au savant disparu, notre dialogue devient un outil de valorisation performant, mais également un moyen de progresser, comme l'identifie Morgane (binôme 2) : « en fait, comparer par rapport à avant comment on a compris, ça peut aider après si on a les mêmes problèmes qu'eux ». Parce qu'elle est témoin du cheminement ayant conduit à l'élaboration d'une explication optique de la vision, la perspective historique (mise en scène de cette manière) constitue donc pour certains élèves une aide pour comprendre comment les connaissances se sont construites. Par ailleurs, ce qui nous paraît fondamental, c'est que les personnages du texte soient reconnus comme les tenants de théories ayant existé. Autrement dit, le

Dialogue ne semble pas perçu par les élèves comme un inventaire d'idées fictives sans attache historique, mais bien comme la mise en scène crédible d'une polémique qui aurait réellement pu se tenir dans le passé.

Le Dialogue en classe

Nous avons testé notre outil d'enseignement en situation réelle de classe avec des élèves de quatrième avant enseignement d'optique. Sans entrer dans les détails d'une analyse que nous ne pouvons présenter ici, nous tenons toutefois à en donner succinctement quelques résultats. Il nous est très vite apparu que l'appropriation du texte par les élèves en groupe classe (et non plus en binôme) nécessite un accompagnement spécifique, tant du point de vue de la difficulté de certains termes ou expressions utilisés, que du point de vue de la singularité de la structure argumentative du dialogue et du rôle joué par les trois personnages. Chaque phase de lecture semble indissociable d'une phase d'analyse littéraire qui certes ne pourra être que brève, mais qui s'avère néanmoins nécessaire. En outre, il paraît important que les élèves puissent préciser, dès la première phase de lecture, la forme du texte proposé (ainsi que les raisons pour lesquelles cette forme est utilisée). L'enjeu de la discussion et le rôle supposé des trois personnages doivent également être connus. Pour ce qui est du parcours cognitif lui-même, nous n'avons pas noté de différence essentielle entre les élèves de nos entretiens et les élèves en groupe classe. Les discussions sont animées et conduisent aux mêmes débats, aux mêmes questionnements, et finalement aux mêmes conclusions. Comme leurs camarades, ces élèves apprécient le dialogue et la façon dont la séance s'organise autour du texte.

CONCLUSION

Ce travail nous offre l'occasion de nous pencher sur la question des analogies supposées entre développement historique des idées et processus individuel d'acquisition des connaissances scientifiques. Dans son traité d'optique, Alhazen s'appuie sur une situation d'éblouissement pour convaincre le lecteur que la lumière a un effet sur l'œil. Cette constatation empirique le conduit à interpréter la vision comme le résultat de l'entrée de la lumière, renvoyée par l'objet éclairé, dans l'œil de l'observateur. L'évocation d'une situation d'éblouissement amène la majorité des élèves à conclure que l'entrée de la lumière dans l'œil empêche de voir (de Hosson, 2004). Ce qui apparaît comme une condition historique de développement des idées en optique constitue, pour les élèves, un obstacle majeur à la compréhension du mécanisme de la vision. Ainsi donc, il n'est pas question ici de soumettre la progression cognitive des élèves au développement historique des théories, pas plus qu'il ne s'agit de considérer les conceptions des élèves comme iden-

tiques aux idées élaborées par les savants disparus. Toutefois, quel que soit le médiateur envisagé, force est de constater que le cheminement qui conduit à reconnaître que la lumière est le *stimulus* de la vue passe par le franchissement de certains obstacles, notamment celui de la controverse autour du « sens » de la vue. Sur ce point, nous avons pu profiter d'une ressemblance anticipée entre les idées des savants et les conceptions des élèves pour permettre une probable identification de ces derniers aux personnages du texte qui proposé. Par ailleurs, la structure du scénario didactique, intégrant le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision*, tient compte d'un autre obstacle qui paraît très largement sous-estimé, à savoir que les élèves interprètent l'impact lumineux à la surface d'un objet éclairé en pensant que la lumière « reste » sur l'objet.

