

Auteurs : Pierre Léna(plus d'infos)

Résumé : S'il est une réalité du monde physique qui s'impose dès la naissance et peut-être même avant, c'est bien l'existence de la lumière, lorsque le nouveau-né ouvre les yeux et jette son premier regard étonné sur le monde. La lumière ne le quittera plus, dans le chatoiement des couleurs et la palette du peintre, dans l'éclat du Soleil et la scintillation des étoiles, sous la lampe pour lire, dans les miracles de l'appareil photo ou des lunettes du grand âge. Document issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.



La lumière

Avec, par ordre d'entrée :

[Acte I – Le Chemin](#)

Platon

Alhazen

Fermat

Einstein

[Acte II – La Vitesse](#)

Römer

Fizeau

Einstein

[Acte III – Les Voyageurs](#)

Kepler

Niepce

Mayer

[Acte IV – La Nature des choses](#)

Newton

Young

Einstein

Acte I - Le chemin

Une terrasse inondée de soleil dans le crissement des cigales. Les ombres dessinent l'arête d'un mur polygonal, éclatant de blancheur. La dentelle des pins se dessine sur l'azur profond. Au loin scintille la Méditerranée, et, vers l'ouest, la montagne Sainte-Victoire tremble dans l'air chaud.

Sophie. — Regarde ! tu baignes dans la lumière et son histoire. À la proue du vaisseau, lorsqu'il croisait ces caps, Ulysse l'avisé célébra par son chant l'Aurore aux doigts de rose, Pythéas fit voile vers les nuits du Grand Nord. Dans la montagne de Digne, là-bas à l'est, Fabri de Peiresc fut le premier à nommer la nébuleuse d'Orion qui nous émut tant, ce matin avant l'aube. Et distingues-tu vers Marseille ce sommet où Stéphan et Fizeau osèrent les premiers tenter la mesure du diamètre apparent d'une étoile ? (*Silence.*) Hélas ! tu ne m'entends pas, je vois que le seul Cézanne et sa montagne aimée touchent ton cœur !

Jean. — Certes, car je n'entends rien à la lumière des physiciens. Je lui préfère l'infinie palette du peintre ou l'iridescence d'un vitrail. Pourtant, je t'écouterai et ne te ferai pas grâce de mes questions car, je le reconnais, la lumière est bien étrange : un grain de sable, c'est de la matière, je le touche et veux bien admettre qu'en le fractionnant je finisse par trouver la molécule, l'atome. Je conçois encore que de petits électrons se ruent dans les fils métalliques en y transportant le courant, comme l'eau dans la rivière. Mais la lumière ? Elle paraît naître du feu, rebondir sur les choses, s'éparpiller en mille couleurs ? Elle est toute fluidité, immatériabilité insaisissable. Aveugle, je sentirais encore la chaleur du Soleil sur ma peau, sans pourtant en saisir la source.

Sophie. — Il est vrai, nos sens peuvent nous tromper : ainsi beaucoup, comme le grand Platon, crurent-ils que la lumière sortait de l'oeil. Notre langue en porte encore la trace : « jeter un coup d'oeil, caresser du regard »...

Jean. — Allons, ma vue embrasse cette Provence, mais c'est le Soleil qui la baigne de lumière, c'est évident !

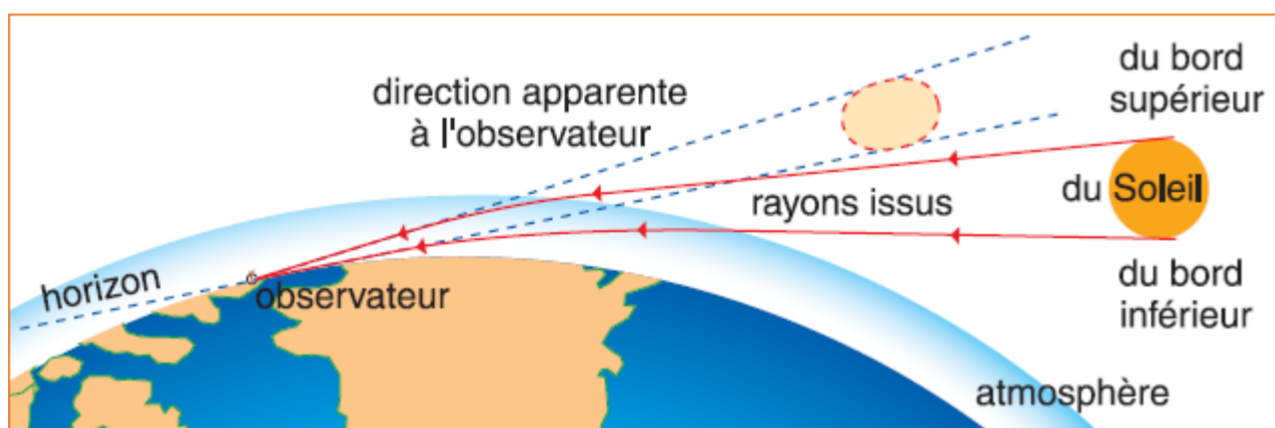
Sophie. — Mon cher, l'évidence est ce qu'il y a de moins partagé au monde : tu viens après deux mille cinq cents ans de philosophie, d'école primaire et de physique. Souvenons-nous aussi de Démocrite et de Lucrèce, ces « atomistes » qui voulaient décrire la nature autant que possible indépendamment de l'homme et de ses sensations (nous dirions « objectivement ») : pour eux, les corps émettent des « idoles » ou « simulacres », sortes de fines écorces qui « [...] se détachent de la surface même des corps [...] s'élançant dans l'air en conservant leurs formes, [...] entrent en nous [...] en reproduisant les objets extérieurs ».

