

<b>ANNEXE B : HISTOIRE DES SCIENCES</b>
---

1. [L'histoire des sciences dans l'enseignement : Quels supports, pour quel enseignement ?](#)
2. [Comment la lumière est devenue le stimulus de la vue : approche épistémologique](#)
3. [Thalès de Milet](#)
4. [L'observation des astres et la naissance de la science](#)
5. [Les travaux de Volta](#)
6. [Brève histoire de la théorie moléculaire](#)
7. Quelques exemples d'activités complémentaires en lien avec l'histoire des sciences  
[classe de cinquième](#)  
[classe de quatrième](#)
8. [Quelques éléments de bibliographie](#)

## ANNEXE B 1. L'histoire des sciences dans l'enseignement : Quels supports, pour quel enseignement ?

Cécile de HOSSON

Depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle, l'introduction d'éléments d'histoire des sciences dans l'enseignement de sciences physiques apparaît comme une exigence récurrente des programmes officiels<sup>1</sup>. Les raisons d'un tel plébiscite sont à rechercher dans la nature même de la science que l'on enseigne : si l'histoire est souvent témoin des errances qui jalonnent la construction d'une loi, d'un concept, d'une théorie, elle justifie à elle seule l'abandon d'un enseignement dogmatique d'une science en constante évolution.

Pasteur, Langevin, Einstein, Schrödinger, et bien d'autres encore, praticiens de la science, se sont ainsi prononcés en faveur d'une utilisation systématique de l'histoire des sciences dans l'enseignement (voir pages suivantes). Outre l'acquisition des connaissances scientifiques, l'enseignement des sciences a pour vocation la formation de l'esprit scientifique, et il est aujourd'hui acquis que celle-ci doit pouvoir tirer profit des apports de l'histoire des sciences<sup>2</sup>.

D'une façon générale, l'histoire des sciences permet des innovations pédagogiques susceptibles de favoriser l'apprentissage tout en développant chez les élèves, grâce à la pratique de l'argumentation et des débats, une autre représentation du fonctionnement de la science et un goût pour la recherche. L'histoire des sciences peut avoir un rôle tout à fait positif sur l'image que la science renvoie aux élèves, même aux plus jeunes.

Dans cet esprit, les nouveaux programmes du cycle central encouragent les enseignants à intégrer certains éléments d'histoire des sciences à leur pratique. Ainsi, les bandeaux mentionnent-t-ils en italique les liens avec d'autres disciplines et avec l'histoire des sciences. Se pose alors la question des modalités d'utilisation de supports historiques que l'on sait nombreux et surtout variés<sup>3</sup>.

### Les scientifiques et la valeur éducative de l'histoire des sciences

<sup>1</sup> A ce sujet, on pourra se reporter aux articles travaux de Danielle Fauque ainsi qu'à ceux de Nicole Hulin. Voir en particulier, D. Fauque, « L'enseignement de l'histoire des sciences dans les classes du secondaire », *BUP*, n°712, 1989, 417-426. Et N. Hulin, « Histoire des sciences et enseignement scientifique, quels rapports ? Un bilan 19<sup>e</sup>-20<sup>e</sup> siècles », *BUP*, n°786, 1996, 1203-1243.

<sup>2</sup> Outre la didactique des sciences, la psychologie cognitive et la philosophie se sont elles aussi intéressées aux bienfaits d'un enseignement scientifique s'appuyant sur l'histoire des sciences. Les philosophes Thomas Kuhn et Gaston Bachelard y font explicitement référence. Voir G. Bachelard (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin et T. Kuhn (1977), *La tension essentielle*, Gallimard. De même en est-il des travaux de la psychologue Elisabeth Spelke.

<sup>3</sup> La bibliographie proposée ci-après ne se veut pas exhaustive, mais elle propose une revue des sources historiographiques, biographiques ou originales facilement accessible et aisément utilisable dans le cadre du programme du cycle central.

« En évidence l'enseignement scientifique perd à être uniquement dogmatique, à négliger le point de vue historique. En premier lieu il perd de l'intérêt. L'enseignement dogmatique est froid, statique. Il aboutit à cette impression absolument fausse que la science est une chose morte et définitive. Personnellement, si j'en étais resté aux impressions éprouvées à la suite des premières leçons de sciences de mes professeurs (à qui je garde cependant le souvenir le plus reconnaissant), si je n'avais pris un contact ultérieur ou différent avec la réalité, j'aurais pu penser que la science était faite, qu'il ne restait plus rien à découvrir alors que nous en sommes à peine aux premiers balbutiements dans la connaissance du monde extérieur. Croire qu'il n'y a plus que des conséquences à tirer de principes définitivement acquis est une idée absolument erronée et qui risque de faire perdre toute valeur éducative à l'Enseignement scientifique. Ce défaut, général dans tous les pays, est encore plus sensible en France où, par une coquetterie déplacée, on hésite à introduire dans l'enseignement les notions nouvelles qui, à un degré plus ou moins grand, sont encore en état de développement. Seules les théories ayant fait, au moins en apparence, leurs preuves ont droit de cité dans nos livres classiques ; il en résulte qu'en réalité celles qui sont déjà périmées sont presque les seules qu'on puisse y rencontrer, tant est rapide encore le changement continu de nos idées les plus fondamentales. Or pour contribuer à la culture générale et tirer de l'enseignement des sciences tout ce qu'il peut donner pour la formation de l'esprit, rien ne saurait remplacer l'histoire des efforts passés, rendue vivante par le contact avec la vie des grands savants et la lente évolution des idées ».

Paul Langevin (1933), *La pensée et l'action*, Editions Sociales, p.192

« L'histoire des sciences me paraît avoir, au point de vue de la pédagogie, un double intérêt, d'abord parce que son étude pourrait utilement être introduite dans certains programmes d'enseignement, ensuite parce qu'elle peut nous fournir d'intéressantes indications sur la façon dont les sciences doivent être enseignées. L'introduction de l'histoire des sciences dans l'enseignement, même au niveau du second degré, serait, semble-t-il souhaitable. Elle peut faire réfléchir les jeunes esprits sur les conditions dans lesquelles la science progresse, sur son passé et sur son avenir : elle apporterait un utile complément aux enseignements scientifiques proprement dits et également aux enseignements d'histoire et de philosophie. Dans l'apprentissage de toutes les branches de la connaissance scientifique, un jeune esprit en formation doit commencer par parcourir plus ou moins rapidement les principales étapes que dans le passé l'humanité a eu à franchir pour édifier la Science contemporaine ».

Louis de Broglie, *Sur les sentiers de la science*, Paris, 1956, p. 377

« Je sais que la plupart des découvertes scientifiques peuvent s'énoncer en quelques mots et que leur démonstration ne réclame qu'un petit nombre d'expériences décisives. Mais si l'on cherche à rendre compte de leur origine, si l'on suit avec rigueur leur développement, on est frappé de la lenteur avec laquelle ces découvertes ont pris naissance, On peut dès lors adopter dans leur exposition deux méthodes différentes : l'une qui consiste à énoncer la loi et à la démontrer promptement dans son expression présente sans s'inquiéter de la manière dont elle s'est faite jour ; l'autre, plus historique, rappelle les efforts individuels des principaux inventeurs, adopte de préférence les termes dont ils se sont servis, indique leurs procédés toujours simples, et essaie de reporter par la pensée l'auditeur à l'époque où la découverte a eu lieu. La première méthode, voit avant tout le fait, la loi, son utilité pratique. Elle masque aux yeux des jeunes gens la marche lente et progressive de l'esprit humain. Elle les habitue aux révolutions subites de la pensée et à une admiration sans vérité de certains hommes et de certains actes. La seconde illumine l'intelligence. Elle l'élargit, la cultive, la rend apte à produire par elle-même, la façonne à la manière des inventeurs. Elle montre que rien de durable ne se fait sans beaucoup d'efforts ».

Louis Pasteur, (1858), *Œuvres de Pasteur*, tome 7, Paris 1939, p.

## L'histoire des sciences, un outil pour l'enseignant

*L'histoire je le crains ne permet guère de prévoir ; mais associée à l'indépendance de l'esprit, elle peut nous aider à mieux voir.*

Paul Valéry

De la même façon que Paul Valéry considère l'histoire comme un moyen d'éclairer les attitudes humaines du présent, il est sans doute possible de considérer l'histoire des sciences comme un outil pour comprendre les attitudes actuelles des élèves face à l'enseignement scientifique, et pour suggérer un certain nombre de pistes de réflexion pédagogique. Dans cette perspective, l'histoire des sciences devient un outil pour l'enseignant et n'intervient pas en tant que support directement exploitable avec les élèves.

### Considérer l'erreur autrement

Il n'est pas rare de trouver dans les raisonnements des élèves des idées proches de celles que l'on rencontre dans l'histoire des sciences<sup>4</sup>. Pour autant, de telles similitudes ne doivent pas être prises au sens strict. En effet, les raisonnements de nos élèves et ceux des savants du passé sont élaborés dans des contextes bien différents. Certaines théories historiques sont nées dans le cadre de contingences philosophiques particulières qui rend leur compréhension complexe et leur transposition périlleuse<sup>5</sup>. Et l'on peut imaginer qu'il sera

<sup>4</sup> Comme les savants de l'Antiquité, les élèves de 4<sup>e</sup> que l'on interroge sur le mécanisme optique de la vision s'opposent sur le sens de la vue. Certains affirment que la vue fonctionne dans un sens œil-objet, d'autres dans un sens objet-œil.

<sup>5</sup> Les élèves et les savants du 17<sup>e</sup> siècle reconnaissent donc de façon similaire qu'un objet projeté reçoit, de la part du lanceur, une « force », une vertu impressée, un *impetus*, qu'il conserve pendant le temps où il demeure en mouvement. Reconnaître qu'il existe une transmission de l'*impetus* permet aux savants pré-galiléens de prévoir qu'un objet lâché d'un support mobile conserve le mouvement du support. Pour Giordano Bruno, il ne fait aucun doute qu'une pierre lâchée du haut du mât d'un navire en mouvement uniforme tombera au pied de celui-ci. En revanche, la majorité des étudiants déclare qu'une clé lancée verticalement par un personnage immobile sur un tapis roulant, tombe derrière le lanceur. Cette fois, et contrairement à la démarche historique qui demeure cohérente dans son utilisation de l'*impetus*, les étudiants privilégient un raisonnement dans lequel prévaut la

toujours possible de rapprocher une prévision d'élève d'une prévision historique. Parle-t-on alors de similitude ou de simple coïncidence ? Et que faire des analogies lorsqu'elles existent ? Doit-on toutes les classer au rang des coïncidences sans que l'enseignant puisse en tirer un quelconque profit ? Peut-être pas.

Un regard sur l'histoire des sciences peut inciter l'enseignant à davantage de **tolérance**. En particulier, il constitue un moyen efficace de relativiser l'erreur de l'élève<sup>6</sup>. Pour reprendre une idée développée par la physicienne Françoise Balibar dans un plaidoyer en faveur de l'introduction de l'histoire des sciences dans la formation des professeurs des écoles, aucun enseignant ne peut être certain de ne pas se retrouver un jour face à un raisonnement analogue à celui d'une période historique donnée. Ainsi, en parlant de la notion de mouvement, F. Balibar suggère ceci :

*Ne vaut-il pas mieux que les futurs professeurs d'école soient informés des diverses conceptions de l'espace ayant prévalu au cours des siècles avant de réprimer, au nom du prétendu bon sens, telle ou telle conception spontanée développée par tel ou tel élève ?<sup>7</sup>*

L'erreur développée par l'élève n'a pas plus à être condamnée que celle du savant. Elle obéit à des règles de raisonnement particulières parfois proches de celles qui ont autrefois guidé certaines démarches scientifiques. Ce regard porté sur l'erreur dans l'histoire donne de la science une image dynamique et humaine bien éloignée de celle véhiculée par un enseignement parfois trop dogmatique.

### **Prendre la mesure des difficultés liées au savoir à enseigner**

La perspective historique propose une lecture dynamique et cohérente des processus mis en œuvre dans la résolution de problèmes. Elle peut servir à **détecter les moments difficiles**, les points d'achoppement que la science a rencontrés au cours de sa construction. Ces éléments devraient constituer des zones d'attention particulières pour l'enseignant. En particulier, les raisonnements qui ont perduré dans l'histoire en s'opposant au développement rationnel de la science laissent entrevoir les difficultés auxquelles les élèves risquent de se heurter au cours de leur apprentissage scientifique. L'enseignant dispose alors d'un moyen pour mesurer l'ampleur de la difficulté rencontrée par l'élève. Ainsi, la mise en évidence d'obstacles historiques persistants peut-elle donner une idée des difficultés que risque de rencontrer l'élève au cours de son apprentissage. C'est ce que suggère Gabriel Gohau :

*Dégager, dans les résistances au progrès scientifique, ces paresseuses, ces lourdeurs de la pensée qu'on retrouve à chaque génération au cours de son apprentissage, ces lenteurs de l'esprit qui lui font confondre ce qui ressemble et trouver simple ce qui est familier, voici quelle pourrait être la tâche d'une histoire des obstacles. Les obstacles inventoriés, il faudrait inventer des solutions pour les vaincre. Car l'enseignant n'est pas un collectionneur d'obstacles. Certes, amener au niveau conscient chez le jeune, le complexe d'analogies, d'images fausses qui retardent son acquisition du savoir scientifique, serait déjà décisif. Les lourdeurs de la pensée sont d'autant plus actives qu'elles demeurent inconscientes. Cependant, l'histoire des sciences nous offre aussi*

---

disparition du lien physique entre le mobile et son support plutôt qu'un raisonnement en terme d'*impetus*. Dans ce cas, le « capital de force » qui aurait dû se manifester pour l'objet entraîné dans les mains du lanceur semble disparaître dès que l'objet est lâché.

<sup>6</sup> Il ne s'agit pas de banaliser l'erreur de l'élève sous le prétexte qu'elle trouve une résonance dans l'histoire, ou au contraire de la considérer comme la preuve que l'élève n'a pas suffisamment travaillé. Il s'agit plutôt de considérer l'erreur comme un indice témoignant d'une difficulté qui mérite des moyens pédagogiques particuliers.

<sup>7</sup> Balibar F. L'histoire des sciences : une école de pensée critique, *Pour une autre approche des savoirs scientifiques*, Hachette Education.

*un moyen de choix pour les vaincre en mettant en relief les voies du franchissement des obstacles.<sup>8</sup>*

L'éclairage historique doit permettre à l'enseignant d'agir sur les modalités de son enseignement. A titre d'exemple, savoir qu'il a fallu 21 siècles pour que la communauté savante accepte de façon consensuelle que pour voir un objet il est nécessaire que la lumière provenant de cet objet pénètre dans l'œil (objectif de connaissance du programme d'optique de la classe de 5<sup>e</sup>), permet de prendre la mesure de la difficulté du savoir à enseigner. L'enseignant pourra donc prendre appui sur des éléments d'histoire des sciences afin d'enrichir sa pratique et sa réflexion pédagogique sans que cette histoire soit pour autant directement accessible aux élèves.

## **L'histoire des sciences, un outil pour l'élève**

L'expérimentation, la schématisation, le discours explicatif, le débat de classe, etc. constituent les moyens pédagogiques généralement utilisés par l'enseignant pour permettre à l'élève de surmonter les difficultés sous-jacentes à l'acquisition des notions et des contenus scientifiques. Parmi tout l'arsenal pédagogique dont l'enseignant dispose pour sa pratique de classe, l'histoire des sciences se pose elle aussi comme une aide à l'acquisition du savoir scientifique. Malheureusement, face à la diversité des supports qui s'offre à lui, l'enseignant se trouve parfois démuné. En effet, l'histoire des sciences peut s'exprimer sous des formes diverses, et la multiplicité des entrées possibles en classe nécessite que l'on réfléchisse aux objectifs pédagogiques et didactiques qui leur sont associées. A titre d'exemple, on pourra s'interroger sur le bien-fondé pédagogique du récit anecdotique, ou sur la pertinence historique des revues chronologiques linéaires de telle ou telle découverte<sup>9</sup>. Gardons en outre à l'esprit que quelle que soit le support choisi, il semble important qu'il s'inscrive dans une séquence favorisant l'activité de recherche dans une perspective constructiviste. Autrement dit, une séquence dans laquelle l'élève soit mis en situation **d'investigation**. Voici une revue des supports possibles, et d'utilisations qui peuvent en être faites en classe :

### **Les textes originaux**

Comme toute pratique de reconstruction, celle de la science est subjective. L'histoire des sciences comme reconstruction subjective de la science, orientée par les exigences pédagogiques et didactiques, d'où l'intérêt d'un retour au texte sans détour historiographique. Nombreuses traductions disponibles.