Dans les faits, le *Dialogue sur les manières dont se fait la vision* se révèle comme un support d'enseignement motivant. Les élèves apprécient le procédé littéraire utilisé et semblent particulièrement sensibles au fait qu'il facilite l'apprentissage par une approche pédagogique transdisciplinaire. L'association entre littérature et histoire et sciences, qu'ils soulignent, leur paraît efficace et souhaitable. Mais l'aspect le plus stimulant demeure sans aucun doute la possibilité qui leur est offerte de s'identifier aux savants disparus. Elle permet en effet aux élèves de considérer leurs erreurs comme les témoins d'une difficulté que les anciens ont partagée, ce qui en change complètement le statut. Leur opinion première devient donc une étape dans la construction de nouvelles connaissances. Par ailleurs, cette identification aux personnages du *Dialogue* permet de mettre en valeur certains de leurs raisonnements lorsque ceux-ci s'avèrent exacts.

Un dernier élément mérite d'être souligné. Les élèves semblent majoritairement conscients du cheminement intellectuel qui les conduit à formuler une nouvelle explication du mécanisme optique de la vision. La plupart d'entre eux réalise que leurs idées évoluent au cours de l'entretien, certains sont capables de dire spontanément, et de façon assez précise, à quel moment et pour quelles raisons ils modifient leurs conceptions. Cet aspect métacognitif prend une part sans doute plus importante que celle que nous avons anticipée. Ajoutons que ces conclusions prometteuses concernent tous les élèves ayant participé à nos entretiens, alors que ceux-ci étaient de niveaux scolaires très hétérogènes.

BIBLIOGRAPHIE

- ALHAZEN (1968). Le discours de la lumière (traduction R. Rashed). *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, n° 21, p. 197-224.
- ALHAZEN (1989). *Kitab al-manazir* (traduction A. Sabra), livres I-III. London: University of London.

- ANDERSON B. & KARRQVIST C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 years understand lights and its properties. *European Journal of Science Education*, n° 5, p. 387-402.
- ARISTOTE (1989). *De l'âme* (traduction E. Barbotin). Paris : Les Belles Lettres.
- ARISTOTE (2000). *De la sensation et des sensibles* (traduction P. Morel). Paris : Flammarion.
- AUDIGIER F. & FILLON P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques : une approche pluridisciplinaire*. Paris : INRP.
- BALIBAR F. (1993). L'histoire des sciences, pour une école de pensée critique. *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*. Paris : Hachette, p. 37-42.
- BENSEGHIR A. & CLOSSET J.-L. (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique. *Didaskalia*, n° 2, p. 31-47.
- BRISSON M.-J. (1781). *Dictionnaire raisonné de physique*. Paris : Académie royale des sciences.
- CHAUVET F. (1994). *Construction d'une compréhension de la couleur intégrant sciences, techniques et perception : principes d'élaboration et évaluation d'une séquence d'enseignement*, thèse, université Paris 7.
- DUIT R. (2000). A model of education reconstruction as a framework for desining and validating teaching and learning sequences. *International Symposium "Desining and validating Teaching-Learning sequences in a research perspective"*, Paris.
- FEYERABEND P. (1975). *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris : Éd. du Seuil.
- GALILEE (1632). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (réédition en 1992). Paris : Éd. du Seuil.
- GALILI I. (1996). Student's conceptual change in geometrical optics. *International journal of science education*, vol. 18, n° 7, p. 847-868.
- GUEDJ M. (2005). Utiliser des textes historiques dans l'enseignement des sciences physiques : compte rendu d'expérimentation. *Didaskalia*, n° 26, p. 75-96.
- GUESNE E. (1984). Les conceptions des enfants sur la lumière. *New trends in physics teaching*, vol. 4.
- HOSSON C. (DE) & KAMINSKI W. (2002). Les yeux des enfants sont-ils des porte-lumière ? *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 96, p. 143-162.
- HOSSON C. (DE) (2004). *Contribution à l'analyse des interactions entre histoire et didactique des sciences : élaboration d'un support d'enseignement du mécanisme optique de la vision pour l'école primaire et le collège, et premiers éléments d'évaluation*, thèse, université Paris 7.
- KAMINSKI W. (1989). Conceptions des élèves (et autres) sur la lumière. *Bulletin de l'union des physiciens*, n° 176, p. 973-996.
- KOMOREK M. & DUIT R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 5, p. 619-632.
- LA ROSA C., MAYER M., PATRIZI P. & VICENTINI MISSONI M. (1984). Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation on the properties of light. *European Journal of Science and Mathematics*, vol. 3, p. 268-77.
- LAUGIER A. & DUMON A. (2003). Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique : quelles convergences ? *Didaskalia*, n° 22, p. 69-98.
- LINDBERG D. (1976). *Theory of vision from al Kindi to Kepler*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- LUCRECE (1985). *De Rerum Natura* (traduction A. Ernout). Paris : Les Belles Lettres.
- MEHEUT M., KERMEN I. & DUPREZ C. (2004). Approches historique et didactique de la réverbilité. *Didaskalia*, n° 25, p. 31-58.

