

Acte IV- La nature des choses

Auteurs : Pierre Léna(plus d'infos)

Résumé : 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.

Publication : 11 Juillet 2014

Vaste bibliothèque, au mur un tableau de Vermeer, un portrait de Nicéphore Niépce, une photographie d'Albert Einstein jeune, en compagnie de sa femme Mileva. La pièce jouxte un billard qu'occupent des joueurs invisibles : bruits du choc des boules. Par la porte ouverte, on distingue la piscine.

Jean. — Tu me fais languir, vais-je enfin comprendre ce qu'est la lumière ? Elle est impalpable, il semble que je ne puisse en saisir que les effets...

Sophie. — Oui, pas question de regarder de la lumière au microscope ! Quand la lumière se propage, elle nous est inaccessible aussi longtemps qu'elle n'a pas interagi avec de la matière : ces grains de fumée, ta peau, la chlorophylle d'une feuille, ma rétine... Pourtant, nous voulons absolument nous faire une idée de ce « quelque chose » : une idée, un modèle, une représentation, une théorie, utilise le terme que tu veux. Nous cherchons une façon de décrire avec nos mots cette mystérieuse réalité. Veux-tu te livrer à cet exercice ?

Jean. — J'imaginerais bien la lumière faite de particules très fines, impalpables, émises par les lampes ou le Soleil et se propageant à la vitesse c . Nos balles de ping-pong d'hier, une boule de billard transportent bien de l'énergie et aussi de l'impulsion : cela ressemble à ce que nous voulons.

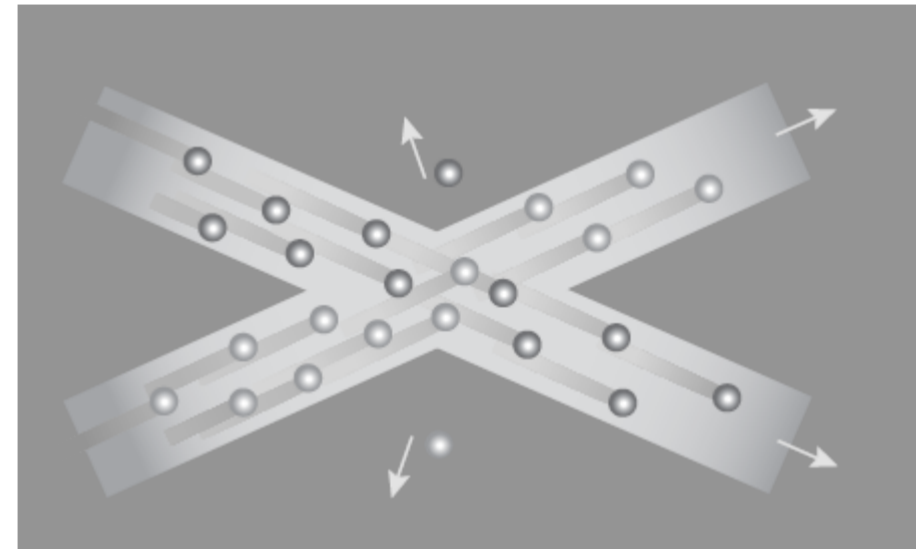


Dans *L'Atelier du peintre*, Vermeer démontre sa science de la lumière, dont la propagation en ligne droite est à la base de la perspective et dont l'interaction avec les matières, puis l'oeil, donne un jeu infini de couleurs.
Kunsthistorisches Museum, Vienne, Autriche.
© The Bridgeman Library, New York

Sophie. — Tu rejoins le grand Newton qui, en 1730, conjecturait dans le troisième volume de son ouvrage *l'Optique* : « Les rayons de lumière ne sont-ils pas de tout petits corps émis par les objets qui brillent ? » Mais si ce modèle est bon, que devrait-il se produire lorsque deux pincesaux de lumière se croisent (ci-contre) ?