### **L'iconographie**

### **Le récit historiographique (écrit ou oral)**

### **La réplication d'expérience historique**

### **La controverse historique**

Du point de vue du contenu, les controverses scientifiques portent sur des énoncés qui visent la production de connaissances durables sur le monde. Selon la définition du sociologue Dominique Raynaud :

*Une controverse scientifique est un débat organisé qui se donne pour but des valeurs de connaissance (...) Elle se caractérise par la division persistante et publique de*

<sup>8</sup> Gohau G. Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences, in *ASTER*, n°5, 1987, p. 66.

<sup>9</sup> Un exemple courant est celui de l'histoire du modèle de l'atome.

*plusieurs membres d'une communauté scientifique, coalisés ou non, qui soutiennent des arguments contradictoires dans l'interprétation d'un phénomène donné<sup>10</sup>.*

Nombreux sont les sujets qui, dans l'histoire des sciences, ont fait l'objet de débats. Ceux-ci s'inscrivent en général dans la durée (entre plusieurs années et plusieurs siècles), et ne s'achèvent que par ce qu'il est convenu d'appeler un « règlement ». Ce règlement inclut la résolution du problème posé (elle suppose la plupart du temps la découverte d'une solution rationnelle), mais également l'accord des parties.

La controverse scientifique en tant que support d'enseignement est intéressante pour deux raisons. D'abord parce qu'elle est le lieu d'un débat dont la transposition en classe pourrait s'avérer efficace d'un point de vue socio-cognitif<sup>11</sup> ; ensuite, parce que le règlement par lequel elle s'achève pourrait inspirer une stratégie didactique particulière. Il s'agit par conséquent de choisir un problème qui, ayant donné lieu à une polémique dans l'histoire des sciences, donne lieu pareillement à un débat au sein de la classe. La pertinence d'une telle transposition va donc se trouver suspendue à la connaissance que l'enseignant peut avoir des raisonnements des élèves, et de leur ressemblance éventuelle avec des idées déjà présentes dans l'histoire.

---

<sup>10</sup> Raynaud D. *La sociologie des controverses scientifiques*, PUF, Paris, 2003.

<sup>11</sup> L'apprentissage des savoirs scolaires procède non seulement d'un acte intra-individuel et privé (le développement cognitif de l'élève dépend des interactions entre ses propres structures cognitives et les informations qui lui viennent de l'extérieur), mais aussi d'un acte collectif et inter-personnel, comme l'ont montré les travaux des psychologues Willem Doise et Gabriel Mugny dans les années 1970. Cette dimension sociale de l'apprentissage, connue sous le nom de socio-constructivisme, est essentielle et constitutive de la démarche d'investigation. L'idée fondamentale du socio-constructivisme est que les interactions sociales (échanges, débats entre pairs) sont un moteur de l'apprentissage. Par conséquent, le « débat scientifique dans la classe » est créé en référence au « débat dans la communauté savante », c'est-à-dire à ce qu'il est convenu d'appeler une controverse scientifique. Voir Doise W et Mugny G. *Le développement social de l'intelligence*, Paris, Interéditions, 1981.

## ANNEXE B 2. Comment la lumière est devenue le *stimulus* de la vue : approche épistémologique

Cécile de Hosson

*Lumière : Fluide très délié, qui en affectant notre oeil 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<sup>12</sup>.*

Cette définition, adoptée en 1781 par l'Académie Royale des Sciences, 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. Et surtout par le génie d'un homme de science du 11<sup>e</sup> siècle : Ibn al-Haytham, plus connu sous son nom latin d'Alhazen (965 Bassorah, Irak -1039, Le Caire, Egypte).

### La question du « sens » de la vue

Dès le 5<sup>e</sup> siècle avant J.C., les penseurs de l'Antiquité réfléchissent au fonctionnement de la vision. Dans ce contexte, deux courants coexistent. Le premier, celui de l'intromission, explique la vision comme l'entrée dans l'œil d'une image formée à partir de l'objet. Les atomistes, parmi lesquels Epicure, Leucippe, Démocrite ou encore Lucrèce sont les défenseurs de ce courant de pensée. Ainsi pour Lucrèce :

*Nous ne voyons pas les objets s'approcher de nous quand nous les percevons ; il faut au moins qu'ils envoient à notre âme quelque chose qui les représente, des images, eidola, espèces d'ombres ou de simulacres matériels qui enveloppent les corps, voltigent à leur surface et peuvent s'en détacher pour apporter à notre âme les formes, les couleurs et toutes les autres qualités des corps d'où ils émanent<sup>13</sup>.*

Le second courant, celui de l'émission, s'attache à expliquer la vision comme l'envoi à partir de l'œil d'une sorte d'entité invisible, un *quid*<sup>14</sup>, dont la nature n'est jamais réellement explicitée. Si Hipparque, le compare à une « main tendue », Platon en fait le prolongement de l'âme. Quant à Euclide et Ptolémée, ils en proposent un modèle géométrique sous la forme de « rayons visuels ». Ce qui est sûr, c'est que cette entité n'est pas de la lumière au sens où nous l'entendons aujourd'hui<sup>15</sup>.

### La rupture conceptuelle d'Alhazen

Une des questions qui anime la science de l'Antiquité est la suivante : la vision est-elle le résultat de l'émission ou de l'entrée dans l'œil de quelque chose ? Aristote propose une solution en considérant que si tous les sens fonctionnent de la même façon (à savoir qu'un organe serait sensible à un *stimulus* extérieur), alors l'œil doit lui-même posséder son propre *stimulus*<sup>16</sup>. La science médiévale (arabe et perse) sera héritière de cette question du « sens » de la vision, de la solution proposée par Aristote, ainsi que des premières

<sup>12</sup> *Dictionnaire raisonné de physique de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, 1781. Il est intéressant de remarquer que la « lumière » ainsi définie est considérée comme une entité statique puisqu'elle « réside » entre l'objet et l'œil, et qu'elle « occupe » l'espace qui les sépare. Examinée sous l'angle de la propagation la définition de 1781 ne correspond pas au concept actuel de *lumière*.

<sup>13</sup> Lucrèce, *De rerum natura*

<sup>14</sup> Le terme *quid* (quelque chose) est emprunté à Vasco Ronchi (1956) qui souligne ainsi l'indétermination de la nature de ce qui sort des yeux.

<sup>15</sup> Pour un développement plus complet de cette question de la nature du *quid*, voir Simon (1988).



descriptions biologiques de l'œil réalisée par Galien au 2<sup>e</sup> siècle après J.C. à la suite de nombreuses dissections.

C'est à partir de quelques principes hérités notamment de la science de l'Antiquité et des travaux anatomiques de Galien qu'Alhazen va proposer une explication révolutionnaire du mécanisme optique de la vision. Celle-ci ouvrira la voie à l'élaboration des théories actuelles. Ces principes sont les suivants : la vue, comme tous les autres sens, est le résultat d'une passion (action d'un agent extérieur sur un organe sensoriel) ; l'œil, parce qu'il est transparent, laisse pénétrer la lumière ; enfin, la pupille de l'œil est un régulateur d'intensité lumineuse<sup>17</sup>.

Alhazen ne va pas se contenter de reprendre à son compte les idées de ses prédécesseurs. Dans son traité d'optique le *Kitab al Manazir*, il va s'attacher à construire une théorie qui, certes, en sera inspirée, mais dont les principes sont élaborés à partir d'expériences avant d'être soumis à la conceptualisation. La démarche d'Alhazen est révolutionnaire puisqu'elle substitue à l'expérience par la pensée une méthode expérimentale minutieusement décrite (matériel nécessaire, protocole, observations...)<sup>18</sup>. Chaque avancée théorique est présentée comme induite par les observations exposées. Alhazen introduit chacune de ses conclusions par une expression de type : « D'après ce que nous avons découvert par l'expérience et par induction, il est évident que... ». De même, la plupart des propositions faites avant lui sont ainsi passées au crible de l'expérience. Toutefois, les conclusions présentées par Alhazen ne peuvent pas systématiquement être construites à partir des expériences qu'il propose. En particulier, le principe selon lequel la vision est le résultat de l'entrée de la lumière provenant de cet objet dans l'œil nécessite un saut conceptuel que nulle expérience ne peut susciter toute seule.

Reprenons pas à pas le cheminement d'Alhazen. Alhazen consacre un chapitre entier du *Kitab* à la description anatomique de l'œil qu'il illustre de dessins d'une remarquable précision comme en atteste la figure ci-contre (Figure 1).

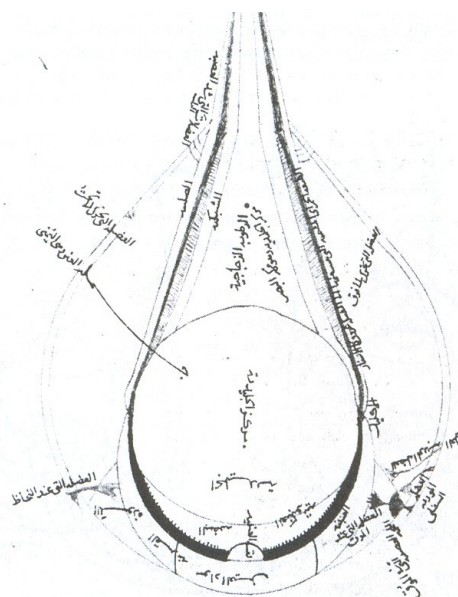


Figure 1 : Alhazen, dessin anatomique de l'œil.  
Dessin anatomique de l'œil attribué à Kamal al-Din. MS Ahmet III, 3340,

<sup>16</sup> Pour Aristote, ce *stimulus* n'est autre que la couleur. Voir Aristote, *De Anima*, trad. E. Barbotin, Gallimard, 1989, livre II, 7.

<sup>17</sup> Un siècle avant Alhazen, Al-Razi considère le mouvement de la pupille comme un mécanisme régulant la quantité de lumière qui pénètre l'œil : « la pupille se contracte ou se dilate selon la quantité de lumière externe nécessaire à l'humeur cristalline ».

<sup>18</sup> Dans le *Kitab*, Alhazen utilise une chambre noire comme lieu d'expérimentation sur la lumière : une petite ouverture par laquelle pénètre un petit filet de lumière est pratiquée dans la paroi d'une pièce entièrement close. C'est avec ce dispositif qu'Alhazen démontre la propagation rectiligne de la lumière ou encore la diffusion de lumière par des écrans colorés. Voir *Kitab*, livre I, chap.1.

*fol.24b. Istanbul (Turquie)*

Puis il expose 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. Dans ce dernier cas, la lumière qui est sur l'objet (lumière accidentelle<sup>19</sup>) envoie dans toutes les directions une lumière secondaire accompagnée de la couleur de l'objet, ce qu'Alhazen déduit de l'expérience suivante :

*Si un objet de couleur intense et brillante 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 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 (c'est la lumière accidentelle), elle s'y fixe et donne naissance à une lumière secondaire :

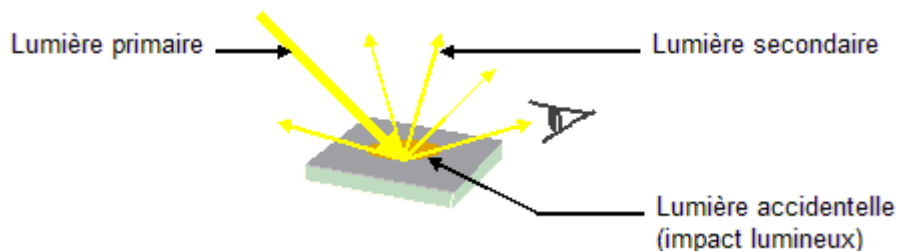
*Appelons lumière secondaire la lumière qui émane de la lumière accidentelle par réflexion, c'est-à-dire comme le fait la lumière qui se réfléchit depuis les surfaces lisses. Cette lumière émane des objets de la même façon que la lumière primaire ou essentielle émane des corps lumineux par eux-mêmes.*

Il existe donc une identité de comportement entre les lumières envoyées par n'importe quel corps lumineux (lumières primaires) et celles que diffuse (renvoie) n'importe quel corps opaque non poli (lumières secondaires).

Ensuite, 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 fixe une 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, etc. Le raisonnement qui conduit à cette conclusion peut être résumé comme suit : les objets éclairés émettent, dans toutes les directions, de la lumière à partir de l'impact

<sup>19</sup> Dans le langage d'aujourd'hui, l'expression « lumière accidentelle » correspond à « l'impact lumineux ».

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. On pourrait proposer une première approche schématique de la pensée d'Alhazen (20Figure 2) :



<sup>20</sup>Figure 2 : Schéma représentant le principe de la vision selon Alhazen : « Tous objets éclairés émettent de la lumière à partir de la lumière qui se trouve à leur surface dans toutes les directions. 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 ».

En fait, 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 :

*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'œil.*

Et pour en déduire que la lumière est le *stimulus* de la vue, il raisonne non plus 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.***

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 déduction empiriste. Ainsi en est-il de la doctrine selon laquelle la lumière est le *stimulus* de la vue. 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 un corps invisible qui, dans le cas de la vision ordinaire, ne provoque pas d'effet sensible. Tout le génie d'Alhazen réside dans le fait d'avoir su créer un objet conceptuel (la lumière) sur lequel il est possible de parler en termes de « plus ou moins ». Si l'on s'en tient à cette explication la proposition d'Alhazen demeure suffisante et conforme aux exigences scientifiques actuelles, et à celle du programme d'optique de la classe de 5<sup>e</sup>.

Le changement de point de vue opéré par Alhazen, lorsque d'un raisonnement en terme de « lumière » il passe à un raisonnement en terme de « quantité de lumière », ne sera adopté de façon définitive qu'au 17<sup>e</sup> siècle par Descartes et par Malebranche, mettant ainsi un terme aux querelles concernant les théories de la vision<sup>21</sup> :

*Comme il ne faut qu'une quantité déterminée de lumière pour ébranler suffisamment la rétine et faire voir les objets, l'ouverture de la prunelle pourrait diminuer à proportion que la quantité de lumière augmente»<sup>22</sup>.*

La théorie d'Alhazen constitue l'un des objectifs de l'enseignement de l'optique au collège. Même si elle est volontairement succincte, les éléments d'histoire des théories de la vision telle que nous l'avons présentée nous montre que cet objectif est très difficile, qu'il relève d'un effort d'abstraction qui nécessite un accompagnement pédagogique soutenu. En effet, si l'on considère qu'il a fallu plus de quinze siècles pour proposer un premier modèle rationnel de la vision, on peut supposer qu'il soit opportun de passer un peu de temps avec les élèves pour leur faire admettre que voir c'est recevoir de la lumière.

### Et la vision nocturne des chats ?

Pour Descartes les chats, à la différence des hommes, émettent leur propre lumière, ce qui explique qu'ils voient la nuit :

*Ainsi faut-il avouer que les objets de la vue peuvent être sentis, non seulement par le moyen de l'action qui, étant en eux tend vers les yeux ; mais aussi par le moyen de celle, qui étant dans les yeux, tend vers eux. Toutefois, pour ce que cette action n'est autre chose que la lumière, il faut remarquer qu'il n'y a que ceux qui peuvent voir la nuit, comme les chats, dans les yeux desquels elle se trouve»<sup>23</sup>.*

Cette idée a de quoi surprendre. Pourtant, elle est également présente chez Kepler qui de manière analogue écrit dans les *Paralipomènes* que « des sources permanentes de lumière sont dans les yeux des chats »<sup>24</sup>. Or s'il est exact que non seulement les chats sont nyctalopes, mais également que leurs yeux brillent dans la nuit, cela ne signifie pas pour autant qu'ils émettent leur propre lumière. Ceci avait d'ailleurs été parfaitement expliqué par Léonard de Vinci quelques siècles auparavant :

*Si l'œil du chat brille dans la nuit, ce n'est pas dû à une émission quelconque de l'œil de l'animal, mais à la réflexion de la lumière sur la cornée»<sup>25</sup>.*



<sup>21</sup> Pour la première fois de l'histoire, la rétine est perçue comme un organe sensible à la quantité de lumière et non plus comme le lieu géométrique de formation de l'image comme chez Kepler. La vision est alors expliquée d'un point de vue énergétique, comme c'est aujourd'hui le cas dans la plupart des ouvrages d'ophtalmologie.

