L'Histoire des Sciences comme Introduction à l'optique en Première S

Monique et Gilles ITARD
Lycée Racan, Château du Loir
I.R.E.M. du Mans

I- Contexte et conditions de l'expérience

L'expérience que nous relatons est à ses débuts et n'exigeait pas un rapport détaillé aussi précoce.

Notre situation est très particulière et explique quelque peu notre façon ordinaire de procéder. Epoux et collègues, l'un en mathématique, l'autre en physique, partageant souvent les mêmes classes d'un petit lycée rural, c'est tout naturellement que nous pratiquons une interdisciplinarité diffuse. Nous disons "diffuse" parce que nous ne programmons rien; une idée germe, mûrit dans l'ombre, sa réalisation devient tout à coup une nécessité. L'exécution peut avoir lieu dans les heures qui suivent, bouleversant au besoin les cours prévus, ou à plus longue échéance. Il peut s'agir d'un travail en parallèle, chacun pour soi, en espérant que les élèves feront la synthèse (cela seul importe finalement) - par exemple barycentres et centres des masses, proportions et linéarité, tracé et exploitation de courbes - ou de double intervention dans un même cours soit pour le réemploi de notions mathématiques soit parce que le cours de physique débouche sur un problème mathématique non étudié et ainsi mis en situation. Après vingt cinq ans de pratique, nous sommes convaincus, mais au début ce fut surprenant, que l'ordre d'intervention importe peu mais que la double présence physique est bénéfique. J'ai pu constater la même chose dans la relation mathématique-philosophie que j'ai pu pratiquer avec certains collègues.

L'intrusion de l'Histoire et de l'Epistémologie pendant les cours de mathématiques est plus aisée puisque le même professeur joue les deux rôles. Là encore, il n'y a rien d'organisé, mais disponibilité et les réactions de la classe permettent ou interdisent une intervention et règlent sa durée. Je suis sûr que ces approches sont importantes mais je ne peux en faire une question de principe; pour moi les expériences pédagogiques hautement

élaborées, programmées, mesurées, font la part trop belle aux rêves du maître ou à l'élève imaginaire pour qui elles sont pensées: une route ne peut conduire qu'au lieu pour lequel elle a été tracée.

Au total, il s'agit plutôt d'un bain épistémologique. Pourquoi l'héliocentrisme ? Les nombres irrationnels ou complexes existent-ils ? Qu'est-ce que la vérité en mathématiques ? Qu'est-ce que la rigueur ? ou recherche des tangentes chez ROBERVAL, chez FERMAT, naissance du calcul différentiel, des probabilités, ...) qui, d'une part, nourrit mon cours de l'intérieur et m'aide à comprendre certaines erreurs ou questions des élèves, à en peser l'intérêt, et d'autre part, émerge dans le cours en prises de paroles ou en interrogations.

L'expérience relatée ne s'inscrit pas dans la ligne ébauchée ci-dessus. Elle se déroule dans une classe de première scientifique (1) de trente sept élèves, pendant le cours de Physique. Mon épouse est professeur de la classe, mais je ne le suis pas; je ne peux cependant me considérer comme intervenant extérieur; quelques élèves ont été dans ma classe l'année précédente, une quinzaine seront dans ma classe en terminale, plusieurs sont les amis de nos propres enfants, ajoutons à cela la vie d'un petit lycée dans une petite ville rurale de six mille habitants ...

Les conditions de l'expérience sont donc "anormales" quant au fond mais elles le sont aussi dans la forme. Nous venions d'arrêter les modalités de l'expérience, de préparer les textes et de fixer la date lorsque la télévision a demandé à l'I.R.E.M. de pouvoir filmer une expérience. Nous étions tout désignés. Nous avons expliqué aux élèves, auxquels nous annoncions à la fois l'expérience et l'intrusion de journalistes, que cette séance n'était pas faite pour la télévision mais préparée pour eux, programmée en fonction du cours. La prise de son étant défectueuse les journalistes ont demandé à revenir une heure, heure non prévue, trop précoce et qui a provoqué un certain mécontentement chez les élèves. Pour reprendre la situation en main nous avons proposé un questionnaire aux élèves deux jours après cette intervention, espérant ainsi leur rappeler que c'est bien en pensant à eux que nous avions travaillé et que nous voulions leur avis pour continuer et pour choisir la méthode.

Le cours de Physique comporte l'étude des phénomènes ondulatoires, réflexion, réfraction, diffraction, interférences. Ces phénomènes sont ensuite particularisés au son, ondes mécaniques, ondes herztiennes, et ... lumière. Notre objectif essentiel était d'introduire l'étude des phénomènes lumineux et de donner ainsi plus de sens, ou un autre sens, aux travaux pratiques et au cours à venir. Mais au-delà de cet objectif, nous souhaitions faire sentir que la science se construit, qu'elle est plus un processus évolutif qu'un monument, qu'elle ne se développe pas uniquement sous l'effet de sa propre dynamique et de sa cohérence, de ses problèmes internes, mais aussi en réponse à des problèmes, à des défis, auxquels se trouve confrontée telle société. Nous souhaitions aussi faire entrevoir que la problématique propre au chercheur joue un rôle dans sa recherche, dans le type d'approche qu'il met en place. Enfin, nous voulions savoir si ces élèves, dans l'ensemble sans

contacts précédents avec l'Histoire des Sciences, désireraient ou non poursuivre et sous quelle forme.

Comme nous l'avons dit plus haut, l'expérience n'est qu'à son début, c'est un peu une opération "coup de poing" dont nous ne pouvons qu'entrevoir les prolongements.

Nous avons remis à chaque élève le dossier ci-joint (2) comportant quelques extraits et dont le noyau est constitué des débuts de la Dioptrique de René DESCARTES. Le dossier s'achève sur un résumé destiné soit à faciliter la synthèse soit à faciliter l'accès aux textes en offrant un fil directeur. Les élèves ont eu une dizaine de jours pour étudier ces textes, préparer leurs questions, quelles qu'elles soient, aucune grille n'a été donnée.

Au moment où nous écrivons, deux séances ont eu lieu, sous forme de débat ou, plus précisément, de conférence de presse. La première séance a duré trois heures. Nous donnons la liste des questions posées dans l'ordre chronologique. La seconde séance a duré une heure et a eu lieu quinze jours plus tard, le cours de Physique ayant pris le relais de la première séance. Enfin, deux jours après, nous avons demandé aux élèves de répondre au questionnaire joint.

II- Le dossier étudié par les élèves

A - La recension de l'optique d'EUCLIDE par THÉON D'ALEXANDRIE

Lorsqu'il expliquait les choses relatives à la vue, il apportait en manière de conclusion certaines confirmations du fait que toute lumière se propage suivant des lignes droites, et il en relevait comme preuve la plus importante les ombres projetées par les corps, ainsi que les traits lumineux introduits par les fenêtres et par les ouvertures; car toutes ces choses n'auraient pas lieu, comme on constate qu'elles se produisent maintenant, si les rayons du soleil ne se propageaient pas suivant des lignes droites...

D'ailleurs, tous ces faits s'observent de la façon la plus manifeste dans des conditions que l'on obtient artificiellement. Ainsi, par exemple, si, en disposant une lampe n'importe de quelle manière, l'on place devant celle-ci un petit panneau muni d'une fente pratiquée à la fine scie, de telle sorte que la fente tombe suivant le milieu de la lampe, et si l'on met, en outre, de l'autre côté du petit panneau, et très près de lui, un petit panneau sur lequel tombera la lumière introduite à travers la fente, on découvre indubitablement que la lumière projetée sur le petit panneau est entourée de lignes droites, et que la ligne qui relie le milieu de la lampe et la fente du petit panneau est dans une même droite (3).