- MEHEUT M. & PSILLOS D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 5, p. 515-535.
- MERLE H. (2002). Histoire des sciences et sphéricité de la Terre : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n° 20, p. 115-136.
- OSBORNE J. & BLACK P. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, vol. 15, n° 1, p. 83-93.
- PARK D. (1997). *The fire within the eye: a historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton: Princeton University Press.
- RASHED R. (1997). « L'optique géométrique ». In *Histoire des sciences arabes*. Paris : Éd. du Seuil, p. 293-354.
- RONCHI V. (1956). *Une histoire de la lumière*. Paris : Colin.
- SALTIEL E. & VIENNOT L. (1985). *What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students?* Utrecht : GIREP.
- SIMON G. (1988). *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*. Paris : Éd. du Seuil.
- TIBERGHEN A. (1983). « Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les enfants de 10 à 16 ans ». In *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international d'été*. La Londe les Maures : CNRS, p. 125-136.
- VIENNOT L. (2002). *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Paris-Bruxelles : De Boeck.

Cet article a été reçu le 05/09/2005 et accepté le 15/02/2006.

ANNEXE

Dialogue sur les manières dont se fait la vision - Cécile de Hosson

[A] Sagredo : Je vous ai réunis aujourd'hui afin que nous discussions ensemble de la manière dont se fait la vision.

Simplicio : Je crains, mon cher ami, que notre discussion ne soit difficile, car je crois savoir que Salviati et moi-même sommes en désaccord sur ce point. Pour ma part, les raisons de la vision résident dans l'œil. Comme le suggèrent de nombreux savants de l'Antiquité, je crois que pour voir un objet, l'œil doit envoyer quelque chose vers cet objet. C'est ainsi, voyez-vous, que je conçois que l'on voit les objets qui nous entourent, par ce pouvoir que nous avons d'émettre quelque chose qui, sortant des yeux, va à la rencontre des objets à regarder.

Sagredo : Il me semble que tous les Grecs ne raisonnaient pas ainsi. N'est-il pas exact que Lucrèce et d'autres avant lui expliquent la vision d'un objet par l'entrée dans l'œil d'une image de cet objet ?

Salviati : Sachez avant toute chose, que je me réjouis de vous parler de Lucrèce. Ses textes sont d'une beauté qui chaque fois m'émeut. Et si vous ne partagez guère son opinion, j'espère au moins que vous saurez apprécier la grandeur de sa poésie.

Sagredo : Ne nous faites pas attendre davantage.