<sup>22</sup> Nicolas de Malebranche, *Éclaircissements sur l'optique*.

<sup>23</sup> Descartes R. *Dioptrique*.

<sup>24</sup> Kepler J. *Paralipomènes à Vitellion*.

<sup>25</sup> Léonard de Vinci, Q.IV, folio 12, disponible sur le site <http://www.snof.org/histoire/vinciphysio.html>

On peut légitimement s'étonner du fait que ni Kepler ni Descartes, pourtant acquis à la cause intromissioniste et fervents défenseurs d'Alhazen, n'expliquent la vision nocturne du chat de façon satisfaisante...

Cécile de Hosson

### Bibliographie

- Alhazen, *Kitab al Manazir*, trad. A.I. Sabra, book 1, University of London, 1989.
- Aristote, *De l'âme*, trad. E. Barbotin, Les Belles Lettres, Paris, 1989.
- Aristote, *De la sensation et des sensibles*, trad. P.M. Morel, Flammarion, Paris, 2000.
- *Technique pour les professeurs des écoles*, Hachette éducation, Paris, 1993, pp.37-42.
- Bollack J., *Empédocle*, tome 2, Gallimard, 1992.
- Descartes R., *Dioptrique* (1648), Fayard, Paris, 1987.
- Hosson (de) C. La controverse historique : un outil didactique, in *Bulletin de l'Union des Physiciens*, Juillet 2004 (partie 1) et Janvier 2005 (partie 2).
- Hosson (de) C. Kaminski W., Les yeux des enfants sont-ils des porte-lumière, in *Bulletin de l'Union des Physiciens*, vol.96, Janvier 2002.
- Kepler J. *Paralipomènes à Vitellion* (1604), trad. Chevalley C. Vrin, Paris, 1980.
- Lucrèce, *De rerum natura*, trad. J. Kany-Turpin, Flammarion, Paris, 1997.
- Malebranche N. (de), Eclaircissements sur la vision, in. *Œuvres Complètes*, Vrin, Paris, 1984.
- Platon, *Timée*, trad. E. Chambry, Gallimard, Paris, 1969.
- Ronchi V., *Une Histoire de la lumière*, trad. Taton J. Colin, Paris, 1956.
- Simon G., *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*, Seuil, Paris, 1988.
- Voilquin J., *Les penseurs grecs avant Socrate*, Flammarion, Paris, 1964.
- *Dictionnaire raisonné de physique de l'Académie Royale des Sciences*, Paris, 1781

Les extraits des écrits de Léonard de Vinci sont disponibles sur le site du Syndicat National des Ophtalmologistes : <http://www.snof.org>

## ANNEXE B 3. Thalès de Milet

## Classe de cinquième

## Partie C : Propagation rectiligne de la lumière

Ce document se présente en deux parties :

- un document pour le professeur qui se termine par une bibliographie et des ouvertures vers d'autres disciplines
- un document pour les élèves : ce dernier permet d'initier un travail dans la classe

**DOCUMENT POUR LE PROFESSEUR****Thalès de Milet (VIIe-VIe siècle av. J.-C.)**

**Danièle FAUQUE**

Considéré comme un sage et un savant dès l'Antiquité, Thalès est le premier vrai physicien grec au sens étymologique, celui qui étudie la nature, et cherche à en découvrir les secrets. Il ne reste aucune trace de ses écrits, peut-être n'a-t-il jamais écrit. Hérodote dans *l'Enquête* le cite par deux fois dans son livre I. Il rapporte l'éclipse de Soleil qui s'est produite lors d'une bataille que se sont livrés les Mèdes et les Lydiens en 585. Celle-ci avait été prédite par Thalès. Mais c'est un pur hasard qu'elle se soit produite au moment et sur le lieu de la bataille. Ce qui a été prédit c'est l'année où elle devait se dérouler, et non où elle serait visible. Les connaissances de l'époque ne le permettaient pas. Il est attesté que les prêtres de Babylone observaient les éclipses depuis au moins l'an 721. Au VIe siècle, ils avaient donc certainement dû établir des cycles de solstices au cours desquels une éclipse avait une forte probabilité de se produire. Rappelons qu'une éclipse de Soleil a lieu lorsque le disque de la Lune passe devant le disque du Soleil, donc quand la Lune passe près du nœud de son orbite (le point où celui-ci coupe l'écliptique). Le retour des éclipses obéit au cycle du Saros, qui prévoit la succession d'éclipses de même type tous les 18 ans et 11 jours. Il suffit donc d'avoir des observations régulières sur une longue période pour établir ce cycle. Il n'y a donc derrière cette prédiction aucune théorie scientifique, Thalès, comme ses contemporains, ignorait totalement l'origine des éclipses. Thalès aurait lui-même observé les solstices afin d'établir un calendrier, puis de prédire le retour de l'éclipse en une année donnée. Ces observations auraient pu se faire à l'aide d'un gnomon ou bâton vertical fixe, dont on mesure l'ombre portée donnée par le Soleil à son zénith. On attribue en général l'invention du gnomon aux Babyloniens, et son introduction dans le monde grec avec Anaximandre. Mais la méthode est si simple qu'elle pouvait avoir été découverte par Thalès. Thalès connaissait probablement aussi le savoir babylonien. Il avait certainement voyagé, ou avait été au contact des peuples de l'est. Milet, ville d'Ionie, sur le bord de la mer Égée, est un port alors très fréquenté, où se côtoient des marins phéniciens, des commerçants égyptiens, et des barbares du Pont-Euxin au nord. C'est un lieu d'échanges de toute nature, où règne un brillant climat intellectuel. Arrivent aussi de l'intérieur des caravanes venant de Sardes, ville-carrefour entre l'Asie mineure et le Moyen-Orient, située en Lydie, royaume de Crésus, fréquentée par les Grecs, et a fortiori par les Perses au cours des nombreuses guerres entre ces deux peuples. C'est d'ailleurs au cours de l'une d'elles que Thalès aida Crésus. Selon Hérodote, Crésus devait traverser l'Halys, le fleuve rouge d'Asie mineure, avec son armée. Il n'y avait pas de pont. Thalès fit creuser un canal de dérivation pour diviser les eaux et l'armée put traverser. Thalès est présenté aussi comme celui qui suggéra d'observer la Petite Ourse, plus commode d'utilisation pour naviguer, et que les marins phéniciens utilisaient déjà, plutôt que la Grande Ourse d'usage habituel chez les marins d'Ionie.

En mathématiques, son savoir repose aussi sur des pratiques ingénieuses parfaitement maîtrisées et non sur des connaissances théoriques. D'ailleurs ses successeurs non plus n'utilisent pas de théorie. Thalès aurait utilisé la méthode des triangles semblables par observation de l'ombre portée d'un monument comparée à celle d'un bâton vertical à la même heure. De même, il aurait déterminé la distance des bateaux en mer, à partir d'un instrument rudimentaire constitué de deux bâtons de bois reliés par une cheville servant d'axe. L'un est la ligne de mire, l'autre la ligne de visée, la hauteur du bateau étant connue. Cependant, on pense que c'est par la pratique, qu'il exerce de main de maître et qui fait sa réputation, que Thalès accède à ces connaissances et non par une théorie géométrique établie *a priori*.

Selon Aristote, qui seul le rapporte, Thalès dit que la Terre repose sur l'eau et que l'élément primordial est l'eau. Mais on peut douter que Thalès en soit l'auteur. Selon les chercheurs d'aujourd'hui, Thalès aurait décrété que la Terre provenait de l'eau, elle se serait solidifiée en quelque sorte à partir de l'élément liquide sans pour autant concevoir que la Terre et son contenu étaient de l'eau. On pense que Thalès a été influencé par la diversité des traditions mythiques et cosmogoniques de son époque, et plus particulièrement celles provenant des civilisations situées plus à l'est du bassin méditerranéen. Rappelons qu'en Égypte, la Terre est un récipient à fond plat flottant sur l'eau qui par ailleurs remplit aussi le ciel, le Soleil traverse chaque jour le ciel en bateau et navigue chaque nuit sous la Terre. Chez les Babyloniens, les eaux originelles sont représentées par Apsu et Tiamat. Marduk coupe le corps de Tiamat en deux pour faire la Terre et le ciel, ce dernier contenant sa propre eau (voir aussi le début de la Genèse ou Homère). Nous sommes aussi à la période pré-hippocratique (Ve siècle), diverses écoles médicales rivalisent en Ionie. Elles accordent à l'eau, indispensable à la vie, un rôle physiologique important. Les influences sont multiples et un homme à cette époque peut tout connaître. Cependant, Thalès abandonne la forme mythique pour énoncer ses propositions. Il apparaît donc comme un homme charnière, et le premier des philosophes. Tous les chroniqueurs de l'Antiquité le citent comme tel.

### Sources bibliographiques complémentaires

- Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M., *Les philosophes présocratiques*. Éd. du cerf, Éd. universitaires de Fribourg, 1995, coll. Pensée antique et médiévale, textes, p. 79-103.
- André, Jean-Marie, et Baslez, Marie-Françoise, *Voyager dans l'Antiquité*. Éd. Fayard, 1993.
- Hérodote, *L'Enquête, Livres I à IV*, édition d'Andrée Barguet. Folio classique, 1985, n° 1651, Livre I, p. 78-79, 131.

### Disciplines associées

Avec les mathématiques (règle de proportionnalité, triangles semblables). Le texte suivant, proposé aux élèves, en est un exemple.

Avec la géographie : l'Asie mineure aujourd'hui et l'Asie mineure dans l'Antiquité. Les voies de communications.

Avec la langue ancienne, le grec.

Avec l'histoire, mais c'est peut-être faire appel au programme de sixième : histoire de la Grèce antique.

## DOCUMENT POUR L'ÉLÈVE

### Texte

Extrait de Diogène Laërce, *Vie et opinions des philosophes*, (IIIe siècle ap. J.-C), I, 27

« Hiéronymos déclare qu'il [Thalès] mesura en fait la hauteur des pyramides grâce à leur ombre, ayant observé l'heure exacte à laquelle notre propre ombre est égale à notre taille. »

cité par Kirk, G. S., et al., p. 79.

### Présentation du texte

Diogène Laërce ou de Laërte : écrivain grec (II<sup>e</sup> siècle ap. J.-C.). Sa *Vie et opinions des philosophes* est une source précieuse pour reconstituer des doctrines perdues.

Hiéronymos : historien grec (v. 370-265 av. J.-C.), réputé homme d'action et grande valeur, ayant laissé des témoignages de première main.

Pyramides : la doxographie (les écrits qui en parlent) cite souvent le voyage de Thalès en Égypte. Mais ce voyage a aussi valeur de voyage initiatique dans l'Antiquité.

**Le professeur aide les élèves à reformuler le texte avant de répondre aux questions suivantes (rayons solaires parallèles, propagation rectiligne, modélisation de la situation pour la schématiser, proportionnalité).**

Le professeur peut placer les élèves dans la cour, faire mesurer la longueur de l'ombre de chaque élève, faire établir les rapports entre la taille de chaque élève et celle de son ombre afin de justifier la constante de proportionnalité par le parallélisme des rayons solaires.

Une contre-expérience possible consiste à éclairer avec une lampe de poche deux objets de tailles différentes pour montrer qu'il n'y a pas proportionnalité si la source n'est pas très éloignée.

### Questions

- Schématiser les deux situations décrites par Diogène Laërce.
- Établir les rapports entre la hauteur de l'homme et la longueur de l'ombre d'une part, et la hauteur de la pyramide et la longueur de son ombre d'autre part.
- Dans les mêmes circonstances que Thalès, un voyageur a mesuré l'ombre de la pyramide de Kheops et a trouvé 146,6 m. Quelle est la hauteur de cette pyramide ?



**ANNEXE B 4. L'observation des astres et la naissance de la science****Classe de cinquième****Partie C : La lumière : source et propagation rectiligne de la lumière**

**Ce document se présente en deux parties :**

- **un document pour le professeur**
- **un document à proposer aux élèves**

**DOCUMENT POUR LE PROFESSEUR****Histoire des modèles du monde de l'Antiquité à Kepler**

**Danièle FAUQUE**

Dès l'Antiquité, les hommes ont observé le ciel. Les mythes fondateurs des civilisations commencent toujours par une explication de l'origine du monde. Ainsi, la répétition des phénomènes observés suggère l'idée d'une maîtrise possible des événements à venir. Les premiers astronomes étaient donc des astrologues et des philosophes, des lettrés bons observateurs et habiles mathématiciens. Les influences réciproques des civilisations chinoise, indienne et mésopotamienne ont toutes conduit à l'élaboration d'un savoir déjà sophistiqué dès le premier millénaire avant notre ère. Ces savants devaient noter les événements d'un règne, prédire l'avenir aux grands du royaume et d'abord au roi lui-même, établir le calendrier des fêtes et des événements de la vie sociale et économique liés en premier lieu au rythme des saisons...

Dans la Grèce antique, en Ionie (Asie mineure), Milet est le centre d'une activité intellectuelle brillante aux VII<sup>e</sup> - VI<sup>e</sup> siècles avant notre ère. Pour Thalès, un de ses citoyens les plus éminents, l'explication des phénomènes physiques se trouve dans l'observation de la nature. Selon lui, la Terre flotte encore sur l'eau, et donc a toujours besoin d'un support concret pour perdurer, comme dans les mythes antiques qui la faisait reposer sur le dos d'un animal. Mais pour Anaximandre, un peu plus jeune que lui, elle se libère de cette contrainte. La Terre est immobile, en équilibre, comme en suspens. Il donne, le premier, une base mathématique à la structure du Monde. Pour lui, le Monde est un ensemble déterminable et ordonné. La Terre est comme une colonne cylindrique, et les hommes vivent sur la surface plane supérieure. Elle est entourée des nuées circulaires opaques (air) dans lesquelles est emprisonné le feu, comme les jantes d'une roue de char. Par les ouvertures de ces nuées, du feu s'échappe, comme un souffle d'un évent, et donne le Soleil, la Lune et les étoiles (les planètes ne sont pas distinctes des étoiles). Lorsque ces ouvertures-événements se ferment totalement ou partiellement, on assiste aux éclipses totales ou partielles. Le mouvement erratique de certains astres, ou les irrégularités du Soleil et de la Lune sont dues entre autres à l'effet du vent. Les cercles du Soleil, de la Lune, et des autres astres ont différentes inclinaisons qui ne se gênent pas les uns les autres. Anaximandre propose même des rapports de distance. Il propose le cercle du Soleil à la distance 27 fois celle du diamètre terrestre, celui de la Lune à 18 fois le diamètre de la Terre, et celui des étoiles à 9 fois le diamètre de la Terre. Les valeurs proposées ont, bien entendu, un sens symbolique.

Les Pythagoriciens, installés dans le sud de l'Italie au Ve siècle avant Jésus-Christ, forment une école de pensée sous-tendue par le sentiment religieux. Ils rejettent l'idée des cercles de feu d'Anaximandre, et accordent aux astres une origine divine. Il donne le nom de Cosmos à l'enveloppe de l'univers. Ils introduisent l'idée de sphéricité. Pour eux, la Terre est un astre comme les autres tournant autour d'un feu central, et par ce mouvement circulaire, crée le jour et la nuit. Poursuivant cette quête de la perfection, ils donnent aux astres la forme sphérique et un mouvement parfait qui ne peut être que le cercle parcouru de façon

régulière. S'appuyant sur la périodicité des mouvements des corps célestes, ils affirment que tout est nombre, et associent musique et astronomie. Le mythe de la musique des sphères perdurera jusqu'à Kepler, le dernier des pythagoriciens. Ils proposent de classer dans l'ordre, après la Terre, la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne, en conformité avec les accords musicaux.