Le fait que toute la lumière se propage suivant une ligne droite étant sensible et patent pour tout le monde, il s'est occupé de l'oeil et des rayons qu'il projette. Il a voulu qu'on lui concède aussi que ces rayons se propagent suivant des lignes droites tout en s'écartant l'une de l'autre, et que ce soit pour cela, tout en fournissant l'exemple suivant, que les objets regardés ne sont pas vus entièrement tous à la fois. En effet, si une aiguille, ou quelque autre petit corps de ce genre, est jeté sur le sol, d'aucuns se sont livrés souvent d'une manière obstinée à leur

recherche; ils ont scruté plusieurs fois un même endroit, bien que rien ne cachât le petit objet cherché, et ils n'ont cependant vu l'aiguille que plus tard, en dirigeant la vue sur l'endroit où se trouvait ce petit objet. Il est donc évident que, s'ils n'ont pas vu l'objet tombé, c'est que l'endroit où il se trouvait n'a pas été vu non plus; de sorte que toutes les parties de l'endroit placé sous l'oeil du chercheur n'ont pas été regardées; car, si elles l'avaient été, l'objet cherché aurait été vu; or, il n'a pas été vu ...

Quant au fait que l'image ne parvient pas à la vue de la part de l'objet regardé pour exciter celle-ci à se saisir de l'objet regardé, il l'attribuait aux causes suivantes. S'en rapportant aux cas de l'objet cherché et de celui qui regarde attentivement un livre, si l'excitation visuelle avait lieu par l'apport des images, et si des images excitant notre perception affluaient continuellement de tous les corps, quelle serait dès lors, disait-il, la cause pour laquelle celui qui cherche une aiguille ne la voit pas, et pour laquelle celui qui regarde attentivement un livre n'en voit pas toutes les lettres ? Serait-ce parce qu'il est distrait d'esprit ? Cependant, ceux qui cherchent en réfléchissant ne trouvent néanmoins pas, et ils trouvent souvent aussitôt tout en conversant avec autrui et en ayant l'esprit distrait. Or, toutes les images ne parviendraient-elles pas à la vue ? Pourquoi celles qui y parviennent seraient-elles alors désignées par le sort ? Il alléguait encore que, chez les êtres vivants, la nature avait organisé les sens, les uns d'une manière propre à la réception, les autres d'une manière qui ne l'est pas. C'est ainsi qu'elle a organisé l'ouïe, le goût et l'odorat en cavités internes, en raison de ce que les éléments qui excitent ces sens leur parviennent de l'extérieur. En effet, la voix, en arrivant à l'ouïe, doit trouver un endroit favorable pour s'y maintenir, afin de ne pas laisser le sens inerte en étant repoussée dès son arrivée, et ne pas rendre ainsi la voix transmise en vain. Il en est encore de même pour l'odorat, et, quant au goût, que faudrait-il en dire ? Dès lors, si ces sens ont été organisés creux et caverneux, c'est principalement pour que les éléments qui les frappent y séjournent plus longuement. D'autre part, en ce qui concerne la vue, si les éléments qui l'excitent lui arrivaient de l'extérieur, et si elle ne faisait pas émaner quelque chose d'elle-même, il aurait fallu que son organisation fut concave et appropriée à la réception des éléments qui la frappent. Or, on constate qu'il n'en est pas ainsi, et que la vue est plutôt globulaire. Il estimait en avoir dit assez pour prouver que des rayons en émanent et provoquent l'émotion visuelle;

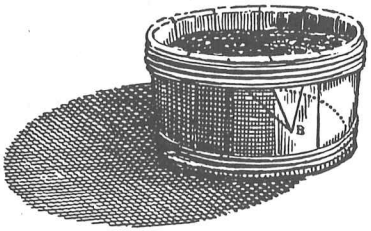
B - La dioptrique de Descartes (1637) [4]

Discours Premier De La lumière

Or, n'ayant ici autre occasion de parler de la lumière, que pour expliquer comment ses rayons entrent dans l'oeil, et comment ils peuvent être détournés par les divers corps qu'ils rencontrent, il n'est pas besoin que j'entreprenne de dire au vrai qu'elle est sa nature, et je crois qu'il suffira que je me serve de deux ou trois comparaisons, qui aident à la concevoir en la façon qui me semble la plus commode, pour expliquer toutes celles de ses propriétés que l'expérience nous fait connaître, et pour déduire en suite toutes les autres qui ne peuvent pas si aisément être remarquées; imitant en ceci les astronomes, qui, bien que leurs suppositions soient presque toutes fausses ou incertaines, toutefois, à cause qu'elles se rapportent à diverses observations qu'ils ont faites, ne laissent pas d'en tirer plusieurs conséquences très vraies et très assurées.

Il vous est bien sans doute arrivé quelquefois, en marchant de nuit sans flambeau, par des lieux un peu difficiles, qu'il

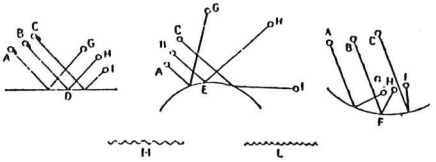
fallait vous aider d'un bâton pour vous conduire, et vous avez pour lors pu remarquer, que vous sentiez, par l'entremise de ce bâton, les divers objets qui se rencontraient autour de vous, et même que vous pouviez distinguer qu'il y avait des arbres, ou des pierres, ou du sable, ou de l'eau, ou de l'herbe, ou de la boue, ou quelqu'autre chose de semblable. Il est vrai que cette sorte de sentiment est un peu confuse et obscure, en ceux qui n'ont pas un long usage; mais considérez-la en ceux qui, étant nés aveugles, s'en sont servies toute leur vie, et vous l'y trouverez si parfaite et si exacte, qu'on pourrait quasi dire qu'ils voient des mains, ou que leur bâton est l'organe de quelque sixième sens, qui leur a été donné au défaut de la vue. Et pour tirer une comparaison de ceci, je désire que vous pensiez que la lumière n'est autre chose, dans les corps qu'on nomme lumineux, qu'un certain mouvement, ou une action fort prompte et fort vive, qui passe vers nos yeux, par l'entremise de l'air et des autres corps transparents, en même façon que le mouvement ou la résistance des corps, que rencontre cet aveugle passe vers sa main, par l'entremise de son bâton. Ce qui vous empêchera d'abord de trouver étrange, que cette lumière puisse étendre ses rayons en un instant, depuis le soleil jusques à nous: car vous savez que l'action, dont on meut l'un des bouts d'un bâton, doit ainsi passer en même sorte, encore qu'il y aurait plus de distance qu'il n'y en a, depuis la terre jusques aux cieux. Vous ne trouverez pas étrange non plus, que par son moyen nous puissions voir toutes sortes de couleurs; et même vous croirez peut-être que ces couleurs ne sont autre chose, dans les corps qu'on nomme colorés, que les diverses façons, dont ces corps la reçoivent et la renvoient contre nos yeux: si vous considérez que les différences qu'un aveugle remarque entre des arbres, des pierres, de l'eau, et choses semblables, par l'entremise de son bâton, ne lui semblent pas moindres que nous sont celles qui sont entre le rouge, le jaune, le vert, et toutes les autres couleurs; et toutefois que ces différences ne sont autre chose, en tous ces corps, que les diverses façons de mouvoir, ou de résister aux mouvements de ce bâton. En suite de quoi vous aurez occasion de juger qu'il n'est pas besoin de supposer qu'il passe quelque chose de matériel depuis les objets jusques à nos yeux, pour nous faire voir les couleurs et la lumière, ni même qu'il y ait rien en ces objets, qui soit semblable aux idées ou aux sentiments que nous en avons: tout de même qu'il ne sort rien des corps, que sent un aveugle, qui doive passer le long de son bâton jusques à sa main, et que la résistance ou le mouvement de ces corps, qui est la seule cause des sentiments qu'il en a, n'est rien de semblable aux idées qu'il en conçoit. Et par ce moyen votre esprit sera délivré de toutes ces petites images voltigeantes par l'air, nommées des *espèces intentionnelles*, qui travaillent tant l'imagination des philosophes. Même vous pourrez aisément décider la question, qui est entre eux, touchant le lieu d'où vient l'action qui cause le sentiment de la vue: car, comme notre aveugle peut sentir les corps qui sont autour de lui, non seulement par l'action de ces corps, lorsqu'ils se meuvent contre son bâton, mais aussi par celle de sa main, lorsqu'ils ne font que lui résister; 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, 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 pendant les ténèbres de la nuit, comme les chats, dans les yeux desquels elle se trouve; et que, pour l'ordinaire des hommes, ils ne voient que par l'action qui vient des objets: car l'expérience nous montre que ces objets doivent être lumineux ou illuminés pour être vus, et non point nos yeux pour les voir. Mais, pour ce qu'il y a grande différence entre le bâton de cet aveugle et l'air ou les autres corps transparents, par l'entremise desquels nous voyons, il faut que je me serve encore ici d'une autre comparaison.