Jean. — J'admets donc que la lumière, c'est « quelque chose » qui se déplace d'un point à un autre. Mais quel chemin suit-elle ?

Il me semble que le rayon de lumière trace une ligne droite : ainsi lorsque je regarde des ombres ou ces pinceaux de lumière issus du Soleil qui, découpés par les nuages, forment une gloire ou bien, encore, le faisceau rouge de ce petit laser avec lequel tu désignes le tableau.

Sophie. — Bien observé.

Jean. — Pourtant, j'ai remarqué que parfois le rayon de lumière se casse ou se courbe. Pourquoi donc ?



Le Soleil couchant apparaît posé sur l'horizon, alors que la ligne droite qui le relie à l'observateur passe sous l'horizon. L'aplatissement est de l'ordre de 20 % et dépend de l'état local de l'atmosphère terrestre.

Sophie. — Bien vu encore. Là-bas vers la Sicile, cela n'avait pas échappé à Archimède qui décrivait ainsi la réfraction : « Si tu poses un objet au fond d'un vase, et si tu éloignes le vase jusqu'à ce que l'objet ne se voie plus, tu le verras réapparaître à cette distance dès que tu rempliras d'eau le vase. » Il faudra une longue réflexion depuis l'opticien arabe al-Haytham (Alhazen), mort au Caire en 1039, jusqu'à Pierre de Fermat (1601-1665), pour en proposer une explication (voir l'encart ci-dessous). Tu connais ces mirages, autres effets de courbure des rayons lumineux, que l'on croit volontiers réservés aux voyageurs du désert. Nous en observons pourtant un presque chaque jour, au lever ou au coucher du Soleil : à l'instant où tu vois l'astre comme posé sur l'horizon, il est déjà (en géométrie euclidienne) couché sous cet horizon, car la trajectoire des rayons lumineux, qui n'est plus une droite, mais que courbe la réfraction dans l'atmosphère inhomogène de la Terre, atteint l'oeil et lui permet de former l'image du Soleil (cf. le dessin ci-dessus). Un cas extrême de réfraction atmosphérique anormale fut même rapporté par le navigateur Barents (découvreur de la mer Arctique portant son nom, en 1597) qui vit, à son extrême surprise ainsi qu'à celle de son équipage, le disque du soleil réapparaître sur l'horizon pendant la nuit polaire, alors même que l'astre était déjà couché depuis plusieurs jours ! Il est aisé d'interpréter cette observation par un effet semblable, et rare, de réfraction atmosphérique anormale.

Jean. — Mais c'est étrange, la lumière ne réfléchit pourtant pas..., si je puis m'exprimer ainsi. Pourquoi préfère-t-elle donc le temps minimal ?

Sophie. — Ta question est extrêmement profonde : Pierre de Maupertuis, en 1744, a généralisé le principe de Fermat aux corps en mouvement (billes, balles...) et contribué, par son « principe de moindre action », à fonder la mécanique moderne. Hélas ! je ne puis te dire pourquoi le réel adopte un tel principe d'économie : il est ainsi fait. Étonne-t-en, c'est le secret de la découverte.

La lumière se propage en ligne droite, vrai ou faux ?