Les savants qui succèdent à Pythagore vont développer le modèle sphérique, aux Ve - IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère, sur le plan cosmologique avec Platon d'Athènes, qui impose aux astronomes de réduire en mouvements réguliers le désordre apparent des mouvements célestes, et sur le plan de l'astronomie mathématique, avec son contemporain Eudoxe de Cnide en Carie (Asie mineure) et ses sphères homocentriques, système réformé par Callippe de Cyzique en Phrygie (Asie mineure). Le Macédonien Aristote (384-322 av. J.-C.) est un héritier de Platon et d'Eudoxe, mais il gère cet héritage de façon originale. Il propose un ordre du Monde : à partir de la Terre, il place les orbes de la Lune, les orbes du Soleil, les orbes de mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, puis le ciel des étoiles fixes. Il n'y a pas de vide. Les orbes sont reliés entre eux par des orbes intermédiaires animés de rotations telles qu'elles compensent exactement pour le système inférieur l'effet des rotations des systèmes extérieurs. Ces sphères tournent à rebours. La sphère des fixes règne sur toutes celles qu'elle enveloppe. Cette cosmologie ne traduit pas la réalité de la pratique astronomique autrement plus complexe. Les mouvements des astres n'entrent pas dans cette conception trop simple. Il est nécessaire pour sauver les apparences des phénomènes observés de faire appel à de judicieux agencements de cercles excentrés, décentrés, déférents ou épicycles, qui portent les astres dans un mouvement parfait, circulaire et uniforme, sur l'ultime cercle de cette subdivision des mouvements. À l'époque d'Aristote, il ne fallait pas moins de 56 cercles pour décrire le mouvement du ciel. Le système d'Aristote s'est imposé dans l'Antiquité. Au II<sup>e</sup> siècle cependant, une proposition nouvelle est faite par le Grec Aristarque de Samos. Il propose un Soleil immobile comme la sphère des fixes. La Terre tourne autour du Soleil. Mais, nous n'avons pas de trace des écrits de ce savant qu'Archimède cite. Ses propositions choquaient trop le sens commun et n'eurent pas de suite.

Hipparque (Rhodes, II<sup>e</sup> av. J.-C.), astronome et géographe, un des plus grands de l'Antiquité, va accorder beaucoup d'importance aux données d'observation, les siennes d'abord, les plus anciennes ensuite. Il va découvrir la précession des équinoxes, la lente dérive des étoiles fixes vers les nœuds équinoxiaux. Il va établir une théorie du mouvement de la Lune. Ses données seront exploitées par Claude Ptolémée qui éprouve à son égard une grande reconnaissance. Ptolémée vit à Alexandrie, en Égypte, où il bénéficie d'un climat intellectuel extrêmement brillant. La ville fondée par un général d'Alexandre sait accueillir dans les meilleures conditions des savants, des ingénieurs et des professeurs dans son Musée, et à qui elle ouvre les richesses de son immense Bibliothèque de 700 000 volumes. Ptolémée va rédiger un ouvrage synthétique de toutes les connaissances scientifiques de son temps qu'il contribue également à améliorer, la *Grande syntaxe mathématique* (140 ap. J.-C.), plus connue sous son titre arabe, l'*Almageste*. Le début de l'ouvrage s'ouvre sur une cosmologie qui par son contenu et ses conceptions, va dominer le monde occidental jusqu'au début du XVII<sup>e</sup> siècle.

Le ciel est sphérique, tourne autour de l'axe du Monde. La Terre est sphérique et placée, rigoureusement immobile, au centre du Monde. Elle n'est qu'un point en regard des espaces célestes. Viennent ensuite des chapitres plus mathématiques. Il expose les procédures théoriques et résultats pratiques recueillis jusqu'à lui, en utilisant la géométrie et la trigonométrie plane et sphérique. Il tient compte des irrégularités observées en proposant de compliquer encore le modèle des cercles successifs, en particulier en utilisant le point équant pour expliquer les irrégularités du mouvement des planètes. Ce point est le centre du cercle déférent qui porte le centre de l'épicycle de la planète. C'était faire une entorse très sérieuse au principe de base puisque ce point n'est pas le centre de la Terre, mais appartient à la ligne des apsides.

Il faut attendre les propositions du Polonais Nicolas Copernic (1473-1543) pour qu'une nouvelle cosmologie soit proposée. Après des études classiques à l'Université de Cracovie, Copernic va parfaire sa formation à Bologne, en droit canon et en droit civil, mais aussi en

astronomie. C'est en cette ville qu'il commence à observer les cieux en 1497. Il gagne ensuite Rome, où il se fait connaître par quelques conférences d'astronomie, puis revient en Pologne où il obtient une charge de chanoine à Frombork. Titulaire d'une bourse pour deux ans, il retourne en Italie, à Padoue, pour suivre une formation en médecine. Ne pouvant pas soutenir sa thèse en médecine - il faut trois ans d'études - il rejoint Ferrare où il soutient enfin sa thèse de droit canon en 1503, puis rentre en Pologne. Il s'installe au bout de quelques années définitivement à Frombork. Il y participe à la gestion du chapitre (assemblée tenue par des chanoines ou des religieux ou religieuses), exerce un peu la médecine et se consacre surtout à l'astronomie. Son livre, encore inachevé, *De revolutionibus* (*De la révolution des orbes célestes*), paraît en 1543 à Nuremberg, l'année de la mort de l'astronome, grâce à l'insistance de son dernier assistant, l'astronome allemand Georg Joachim Rheticus. Dans la préface, Copernic affirme que la Terre, sphérique comme tous les astres, se meut sur elle-même et autour du Soleil. Tous les astres ont, autour du Soleil, un mouvement circulaire. Il introduit d'abord les outils mathématiques nécessaires à l'exercice de l'astronomie, et veut ensuite rendre compte de tous les phénomènes observés dans le ciel. Et tout au long de son processus de démonstration, il critique discrètement Aristote et Ptolémée. La théorie de Copernic apporte une compréhension claire du système planétaire, même si la complexité des calculs à effectuer reste grande. Le Soleil est au centre du Monde ; il est entouré successivement de Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne, enfin clos par la sphère des fixes. Avec Copernic, et avec lui seulement, s'amorce un bouleversement qui conduira à l'astronomie et à la physique modernes.

Trois verrous fermaient les progrès de l'astronomie depuis l'Antiquité : le géocentrisme, les mouvements circulaires, la dichotomie du monde (la division en monde sublunaire, impur et corruptible, d'une part, et monde supra-lunaire, pur et parfait, d'autre part). Seul le premier verrou, le géocentrisme, tombe avec Copernic. Le troisième, la dichotomie du monde devient insoutenable : comment concevoir que l'orbe de la Lune contenant la Terre, siège de l'impur et de l'éphémère, puisse traverser les cieux purs et immuables dans sa course autour du Soleil ? Copernic ne s'est pas engagé dans cette voie qui recèle un véritable cheval de Troie. Le deuxième verrou ne sautera que sous les assauts de Kepler, conduit malgré lui, par les données astronomiques à proposer des orbites elliptiques. Mais, la proposition de Copernic ouvre d'ores et déjà des perspectives nouvelles aux astronomes quant à leur pratique observationnelle.

Tycho Brahé (1546-1601), astronome et grand seigneur danois, conçoit un système astronomique intermédiaire après avoir lu Copernic. Il est passionné d'astronomie dès sa prime jeunesse, et cette passion a été renforcée par l'observation d'une nova en 1572 et d'une comète en 1577, astres qu'il situe au-delà de l'orbite de la Lune. Plutôt que de corriger des tables anciennes, il entreprend d'en préparer de nouvelles. Ses instruments, que sa richesse lui permet de faire construire sur ses instructions, sont d'une précision jamais atteinte jusque-là. Les positions qu'il relève se font à la seconde d'arc près avec un quadrant d'environ 6 mètres de rayon fixé au mur de son observatoire d'Uraniborg, ou avec un sextant d'environ 1,7 mètres. Se basant, dit-il, sur ses observations, il fait tourner les planètes autour du Soleil et le Soleil autour de la Terre qui reste ainsi le centre du Monde. La difficulté la plus insurmontable qui l'empêche d'accepter le système copernicien est l'impossibilité d'observer les parallaxes d'étoiles qui en quelque sorte seraient la preuve d'un mouvement de la Terre (la première parallaxe d'étoile sera observée en 1838, sur l'étoile 61 Cygni par Bessel à Königsberg en Prusse orientale). L'argument de la mise en évidence du mouvement de la Terre sera longtemps débattu tant par Galilée que par Kepler, et est un des piliers sur lesquels vont s'appuyer leurs détracteurs. Mais le système tychonien répondait à l'esprit du temps, il permettait à la fois de sauver les phénomènes en tenant compte des observations, sans bouleverser la conception commune du Monde. Il va donc persister assez longtemps. Il apparaît comme un troisième système du Monde, dans lequel les cieux ne sont plus immuables, dans lequel les orbes solides des planètes n'existent plus, soutenu enfin par des observations de position d'une exceptionnelle précision, jamais atteinte jusqu'à cette date, qui permettront les découvertes de Kepler et l'établissement d'une astronomie, et non plus

d'une cosmologie, vraiment nouvelle. Avec Brahé, le troisième verrou, c'est-à-dire l'immutabilité des cieux tombe. Il reste encore les mouvements circulaires uniformes.

Protégé du roi du Danemark, Tycho Brahé essuie le rejet de son successeur, et doit se réfugier à Prague en 1598 auprès de l'empereur Rudolphe III. Homme arrogant, autoritaire et orgueilleux, il savait se faire des ennemis. Johannes Kepler (1571-1630), d'origine allemande, entre comme assistant mathématicien dans son équipe en 1601. Kepler est déjà un savant reconnu, mais il est pauvre et d'origine obscure, et court toujours à la recherche d'un protecteur. Il arrive à Prague dans le but très précis d'obtenir de Brahé certaines données d'observation nécessaires à ses propres calculs appuyant la théorie copernicienne. Brahé veut l'en dissuader et lui demande de défendre son propre système, et en attendant de participer à l'élaboration des tables astronomiques avec le catalogue des 777 étoiles qu'il a constitué au cours de ses années d'observation. On en est justement à l'étude du mouvement de Mars, très excentrique, que l'on n'arrive pas à résoudre. Son étude est confiée à Kepler. Puis Brahé meurt brutalement en 1601, et Rudolphe III charge le savant allemand de poursuivre l'œuvre du Danois.

Kepler constate que l'on ne peut garder le centre de la Terre comme référence, il faut passer au centre du Soleil, et de plus reprendre l'idée de l'équant pour expliquer les excentricités de Mars. D'année en année, il doit se résoudre à certains accommodements pour faire coïncider calculs et observations. D'approximations en hypothèses supplémentaires, après avoir essayé le mouvement ovale, il se résout à accepter l'ellipse. Après huit ans de travail, en 1609, Kepler publie dans un nouveau traité d'astronomie deux lois empiriques du mouvement des planètes, la loi des ellipses et la loi des aires. Historiquement, la deuxième a été établie la première dès 1602. En 1618, il donnera sa troisième loi, ou loi des périodes. L'*Astronomia nova* (1609) ou l'*Astronomie par les causes* est nouvelle à plus d'un titre, mais c'est la première fois qu'un traité d'astronomie s'appuie sur des considérations dynamiques pour calculer le mouvement des astres. Pour Kepler, le Soleil exerce une force promouvante (qui n'a rien de l'attraction) qui entraîne les planètes à tourner autour de lui. À la considération cinématique ancienne des orbes qui portaient les planètes, il substitue des forces quantifiées permettant de calculer l'orbite, ligne imaginaire, parcourue par l'astre. Il faudra cependant attendre la dynamique de Newton et la théorie de la gravitation universelle (1687) pour que les trois lois de Kepler soient mathématiquement démontrées.

o

## Sources bibliographiques

Aujac Germaine, *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe. Connaissance et représentation du monde habité*, Éd. du CTHS, 1993.

Aujac Germaine, *Ératosthène de Cyrène, le pionnier de la géographie. Sa mesure de la circonférence terrestre*. Éd. du CTHS, 2001.

Kirk G. S., Raven J. E., Schofield M., *Les philosophes présocratiques*. Éd. du cerf, Éd. universitaires de Fribourg, 1995, col. Pensée antique et médiévale, textes.

Lerner Michel-Pierre, *Le monde des sphères, I- Genèse et triomphe d'une représentation cosmique*, Éd. des Belles Lettres, 1996 ; II- *La fin du cosmos classique*, Éd. des Belles Lettres, 1997.

Platon, *Timée / Critias*, trad. de Luc Brisson. GF-Flammarion, n°618, 1996.

Simon Gérard, « Kepler », in Blay Michel et Halleux Robert, *La science classique, XVIe-XVIIIe siècle, dictionnaire critique*. Éd. Flammarion, 1998, p. 282-293.

Simon Gérard, *Kepler, astronome, astrologue*, NRF, Éd. Gallimard, 1979.

Sonneville Madeleine, Fauque Danielle, *La gravitation*. Éd. du CNDP, 1997, coll. Documents, actes et rapports pour l'éducation.

Taton René (dir.), *Histoire générale des sciences*, t. I, *La science antique et médiévale*, PUF, 1966. T. II, *La science moderne*, PUF, 1969.

Verdet Jean-Pierre, *Astronomie et astrophysique*. Éd. Larousse, 1993, coll. Textes essentiels.

Verdet Jean-Pierre, *Une histoire de l'astronomie*. Éd. du Seuil, 1990, coll. Points sciences S 62.

### Chronologie des connaissances astronomiques déduites de l'observation

*On commence avec Thalès, et on termine avec Hubble, puis les exoplanètes, en se contentant des acquisitions en rapport avec les modèles de monde.*

## DOCUMENT ÉLÈVE

**Partie** : La lumière : source et propagation rectiligne de la lumière

**Chapitre** : Le système Soleil Terre Lune

**Activité documentaire d'Histoire des Sciences**

### Texte

#### Histoire d'un modèle du monde

Depuis toujours, le Ciel a été l'objet de nombreuses interrogations. Les peuples anciens essayaient déjà d'interpréter les phénomènes observés. Certaines civilisations accordaient à un animal familier la charge de porter le monde. Aux VII<sup>e</sup>-VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère, pour **Thalès**, à Milet en Asie mineure, la Terre flotte sur l'eau. Elle a encore besoin d'un support concret pour perdurer.

Puis, **Anaximandre** (610-547), un de ses successeurs, imagine la Terre, immobile, comme un cylindre en suspens, en équilibre, à égale distance de tout le reste du Monde. La Terre est entourée de cercles opaques constitués d'air et qui emprisonnent du feu. Ces cercles sont percés d'ouvertures par lesquelles on peut voir ce feu. Elles constituent le Soleil, la Lune, et les autres astres.

Au Ve siècle, les **Pythagoriciens**, dans le sud de l'Italie, imagine un monde sphérique où tous les corps célestes, Terre comprise, tournent autour d'un feu central, selon des mouvements circulaires harmonieux. Leurs successeurs vont développer ces idées de sphéricité et de perfection. Avec le Macédonien **Aristote** (384-322 av. J.-C.), leur héritier, le monde se divise en deux parties limitées par l'orbe de la Lune. Le monde en dessous de la Lune est imparfait et change sans cesse. Le monde d'au-delà de la Lune est éternel et parfait. Les orbes portant les astres tournent avec des mouvements circulaires uniformes. Cette conception, perfectionnée par **Claude Ptolémée**, un astronome alexandrin du II<sup>e</sup> siècle de notre ère, reste inchangée jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. C'est le modèle *géocentrique*.

En 1543, le Polonais **Nicolas Copernic** (1473-1543) publie un livre fondamental, *De la révolution des orbés célestes*, dans lequel la Terre est une planète comme les autres, qui tourne sur elle-même en vingt-quatre heures, et autour du Soleil en un an. Les planètes sont portées encore par des orbes qui tournent autour du Soleil, nouveau centre du monde : c'est le système *héliocentrique*. Le Monde est toujours clos par la sphère des étoiles fixes.

Cependant, ce modèle ne convainc pas tout le monde. En particulier, l'astronome danois **Tycho Brahé** (1546-1601), qui, grâce aux instruments de grande précision installés dans son observatoire d'Uraniborg, établit un nouveau catalogue d'étoiles, pour établir de nouvelles tables astronomiques. Il n'observe jamais de mouvement apparent d'étoiles qui suggérerait un mouvement de la Terre. En conséquence, pour lui, la Terre ne peut qu'être fixe et au centre du Monde. Il fait tourner les autres planètes selon une orbite circulaire autour du Soleil, puis le Soleil et son cortège autour de la Terre : c'est le modèle *géo-héliocentrique*. Mais les observations du mouvement de la planète Mars ne cadrent pas avec ce modèle. Selon Tycho, l'orbite est définie par le trajet suivi par l'astre dans l'espace au cours du temps.