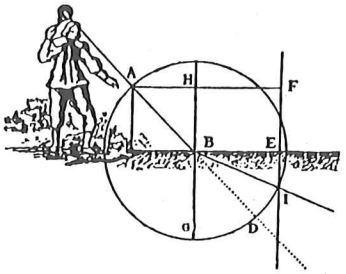
Voyez une cuve au temps de vendange, toute pleine de raisons à demi-foulés, et dans le fond de laquelle on ait fait un trou ou deux, comme A et B, par où le vin doux, qu'elle contient, puisse couler. Puis pensez que, n'y ayant point de vide en la Nature, ainsi que presque tous les Philosophes avouent, et néanmoins y ayant plusieurs pores en tous les corps que nous apercevons autour de nous, ainsi que l'expérience peut montrer fort clairement; il est nécessaire que ces pores soient remplis de quelque matière fort subtile et fort fluide, qui s'étende sans interruption depuis les Astres jusques à nous. Or, cette matière subtile étant comparée avec le vin de cette cuve, et les parties moins fluides ou plus grossières, tant de l'air que des autres corps transparents, avec les grappes de raisins qui sont parmi: vous entendrez facilement que, comme les parties de ce vin, qui sont par exemple vers C, tendent à descendre en ligne droite par le trou A, au même instant qu'il est ouvert, et ensemble par le trou B, et que celles qui sont vers D, et vers E, tendent aussi en même temps à descendre par ces deux trous, sans qu'aucune de ces actions soit empêchée par les autres, ni aussi par la résistance des grappes qui sont en cette cuve: nonobstant que ces grappes, étant soutenues l'une par l'autre, ne tendent point du tout à descendre par ces trous A et B, comme le vin, et même qu'elles puissent cependant être mues, en plusieurs autres façons, par ceux qui les foulent: ainsi toutes les parties de la matière subtile, que touche le côté du Soleil qui nous regarde, tendent en ligne droite vers nos yeux au même instant qu'ils sont ouverts, sans s'empêcher les unes les autres, et même sans être empêchées par les parties grossières des corps transparents, qui sont entre deux: soit que ces corps se peuvent en d'autres façons, comme l'air, qui est presque toujours agité par quelque vent; soit qu'ils soient sans mouvement, comme peut être le verre ou le cristal. Et remarquez ici qu'il faut distinguer entre le mouvement, et l'action ou inclination à se mouvoir. Car on peut fort bien concevoir que les parties du vin qui sont par exemple vers C, tendent vers B, et ensemble vers A, nonobstant qu'elles ne puissent actuellement se mouvoir vers ces deux côtés en même temps; et qu'elles tendent exactement en ligne droite vers B et vers A, nonobstant qu'elles ne se puissent mouvoir si exactement vers la ligne droite, à cause des grappe de raisins qui sont entre deux: et ainsi, pensant que ce n'est pas tant le mouvement, comme l'action des corps lumineux qu'il faut prendre pour leur lumière, vous devez juger que les rayons de cette lumière ne sont autre chose que les lignes suivant lesquelles tend cette action. En sorte qu'il y a une infinité de tels rayons qui viennent de tous les points des corps lumineux, vers tous les points de ceux qu'ils illuminent, ainsi que vous pouvez imaginer une infinité de lignes droites, suivant lesquelles les actions, qui viennent de tous les points de la superficie du vin CDE, tendent vers A, et une infinité d'autres, suivant lesquelles les actions, qui viennent de ces mêmes points, tendent aussi vers B, sans que les unes empêchent les autres.

Au reste, ces rayons doivent bien être ainsi toujours imaginés exactement droits, lorsqu'ils ne passent que par un seul corps transparent, qui est partout égal à soi-même: mais, lorsqu'ils rencontrent quelques autres corps, ils sont sujets à être détournés par eux, ou amortis, en même façon que l'est le mouvement d'une balle, ou d'une pierre jetée dans l'air, par ceux qu'elle rencontre. Car il est bien aisé à croire que l'action ou inclination à se mouvoir, que j'ai dit devoir être prise pour la lumière, doit suivre en ceci les mêmes lois que le mouvement. Et afin que j'explique cette troisième comparaison tout au long, considérez que les

corps, qui peuvent ainsi être rencontrés par une balle qui passe dans l'air, sont ou mous, ou durs, ou liquides; et que, s'ils sont mous, il arrêtent et amortissent tout à fait son mouvement; comme lorsqu'elle donne contre des toiles, ou du sable, ou de la boue; au lieu que, s'ils sont durs, ils la renvoient, d'un autre côté sans l'arrêter; et ce, en plusieurs diverses façons. Car ou leur superficie est toute égale, elle est ou plate, ou courbée; et étant inégale, ou son inégalité ne consiste qu'en ce qu'elle est composée de plusieurs parties diversement courbées, dont chacune est en soi assez unie; ou bien elle consiste, outre cela, en ce qu'elle a plusieurs divers angles ou points, ou des parties plus dures l'une que l'autre, ou qui se meuvent, et ce, avec des variétés qui peuvent être imaginées en mille sortes. Et il faut remarquer que la balle, outre son mouvement simple et ordinaire, qui la porte d'un lieu en l'autre, en peut encore avoir un deuxième, qui la fait tourner autour de son centre, et que la vitesse de celui-ci peut avoir plusieurs diverses proportions avec celle de l'autre. Or, quand plusieurs balles venant d'un même côté, rencontrent un corps, dont la superficie est toute unie et égale, elles se réfléchissent également, et en même ordre, en sorte que, si cette superficie est toute plate, elles gardent entre elles la même distance, après l'avoir rencontrée, qu'elles avaient auparavant; et si elle est courbée en dedans ou en dehors, elles s'approchent ou s'éloignent en même ordre les unes des autres, plus ou moins, à raison de cette courbure. Comme vous voyez ici les balles A, B, C qui, après avoir rencontré les superficies des corps D, E, F, se réfléchissent vers G, H, I. Et si ces balles rencontrent une superficie inégale,



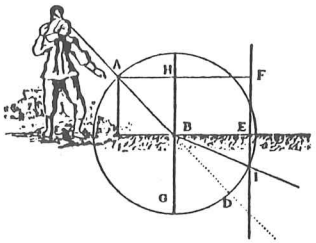
comme L ou M, elles se réfléchissent vers divers côtés, chacune selon la situation de l'endroit de cette superficie qu'elle touche. Et elles ne changent rien que cela en la façon de leur mouvement, lorsque son inégalité ne consiste qu'en ce que ses parties sont courbées diversement. Mais elle peut aussi consister en plusieurs autres choses et faire, par ce moyen, que, si ces balles n'ont eu auparavant qu'un simple mouvement droit, elles en perdent une partie, et en acquièrent au lieu un circulaire, qui peut avoir diverse proportion avec ce qu'elles retiennent du droit, selon que la superficié du corps qu'elles rencontrent peut être diversement disposée. Ce que ceux qui jouent à la paume éprouvent assez, lorsque leur balle rencontre de faux carreaux, ou bien qu'ils la touchent en biaisant de leur raquette, ce qu'ils nomment, ce me semble, couper ou friser. Enfin, considérez que si, une balle qui se meut rencontre obliquement la superficie d'un corps liquide, par lequel elle puisse passer plus ou moins facilement que par celui d'où elle sort, elle se détourne et change son cours en y entrant: comme, par exemple, si