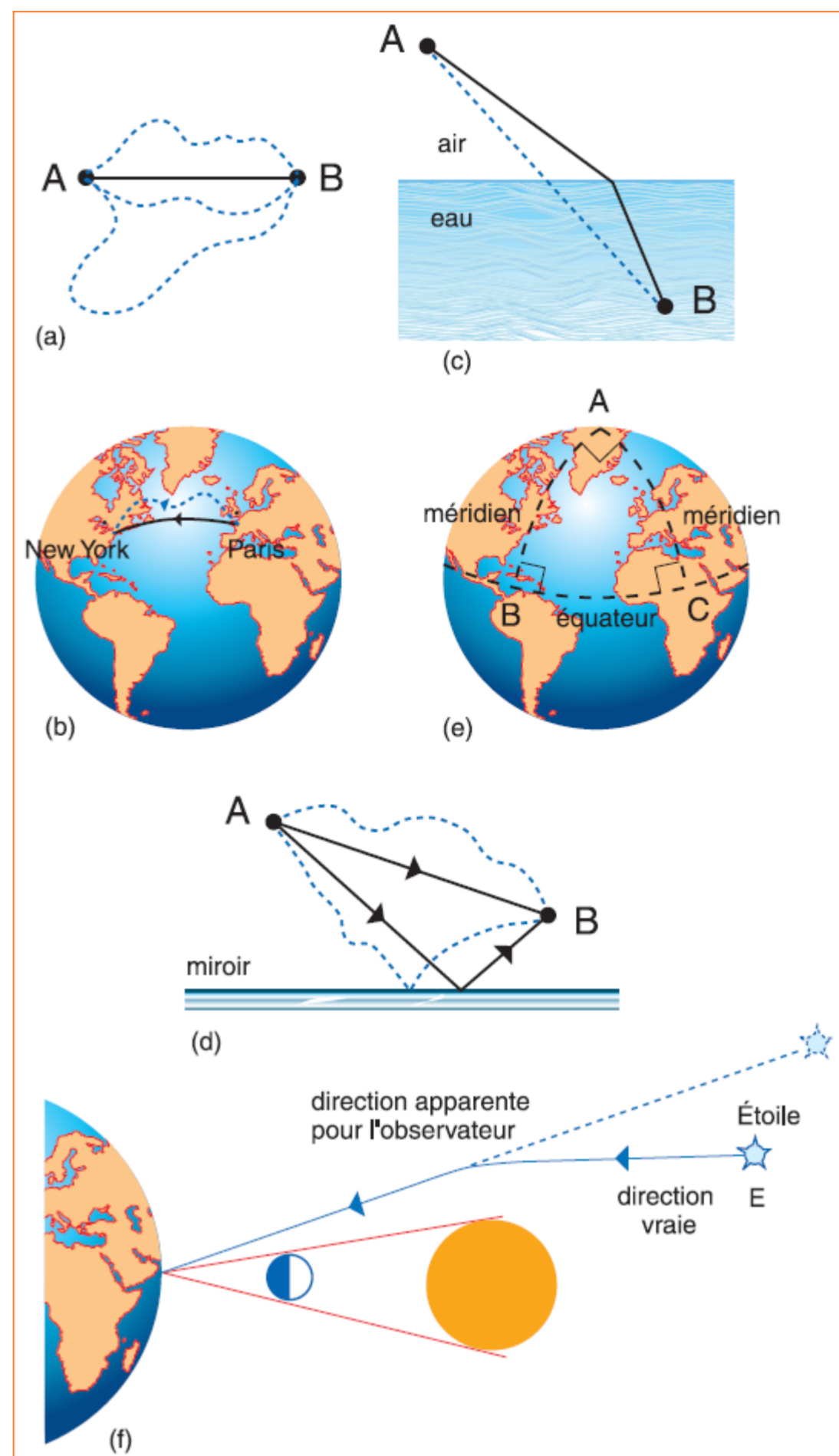
La ligne droite est un objet de la géométrie (donc mathématique) et non de la physique : dans l'espace familier qui nous entoure, c'est, parmi tous les chemins possibles, celui de longueur minimale entre deux points A et B (a). On peut vérifier avec toute la précision possible que la lumière suit en général un tel chemin (par exemple, le bord d'une règle parfaite). Pourtant, la réfraction, qui se produit lorsque le rayon change de milieu (air, puis eau) ou bien parcourt un milieu variable de point en point (l'atmosphère dont la température change, de l'eau inégalement salée), montre qu'alors le trajet n'est plus une ligne droite.