C'est finalement l'Allemand **Johannes Kepler** (1571-1630), qui donnera la solution. Il entre dans l'équipe de Brahé, réfugié à Prague, en 1601, pour résoudre l'énigme de Mars. Brahé, sûr de son système, ne veut pas entendre parler du système copernicien défendu par son assistant. Après la mort de Brahé, quelques mois après leur rencontre, Kepler est chargé de

poursuivre les travaux du savant danois. Dès 1602, il montre que les planètes ne se déplacent pas de façon uniforme sur leur orbite. Il mettra de nombreuses années à résoudre l'énigme de l'orbite de Mars, déformant peu à peu la trajectoire de la planète, passant enfin de l'ovale à l'ellipse après avoir refait plus de soixante-dix fois ses calculs, écrit-il. Enfin, en 1609, il publie un nouveau traité d'astronomie, *Astronomia nova*, dans lequel il affirme que les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil occupe un foyer.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, on découvrira que le système solaire n'est qu'une toute partie d'un ensemble plus vaste d'étoiles, appelé galaxie (la nôtre s'appelle la Voie Lactée), puis au XX<sup>e</sup> siècle, que notre galaxie n'est qu'une parmi des milliards dans l'Univers. Le Monde clos est devenu un univers ouvert. Enfin, la découverte, depuis 1995, de nombreuses exoplanètes tournant autour d'autres étoiles que le Soleil, montre que notre système solaire n'est qu'un système planétaire parmi bien d'autres.

### Explication du vocabulaire

- Dans le désordre : géocentrique, héliocentrique, géo-héliocentrique, mouvement uniforme, orbe, orbite, foyer d'une ellipse, révolution dans ce contexte, étoiles fixes, tables astronomiques, rôle d'un catalogue d'étoiles, mouvement apparent d'étoile pour Tycho Brahé, galaxie, exoplanète.

- Informations sur les personnes et les lieux. Objectif : montrer que la connaissance du monde s'est construite peu à peu et que cette recherche de la connaissance est universelle. Il faudra signaler à l'attention des élèves l'époque, la nationalité, le lieu d'activité des savants rencontrés. On peut aussi insister sur la langue d'échange : le grec puis avec Copernic le latin, puis à partir du XIX<sup>e</sup> siècle plusieurs langues, essentiellement le français, l'allemand, l'anglais, pour les échanges internationaux, mais aussi l'italien et le russe, à voir dans la montée des nationalismes, et aujourd'hui l'anglais.

### Thèmes de convergence

Ici s'impose le lien avec la géographie et l'histoire, et aussi les langues anciennes et modernes. Lien avec la géométrie euclidienne.

### Questions sur le texte

- Pourquoi la figure du cercle a-t-elle été privilégiée depuis le début pour expliquer le mouvement des astres ?
- Quelle observation de la vie quotidienne permet de penser, a priori, que la Terre est au centre du monde ?
- Expliquer les mots : héliocentrique, géocentrique, géo-héliocentrique.
- Quelles sont les propositions de N. Copernic ?
- Pour Aristote, le monde d'au-delà de la Lune ne peut pas être de la même matière que le monde d'en dessous de la Lune. Quelle conséquence peut-on donc tirer de la proposition de Copernic, quant à la matière dont sont constitués ces deux mondes ?
- Pourquoi Tycho Brahé rejette-t-il le système de Copernic ?
- Quelles sont les propositions des Anciens que Copernic et Brahé retiennent dans leur propre système ?
- Quelles sont les deux propositions faites par Kepler au sujet du mouvement des planètes autour du Soleil ?
- Comment peut-on dessiner, de façon rapide et simplement, une ellipse ?
- Les planètes du système solaire sont-elles les seules planètes de l'Univers ? Où en existe-t-il d'autres, ailleurs ?
- Qu'est ce qu'un modèle ?

### Pour aller plus loin

- Le livre de Copernic, d'une grande complexité mathématique, n'est paru qu'à sa mort. Il était inachevé, mais présentait aussi une telle révolution par ses

propositions si éloignées de celles admises, que les contemporains prirent beaucoup de précautions pour le présenter. En fait, il fut peu diffusé car très difficile d'accès. Seules quelques personnes en Europe étaient capables de comprendre tout l'intérêt du livre. Les difficultés surgirent cinquante ans plus tard avec Giordano Bruno. Rechercher en quoi son histoire explique la prudence des astronomes à proposer des modèles du monde différents de celui de Ptolémée par exemple.

- De même, Galilée crût l'heure venue de parler ouvertement du système de Copernic, mal lui en prit. Rechercher aussi les problèmes que rencontra Galilée lorsqu'il affirma que le système copernicien était le bon. □ [B2i]
- Quel est le nom des deux astronomes qui ont découvert la première exoplanète ? Ces planètes sont-elles gazeuses ou solides ? [B2i]
- Rechercher le nombre d'exoplanètes découvertes.
- L' exoplanète découverte en janvier 2006 est une planète solide. Quelles sont ses caractéristiques ?

## ANNEXE B 5. Les travaux de Volta

## Classe de quatrième

## Partie B : Les lois du courant continu, B.1. Intensité et tension

Ce document se présente en deux parties :

- un document pour le professeur
- un document à proposer aux élèves

**DOCUMENT POUR LE PROFESSEUR**La pile électrique de Volta (1800)

**Danièle FAUQUE**

Lorsque René-Just Haüy (1743-1822), célèbre cristallographe, est chargé du cours de physique de l'École normale de l'an III, il décide de consacrer le quart de ses leçons à l'électricité et au magnétisme. Cette école est fondée à la fin de 1794, après le tragique épisode de la Terreur, pour former de façon accélérée des maîtres destinés à enseigner dans les écoles normales secondaires de tout le pays. Il fallait assurer un enseignement homogène pour tous.

De choisir l'électricité et le magnétisme pour une part importante de son enseignement tient essentiellement à deux raisons. La première est que Haüy a déjà rencontré l'électricité avec les cristaux, la seconde est que ces deux disciplines, électricité et magnétisme, sont à un tournant de leur évolution. Certes, l'électricité est pratiquée par un grand nombre d'expérimentateurs. En particulier, l'**eudiomètre**, enceinte munie de deux électrodes, dans lequel on fait éclater des étincelles fournies par une machine électrostatique pour provoquer une combustion gazeuse, est largement utilisé. Il a contribué entre autres à montrer que l'eau est le résultat de la combustion de deux volumes de dihydrogène et d'un volume de dioxygène. On dispose par ailleurs depuis un demi-siècle à peine de **bouteilles de Leyde**, dans lesquelles on stocke du « fluide électrique » recueilli par le moyen de la machine électrostatique. L'**électrophore** est un autre instrument très prisé. Il est formé d'une plaque de métal recouverte sur une face par une matière résineuse fondue. Cette plaque est associée à un disque de métal attaché par le milieu à un disque de verre qui sert à l'isoler. On électrise d'abord la résine en la frottant avec une peau de chat. On applique ensuite le disque de métal sur cette résine. On pose le doigt sur le disque puis on le retire. On sépare le disque de métal de la surface de résine. Il est chargé d'électricité. Si on approche le doigt, une étincelle peut apparaître entre le disque et le doigt.

L'électricité commence tout juste à se mathématiser. Les années 1785-1789 ont vu les travaux de Charles-Augustin Coulomb (1736-1806), qui, avec sa balance électrostatique extrêmement sensible, a montré que l'action électrique, était une action à distance de type newtonien.

En Italie, Alessandro Volta (1745-1827) décidait à dix-huit ans de se consacrer à l'étude de l'électricité. Il construisit avec des moyens simples et peu coûteux ses propres instruments, voie qui détermina sa carrière. Il commença ses observations sur des phénomènes électrostatiques dans les années 1760 et entretenait dès lors une vaste correspondance scientifique. L'idée primitive de Volta est qu'il existe dans tout corps un état de « saturation » électrique, dans lequel les attractions électriques des particules sont toutes satisfaites. Cette sorte d'équilibre peut être modifiée par tout moyen mécanique ou chimique qui déplacerait les particules les unes par rapport aux autres. Il conçoit l'électricité comme un fluide unique selon la proposition de Benjamin Franklin, contre l'avis de la plupart des physiciens qui considéraient toujours l'existence de deux types d'électricité.



En 1774, il obtint son premier poste comme régent (directeur) du Gymnasium de Côme, dans le duché de Milan, contrôlé par le gouvernement autrichien, où il enseignera aussi la physique expérimentale. En 1778, il obtint la chaire de physique expérimentale de Pavie où il restera quarante ans. C'était un professeur très estimé et très populaire. Il constitua une collection d'instruments sans cesse croissante, enrichie au cours de nombreux voyages qu'il effectua en Europe. Parallèlement aux innovants dispositifs électriques, il développa une théorie électrique.

En 1780, il conçut un **condensateur** ou **condenseur** constitué d'un plateau de marbre ou de bois sur lequel adhère un disque conducteur, servant à mettre en évidence de faibles quantités d'électricité, par contact (sorte d'électroscope). Le marbre est moins isolant que la résine mais peu conducteur. Les charges peuvent cependant s'y déplacer un peu. Le disque reçoit par contact une petite quantité d'électricité, ce qui provoque un déplacement de charges dans le plateau de marbre. On peut charger plusieurs fois de suite le disque. Si bien qu'une étincelle peut apparaître lors de sa séparation du plateau de marbre et que l'on présente le doigt. En même temps, il formalise les notions de capacité d'un ensemble de deux conducteurs, de tension et de charge en les reliant à la distance qui sépare les conducteurs. Ainsi, pour une charge constante, la capacité des deux conducteurs chargés et la tension entre les deux conducteurs varient en sens inverse quand la distance varie entre les conducteurs. Il interprète ce phénomène par l'existence d'une atmosphère électrique qui enveloppe chacun des conducteurs. Par capacité d'un corps, Volta parle de la quantité d'électricité qu'il peut retenir sans en perdre par « diffusion » dans l'air. La capacité est aussi proportionnelle à la surface du corps et ne dépend pas de sa masse comme on le croyait. Cette approche quantitative des phénomènes électriques ouvrait un nouveau champ d'investigation. Cependant, Volta est plus reconnu comme un brillant inventeur d'appareils électriques plutôt que comme un théoricien.

Les événements politiques en Europe à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle contribuèrent à un profond changement de mentalité. L'avènement de Bonaparte fut pour Volta un fait important. En avril 1796, Bonaparte conquiert rapidement le Piémont. En 1797, par la paix de Campoformio, il crée, en Italie, une République cisalpine. Sa popularité est immense. Puis c'est la campagne d'Égypte, où il est accompagné d'une équipe de savants. En 1799, revenu d'urgence à Paris, dans un climat de troubles, c'est le Consulat. Pendant ce temps, les Autrichiens sont de retour à Pavie, et ferment l'université. Volta, qui n'avait pas fait allégeance aux Français, se retrouve sans poste. Lorsque les Français reviennent quelques mois après, ils réouvrent l'université et Volta est remis dans ses fonctions, mais y renonce. En 1800, il a le projet de venir à Paris remercier le Premier Consul, au nom de l'université. Mais les guerres retardent son projet d'un an. Dans l'intervalle, la pile est inventée.

À ce stade, nous devons revenir en arrière afin de préciser le contexte de cette invention. L'électricité est à la mode dans le dernier quart du XVIII<sup>e</sup> siècle. Les savants physiciens, chimistes, anatomistes, médecins, s'adonnent aux expériences d'électricité. L'électricité est aussi attraction de foire et jeux de charlatan. La société civile s'amuse en s'électrisant, espère se soigner par l'électricité et le magnétisme ; tous deux sont considérés comme des fluides. Les poissons électriques sont aussi une véritable attraction. Une étude savante des années 1770 décrit l'organe électrique de la torpille, qui donne des commotions semblables à celles données par la bouteille de Leyde ou la machine électrostatique. Cet organe est formé d'une colonne constituée de fines chambres identiques semblables à des condensateurs miniatures. L'étonnement est grand devant ce phénomène qui se déroule dans des milieux conducteurs (eau salée, humeurs). En Italie, certains anatomistes étudient l'influence de l'électricité d'une machine électrostatique sur des grenouilles « préparées ». En 1780, à Bologne, le professeur d'anatomie, Luigi Galvani (1737-1798), est l'un d'eux. Il relie le nerf crural d'une cuisse de grenouille à la machine électrostatique par l'intermédiaire d'un fil métallique. Lorsqu'une étincelle éclate, le muscle se contracte. Puis un de ses assistants lui fait observer autre chose. Si l'on touche avec le scalpel, le nerf de la cuisse, parfaitement isolé, pendant que la machine électrique produit une étincelle électrique, on observe aussi une contraction du muscle. Deux questions se posent : pourquoi y a-t-il action à distance ? Et pourquoi cette contraction ne se produit-elle que lorsque l'on touche le nerf

avec le scalpel ? Galvani et son équipe font varier les conditions de l'expérience. Un fil métallique reliant le nerf au sol fait le même effet que le scalpel. Lors d'un orage, les éclairs sont détectés de la même façon par ce fil relié à la rambarde du balcon. De plus, le même phénomène se produit lorsqu'un crochet de cuivre enfoncé dans le nerf de la cuisse est relié au balcon, alors même que le temps est calme et que la machine électrostatique n'est pas chargée. Galvani en déduit que le phénomène est propre à la grenouille donc au tissu animal et conclut sur l'existence d'une électricité animale, qui se décharge lorsque le nerf et le muscle sont reliés par l'intermédiaire d'un arc formé de deux métaux différents.

Cette idée est bien reçue car tous pensent à cet autre phénomène qu'est la décharge électrique donnée par le poisson torpille. Le fluide électrique est créé par le cerveau et distribué par les nerfs. Toute la communauté scientifique se passionne pour l'électricité animale et explore en tous sens cette découverte. Volta se lance dans la partie. Il va agir comme un physicien et non en anatomiste. Il constate que, dans l'affaire, le muscle ne joue pas un grand rôle. Pour lui, la nature des deux métaux est seule en cause, les organes animaux n'ont qu'un rôle passif. Il observe un effet électrique quand il met la langue entre deux métaux avec un goût acide pour une disposition, et un goût alcalin quand il alterne les deux métaux. Il établit même une classification des métaux à partir de cet effet. On assiste à un affrontement des deux camps, qui dépasse l'Italie, avec la création de sociétés savantes spécifiques. En Angleterre, la société des galvanistes s'oppose violemment à la société des voltaïstes, à coups d'expériences et de contre expériences. L'argument des anatomistes sur l'existence en soi de l'électricité dans la torpille est un argument fort auquel, Volta ne peut répondre il n'est pas anatomiste même si, à cette époque, il n'y a pas de frontières rigides entre les différentes disciplines, ici la physique et les sciences de la vie. C'est une véritable « guerre scientifique ». Mais en 1797, Galvani qui refuse de faire allégeance aux Français, doit quitter son poste et son logement. Il ne peut plus participer au débat et meurt l'année suivante.

D'après Volta lui-même, c'est à partir de 1796, dans ce climat de controverse, qu'il a commencé à vouloir mesurer cette électricité « animale », à partir des grenouilles et d'autres moyens physiologiques, en particulier sa langue. Les grenouilles lui apparaissent comme d'excellents électromètres. Il part aussi de son condensateur, modifié selon une disposition proposée par Nicholson en 1788. Pour Volta, le fluide électrique ne peut circuler qu'en circuit fermé. La chaîne des deux métaux, par l'intermédiaire de l'animal, ne peut être interrompue, les forces mutuelles d'attraction et de répulsion entre les deux métaux sont la cause de cette circulation d'un courant continu. Il a donc en contact d'une part les plaques métalliques (première classe de conducteurs), et d'autre part, le milieu physiologique, ou une matière humide (seconde classe de conducteurs). Les quantités d'électricité détectées sont très petites. Mais après 1796, il tend à considérer que le contact direct des deux métaux est plus productif d'effet électrique, il parle d'électricité métallique par opposition à l'électricité animale des galvanistes. Puis de décembre 1797 à mars 1799, il varie les conditions d'expérience (différents milieux intermédiaires, secs ou humides, disques métalliques, de différentes nature, pressés, frappés, frottés...). En mars, il établit une loi empirique de classification des métaux et de leur pouvoir électrique, et comptait établir une nouvelle théorie électrique. Mais un événement vint modifier ses plans.