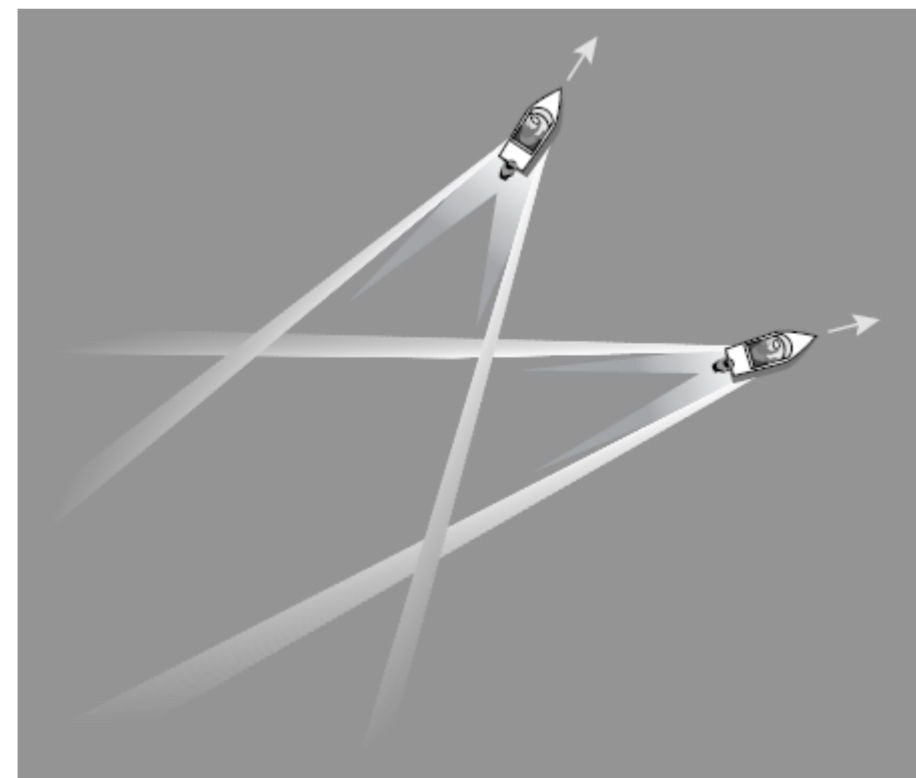
Jean. — De temps à autre, ces « petits corps » devraient en heurter d'autres, rebondir et s'éparpiller. Il me semble que je n'ai jamais observé cela.

Sophie. — Ni toi ni personne, car aucune expérience n'a jamais réussi à en manifester les collisions. Voilà de curieux « petits corps » qui pourraient s'interpénétrer sans s'affecter mutuellement ? À coup sûr, ils seraient bien différents de la matière que nous connaissons. Mais quelle autre possibilité imaginer ?



Deux jets de particules se croisent : de temps à autre, une collision éjecte une particule dans une direction quelconque.

Jean. — Ne pourrait-on concevoir la lumière à la manière de ces ondes que le vent crée à la surface de la piscine ? Il y a « quelque chose » qui se propage, c'est clair. Ces ondes ont une vitesse, elles transportent de l'énergie et de l'impulsion : il suffit de voir comme la houle arrivant sur une côte est capable de briser une digue. En outre, il me semble bien que des ondes peuvent se croiser sans problème. Lorsque je suis arrivé en avion à Nice, j'ai regardé les sillages des bateaux dans la baie des Anges (cf. ci-contre) : ils se croisaient, puis continuaient leur chemin comme si rien ne s'était passé. Tu peux d'ailleurs refaire l'expérience en jetant deux cailloux dans cette piscine : regarde bien, les « ronds dans l'eau » qu'ils vont créer se croiseront sans se modifier. Tout cela ressemble à ce que font deux faisceaux de lumière, se croisant dans le vide sans se perturber mutuellement.