Fermat énonce en 1661 son célèbre principe (un énoncé vérifié par ses conséquences, mais qu'on ne démontre pas) : « Le rayon de lumière suit entre A et B le parcours de temps minimum. » À partir de cet énoncé, et en supposant que la vitesse de la lumière peut varier selon le milieu où elle se propage, ce qui à l'époque est encore une hypothèse sans preuve, il retrouve sans difficulté le trajet exact des rayons réfractés allant de A à B. Il écrit alors : « [...] le fruit de mon travail a été le plus extraordinaire, le plus imprévu et le plus heureux qui fut jamais. » (c et d)

Il existe des espaces où la définition du plus court chemin ne conduit pas à la droite de la géométrie familière (appelée encore euclidienne) : par exemple, la surface d'une sphère. Pour aller de Paris à New York, le chemin (euclidien) de longueur minimale est de traverser la croûte terrestre ; en revanche, si la contrainte est de demeurer à la surface, comme c'est le cas pour un avion, le chemin de longueur minimale est un arc de grand cercle de la sphère terrestre (on appelle « grand cercle d'une sphère » le cercle de plus grand rayon que l'on puisse tracer à la surface de cette sphère : sur Terre, l'équateur et les méridiens sont des grands cercles, mais non les parallèles) ; enfin, si la contrainte, pour un pilote d'avion, est d'obtenir la durée minimale de parcours, sachant que la vitesse-sol de l'avion dépend du vent, lequel est variable de point en point, la trajectoire sera plus sinueuse (b). À la surface d'une sphère, il est possible de dessiner un « triangle », dont les côtés sont des arcs de grand cercle (les « droites » de cet espace), mais dont la somme des angles n'est plus égale à 180° (e).

Considérons trois étoiles A, B, C, formant triangle et les rayons de lumière qui les joignent. Que vaut la somme S des angles ? Depuis Einstein, nous savons que la géométrie de l'espace est sensible aux masses qu'il contient : un espace totalement vide serait euclidien ($S = 180^\circ$), mais, dès qu'il contient de la matière (ou de l'énergie), sa géométrie change (et alors $S \neq 180^\circ$) sous l'effet de la gravitation. En l'occurrence, on pourrait dire qu'il était euclidien et qu'il devient plus ou moins courbe, comme on passe d'un plan (euclidien) à la surface d'une sphère (qui ne l'est plus). Dans le voisinage du Soleil, l'effet est tout petit (la somme S des angles s'écarte de 180° d'environ un millionième) et a pu être vérifié lors de l'éclipse totale de Soleil de 1919 (f). On est donc conduit à admettre que le principe de Fermat (durée minimale) s'applique toujours, mais que les rayons lumineux peuvent ne plus être des droites au sens familier : le cas extrême est fourni par le comportement de la lumière dans le voisinage d'un trou noir (g).

Conclusion : le plus souvent, la lumière ne se propage pas en ligne exactement droite (au sens euclidien), mais toujours elle suit le parcours de durée minimale. Néanmoins, dans la vie courante, il est raisonnable d'utiliser les alignements « à vue » pour l'arpentage ou l'architecture.



Variations sur « le plus court chemin d'un point à un autre » selon que l'on considère : (a) la droite euclidienne ; (b) la contrainte de rester sur la surface d'une sphère, avec la longueur minimale (trait plein) ou la durée minimale (tirets). En (c), le parcours de la lumière entre A et B, le trait plein donnant la durée minimale, le trait en tirets la longueur minimale. En (d), deux parcours possibles (trait plein) pour la lumière, l'un par réflexion sur le miroir, l'autre direct, chacun étant minimum par rapport à des parcours voisins. En (e), curieuse géométrie à la surface d'une sphère, où trois segments de « droites » (arcs de grand cercle) forment un triangle dont la somme des angles vaut 270° ($3 \times 90^\circ$). En (f), le parcours de la lumière issue d'une étoile et atteignant la Terre pendant une éclipse totale de Soleil : la Lune cache entièrement le Soleil pour l'observateur terrestre ; le ciel est alors très sombre, les étoiles deviennent visibles durant quelques minutes. L'observateur voit l'étoile E dans la direction apparente (tirets) et non dans sa direction vraie (trait plein), à cause de la courbure du rayon lumineux, due au Soleil. En (g), l'espace est si courbé autour d'un trou noir (extrême concentration de matière, par exemple la masse du Soleil rassemblée dans une sphère d'un mètre de rayon) que la lumière suit alors des cercles autour de cette masse (par exemple, le cercle ABCDA...) : elle ne peut s'échapper.