Salviati : Voilà : « De tous les objets, il existe ce que nous appelons les simulacres : sortes de membranes légères détachées de la surface des corps, qui voltigent en tout sens parmi les airs. Ce sont des figures, des images qui sont émises par les objets. On en voit d'ailleurs beaucoup émettre de leurs éléments, comme la fumée du bois vert ou la chaleur de la flamme, ou encore comme les tuniques que les cigales abandonnent en été. Ou encore, comme les voiles jaunes, rouges ou verts, qui tendus dans les vastes théâtres au-dessus du public et éclairés par des torches ou par la lumière du jour, colorent la scène de leurs reflets ».

Simplicio : Cette théorie me semble absurde : comment pouvez-vous expliquer que des effluves détachés d'objets immenses, comme des montagnes, par exemple, puissent pénétrer dans notre œil, qui est lui, tout petit ?

Salviati : J'aimerais vous rappeler qu'en vous exposant les idées de Lucrèce je n'ai fait que répondre à la demande de Sagredo. Je ne vous ai jamais dit que je les partageais. Elles présentent en effet certaines incohérences mais néanmoins, elles me semblent plus proches de ma théorie personnelle que la vôtre.

Sagredo : Vous pensez donc que si l'on voit c'est que les objets envoient des images d'eux-mêmes dans nos yeux ?

Salviati : Ce n'est pas ce que je dis. Néanmoins, je retiens de cette théorie qu'elle pose le problème de la vision comme le résultat d'une action sur l'œil. Et ce qui me semble intéressant ici c'est que la vision est considérée comme une passion, c'est-à-dire comme la réception dans l'œil de quelque chose provenant de l'extérieur.

Sagredo : N'est-ce pas sur ce principe que fonctionnent tous nos sens ?

Salviati : Vous touchez là un point crucial, Sagredo. Si l'on en croit Aristote, il semble que les cinq sens fonctionnent tous de la même façon. Ils sont le résultat d'une action extérieure (le stimulus) sur un organe spécifique appelé organe sensoriel. Chaque organe sensoriel se trouve affecté par des impressions spécifiques venant des objets. Ainsi, nous entendons parce que nous recevons du son dans l'oreille, nous sentons car nous recevons...

Simplicio : ... des odeurs dans le nez...

[B] Salviati : ... Nous avons la sensation du goût car notre bouche reçoit des saveurs, et ainsi de suite. Et puisque mon objectif est de vous convaincre que la vision est une passion, en ce sens qu'elle est le résultat d'une action sur l'œil, j'ai là un argument qui sans doute vous convaincra plus que tout autre. Permettez-moi tout d'abord de vous poser une question : pensez-vous pouvoir regarder fixement le Soleil pendant dix secondes ?

[C] Simplicio : Quelle idée !

Sagredo : Assurément non, cela serait bien trop douloureux, et préjudiciable pour la vue.

Salviati : Précisément. Et savez-vous pourquoi ?

Sagredo : Sans doute parce que la lumière provenant du Soleil est trop forte.

Salviati : Bien. Vous admettez donc qu'une lumière trop forte provoque des effets douloureux sur l'œil et que, par conséquent, l'œil est sensible à une lumière trop forte. On ne peut pas penser qu'il y ait quelque chose qui aille de l'œil vers l'objet car, dans cette situation il n'y aurait pas de raison de souffrir en face d'un objet plutôt que d'un autre. Si l'on est ébloui en regardant le Soleil, c'est bien parce que de la lumière forte entre dans l'œil.

Sagredo : Je suis en tout point d'accord avec vous, cher Salviati, mais n'oubliez pas que nous cherchons à comprendre la manière dont on voit, pas la manière dont on ne voit pas. Or la situation que vous décrivez, celle de l'éblouissement, est totalement opposée à la vision.

Simplicio : Décidément, vous vous égarez, Salviati, Sagredo a raison, l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir.