Un article de Nicholson, paru en novembre 1797, qu'il lut probablement au début de 1799 (la guerre retardait la diffusion des journaux), propose de rechercher le meilleur moyen d'imiter l'anatomie et les décharges données par la torpille, au moyen d'une machine qui serait à construire, et il en précise le principe. Elle devrait être capable de donner des décharges innombrables et de garder son pouvoir pendant des années.

C'est dans le défi de répondre à cet enjeu d'imiter le poisson électrique afin d'obtenir des commotions à répétition, qu'advient l'invention de la pile électrique. Volta se met au travail. Le 20 mars 1800, il envoie une lettre écrite en français, au secrétaire de la Royal Society, Joseph Banks, dans laquelle il expose le principe de son dispositif, « semblable dans le fond à l'appareil électrique de la torpille », puisqu'en touchant avec la main les deux extrémités de son appareil, on ressent une décharge de même nature. Pour décrire le dispositif et son usage, il n'y a pas plus claires explications que celles données par Volta lui-même. On lira

les extraits de cette lettre dans le document élève. « L'appareil dont je vous parle, et qui vous étonnera sans doute, n'est que l'assemblage de bons conducteurs de différentes espèces, arrangés d'une certaine manière ». Une colonne de paires Ag/Zn, séparées par un morceau de drap mouillé, disposées toujours dans le même ordre, permet d'obtenir des commotions d'autant plus fortes que le nombre de paires est plus grand. Cet « organe électrique artificiel » fonctionne comme un « électromoteur ». Il suffit de le frapper légèrement entre chaque commotion pour que le dispositif retrouve son aptitude à donner des décharges. Volta propose un dispositif portable, que l'on plonge dans de l'eau salée ou de la lessive avant usage. Pour lui, l'organe de la torpille ne fonctionne pas comme un condensateur mais comme l'appareil électromoteur qu'il vient de construire. Avec celui-ci, il dément pleinement « la prétendue électricité animale de Galvani ».

Il termine sa lettre en écrivant : « À quelle électricité donc, à quel instrument, doit-il être comparé, cet organe de la torpille, de l'anguille tremblante, etc. ? À celui que je viens de construire, d'après le nouveau principe d'électricité que j'ai découvert il y a quelques années, et que mes expériences successives, surtout celles qui m'occupent maintenant, ont si bien confirmé, savoir, que les conducteurs sont aussi, dans certains cas, moteurs d'électricité, dans le cas du contact mutuel de ceux de différentes espèces, etc. à cet appareil, que j'ai nommé *organe électrique artificiel*, et qui, étant dans le fond le même que l'organe naturel de la torpille, le ressemble encore pour la forme, comme j'ai déjà avancé » (sic). Fin de la lettre.

La lettre est arrivée vers la mi-avril à Londres. Nicholson et d'autres savants se sont tout de suite mis à refaire les expériences de Volta selon les explications avancées par ce dernier. Nicholson voit tout de suite les importantes potentialités du dispositif. En juin, la lettre est lue à la séance de la Royal Society, la presse en rend compte, la nouvelle se propage rapidement à travers toute l'Europe. Dès juillet Nicholson parle de « pile » ; en Italie, on conserve longtemps le mot « colonne » de Volta, ailleurs on parle d'appareil électrique de Volta, voire pire d'« appareil galvanique » ! En France, le mot pile s'impose en 1801. Mais un autre mot va émerger : la batterie.

Avec cette invention qui apporte une gloire et la fortune à son auteur, une nouvelle science de l'électricité est née : l'électrocinétique. De l'électricité statique représentée par l'utilisation de corps isolants, on passe à l'usage de corps conducteurs et d'une électricité circulante.

Les découvertes des phénomènes électromagnétiques par Ørsted vingt ans plus tard, conduisent Ampère à formuler une théorie électrodynamique à partir de 1820. Il définit l'intensité d'un courant. Dans le même temps, Faraday inventait les lignes de force et découvre l'induction en 1831.

## Sources bibliographiques

Alexander Volta, « On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds, in a letter to Sir Joseph Banks », *Philosophical Transactions*, 1800, part II, p. 403-431, avec une planche.

Christine Blondel, *Histoire de l'électricité*, Explora, Cité des sciences et de l'industrie, Pocket sciences, 1994.p

Christine Blondel, « L'électricité et le magnétisme au XIXe siècle », in Jean Rosmorduc (dir.), *Histoire de la physique*, t. 1, *La formation de la physique classique*, Éd. Lavoisier, TEC & DOC, 1987, p. 185-215.

André Guillerme (dir.), « L'électricité dans ses premières grandeurs (1760-1820) ». *Revue d'histoire des sciences*, 54/1, janvier-mars 2001, numéro thématique.

Giuliano Pancaldi, *Volta, science and culture in the age of enlightenment*. Oxford and Princeton, Princeton University Press, 2<sup>e</sup> éd. 2003.

Étienne Guyon (dir.), *L'École normale de l'an III, Leçons de physique, de chimie, d'histoire naturelle : Haüy, Berthollet, Daubenton*. Éditions de l'École normale de la rue d'Ulm, 2006.

« L'électrostatique », *Revue du Palais de la Découverte*, numéro spécial 6, mai 1976.

Claude Nowakowski, Alain Roux, *Histoire des systèmes de télécommunication*, Éd. Lavoisier TEC & DOC, 1994.

## DOCUMENT ÉLÈVE

### Texte

### Invention de la pile par Volta en 1800

« Je me fournis de quelques douzaines de petites plaques rondes ou disques, de cuivre, de laiton, ou mieux d'argent, d'un pouce de diamètre, plus ou moins, (par exemple, de monnoyes,) et d'un nombre égal de plaques d'étain, ou, ce qui est beaucoup mieux, de zinc, de la même figure et grandeur, à-peu-près ; je dis à-peu-près, parce qu'une précision n'est point requise, et, en général, la grandeur, aussi bien que la figure, des pièces métalliques, est arbitraire : on doit avoir égard seulement qu'on puisse les arranger commodément les unes sur les autres, en forme de colonne. Je prépare en outre, un nombre assez grand de rouelles de carton, de peau, ou de quelque autre matière spongieuse, capable d'imbiber ou de retenir beaucoup de l'eau, ou de l'humeur dont il faudra, pour le succès des expériences, qu'elles soient bien trempées. Ces tranches ou rouelles, que j'appellerai disques mouillés, je les fais un peu plus petites que les disques ou plateaux métalliques, afin qu'interposés à ceux (sic), de la manière que je dirai tantôt, ils n'en débordent pas. »

Volta rassemble donc les différentes pièces devant lui et les installe comme il vient de le dire. Il constitue une colonne verticale en posant alternativement un disque de zinc, un disque d'argent, un disque mouillé, un disque de zinc, un disque d'argent, un disque mouillé, etc. On peut commencer par l'argent, il suffit de respecter l'alternance. Avec une vingtaine de couples, il peut charger un condensateur par un simple contact et lui faire donner une étincelle. La colonne donne une légère commotion lorsqu'on pose les doigts sur ses extrémités, et cela à chaque fois que l'on réitère les contacts, de la même façon qu'une torpille languissante continue à donner des coups. Cette commotion est d'autant plus forte que les doigts sont mouillés. Pour augmenter les commotions, Volta propose de relier le pied de la colonne au moyen d'un gros fil métallique à l'eau d'un récipient plein d'eau, dans lequel on plongera la main, dans le même temps que l'on touche le sommet de la colonne avec une lame métallique maintenue de l'autre main. Cette commotion peut engendrer une grande douleur. Volta fait remarquer que si on touche d'abord le dessus de la première paire de disques, en bas de la colonne, on ne ressent qu'un petit picotement, et celui-ci va en augmentant, au fur à mesure que l'on s'élève, en touchant successivement la deuxième paire, la troisième paire, etc, jusqu'à la dernière.

Il faut faire attention à ce que le contact humide entre chaque couple de métaux soit continu tout au long de la colonne. La chaleur favorise l'effet observé. On peut augmenter considérablement le nombre de paires de disques, l'effet sera multiplié d'autant, et deviendra plus fort que celui provoqué par le (poisson-)torpille.

*On peut conserver le dispositif longtemps en veillant à garder humides les disques mouillés. On plonge tout le dispositif entier, sans démonter, dans l'eau, on retire, on essuie du mieux qu'on peut. Le mieux est d'enfermer toute la colonne dans de la cire ou de la poix. Le dispositif ainsi réalisé se conserve des semaines, Volta espère même des mois. Ces cylindres peuvent être utilisés debout, couchés ou même dans l'eau, la tête seulement dehors.*

« À quelle électricité donc, à quel instrument, doit-il être comparé, cet organe du (poisson-)torpille, de l'anguille tremblante, etc ? À celui que je viens de construire, d'après le nouveau principe d'électricité que j'ai découvert il y a quelques années (1), et que mes expériences successives, surtout celles qui m'occupent maintenant, ont si bien confirmé, savoir, que les conducteurs sont aussi, dans certains cas, moteurs d'électricité, dans le cas du contact mutuel de ceux de différente espèce, etc. à cet appareil, que j'ai nommé **organe électrique artificiel**, et qui, étant dans le fond le même que l'organe naturel du (poisson-)torpille, le ressemble encore pour la forme, comme j'ai déjà avancé ». FIN.

Alexander Volta, « On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds, in a letter to Sir Joseph Banks », *Philosophical Transactions*, 1800, part II, p. 403-431, avec une planche. Extraits p. 405-406, 417, 430-431.

Commentaire et résumé de D.Fauque

(1) l'électricité métallique, voir document professeur

### Utilisation en classe

Le texte ci-dessus est long. Mais tout le mémoire de Volta est plaisant à lire. Il est difficile de faire des coupures. Une partie des commentaires en italiques peut être supprimée et remplacée par le commentaire oral du professeur.

Cette séquence peut être accompagnée d'une expérience réalisée en lisant (en suivant) le texte de Volta. On plonge réellement la colonne de Volta dans une solution de chlorure d'ammonium à 1 mol.L<sup>-1</sup>. On utilise une grande boîte de conserve de cuisine (environ 40 à 50 cm de haut). On fait la démonstration devant les élèves. On égoutte dans un bac de laboratoire, on éponge un peu et on branche un voltmètre. On suit les explications de Volta. On atteint 25 à 30 volts, environ 0,8 volt par couple. On montre bien la croissance de la tension, sa polarité. On retourne une dizaine de couples, on observe bien que la tension totale est moins forte, on descend le long de cette dizaine pour voir évoluer la tension. La tension lue correspond aux commotions ou picotements de Volta. C'est moins romantique mais plus sécuritaire. L'effet sur les élèves est assuré.

### Questions

- Quel nom Volta avait-il donné à son invention ?
- Quels métaux Volta conseille-t-il d'utiliser pour fabriquer cette pile ?
- Que ressent-on lorsqu'on touche avec les mains chacune des extrémités de la pile de Volta ?
- Pourquoi a-t-on appelé « pile » l'invention de Volta ?
- Pour construire sa pile, Volta s'est inspiré des travaux d'un médecin italien, Luigi Galvani : qu'avait observé Galvani ?
- En 1801, Volta vint présenter sa pile en France : par quel chef d'état fut-il reçu ?

## ANNEXE B 6. Brève histoire de la théorie moléculaire

La notion de molécules, constituants de la matière sous ses aspects les plus variés, est l'une des plus anciennes que la pensée rationnelle ait conçues pour expliquer le monde qui nous entoure.

Elle apparaît chez les premiers philosophes grecs, au VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère, donc bien avant que la chimie existe en tant que science. Néanmoins, ce n'est qu'à une époque relativement récente, fin XIX<sup>e</sup> siècle-début du XX<sup>e</sup> siècle, que la théorie moléculaire s'est imposée définitivement. Dès l'antiquité, certains philosophes grecs dont Démocrite enseignaient que toute matière est faite de très petites parties distinctes. On supposait que ces petites parties étaient identiques et combinées de plusieurs façons différentes, de manière à faire apparaître à nos sens les différences merveilleuses et la variété du monde de la matière ; malheureusement, personne n'appuya ces idées par des arguments très convaincants. Ce fut ensuite, pendant des siècles, la théorie – beaucoup plus concrète – des « quatre éléments » (Univers formé à partir de : eau, air, terre et feu) qui eut la préférence. Ces éléments étaient supposés porteurs des propriétés physiques fondamentales. Le ou les systèmes constitués à partir d'eux sont des systèmes prétendant expliquer non seulement la structure de la matière et ses transformations mais aussi, tout l'Univers. Platon, puis Aristote, ont ajouté un cinquième élément : l'éther supposé être le constituant du monde céleste (le mot signifiant « air pur »).

Bien que fortement réfuté dès la Renaissance, le système des quatre éléments persiste comme base des interprétations chimiques jusqu'au milieu du XVII<sup>e</sup> siècle, époque à laquelle la chimie commence à naître en tant que science à part entière. Auparavant, certains pratiquaient une discipline à demi secrète, magique et mystérieuse, voire teintée de charlatanisme appelée alchimie et rassemblant une foule de procédés empiriques parfois très anciens constitués de techniques de fabrication de diverses substances utilisées dans le travail des peaux, des couleurs, des métaux et en pharmacopée. Parce que ces praticiens souhaitent comprendre les transformations qu'ils obtiennent, ne serait-ce que pour améliorer leur efficacité, ils tentent de proposer des explications de ces processus empiriques. N'ayant pas à leur disposition les concepts, théories et méthodes nécessaires, ils laissent libre cours à leur imagination et cèdent souvent au goût du merveilleux, voire à la cupidité.

Les premières décennies du XVIII<sup>e</sup> siècle voient apparaître la théorie du phlogistique conçue par le savant allemand, Joachim Becher et son compatriote le médecin Georg Ernst Stahl (1660-1734). Le phlogistique est, en quelque sorte, à la fois la matière et le « principe » du feu, lequel était considéré comme une substance en soi. Ainsi, on croyait qu'un métal était un corps composé ; quand il brûlait (s'oxydait, dirions-nous aujourd'hui), on pensait qu'il abandonnait une partie de lui-même – celle qui brûlait – qui était le « principe combustible » ou « phlogistique » en donnant ce que l'on nommait alors de la « chaux » (c'est-à-dire un oxyde). À l'inverse, pour obtenir du métal à partir d'une « chaux », on admettait qu'il suffisait de lui ajouter un corps riche en phlogistique (du carbone, par exemple). À cette époque, les savants observent et expérimentent beaucoup, souvent avec talent. Les travaux de Lavoisier (fin XVIII<sup>e</sup> siècle) marquent une nouvelle avancée vers une science **quantitative** et rationnelle, pratiquant l'usage systématique de la balance et feront disparaître progressivement le concept du « phlogistique ». C'est peu après (première décennie du XIX<sup>e</sup> siècle) qu'apparaît également la première hypothèse moderne concernant la constitution atomique de la matière. Néanmoins, le modèle atomique aura de sérieuses difficultés à s'imposer et ce sera seulement à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que la réalité atomique et la théorie moléculaire ne feront plus aucun doute dans le monde des chimistes.

Tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle, le modèle moléculaire parvient à rendre compte d'un nombre de faits expérimentaux de plus en plus grand. Par ailleurs, à partir du milieu du siècle, on commence à évaluer l'ordre de grandeur des dimensions des molécules (de quelques dixièmes de nanomètre à quelques nanomètres).

Déjà, dès 1865, le physicien autrichien Loschmidt, en étudiant la diffusion des gaz et la valeur du libre parcours moyen, a donné une première évaluation du nombre des atomes contenus dans une quantité donnée de matière.

On désigne sous le nom de **nombre de Loschmidt** le nombre ( $2,685 \times 10^{19}$ ) de molécules existant dans  $1 \text{ cm}^3$  de gaz pris à  $0^\circ\text{C}$  et sous la pression atmosphérique normale. Enfin, tout au long du siècle, des résultats concordants obtenus par des méthodes différentes viennent peu à peu conforter la théorie moléculaire.