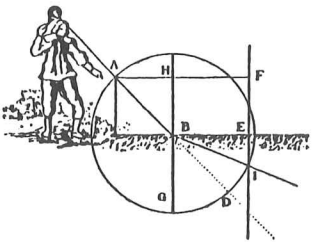
étant en l'air au point A, on la pousse vers B, elle va bien en ligne droite depuis A jusques à B, si ce n'est que sa pesanteur ou quelqu'autre cause particulière l'en empêche; mais, étant au point B où je suppose qu'elle rencontre la superficie de l'eau CBE, elle se détourne et prend son cours vers I, allant derechef en ligne droite depuis B jusques à I, ainsi qu'il est aisé à vérifier par l'expérience. Or, il faut penser, en même façon, qu'il y a des corps qui, étant rencontrés par les

rayons de la lumière, les amortissent, et leur ôtent toute leur force, à savoir ceux qu'on nomme noirs, lesquels n'ont point d'autre couleur que les ténèbres; et qu'il y en a d'autres qui les font réfléchir, les uns au même ordre qu'ils les reçoivent, à savoir ceux qui, ayant leur superficie toute polie, peuvent servir de miroirs tant plats que courbés, et les autres confusément vers plusieurs côtés; et que derechef, entre ceux-ci, les uns font réfléchir ces rayons sans apporter aucun autre changement en leur action, à savoir ceux qu'on nomme blancs, et les autres y apportent avec cela un changement semblable à celui que reçoit le mouvement d'une balle quand on la frise, à savoir ceux qui sont rouges, ou jaunes, ou bleus, ou de quelques autre telle couleur. Car je pense pouvoir déter-

Discours Second De la Réfraction

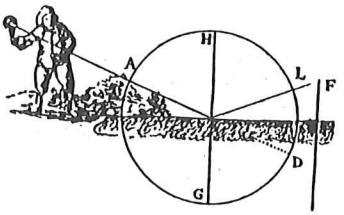


Venons maintenant à la Réfraction. Et premièrement supposons qu'une balle poussée d'A vers B, rencontre au point B, non plus la superficie de la terre mais une toile CBE, qui soit si faible et déliée que cette balle ait la force de la rompre et de passer tout au travers, en perdant seulement une partie de sa vitesse, à savoir, par exemple la moitié. Or cela posé, afin de savoir quel chemin doit suivre, considérons derechef que son mouvement diffère entièrement de sa détermination à se mouvoir plutôt vers un côté que vers un autre, d'où il suit que leur quantité doit être examinée séparément. Et considérons aussi que, des deux parties dont on peut imaginer que cette détermination est composée, il n'y a que celle qui faisait tendre la balle de haut en bas, qui puisse être changée en quelque façon par la rencontre de la toile; et que, pour celle qui la faisait tendre vers la main droite, elle doit toujours demeurer la même qu'elle a été, à cause que cette toile ne lui est aucunement opposée en ce sens-là. Puis, ayant décrit du centre B le cercle AFD, et tiré à angles droits sur CBE les trois lignes droites AC, HB, FE, en telle sorte qu'il y ait deux fois autant de distance entre FE et HB qu'entre HB et AC, nous verrons que cette balle doit tendre vers le point I. Car, puisqu'elle perd la moitié de sa vitesse, en traversant la toile CBE, elle doit employer deux fois autant de temps à passer au-dessous, depuis B jusques à quelque point de la circonférence du cercle AFD, qu'elle a fait au-dessus à venir depuis A jusques à B. Et puisqu'elle ne perd rien du tout de la détermination qu'elle avait à s'avancer vers le côté droit, en deux fois autant de temps qu'elle en a mis à passer depuis la ligne AC jusques à HB, elle doit faire deux fois autant de chemin vers ce même côté, et par conséquent arriver à quelque point de la ligne droite FE, au même instant qu'elle arrive aussi à quelque point de la circonférence du cercle AFD. Ce qui serait impossible, si elle n'allait vers I, d'autant que c'est le seul point au-dessous de la toile CBE, où le cercle AFD et la ligne droite FE s'entrecoupent.



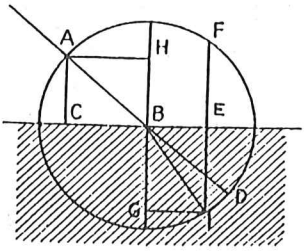
Pensons maintenant que la balle qui vient d'A vers D, rencontre au point B, non plus une toile, mais de l'eau, dont la super-

ficie CBE lui ôte justement la moitié de sa vitesse, ainsi que faisait cette toile. Et le reste posé comme devant, je dis que cette balle doit passer de B en ligne droite, non vers D, mais vers I. Car, premièrement, il est certain que la superficie de l'eau la doit détourner vers là en même façon que la toile, vu qu'elle lui ôte tout autant de sa force, et qu'elle lui est opposée en même sens. Puis, pour le reste du corps de l'eau qui remplit tout l'espace qui est depuis B jusques à I, encore qu'il lui résiste plus ou moins que ne faisait l'air que nous y supposions auparavant, ce n'est pas à dire pour cela qu'il doive plus ou moins la détourner: car il se peut ouvrir, pour lui faire passage, tout aussi facilement vers un côté que vers un autre, au moins si on suppose toujours, comme nous faisons, que ni la pesanteur ou légèreté de cette balle, ni sa grosseur, ni sa figure, ni aucune autre telle cause étrangère ne change son cours. Et on peut ici remarquer, qu'elle est d'autant plus détournée par la superficie de l'eau ou de la toile, qu'elle la rencontre plus obliquement, en sorte que, si elle la rencontre à angles droits, comme lorsqu'elle est poussée d'H vers B, elle doit passer outre en ligne droite vers G, sans



aucunement se détourner. Mais elle est poussée suivant une ligne comme AB qui soit si fort inclinée sur la superficie de l'eau ou de la toile CBE, que la ligne FE, étant tirée comme tantôt, ne coupe point le cercle AD, cette balle ne doit aucunement la pénétrer, mais rejaillir de sa superficie B vers l'aire L, tout de même que si elle y avait rencontré de la terre. Ce qu'on a quelquefois expérimenté avec regret, lorsque, faisant tirer pour plaisir des pièces d'artillerie vers le fond d'une rivière, on a blessé ceux qui étaient de l'autre côté sur le rivage.

Mais faisons encore ici une autre supposition, et pensons que la balle, ayant été premièrement poussée d'A vers B, est poussée derechef, étant au point B, par la raquette CBE, qui augmente la force de son mouvement, par exemple, d'un tiers, en



sorte qu'elle puisse faire, par après autant de chemin en deux moments, qu'elle en faisait en trois auparavant. Ce qui fera le même effet, que si elle rencontrait au point B un corps de telle nature, qu'elle passât au travers de sa superficie CBE, d'un tiers plus facilement que par l'air. Et il suit manifestement de ce qui a été déjà démontré, que, si l'on décrit le cercle AD comme devant, et les lignes AC, HB, FE, en telle sorte qu'il y ait d'un tiers moins de distance entre FE et HB qu'entre HB et AC, le point I, où la ligne droite FE et la circulaire AD s'entrecoupent, désignera le lieu vers lequel cette balle, étant au point B, se doit détourner.

Or on peut prendre aussi le revers de cette conclusion et dire que, puisque la balle qui vient d'A en ligne droite jusques à B, se détourne étant au point B, et prend son cours de là vers I, cela signifie que la force ou facilité, dont elle entre dans le corps CBEI, est à celle dont elle sort du corps ACBE, comme la distance qui est entre AC et HB, à celle qui est entre HB et FI, c'est-à-dire comme la ligne CB est à BE.

Enfin, d'autant que l'action de la lumière suit en ceci les mêmes lois que le mouvement de cette balle, il faut dire que, lorsque ses rayons passent obliquement d'un

En cherchant, pour établir la véritable loi des réfractions, à partir du principe contraire, — à savoir que le mouvement de la lumière se fait plus facilement et plus vite dans les milieux rares que dans les denses, — nous sommes retombés précisément sur la loi que Descartes a énoncée. Est-il possible d'arriver sans paralogisme à une même vérité par deux voies absolument opposées, c'est une question que nous laissons à examiner aux géomètres assez subtils pour la résoudre rigoureusement; car, sans entrer dans de vaines discussions, la possession assurée de la vérité nous suffit et nous l'estimons préférable à une longue continuation de querelles inutiles et illusoires.

Notre démonstration s'appuie sur ce seul postulat que la nature opère par les moyens et les voies les plus faciles et les plus aisées. Car c'est ainsi que nous croyons qu'il doit être énoncé et non pas comme on le fait d'ordinaire en disant que la nature opère toujours par les lignes les plus courtes.

En effet, de même qu'en spéculant sur les mouvements naturels des graves, Galilée en mesure les rapports aussi bien par le temps que par l'espace, de même nous ne considérerons pas les espaces ou les lignes les plus courtes, mais celles qui peuvent être parcourues le plus facilement, le plus commodément et dans le temps le plus court.