Salviati : Permettez-moi de vous corriger, Simplicio. Vous dites : « l'entrée de lumière dans l'œil empêche de voir » et moi je dis : « l'entrée d'une très forte lumière dans l'œil empêche de voir ». Percevez-vous la nuance ?

Simplicio : Certes, mais je ne vois pas où vous voulez en venir. Ne sommes-nous pas ici pour parler de la manière dont se fait la vision ? Venez-en au fait, je vous prie.

Salviati : Malheureusement, il me faudra prendre quelques détours pour parvenir à vous convaincre du bien-fondé de ma théorie. Vous remarquerez que lorsque vous êtes éblouis, la sensation désagréable perdure, vous empêchant notamment de lire pendant un temps. Ainsi, une lumière forte affecte non seulement l'œil mais aussi la vue. De même qu'un son trop fort blesse le tympan tandis qu'un son modéré parvenant à nos oreilles provoque l'ouïe.

[D] Sagredo : Si je comprends bien votre comparaison, cher Salviati, une lumière modérée provoquerait la vue ?

Simplicio : Mais c'est absurde ! Lorsque nous regardons le monde autour de nous, ce sont bien les objets que nous voyons et ceux-ci ne nous envoient pas de lumière. Si tel était le cas, nous serions continuellement éblouis !

Salviati : Calmez-vous, Simplicio, et tachez de suivre mon raisonnement. N'est-il pas vrai que pour voir un objet non lumineux par lui-même, celui-ci doit être éclairé ?

Sagredo : En effet, nul ne songerait à penser que l'on voit dans le noir.

Simplicio : Seuls les chats sont capables de cet exploit.

Salviati : Laissons les chats pour le moment voulez-vous, tant il est vrai qu'ils ne voient pas plus dans le noir que vous et moi. Donc pour voir un objet il faut que celui-ci soit éclairé. Moins un objet est éclairé, moins il est visible, et plus il est éclairé, plus il est visible. Si toutefois, il est trop éclairé, la vue est altérée, et la vision de l'objet devient impossible. Ce phénomène n'est-il pas similaire à celui dont nous avons déjà parlé, à savoir l'éblouissement que nous ressentons en regardant le Soleil ?

Sagredo : Assurément. Un objet éclairé par une lumière très intense se comporte donc comme le Soleil. Il renvoie dans l'œil une lumière trop forte, et cette lumière blesse les yeux. C'est ce qui se passe par exemple lorsque l'on regarde la neige au Soleil.

Salviati : Bien ! Voilà que vous raisonnez avec la lumière. Imaginez maintenant que cet éclairage diminue progressivement. Si vous voyez l'objet, c'est qu'il est toujours éclairé, n'est-ce pas ? Et si vous le voyez parfaitement, si vous parvenez à distinguer ses moindres détails, c'est que vous n'êtes plus gêné par l'entrée dans votre œil d'une lumière trop forte. Or dans ce cas, ce qui a changé, ce n'est pas l'entrée de lumière dans l'œil, mais sa quantité. Autrement dit, l'œil a la sensation de l'éclairage, et cette sensation est commandée par la quantité de lumière qui pénètre l'œil. Un homme voit lorsque la quantité de lumière provenant des objets et qui pénètre son œil n'est ni trop forte, ni trop faible. Cette théorie nous vient d'un savant arabe du nom d'Alhazen.

Simplicio : Cela signifie-t-il que tous les objets qui nous entourent renvoient continuellement de la lumière dans nos yeux, alors même que nous n'en avons aucun signe ?

Sagredo : Aucun signe dites-vous ? Le simple fait de voir ces objets n'est-il pas significatif d'une présence de lumière ?

Salviati : Je vois, cher Sagredo, que vous semblez convaincu. Simplicio, qu'en pensez-vous ?

Simplicio : Je dois avouer que je suis séduit par votre théorie. **[E]**