Au  $\text{XX}^{\text{ème}}$  siècle, les multiples progrès scientifiques et techniques induisent le développement de nouveaux instruments et de nouvelles méthodes d'investigation directes ou indirectes montrant l'existence des atomes et molécules, mesurant leurs dimensions. Ainsi, dès 1911, Rutherford a imaginé un modèle d'atome formé d'un noyau central et d'électrons satellites situés à de grandes distances. En étudiant la déviation de particules traversant la matière, il a alors pu déterminer l'ordre de grandeur de ces noyaux. Par la suite, l'emploi des rayons X a été et reste une méthode indirecte pour étudier les atomes avant l'utilisation plus récente du microscope à effet tunnel. Ainsi, il est actuellement possible de dire que tous les atomes, qui constituent les molécules, ont une dimension de 0,1 à 0,3 nanomètre seulement.

### Bibliographie

- Collection « Libre Parcours », livre du professeur 5e, Hachette, 1978.
- *L'Histoire des Sciences*, Jean Rosmorduc, coproduction CNDP – Hachette Éducation.
- *Sciences et Vie*, no 192 Hors-Série, septembre 1995.

**ANNEXE B 7.**  
**Quelques exemples d'activités complémentaires**  
**en lien avec l'histoire des sciences**  
**Nicolas COUZIER**

**CLASSE DE CINQUIÈME**

**PRÉSENTATION**

- Dans l'introduction au programme de Physique-Chimie de la classe de 5ème, il est précisé que « Des ouvertures en direction de l'histoire des sciences sont mentionnées pour contribuer à éveiller la curiosité des élèves ».

L'introduction de l'histoire des sciences présente, en effet, de nombreux avantages. Elle permet souvent de susciter de réelles motivations chez les élèves curieux. Elle permet aussi de montrer que la Science est une composante active et dynamique de la culture, composante qui, au-delà de son impact technologique, entretient des rapports étroits avec les grands courants de pensée. Elle offre, enfin, une vision unifiée de l'activité scientifique, activité s'appuyant plus spécifiquement sur la méthode expérimentale. « L'approche par l'histoire des sciences » est donc bien une approche culturelle légitime.

- L'ensemble des exemples retenus forme un tout autonome et cohérent.

Cohérent parce que la vocation première de ces exemples est de permettre aux élèves de répondre simplement à la question suivante : « Quelles sont les caractéristiques d'une science expérimentale ? ».

Au plan méthodologique, chaque exemple permettra donc d'aborder avec les élèves un aspect particulier de l'activité scientifique :

Exemple	Aspect particulier abordé
<a href="#">La découverte du gaz carbonique</a>	Les enjeux de la connaissance
<a href="#">Le système métrique, exigence de cohérence et d'harmonisation</a>	La mesure et les unités
<a href="#">Alhazen</a>	La méthode expérimentale
<a href="#">Les éclipses et la naissance de la science</a>	La naissance de la science

Pour chacun des exemples retenus, une activité est proposée et les informations utiles ou nécessaires (rubrique : supports et documents) sont données.



## DÉCOUVERTE DU DIOXYDE DE CARBONE (« GAZ CARBONIQUE »)

### Supports et documents

C'est le chimiste et physicien britannique **Joseph Black** (1728-1799) qui identifie, en 1754, le dioxyde de carbone. Black appellera ce gaz « air fixe ». Black obtient du dioxyde de carbone en décomposant de la craie et du calcaire. Les recherches de Black s'inscrivent dans un contexte très particulier, à une époque de transition qui verra naître la chimie moderne. Au début du XVIII siècle, la « chimie » est encore marquée par l'enseignement d'Aristote (quatre éléments : le feu, la terre, l'eau et l'air). Avant les travaux de **Lavoisier** (1743-1794), c'est la théorie phlogistique, formulée par le médecin Georg Ernst **Stahl** (1660-1734), qui tient le haut du pavé. Cette théorie a pour objet de rendre compte de la combustion des corps et de la calcination des métaux (calcination : oxydation d'un métal par simple chauffage) « Le phlogistique est du feu fixé dans la matière et qui s'en échappe lors des combustions ». D'après cette théorie, le simple fait de chauffer un métal devrait lui faire perdre du « poids »\*. Lavoisier va infirmer cette prédiction en montrant que le « poids » du métal augmente lors d'une calcination (l'oxyde, appelé chaux à l'époque, se formant à la surface du métal). Désormais, la combustion est un processus impliquant la combinaison d'une substance avec l'oxygène de l'air que Lavoisier appellera "air vital".

\* L'oxydation d'un métal lors d'une calcination serait représentée, aujourd'hui, par une équation du type :  $M + 1/2O_2 \rightarrow MO$

La formation de l'oxyde à la surface du métal s'accompagne nécessairement d'une augmentation de masse (cette augmentation de masse est plus importante avec un métal à l'état divisé). Pour être en conformité avec les faits expérimentaux, on attribuait au phlogistique une masse négative. Il s'agissait d'une hypothèse ad hoc, destinée à sauver la théorie. Lavoisier montra qu'il était possible de rendre compte des faits observés en utilisant une théorie plus simple, la théorie de l'oxydation.

A côté du nom « dioxyde de carbone », les élèves pourront trouver, lors de leurs recherches, les noms « gaz carbonique ».

### Activité proposée

- Elle prolonge l'activité précédente (météorologie et climatologie) et débute par une phase de questionnement en classe entière ou sous la forme d'un exercice :  
Qu'appelle-t-on « effet de serre » ?  
Cet effet est-il récent ou ancien ?  
Quelles pourraient être les principales conséquences d'une accentuation de cet effet ?  
Quel composé chimique est considéré comme le principal responsable de cet effet ?  
Est-ce le seul ? Comment ce composé est-il produit ?  
Comment peut-on limiter la production de ce produit voire l'éliminer à la source ? (EDD).
- Une fois le dioxyde de carbone identifié, demander aux élèves d'effectuer une recherche internet au CDI pour obtenir les renseignements suivants : Qui a découvert le dioxyde de carbone ? Quelle fut la méthode utilisée ? Quelle discipline scientifique a vu le jour à cette époque ?
- Conclure en abordant la problématique suivante : Pourquoi est-il important de connaître l'origine d'un phénomène ?

## LE SYSTEME MÉTRIQUE : EXIGENCE DE COHÉRENCE ET D'HARMONISATION

### Supports et documents

Le texte proposé aux élèves est extrait du livre de Jean Lefort, La saga des calendriers, bibliothèque Pour la Science. Lors de l'étude de ce texte, une collaboration avec le professeur de français est possible (sur la notion de point de vue). Les enseignants peuvent aussi utiliser des textes plus classiques tels que Micromégas (Voltaire) ou Les voyages de Gulliver (Jonhatan Swift). Les notions abordées dans cet exemple étant assez délicates, il a paru judicieux de faire travailler les élèves sur un exemple ludique.

En France, avant l'utilisation du système métrique, les unités utilisées et leurs valeurs variaient d'une province à l'autre. C'est en 1790 que l'Académie des Sciences est chargée (par l'Assemblée Constituante) de construire un système d'unités efficace et de déterminer une unité de longueur universelle (voir texte de loi à la page suivante). Cette dernière unité, le mètre, sera définie comme étant égale à la quarante millionième partie de la longueur du méridien terrestre et sera matérialisée par un mètre étalon en platine. On pourrait d'ailleurs utiliser cette définition pour évaluer, avec les élèves, la valeur  $R_T$  du rayon terrestre :  $2\pi R_T = 40.000.000\text{m}$ .

Mesurer une grandeur, c'est comparer cette grandeur à une grandeur de même nature que l'on choisit comme unité. Ainsi, pour mesurer l'année (durée de la révolution de la Terre autour du Soleil) on la compare au jour (durée de la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles). On « trouve » alors : 1 année = 365,2422 jours.

Pour être efficace, un système d'unités doit posséder deux qualités. Il doit être cohérent : les relations entre les unités doivent correspondre aux relations entre les grandeurs. Puisqu'un volume est défini comme le cube d'une longueur, l'unité de volume est le mètre cube dans un système cohérent ayant pour unité de longueur le mètre. Il doit être utilisé par le plus grand nombre pour que les informations scientifiques puissent être facilement échangées (d'où l'intérêt d'un système international d'unités).

### Activité proposée

- On commence par l'étude d'un texte amusant :

L'auteur imagine une conversation entre un humain et un extra-terrestre :

Le terrien : la Terre tourne sur elle-même en un jour. Son unique satellite, la lune, revient aux mêmes phases tous les 29,53 jours. La terre tourne autour du Soleil en une année, soit 365,2422 jours.

L'extra-terrestre : la Vlor tourne sur elle-même en un omuz. Son unique satellite, Ralor, revient aux mêmes phases tous les 15,21 omuzum. La Vlor tourne autour de l'Omuz en un sluv, soit 243,37 omuzum.

Le terrien : un jour fait 24 heures.

L'extra-terrestre : un omuzum fait 13 rusk ...

- Les élèves répondent aux questions suivantes :  
Quelles sont les unités de temps utilisées par le terrien et l'extra-terrestre ?  
Quel est, dans chaque système d'unités, l'unité de base utilisée pour mesurer le temps ?  
Quel est le principal obstacle à l'échange d'informations entre le terrien et l'extra-terrestre ?  
Le système métrique fut légalisé en France en 1799 et devint obligatoire à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1840. Quel était le principal intérêt du système métrique ?
- Le professeur présente aux élèves l'histoire de la construction du mètre et aborde ensuite avec eux la notion de mesure et les exigences inhérentes à l'efficacité des systèmes d'unités.
- Le professeur peut enfin proposer aux élèves le jeu-concours suivant : recherche, parmi d'anciennes unités, l'unité de longueur la plus originale.

## Texte de loi créant les bases du système métrique par délibération des Consuls de la République, le 19 Frimaire An VIII de la République (mètre et kilogramme)

(N.° 3456.) *L O I qui fixe définitivement la valeur au mètre et du kilogramme.*

Du 19 Frimaire.

LA COMMISSION DU CONSEIL DES ANCIENS, créée par la loi du 19 brumaire, adoptant les motifs de la déclaration d'urgence qui précède la résolution ci-après, approuve l'acte d'urgence.

*Suit la teneur de la Déclaration d'urgence et de la Résolution du 18 Frimaire :*

La Commission du Conseil des Cinq-cents, créée par la loi du 19 brumaire an VIII, délibérant sur la proposition formelle de la Commission consulaire exécutive, contenue dans son message du 4 de ce mois, d'adopter définitivement le mètre et le kilogramme déposés au Corps législatif par l'institut national des sciences et des arts, et de frapper une médaille qui transmette à la postérité l'opération qui lui sert de base ;

Considérant qu'on ne peut trop, s'efforcer de fixer la valeur du mètre et du kilogramme avec toute la précision que lui assurent les travaux des savans qui l'ont déterminée, et de consacrer l'époque glorieuse pour la nation française, à laquelle a été consommée une opération aussi vaste et d'un aussi grand intérêt,

Déclare qu'il y a urgence.

La Commission, après avoir déclaré l'urgence, prend la résolution suivante :

ART. I.<sup>er</sup> La fixation provisoire de la longueur du mètre, à trois pieds onze lignes quarante-quatre centièmes, ordonnée par les lois des I.<sup>er</sup> août 1793 et 18 germinal an III, demeure révoquée et comme non avenue. L'adite longueur, formant la dix-millionième partie de l'arc du méridien terrestre compris entre le pôle nord et l'équateur, est définitivement fixée, dans son rapport avec les anciennes mesures, à trois pieds onze lignes deux cent quatre-vingt-seize millièmes.

II. Le mètre et le kilogramme en platine, déposés le 4 messidor dernier au Corps législatif par l'institut national des sciences et des arts, sont les étalons définitifs des mesures de longueur et de poids dans toute la République. Il en sera remis à la Commission consulaire, des copies exactes pour servir à diriger la confection des nouvelles mesures et des nouveaux poids.

III. Les autres dispositions de la loi du 18 germinal an III, concernant tout ce qui est relatif au système métrique, ainsi qu'à la nomenclature et à la confection des nouveaux poids et des nouvelles mesures, continueront à être observées.

IV. Il sera frappé une médaille pour transmettre à la postérité l'époque à laquelle le système métrique a été porté à sa perfection, et l'opération qui lui sert de base. L'inscription, du côté principal de la médaille, sera :

*À tous les temps, à tous les peuples ; et dans l'exergue, République française, an VIII.* Les Consuls de la République sont chargés d'en régler les autres accessoires.

V. La présente résolution sera imprimée.

*Signé* BOULAY (de la Meurthe), *ex-président* ; BERENGER, LUDOT, secrétaires.

Après une seconde lecture, la Commission du Conseil des Anciens APPROUVE la résolution ci-dessus. Le 19 Frimaire, an VIII de la République française.

*Signé* LEBRUN, *président* ; CALLEMER, *secrétaire* ; HERWIN, *ex-secrétaire*.

LES CONSULS DE LA RÉPUBLIQUE ordonnent que la loi ci-dessus sera publiée, exécutée, et qu'elle sera munie du sceau de la République. Fait au palais national des Consuls de la République, le 19 Frimaire, an VIII de la République. *Signé* SEYÈS, BONAPARTE, ROGER-DUCOS. Pour copie conforme : le *secrétaire général*, *signé* HUGUES B. MARET. Et *scellé du sceau de la République*.

## ALHAZEN

### Supports et documents

Avec **Avicenne** (980 ?-1037), **Averroès** (1126 ?-1198) et **Maïmonide** (1138 ?-1204), **Alhazen** (965 ?-1039) fut l'un des traits d'union entre l'Orient et l'Occident et, surtout, entre l'Antiquité et la Renaissance. Le philosophe, médecin et juriste arabe Averroès, interpréta les textes d'Aristote à la lumière du Coran, interprétation qui influença les pensées chrétienne et juive du Moyen Âge. Le philosophe, théologien et médecin juif, Maïmonide, chercha à montrer l'accord entre la foi et la raison. L'interprétation d'Aristote par le médecin et philosophe iranien Avicenne, eut une influence considérable en Europe jusqu'au XVII<sup>e</sup> siècle. **Alhazen (de son nom arabe IBN AL-HAYTHAM)**, médecin, astronome, physicien et philosophe arabe, commenta les œuvres de savants grecs (Archimède, Ptolémée, Euclide) et influença les scientifiques de la Renaissance. En physique, ses travaux portent essentiellement sur la vision et sur l'optique.

On peut trouver, sur le **site de la BBC**, une fiche de synthèse (en langue anglaise) décrivant, en particulier, l'une de ses expériences sur la propagation rectiligne de la lumière (**adresse : [www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/)**).

Voici une description simplifiée de l'expérience. Un petit trou a été fait dans l'un des murs d'une pièce sombre. A l'extérieur de cette pièce, à proximité du mur « troué », sont placées cinq lanternes. Cinq images lumineuses se forment alors sur l'un des murs de la pièce. Si un obstacle est placé sur le segment de droite joignant l'une des lanternes au trou, l'une des images lumineuses disparaît.

### Activité proposée

- On commence par un exercice de schématisation : Le professeur décrit l'expérience (la pièce obscure, le trou, les cinq lanternes, les cinq images lumineuses) aux élèves et leur demande de réaliser un schéma en précisant comment sont choisies les positions des cinq images formées.
- Le professeur décrit la fin de l'expérience et demande aux élèves de répondre aux questions suivantes :

Quelle hypothèse sur la propagation de la lumière les élèves ont-ils utilisé ?

Comment cette hypothèse est-elle confirmée dans l'expérience décrite ?