D - Extrait d'une lettre de CAVALIERI à TORRICELLI [6] (16 février 1644)

"Vous avez peut-être spéculé sur (l'Anaclastique) recherchée par un si grand nombre, mais en vain. Je sais qu'HÉRIGONE, dans son cours de Mathématiques [7], c'est-à-dire dans sa Dioptrique, suppose l'avoir trouvée en s'appuyant sur ce principe que les sinus des incidences sont proportionnels aux sinus des réfractions, mais comme il ne prouve ce principe qu'en transposant une loi de mécanique dans l'Optique en disant que l'impulsion du rayon qui rencontre la surface du corps transparent est comparable à l'impulsion d'un grave tombant sur un plan horizontal ou incliné du même angle que le rayon sur cette surface, et qu'il n'apporte à cela aucune justification, j'ai toujours douté et de ce principe, et que cette section ou ligne soit vraiment l'Anaclastique."

E - NEWTON et la lumière corpusculaire [8]
Proposition XCVI. Livre Premier - 14è Section

SCHOLIE.

On peut appliquer ces recherches ſur l'attraction à la réflexion de la lumiére & à ſa réfraction qui ſe fait, comme Snellius l'a découvert, en raiſon donnée des Sécantes, & par conſéquent en raiſon donnée des ſinus, ainſi que Deſcartes l'a fait voir.

Car il eſt certain, par la découverte des phénomenes des ſatellites de Jupiter confirmée par les obſervations de pluſieurs Aſtro-

nomes, que la propagation de la lumiere eſt ſucceſſive, & qu'elle vient du ſoleil à la terre en ſept ou huit minutes; & les rayons en paſſant près des angles des corps opaques ou tranſparens tels que l'extrémité d'une lame de couteau, d'une piéce de monnoye, d'un morceau de verre, ou de pierre, &c. s'infléchiſſent autour de ces corps comme s'ils en étoient attirés: c'eſt ce qu'a découvert Grimaldi il y a longtemps en faiſant entrer un rayon de lumiere par un trou dans une chambre obſcure, & ce que j'ai vérifié.

Ceux de ces rayons qui en paſſant approchent le plus près des corps ſe courbent davantage, comme s'ils étoient plus attirés, ainſi que je m'en ſuis aſſuré par des expériences éxactes. Ceux qui paſſent à de plus grandes diſtances s'infléchiſſent moins; & ceux qui paſſent à des diſtances encore plus grandes s'infléchiſſent un peu en ſens contraire, & forment trois faiſceaux de couleurs. Dans la figure ci-jointe, *S* repréſente la pointe d'un couteau ou d'un corps quelconque *ASB*; & *gowog*, *fnunf*, *emtme*, *dlsld*, ſont des rayons qui s'infléchiſſent vers le couteau par des arcs *owo*, *nun*, *mtm*, *lsl*, plus ou moins concaves ſelon leurs diſtances. Or comme cette courbure des rayons ſe fait à une

F - HUYGENS et la lumière vibration (9)

Traité de la lumière

Chapitre Premier
Des rayons directement étendus

Les démonstrations qui concernent l'Optique ainsi qu'il arrive dans toutes les sciences où la géométrie est appliquée à la matière, sont fondées sur des vérités tirées de l'expérience; telles sont que les rayons de lumière s'étendent en droite ligne; que les angles de réflexion et d'incidence sont égaux, et que dans les réfractions le rayon est rompu suivant la règle des sinus, désormais si connue et qui n'est pas moins certaine que les précédentes.

La plupart de ceux qui ont écrit touchant les différentes parties de l'Optique se sont contentés de présupposer ces vérités. Mais quelques-uns plus curieux en ont voulu rechercher l'origine et les causes, les considérant elles-mêmes comme des effets admirables de la Nature. En quoi

ayant avancé des choses ingénieuses, mais non pas telles pourtant que les plus intelligents ne souhaitent des explications qui leur satisfassent davantage, je veux proposer ici ce que j'ai médité sur ce sujet, pour contribuer autant que je puis à l'éclaircissement de cette partie de la science naturelle, qui non sans raison en est réputée une des plus difficiles. Je reconnais être beaucoup redevable à ceux qui ont commencé les premiers à dissiper l'obscurité étrange où ces choses étaient enveloppées et à donner espérance qu'elles se pouvaient expliquer par des raisons intelligibles. Mais je m'étonne aussi d'un autre côté comment ceux-là même, bien souvent, ont voulu faire passer des raisonnements peu évidents comme très certains et démonstratifs: ne trouvant pas que personne ait encore expliqué probablement ces premiers et notables phénomènes de la lumière, savoir pourquoi elle ne s'étend que suivant des lignes droites, et comment les rayons visuels, venant d'une infinité de divers endroits, se croisent sans s'empêcher en rien les uns les autres.

J'essaierai donc dans ce livre, par des principes reçus dans la Philosophie d'aujourd'hui, de donner des raisons plus claires et plus vraisemblables premièrement de ces propriétés de la lumière directement étendue, secondement de celle qui se réfléchit par la rencontre d'autres corps. Puis j'expliquerai les symptômes des rayons qui sont dits souffrir réfraction en passant par des corps diaphanes de différentes espèces, où je traiterai aussi des effets de la réfraction de l'air par les différentes densités de l'atmosphère.

Ensuite j'examinerai les causes de l'étrange réfraction de certain cristal qu'on apporte d'Islande. Et en dernier lieu, je traiterai des différentes figures des corps transparents et réfléchissants, par lesquelles les rayons sont assemblés en un point, ou détournés en différentes manières. Où l'on verra avec quelle facilité se trouvent suivant notre théorie nouvelle, non seulement les ellipses, hyperboles et autres lignes courbes que M. Descartes a subtilement inventées pour cet effet, mais encore celles qui doivent former la surface d'un verre lorsque l'autre surface est donnée sphérique, plate, ou de quelque figure que ce puisse être.

L'on ne saurait douter que la lumière ne consiste dans le mouvement de certaine matière. Car soit qu'on regarde sa production, on trouve qu'ici sur la Terre, c'est principalement le feu et la flamme qui l'engendrent, lesquels contiennent sans doute des corps qui sont dans un mouvement rapide, puisqu'ils dissolvent et fondent plusieurs autres corps des plus solides; soit qu'on regarde ses effets, on voit que quand la lumière est ramassée, comme par des miroirs concaves, elle a la vertu de brûler comme le feu, c'est-à-dire qu'elle désunit les parties des corps; ce qui marque assurément du mouvement au moins dans la vraie philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. Ce qu'il faut faire à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de ne jamais rien comprendre dans la physique.

Et comme, suivant cette philosophie, l'on tient pour certain que la sensation de la vue n'est excitée que par l'impression de quelque mouvement d'une matière qui agit sur les nerfs au fond de nos yeux, c'est encore une raison de croire que la lumière consiste dans un mouvement de la matière qui se trouve entre nous et le corps lumineux.

De plus, quand on considère l'extrême vitesse dont la lumière s'étend de toutes parts et que, quand il en vient de différents endroits, même de tout opposés, elles se traversent l'une l'autre sans s'empêcher; on comprend bien que, quand nous voyons un objet lumineux, ce ne saurait être par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'aire: car assurément cela répugne trop à ces deux qualités de la lumière et surtout à la dernière. C'est donc d'une autre manière qu'elle s'étend, et ce qui nous peut conduire à la comprendre, c'est la connaissance que nous avons de l'extension du son dans l'air.

Nous savons que par le moyen de l'air, qui est un corps invisible et impalpable, le son s'étend tout à l'entour du lieu où il a été pro-

duit, par un mouvement qui passe successivement d'une partie de l'air à l'autre, et que l'extension de ce mouvement se faisant également vite de tous côtés, il se doit former comme des surfaces sphériques qui s'élargissent toujours et qui viennent frapper notre oreille. Or il n'y a point de doute que la lumière ne parvienne aussi depuis le corps lumineux jusqu'à nous par quelque mouvement imprimé à la matière qui est entre deux, puisque nous avons déjà vu que ce ne peut être par le transport d'un corps qui passerait de l'un à l'autre. Que si avec cela la lumière emploie du temps à son passage, ce que nous allons examiner maintenant, il s'ensuivra que ce mouvement imprimé à la matière est successif et que par conséquent il s'étend, ainsi que celui du son, par des surfaces et des ondes sphériques: car je les appelle ondes, à la ressemblance de celles que l'on voit se former dans l'eau quand on y jette une pierre, qui représentent une telle extension successive en rond, quoique provenant d'une autre cause et seulement dans une surface plane.

Pour voir donc si l'extension de la lumière se fait avec le temps, considérons premièrement s'il y a des expériences qui nous puissent convaincre du contraire. Quant à celles que l'on peut faire ici sur la Terre, avec des feux mis à de grandes distances, quoiqu'elles prouvent que la lumière n'emploie point de temps sensible à passer ces distances, on peut dire avec raison qu'elles sont trop petites et qu'on n'en peut conclure, sinon que le passage de la lumière est extrêmement vite. M. Descartes qui était d'opinion qu'il est instantané, se fondait, non sans raison, sur une bien meilleure expérience tirée des éclipses de lune: laquelle pourtant, comme je ferai voir, n'est point convaincante. Je la proposerai un peu autrement que lui, pour en faire mieux comprendre toute la conséquence. ...

==========

La réfraction de la lumière

Le phénomène répertorié

Il s'agit d'un phénomène courant: un objet tombé dans l'eau nous semble plus proche de la surface qu'il ne l'est, un bâton semi-immergé a l'air coudé, brisé (fracture, fraction).

Le phénomène est mentionné déjà par EUCLIDE (3ème siècle avant J.-C.), sans qu'on cherche à le mesurer. Voici ce qu'en dit CLEOMEDES, vulgarisateur, aux environs de la naissance de Jésus-Christ: "Si dans une coupe ou quelqu'autre récipient on place un anneau d'or et si le récipient est vide, en se plaçant à une distance convenable on ne voit pas ce qu'il y a au fond parce que la respiration visuelle se déplace en ligne droite le long du bord du récipient. Mais si on remplit le vase d'eau, de la même distance, on voit l'anneau qui est au fond, parce que la respiration visuelle ne suit plus une ligne droite selon le bord mais, touchant l'eau et se brisant, elle va au fond et rencontre l'anneau."

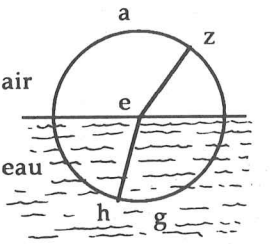
Le Phénomène mesuré

Les premières mesures connues relatives à la Réfraction se trouvent dans le livre V de l'Optique de Claude PTOLÉMÉE (2ème siècle de notre ère - Alexandrie).

PTOLÉMÉE opère avec un cercle gradué en degrés, placé dans un plan vertical et dont un diamètre est au contact avec le plan horizontal de l'eau. z et h sont deux curseurs. On regarde dans le prolongement de ez et on déplace h jusqu'à le voir aligné avec e et z.

Il énonce:

1) que tout se passe dans le plan indiqué;
2) gh < az
3) il quantifie le phénomène en donnant une table numérique dont les données serviront encore à l'aube du 17ème siècle.



arc az	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
arc gh	8°	15°,5	22°,5	29°	35°	40°,5	45°,5	50°

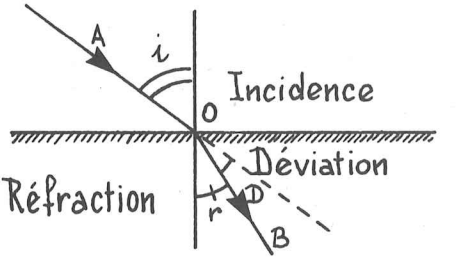
Les valeurs numériques sont assez bonnes, très bonnes pour 50° et 60°, mais l'intérêt peut aussi se porter sur la structure de cette table.

Le Phénomène analysé en termes de "sens de variation" (terme anachronique)

Franchissons quelques siècles mais peu d'espace: ALHAZEN (de son vrai nom: Al-Hasan abu 'Ali ben al-Hasan ben al-Haytham) est né en Irak en 965 et mort au Caire vers 1039. Son traité d'Optique comporte quelques 1400 pages. Au septième livre du Traité, Alhazen parle de la réfraction. Il confirme que les rayons, incident et réfracté et la normale à la surface sont dans un plan. Il annonce que la lumière émise de B vers O se réfractera vers A (retour inverse). Mais son attention se porte surtout sur des relations du type:

si i' > i alors D' > D
si i' > i alors r' > r
si i' > i alors $\frac{D'}{i'} > \frac{D}{i}$

Pour un même i,
D dépend des milieux"



et quelques autres qui ne sont pas valables dans toutes les conditions, ce qu'ALHAZEN ne pouvait percevoir dans les conditions expérimentales qui étaient les siennes.

Remarque utile pour la suite: $i' > i \Rightarrow \frac{D'}{i'} > \frac{D}{i}$ indique que D n'est pas proportionnel à i, de ce fait $r = i - D$ ne l'est pas non plus.

Le Phénomène analysé en termes de "fonction" (terme anachronique)

1) Nous quittons le fond du bassin méditerranéen pour rejoindre l'Europe, plus précisément l'électorat de Cologne, à l'aube du 17ème siècle. Après PTOLÉMÉE, géant de l'Astronomie, et ALHAZEN, bon astronome, nous rencontrons KÉPLER, celui qui osa faire tourner les planètes sur des ellipses et d'un mouvement non uniforme.

KÉPLER, ne se contente pas des tables numériques de PTOLÉMÉE, transmises à travers les âges, ni des règles énoncées par ALHAZEN et connues, en particulier à travers VITELLION (13ème siècle). Il a le parti pris de chercher une corrélation forte entre i et D, nous dirions qu'il veut exprimer D en fonction de i.

KÉPLER énonce dans *Ad Vitellionem paralipomena* (9), en 1604, que

$$\frac{D}{D'} = \frac{i}{i'} \cdot \frac{\cos r'}{\cos r},$$

ce que nous pourrions traduire par $D = \frac{k.i}{\cos r}$, qui est du type $D = ki\,(1 + \varepsilon)$ où ε dépend de i.

La loi de KÉPLER n'est ni très pratique, ni correcte pour nous, mais correspond aussi bien aux données de l'époque que notre loi. En 1611, KÉPLER remplace sa loi par $i = n.r$ en précisant que ceci n'est vrai que pour i petit ($i < 30°$ pour air/cristal). Et il en tire une théorie de la lunette de GALILÉE (inventée par celui-ci en 1609).

KÉPLER constate que la loi de 1604, la bonne pour lui, s'écarte un peu des tables de PTOLÉMÉE ou VITELLION: "Certum igitur est, Vitellionem suis ab experientia captis refractionibus manum admovisse, ut in ordinem illas per secundorum incrementorum aequalitatem redigeret" (traduction: "Il est donc certain que VITELLION a manipulé ses (résultats) tirés de l'expérience sur les réfractions puisqu'il les a écrites en utilisant l'égalité des différences secondes" ... Nous parlerions d'un lissage parabolique).

2) Vers 1625 apparaît une nouvelle loi (la nôtre) et elle apparaît chez deux savants: SNELLIUS, en relation avec KÉPLER et son "maître" TYCHO-BRAHÉ, et DESCARTES. La loi de SNELLIUS est connue par un manuscrit qui semble perdu au 18ème siècle, celle de DESCARTES, équivalente, est publiée en 1637 dans la *Dioptrique*. Descartes va plus loin que l'énoncé d'une loi empirique et cherche à expliquer le phénomène physiquement.