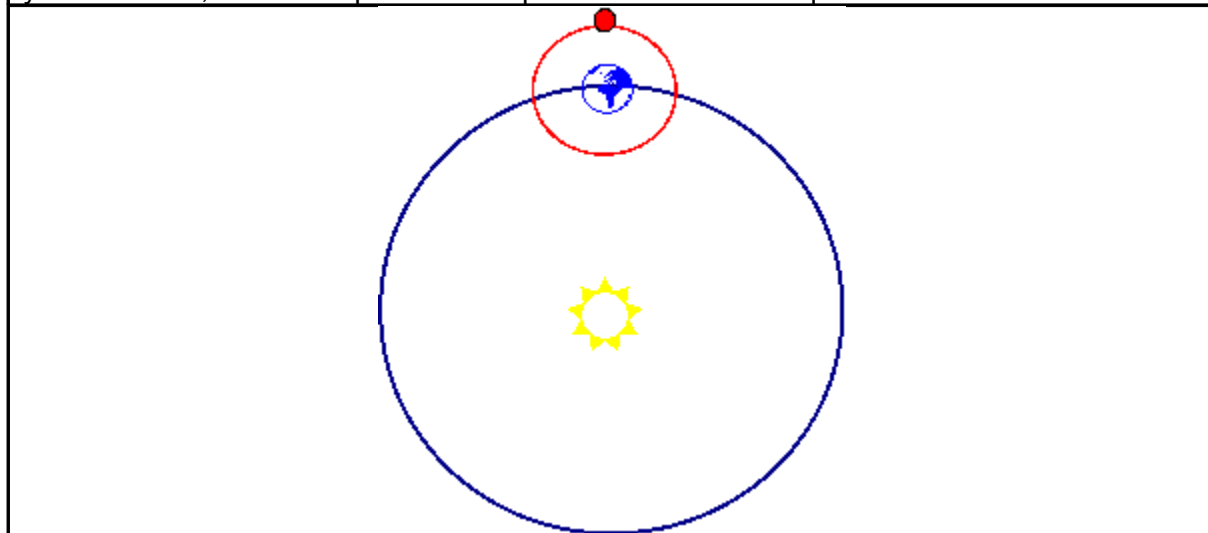
- Il est possible de demander aux élèves de réaliser une expérience équivalente en utilisant une feuille de carton trouée et une lanterne à trois faisceaux (comme celles utilisées dans les expériences sur la synthèse additive des couleurs).
- Le professeur présente brièvement Alhazen et demande aux élèves d'effectuer une recherche documentaire sur Alhazen.

## LES ÉCLIPSES ET LA NAISSANCE DE LA SCIENCE

### Supports et documents

La science a vu le jour quand elle fut capable d'effectuer des prévisions fiables. Les prédictions les plus faciles à réaliser concernent les phénomènes périodiques. L'observation puis la prévision des éclipses vont donner naissance à la science. Une science rudimentaire, empirique, basée sur la notion de régularité. A l'origine de cette naissance, des « astronomes-astrologues », les prêtres mésopotamiens de l'Antiquité, qui observaient le ciel pour comprendre, discerner et prévoir les volontés des Dieux.

Au plan scientifique, la notion-clé est le phénomène d'éclipse. La figure ci-dessous propose un modèle simplifié du système « Terre-Lune-Soleil » avec pour la Terre, une période de révolution autour du Soleil qui vaut un an et, pour la Lune, une période de révolution autour de la Terre qui vaut un mois. La critique du modèle utilisé sera demandée aux élèves en s'intéressant aux éclipses de Soleil et de Lune. Dans le cadre du modèle proposé, on devrait observer 12 éclipses totales de Soleil par an. Dans la réalité, il y a, chaque année, en moyenne, 2,3 éclipses de Soleil (visibles depuis une portion limitée de la surface terrestre). Les éclipses totales de Soleil se produisent tous les 18 ans, 11 jours et 8 heures. C'est le cycle du Saros, découvert par les mésopotamiens dans l'Antiquité.



### Activité proposée

Un exemple d'activité est proposé dans le document principal dans la partie [3. Les T.I.C. et le B2i](#) où il est question de l'exploitation avec les élèves d'un diaporama qui modélise les mouvements de la Lune et de la Terre par rapport au Soleil. L'animation facilite la prévision de la période de répétition des éclipses.

**Remarque :** le diaporama permet également d'étudier le mouvement de la Lune dans différents référentiels

<b>CLASSE DE QUATRIÈME</b>
----------------------------

**PRÉSENTATION**

En classe de 4<sup>ème</sup>, on pourra profiter de l'ouverture sur l'histoire des sciences pour approfondir la notion de modèle déjà abordée en classe de 5<sup>ème</sup>. La structure des exemples retenus reste la même : supports et documents, exemple d'activité.

Exemple
<a href="#">De l'évolution du modèle moléculaire à la réalité de la molécule</a>
<a href="#">Le trichromatisme</a>
<a href="#">La lumière et sa vitesse</a>

## DE L'ÉVOLUTION DU MODÈLE MOLÉCULAIRE À LA RÉALITÉ DE LA MOLÉCULE

### Supports et documents

Jusqu'à la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle, les phénomènes scientifiques étudiés restent directement perceptibles par les sens. L'étude quantitative des réactions chimiques permet de mettre en évidence certaines régularités et de dégager certaines lois comme celle des proportions définies formulée par Proust en 1799 : une masse donnée d'un corps ne peut se combiner qu'avec une masse donnée d'un autre corps. En 1808, Gay-Lussac étendra la loi des proportions définies aux volumes de gaz réagissant à pression constante.

À titre d'exemple, l'étude quantitative de la synthèse de l'eau permet de montrer que :

- 1g de dihydrogène se combine avec 8g de dioxygène pour former 9g d'eau
- A pression constante, 2 volumes de dihydrogène se combinent avec 1 volume de dioxygène pour "former" 2 volumes d'eau.

Ces observations s'interprètent facilement dans le cadre de l'hypothèse moléculaire (plus généralement de l'hypothèse atomique). Voici l'interprétation qu'Avogadro donnera des deux exemples précédents en 1811: 2 molécules d'hydrogène se combinent à 1 molécule de dioxygène pour donner 2 molécules d'eau ; 1 molécule de dioxygène pèse huit fois plus que 2 molécules de dihydrogène ; 1 molécule d'eau pèse 9 fois plus que 2 molécules de dihydrogène.

Il convient de souligner que le modèle moléculaire (plus généralement l'hypothèse atomique) n'était alors qu'une hypothèse de travail utile, une manière de présenter les choses, qui permettait d'expliquer les résultats observés. Il faudra attendre le début du XX<sup>ème</sup> siècle pour que le modèle moléculaire s'impose définitivement.

Les premières confirmations expérimentales du modèle moléculaire peuvent être présentées aux élèves :

- En 1828, le botaniste **Robert Brown** observe au microscope le mouvement désordonné de grains de pollen placés dans l'eau.
- En 1905, **Albert Einstein** interprète ce mouvement comme la conséquence des chocs des molécules d'eau sur les grains de pollen.
- En 1910, les expériences réalisées par **Jean Perrin** confirment les prédictions d'Einstein pour le mouvement brownien et établissent la réalité du modèle moléculaire.

### Activité proposée

- Le professeur demande aux élèves de réaliser une recherche documentaire sur l'histoire du modèle moléculaire. Le travail réalisé devra faire apparaître clairement l'époque à laquelle la réalité du modèle moléculaire est établie.
- Le professeur abordera plus particulièrement avec les élèves le changement de statut du modèle, de l'hypothèse de travail utile à une description conforme de la réalité.
- Le professeur demande aux élèves de rechercher des photos de molécules.

## LE TRICHROMATISME

### Supports et documents

Pour décrire l'élaboration du modèle trichromatique de description des couleurs et comprendre son efficacité, il est nécessaire de partir du système visuel humain.

C'est à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle que les physiiciens imaginent un système humain de vision diurne basé sur trois types de photorécepteurs, appelés cônes. Dès 1964, on connaît les fonctions de réponse des cônes de l'homme. On distingue alors trois types de cônes nommés S, M et L. Les cônes S sont sensibles aux courtes (short) longueurs d'onde. Les courbes de réponse des cônes M (medium/moyen) et L (long) se chevauchent, leurs maxima de sensibilité n'étant séparés que de quelques dizaines de nanomètres : le maximum de sensibilité des cônes M se situe dans le vert, celui des cônes L se situe dans le jaune. Le trichromatisme reste exceptionnel chez les mammifères (le cas semble limité aux primates) et résulterait d'une évolution du système de vision de certains mammifères : un type de cônes aurait donné, par différenciation, les cônes M et L.

On comprend aisément pourquoi un modèle trichromatique de description des couleurs peut être efficace. Il suffit d'utiliser un jeu de trois couleurs de base, appelées couleurs primaires et capables de stimuler les différents cônes. A partir de ces couleurs de base, on peut construire, par "combinaison ou synthèse", les autres couleurs. Il reste bien évidemment à préciser les termes "combinaison" et "synthèse".

Ceci peut être fait en présentant différents systèmes trichromatiques de production des couleurs :

- ✓ la télévision qui utilise comme système de couleurs primaires le rouge, le vert et le bleu.
- ✓ le codage des couleurs en informatique qui s'appuie sur le système de couleurs primaires rouge, vert, bleu.

Le mode de combinaison et le jeu de couleurs primaires ne sont pas uniques comme le montre l'exemple de la reproduction des couleurs en imprimerie (synthèse soustractive s'appuyant sur le Magenta, le Jaune et le Cyan).

Enfin, il est important de rappeler que le domaine de la couleur est un domaine dans lequel artistes, artisans et scientifiques se sont régulièrement retrouvés, leurs collaborations ponctuelles ayant permis d'enrichir la compréhension du phénomène couleur. A ce titre, il n'est pas inutile de donner quelques repères simples sur l'histoire des palettes.

- ✓ Préhistoire : utilisation du noir et d'ocres naturels qui donnent, par cuisson, des tons jaune, orangé, rouge et marron.
- ✓ Antiquité classique occidentale : utilisation du noir, du rouge et du blanc (ce sont les égyptiens qui transmettent le bleu, initialement peu apprécié, à l'empire romain)
- ✓ Moyen âge : utilisation de l'or, de l'outremer et du vermillon (influence de Byzance) ; le bleu acquiert le statut de couleur noble au XII<sup>ème</sup> siècle
- ✓ Dès la fin de la Renaissance et durant les XVII<sup>ème</sup> et XVIII<sup>ème</sup> siècles, le jaune, le bleu et le rouge acquièrent le statut de couleurs de base.

### Activité proposée

- Partir du système humain de vision diurne (en s'appuyant sur l'histoire de sa description et son évolution chez les primates) pour proposer aux élèves un modèle trichromatique du phénomène couleur.
- Réaliser à l'aide de "lanternes à trois faisceaux" la synthèse additive du blanc et celles du jaune, du cyan et du magenta.
- Utiliser un écran de télévision et une mire colorée pour décrire le système (canon à électrons + luminophores) utilisé dans le cas de la télévision. En étant placé



près de l'écran, il est possible d'observer les luminophores et d'étudier les correspondances couleurs luminophores activés.

- Un travail sur l'étude des palettes et leur évolution en collaboration avec le professeur d'arts plastiques est possible

## LA LUMIÈRE ET SA VITESSE

Montrer, à travers l'exemple de la vitesse de la lumière, l'évolution de la mesure d'une grandeur. On en profite pour aborder, de manière qualitative, les notions d'incertitude et de précision.

### Supports et documents

La première détermination expérimentale de la vitesse  $c$  de la lumière dans le vide est réalisée en 1676 par l'astronome danois Römer qui obtient :  $c = 214000 \text{ km.s}^{-1}$ . Les mesures de Römer montrent que  $c$  a une valeur finie et non infinie !

La première détermination terrestre est réalisée par Fizeau en 1849 :  
 $c = (315300 \pm 500) \text{ km.s}^{-1}$ .

En 1862, Foucault obtient :  $c = (298000 \pm 500) \text{ km.s}^{-1}$ .

En 1927, Michelson obtient :  $c = (299796 \pm 4) \text{ km.s}^{-1}$ .

En 1972, des mesures ont donné :  $c = (299792458 \pm 1,2) \text{ m.s}^{-1}$ .

Depuis 1983, par convention, la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est fixée et égale à  $299792458 \text{ m.s}^{-1}$ .

Il faut remarquer qu'aucune des expériences mentionnées n'est suffisamment simple pour être présentée directement aux élèves (la plus facile à présenter semble être l'expérience de Römer basée sur l'étude de la période apparente de Io, satellite de Jupiter). Il semble plus raisonnable de présenter l'une des premières tentatives (infructueuses) pour mesurer la vitesse de la lumière. Cette tentative est due à Galilée et aurait eu lieu en 1635. En pleine nuit, Galilée et un assistant, équipés de lanternes, se placent à une distance  $d$  connue l'un de l'autre (1 km). Le protocole de l'expérience est le suivant : l'une des lanternes est brièvement dévoilée ; l'expérimentateur qui perçoit le signal lumineux correspondant renvoie un signal identique; on mesure la durée d'un aller et retour du signal lumineux.

### Activité proposée

- Décrire l'expérience de Galilée aux élèves et leur demander de réaliser un schéma.
- Donner aux élèves les valeurs de  $c$  et  $d$  et leur faire calculer la durée d'un aller-retour du signal lumineux.
- Comparer cette durée au temps de réaction moyen d'un expérimentateur pour montrer que l'expérience ne pouvait être concluante. On pourra également proposer aux élèves une recherche sur les "horloges" de l'époque et leurs précisions.
- Demander aux élèves si le résultat de l'expérience de Galilée est compatible avec l'hypothèse d'une vitesse  $c$  infinie.
- Présenter aux élèves différentes déterminations historiques de  $c$  et aborder qualitativement les notions d'incertitude et de précision.
- On pourra enfin demander aux élèves d'effectuer une recherche documentaire sur les expériences réalisées par Römer à Paris (étude de la période du satellite Io de Jupiter).

## Références bibliographiques

Les ouvrages suivants pourront aider les enseignants qui souhaitent aborder l'histoire et la philosophie des sciences. Ces ouvrages peuvent être utilisés à différents niveaux d'enseignement. Pour chacun d'eux est précisé, le titre, le nom de l'auteur et l'éditeur.

1. Les découvreurs ; **Daniel BOORSTIN** ; **LAFFONT Collection BOUQUINS**
2. Histoire des méthodes scientifiques ; **Jean-Marie NICOLLE** ; **BREAL**
3. Histoire des sciences ; **Collectif** ; **Tallandier éditions**
4. Introduction à l'histoire et à la philosophie des sciences ; **Nicolas COUZIER** ; **ELLIPSES**
5. Mathématiques et formes optimales ; **Stefan HILDEBRANDT** et **Anthony TROMBA** ; **Bibliothèque POUR LA SCIENCE**
6. La mathématisation du réel ; **Giorgio ISRAEL** ; **SEUIL**
7. Mécanique. Une introduction par l'histoire de l'astronomie ; **Eric LINDEMANN** ; **DE BOECK**
8. Le parfum de la fraise ; **Peter ATKINS** ; **DUNOD**
9. La physique du hasard ; **Ch RUHLA** ; **HACHETTE Collection LIAISONS SCIENTIFIQUES**
10. La saga des calendriers ; **Jean LEFORT** ; **Bibliothèque POUR LA SCIENCE**
11. Traité des couleurs ; **Liberio ZUPPIROLI**, **Marie-Noëlle BUSSAC**, **Christiane GRIMM** ; **Presses polytechniques et universitaires romandes**.
12. Enfin, on ne peut que conseiller la (re)lecture des cours et écrits de **Richard FEYNMAN**

## ANNEXE B 8. Quelques éléments de bibliographie

- Les bandes dessinées
- Les revues scientifiques
- Les dictionnaires biographiques de savants
- Ouvrages généraux

### Histoire de la physique :

- *Histoire générale des sciences* ; René Taton ; PUF Quadrige
- *Histoire de la physique moderne* ; Michel Biezunski ; Editions la Découverte.
- *Histoire de la physique* ; Robert Locqueneux ; P.U.F. Que sais-je? n°421.
- *La physique du XXe siècle* ; Michel Paty ; Vuibert

### Histoire de la chimie :

Les histoires de la chimie sont moins nombreuses que celles de la physique. En outre, des pans entiers sont communs (existence de l'atome, thermodynamique, ..).

- *La chimie d'Aristote à Lavoisier : Les étapes de la naissance d'une science* ; Olivier Lafont ; Vuibert
- *L'aventure de la chimie jusqu'à Lavoisier* ; Lécaille Claude ; Vuibert – 2005–

- « Textes illustrés d'Histoire des Sciences pour les élèves de collège, physique – chimie » ; Jean Jandaly ; Editions CRDP de Haute – Normandie –2003–
- Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique Chimie (UdPPC) de janvier 2006
- *Raisonner en Physique* ; Laurence Viennot ; De Boeck
- *La démarche de modélisation en chimie (utilisation didactique de textes historiques)* ; M. Scheidecker – Chevalier et G. Laporte ; Editions Ellipses –2000–
- *Astronomie et astrophysique* ; Jean-Pierre Verdet ; Larousse –1993–
- *Une histoire de l'astronomie* ; Jean-Pierre Verdet ; Points Seuil
- *La science classique* ; Michel Blay et Robert Halleux ; Flammarion –1998–