Les deux énoncés équivalents diffèrent dans leur expression:

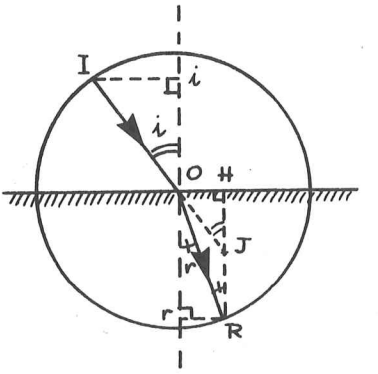
• SNELLIUS constate que

$$\boxed{\frac{OR}{OJ} = Cste}$$

le rapport est constant, soit $\frac{OR}{OJ} = n$

On a donc

$\frac{OH}{OR} = \frac{OH}{n\,OJ}$ soit $\boxed{n \sin r = \sin i}$



• DESCARTES, quant à lui, énonce que

$\boxed{\frac{Ii}{Rr} = Cste}$, soit $\frac{Ii}{Rr} = n$

On a donc

$\frac{Ii}{OI} = n \frac{Rr}{OR}$; $\boxed{\sin i = n \sin r}$

Cette loi de SNELL-DESCARTES est aussi connue comme "loi des sinus". Elle ne fut pas admise sans discussion (Cf. la lettre de CAVALIERI en 1644) et ce, non pas à cause d'objections expérimentales, mais en raison de l'explication cartésienne. FERMAT, grand mathématicien et juge à Toulouse, établit mathématiquement, sur d'autres bases que DESCARTES, la même loi des sinus. Des conceptions différentes, des hypothèses physiques différentes conduisent à la même loi, vérifiée par l'expérience: il sera nécessaire, dans les années qui suivent, de chercher à construire une théorie de la lumière afin de trancher, si possible, le débat. Deux théories naissent à la fin du siècle, l'une, corpusculaire, liée à l'attraction universelle, est due à NEWTON, l'autre, vibratoire, est due à Christian HUYGENS. La réfraction n'est pas le seul phénomène qui ait poussé à cette recherche théorique sur la lumière contrairement à ce que ces pages peuvent inciter à croire, mais elle a joué un rôle central de 1600 à 1650. Quant aux théories, ondulatoire et corpusculaire, elles eurent à tour de rôle la "vedette" jusqu'au 20ème siècle et à la mécanique ondulatoire qui associe ondes et particules.

III- Compte-rendu sommaire

1) Première séance (3 heures)

Notes prises par trois élèves: ces notes se recoupent très précisément (à l'orthographe et la syntaxe près). Nous nommons les élèves par une lettre, dans l'ordre d'intervention.

1. Pourriez-vous expliquer les rapports entre la cuve à raisin et la démonstration de DESCARTES ? (A)
2. DESCARTES essaie-t-il de montrer ce qu'est la lumière par rapport à ce qu'elle n'est pas ? (B)
3. Qu'est-ce que les "espèces intentionnelles" ? (C)
4. Pour DESCARTES est-ce l'objet ou l'œil qui émet la lumière ? (B)
5. Sur quoi DESCARTES s'appuie-t-il pour déterminer où la balle "réfractée" va passer ? (B)
6. Comment arrive-t-il à connaître la différence entre les couleurs ? Comment arrive-t-il à expliquer la notion de couleur ? (C)
7. Que veut dire "l'extension de la lumière se fait avec le temps" ? (A)
8. NEWTON dit que la lumière met 7 à 8 minutes pour nous parvenir, connaissait-on la distance Terre-Soleil ? (B)
9. Je voudrais avoir des explications sur la première loi énoncée par KÉPLER ? (C)
10. C'est un peu de la "physique de cuisine", il part de la fin, de la conclusion à laquelle il pense pour démontrer sa loi. (B)
11. Que veut dire "courbe anaclastique" ? (D)
12. Le fait que l'on change de milieu fait-il que l'on renvoit de la lumière, je pense par exemple aux poissons ? (???) (B)
13. EUCLIDE a dit que la lumière se propage en ligne droite, comment l'a-t-il su ? (E)
14. Comment PTOLÉMÉE pouvait-il trouver l'angle de réfraction ? (B)
15. Je ne comprends pas, chez NEWTON, ces rayons qui s'infléchissent autour d'un corps (F)
16. N'y a-t-il pas perte de temps par rapport au programme ? (G)
17. Pourquoi n'y a-t-il pas d'Historiens avec vous ? (H)

Au total 17 questions dont un tiers viennent du même élève. Un élève réputé curieux et très à l'aise, n'a jamais pris la parole (mais ses réponses au questionnaire laissent penser qu'il s'est tu volontairement malgré son intérêt). 8 élèves sur 37 ont pris la parole.

2) Deuxième séance

(reconstituée ... nous avons négligé de demander un secrétaire)

Par son mutisme initial la classe indique que l'intrusion de la télévision devient peu supportable.

Nous relançons le débat en prenant appui sur l'une des dernières questions de la première séance: Le débat a-t-il apporté quelque chose ou est-ce pure perte de temps ?

Les réponses se font un peu attendre, puis sont gentilles et conventionnelles. Nous déclarons qu'à notre sens le peu d'enthousiasme à répondre montre que la classe reste globalement dans l'expectative, la séance n'a

rien provoqué de très probant et nous demandons que le débat revienne aux Sciences.

L'orientation générale est de dépasser le 17ème siècle et d'en venir à l'actualité: quand les photons sont-ils apparus ? La lumière, aujourd'hui, est-elle ondulatoire ou corpusculaire ? Comment explique-t-on, maintenant, les couleurs ? Un élève, très actif, est sceptique: comment, à l'époque de NEWTON, connaissait-on la distance des planètes sur laquelle repose la mesure de la célérité de la lumière ?

Lors du cours de physique, entre les deux séances, une question avait été posée sur la fiabilité des lois physiques, avec référence aux lois des gaz parfaits qui n'existent pas dans la nature, du moins est-ce ainsi que mon épouse l'a perçue. Il nous semble intéressant de noter que l'élève, sollicité, ne se souvient pas exactement de sa question qui n'avait sans doute pas, dans sa pensée, le sens que nous avions perçu à travers nos propres interrogations. Toute la difficulté d'un débat et, plus généralement, de l'enseignement se trouve ici résumée, mais aussi celle de la recherche épistémologique: parvenir à comprendre ce que l'autre a envie de dire, quelle que soit la formulation. Malgré l'attention et l'habitude de l'écoute chacun se laisse prendre.

IV- Questionnaire donné aux élèves après la seconde séance

(le nombre de réponses est porté sous chaque rubrique)

Anonymat

Questionnaire Histoire de Sciences - 1ère S

Faire le plus possible abstraction de la présence parasite de FR3.

1) L'approche historique vous a-t-elle parue, dans la perspective des cours qui ont suivi,

positive	indifférente	négative
23	12	0

2) Cette approche a-t-elle changé votre vision des sciences ?

pas du tout	un peu	beaucoup
3	32	0

3) Votre intérêt pour le programme scolaire serait-il renforcé par de telles approches ?

oui	sans opinion	non
27	6	2

4) La lecture de textes anciens vous a-t-elle semblée

très difficile	difficile	sans difficultés majeures	facile
2	17	16	0

5) Avez-vous aimé lire ces textes avant toute "conférence" ?

beaucoup	un peu	sans opinion	pas du tout
8	21	4	2

6) Aimeriez-vous mieux un style conférence sans lecture préalable ?

oui	indifférent	non
7	6	22

7) Souhaiteriez-vous
a) avoir d'autres occasions de faire le même type d'expérience

oui	indifférent	non
25	8	2

b) si oui, est-ce:

en cours (dans programme officiel l'intégrant)
en cours (même sans programme)
sous forme de club (action personnelle, lectures en commun, etc.)
sous forme de conférences

8) Dans le cas où votre réponse à 7.a) est oui, vous pouvez rompre l'anonymat pour faciliter les prises de contact (13 élèves).

9) Avez-vous d'autres propositions à faire ? Inscrire au dos (13 réponses dont une d'élève "défavorable" et une "d'indifférent").

V- Eléments d'évaluation

En raison de deux absences lors de la distribution du questionnaire, rempli en classe, nous n'avons que 35 réponses sur 37 élèves présents aux débats.

Malgré l'anonymat, nous craignons que certaines des réponses non négatives ne soient dues à la façon dont les élèves ont perçu notre effort plus qu'à l'intérêt réel qu'ils ont pris à l'expérience. Il reste que 25 élèves souhaitent poursuivre suivant diverses modalités et que, parmi ces élèves, 13 ont rompu l'anonymat.

Après étude des réponses, nous pensons que les quatre premières questions sont peu éclairantes.

La première se trouve biaisée par l'aspect psychologique déjà indiqué et par l'enthousiasme né d'une situation non ordinaire.

La seconde a été posée beaucoup trop tôt après le débat, la quasi-totalité des élèves répond "un peu" (32 élèves) ce qui semble indiquer qu'il s'est

passé quelques chose de positif mais de flou, pouvant relever aussi d'un enthousiasme encore vécu. La même question serait plus pertinente après un long délai.

La troisième question (77 % de oui) indique elle aussi quelque chose de positif. Mais cela concerne peut-être plus le désir de changement, l'opposition au système scolaire, l'ennui, que l'introduction historique elle-même.

Notre explication nuancée des réponses à la quatrième question tient à ce que 45 % des élèves considèrent qu'il n'y avait pas de difficultés majeures contre 6 % seulement qui ont trouvé de très grosses difficultés. Nous pourrions penser que nous avons très bien su doser les textes, mais il semble très plausible aussi que la lecture faite par les élèves ne soit trop superficielle et rapide.

L'un des deux élèves qui refusent de poursuivre fait cependant une proposition, ainsi que quatre des douze anonymes favorables à la poursuite et sept des treize élèves qui ont rompu l'anonymat.

Relevé des propositions commentaires
(Dix des douze réponses émanent d'élèves qui veulent poursuivre l'expérience. Les deux autres sont indiquées par leur réponse à 7.a)).

Demande une conférence sur la lumière	1	
Autres sujets	3,5	
Débat plus structuré	1,5	
Une ou deux fois par an, pas plus	1	("non")
Discussion parfois trop mathématique	1	("indifférent")
Surtout plus de journalistes !	1	
Insister sur la relation Sciences-Société	2	
Phénomènes para-psychologiques	1	

Quelques corrélations
Afin de cerner un peu mieux la demande des élèves nous avons analysé les réponses 5 et 6 des 25 élèves qui souhaitent poursuivre ou reprendre l'expérience (7.a: oui) et nous avons essayé de la tempérer par les réponses à 7.b)

Question 6 / Question 5	oui	indifférent	non
beaucoup	3	3	7
un peu		1	10
sans opinion	1		
pas du tout			

Resserons l'analyse en considérant les sept élèves qui ont beaucoup aimé lire les textes puis les dix qui ont "un peu" aimé et refusent une conférence qu'ils n'auraient pas préparée.

Dans les tableaux suivants, le signe + indique qu'une proposition a été faite, les double propositions sont indiquées par 0,5, les triples par 0,33:

Question 8 / Question 9	anonymat	non anonymat
cours d'Histoire au programme		0,5
même hors programme		1,5 et $0,5^+$
club	1^+	1 et $0,5^+$
conférence	1	1^+

Les dix élèves qui ont "un peu" aimé lire se répartissent ainsi:

Question 8 / Question 9	anonymat	non anonymat
Histoire au programme	$2^+ + 0,5$	$1,33^+ + 1$
même hors programme	x	$0,83^+$
club	x	1
conférence	1,5	$0,83^+ + 1$

Le nombre des élèves qui refusent une conférence sans préparation de leur part est impressionnant (et encourageant) puisque 22 élèves, soit 63 %, sont dans ce cas. Le tableau suivant répartit ces 22 élèves selon la réponse à 7.a).

	Veut poursuivre		indifférent	ne veut pas poursuivre
7.a) pour les 22 élèves	Anonyme 6	connu 11	4	1
Total 7.a)	12	13	8	2

Voici un ultime renseignement: nous sommes en fin d'année de Première Scientifique, pour les treize élèves non anonymes voici l'orientation proposée:

Terminale Math-Physique	9
Terminale Sciences de la Nature	2
doublement en Première	2

VI- En forme de conclusion

Les éléments positifs ne manquent pas mais leur signification ne nous paraît pas évidente. Seuls quatre élèves demandent la création d'un club et ont donc envie de prendre l'histoire à bras le corps. Trop d'élèves, à notre goût (10 sur les 25 intéressés), seraient intéressés si l'histoire des sciences était inscrite au programme donc monnayable en termes d'examens et concours. Mais faut-il pour autant désespérer ? L'expérience manque de durée, les réponses des élèves viennent après deux séances et sans contact approfondi avec l'histoire des sciences, l'absence quasi totale de rejets oblige à poursuivre. Nous avons donc proposé aux élèves intéressés une conférence après leurs épreuves de fin d'année et/ou une réunion pour fonder un club pour l'année prochaine, en fixer le fonctionnement et les objectifs.

A notre surprise, nous avons reçu 27 réponses. Parmi celles-ci 6 demandes pour un club contre 4 lors du questionnaire. Ces 6 élèves sont aussi demandeurs de conférences mais 2 gardent l'anonymat. Par contre, 21 élèves écrivent clairement leur refus d'un club et 23 demandent une conférence.

Les thèmes de conférences sont l'Astronomie (15, dont 2 précisent: au 17ème siècle et 1 au 20ème siècle), la Relativité (9) et la Physique des particules (1).

Certains (11) élèves ont gardé l'anonymat dont 2 qui veulent participer à un club, ce qui laisse perplexe. Enfin, bouquet final, 4 élèves dont l'un rompt l'anonymat, ont pris la peine de répondre pour dire qu'ils ne veulent ni conférence, ni club.

Notes

(1) élèves de 16 à 17 ans

(2) extrait de l'article "La réfraction de la lumière" dans *Mathématiques, Arts et Techniques au XVIIème siècle*, IREM du Mans, Publications de l'Université du Maine, n° 4, octobre 1987.

(3) Dans *EUCLIDE, l'optique et la catoptrique,* Ver EECKE, Librairie Scientifique Blanchard. Paris 1959.
EUCLIDE: 3ème siècle avant J.-C. ; THÉON D'ALEXANDRIE: 4ème siècle après J.-C.
(4) Dans *DESCARTES - Oeuvres et Lettres;* La Pléiade, NRF, 1952.
(5) dans *Oeuvres de FERMAT,* tome III. Paul TANNERY. Gauthier-Villars. Paris, 1896.
(6) in Jean ITARD, opus cité.
(7) Le cours d'HERIGONE, tome V, est de 1637, en latin; la démonstration en question est très fortement inspirée de celle de DESCARTES.
(8) *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle,* Traduction de la Marquise du Châtelet. Librairie Blanchard, 1966.
(9) Compléments à VITELLION.

Bibliographie

Textes et traductions

ARCHIMEDE, *L'Arénaire.* dans ARCHIMEDE tome II, Les Belles Lettres, Charles Mugler, 1971

EUCLIDE, *L'Optique et la Catoptrique.* Librairie Scientifique Blanchard, 1959. Traduction, introduction et notes

ALEMBERT d', *Dictionnaire de Mathématiques.* (Encyclopédie méthodique), 1784.

DESCARTES, *Correspondance.* Librairie Felix Alcan, 3 tomes, 1936-41. Adam et Milhaud.

DESCARTES, *La Dioptrique.* dans Oeuvres de DESCARTES, La Pléiade, 1952.

FERMAT, *Oeuvres,* tome III. Gauthier Villars, 1896. Traduction Paul Tannery.

GALILÉE, *Discours concernant deux sciences nouvelles.* Armand Colin, 1970, présentation, traduction et notes de M. Clavelin.

HUYGENS, *Le Traité de la Lumière.* Gauthier Villars, "Les Maîtres de la pensée scientifique", 1920.

MERSENNE, *Correspondance,* Ed. CNRS Mme Paul Tannery.

NEWTON, *Les Principes mathématiques de la Philosophie Naturelle.* Librairie Scientifique Blanchard, 1966. Traduction de Mme la Marquise du Chastellet, commentaires de Clairaut.

Livres et articles

CORTES PLA, *El enigma de la luz.* Kraft, Buenos Aires, 1949.

IREM, *Mathématiques, Arts et Techniques au XVIIème siècle.* Publications de l'Université du Maine, n° 4, Le Mans, 1987.

ITARD Jean, *La réfraction chez KÉPLER*. Revue d'Histoire des Sciences, tome X, n° 1 ou 4, 1957, p. 59-67.

RASHED Roshdi, *Le discours de la lumière - ALHAZEN*. Revue d'Histoire des Sciences, tome XXI, n° 3, 1968.

RONCHI Vasco, *Histoire de la lumière*. Bibliothèque générale de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Armand Colin, 1956.

ROSMORDUC, *L'idée d'une structure de la lumière dans l'histoire de la physique*. Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences. n° 2, 1977.

Ouvrages généraux

Dictionary of Scientific Biography. Ed. Charles Scribbner's sons, 1970.
Encyclopédie générale des Sciences. PUF.