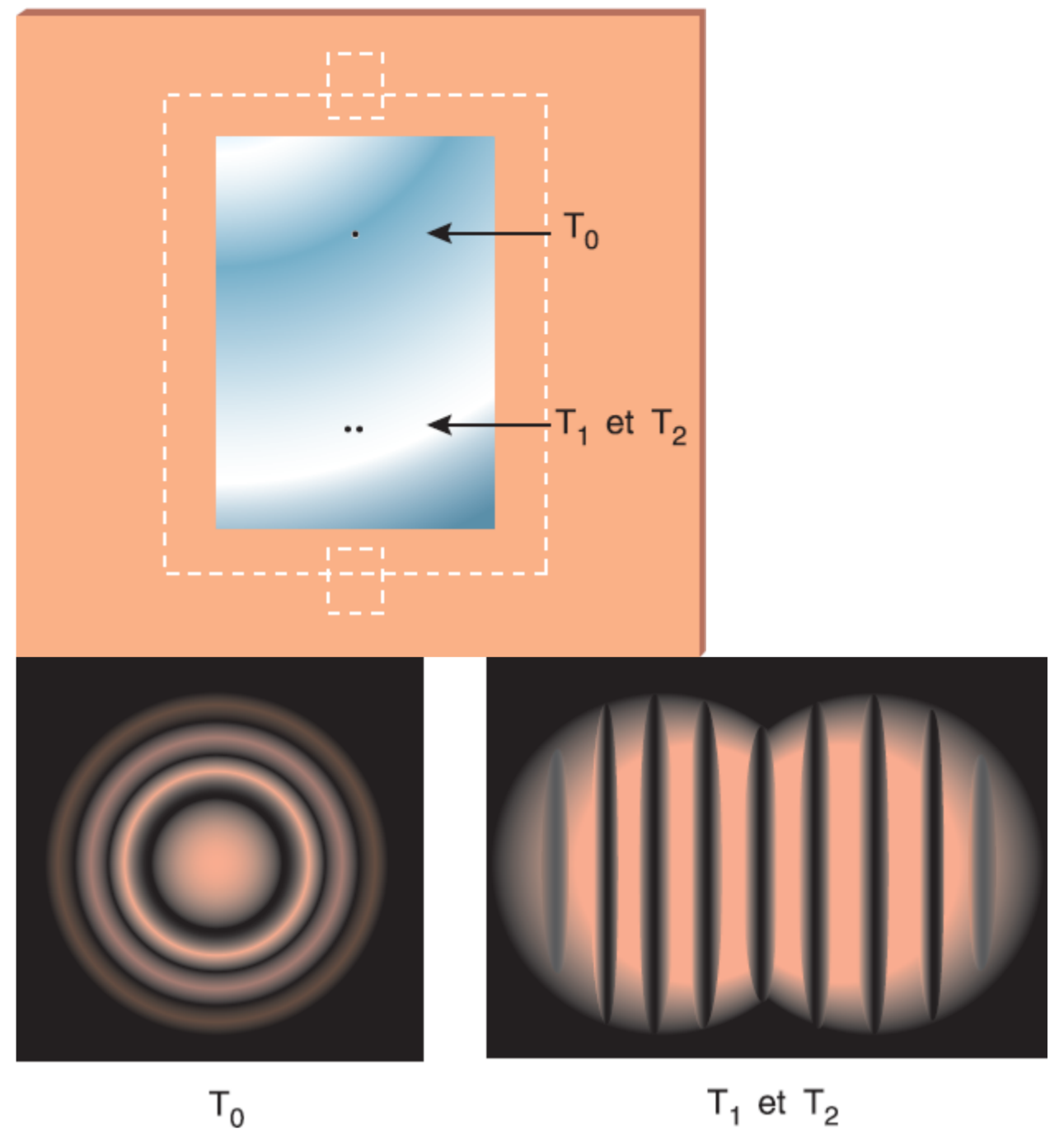
Deux sillages de bateaux se croisent : après la rencontre, les sillages continuent sans avoir été modifiés par celle-ci.

Sophie. — Voici donc un autre modèle : Newton y avait aussi pensé. Mais il avait élevé une objection : « [...] [si la lumière était faite de vibrations], ne devrait-elle pas suivre des chemins tordus, détruire ainsi les ombres et se faufiler dans toutes les anfractuosités comme le fait le son ? » (Lettre à Oldenburg, janvier 1675). Il avait d'ailleurs fait une expérience, dans laquelle l'addition de deux lumières produisait de l'obscurité (comme celle décrite plus bas) ! Cela l'étonnait beaucoup, car il ne parvenait pas à se l'expliquer avec ses « très petits corps ». Je te proposerai tout à l'heure d'y revenir.

Mais essayons de poursuivre cet autre modèle, cette idée de vibrations. À peine un siècle plus tard, en 1801, un autre Anglais, Thomas Young, médecin et physiologiste, déchiffreur de hiéroglyphes comme Champollion, fera une expérience aussi extraordinaire par ses conséquences que simple par son principe. Avant d'en discuter, exécutons-la nous-mêmes et apprécions-la, car, depuis deux siècles, elle n'a

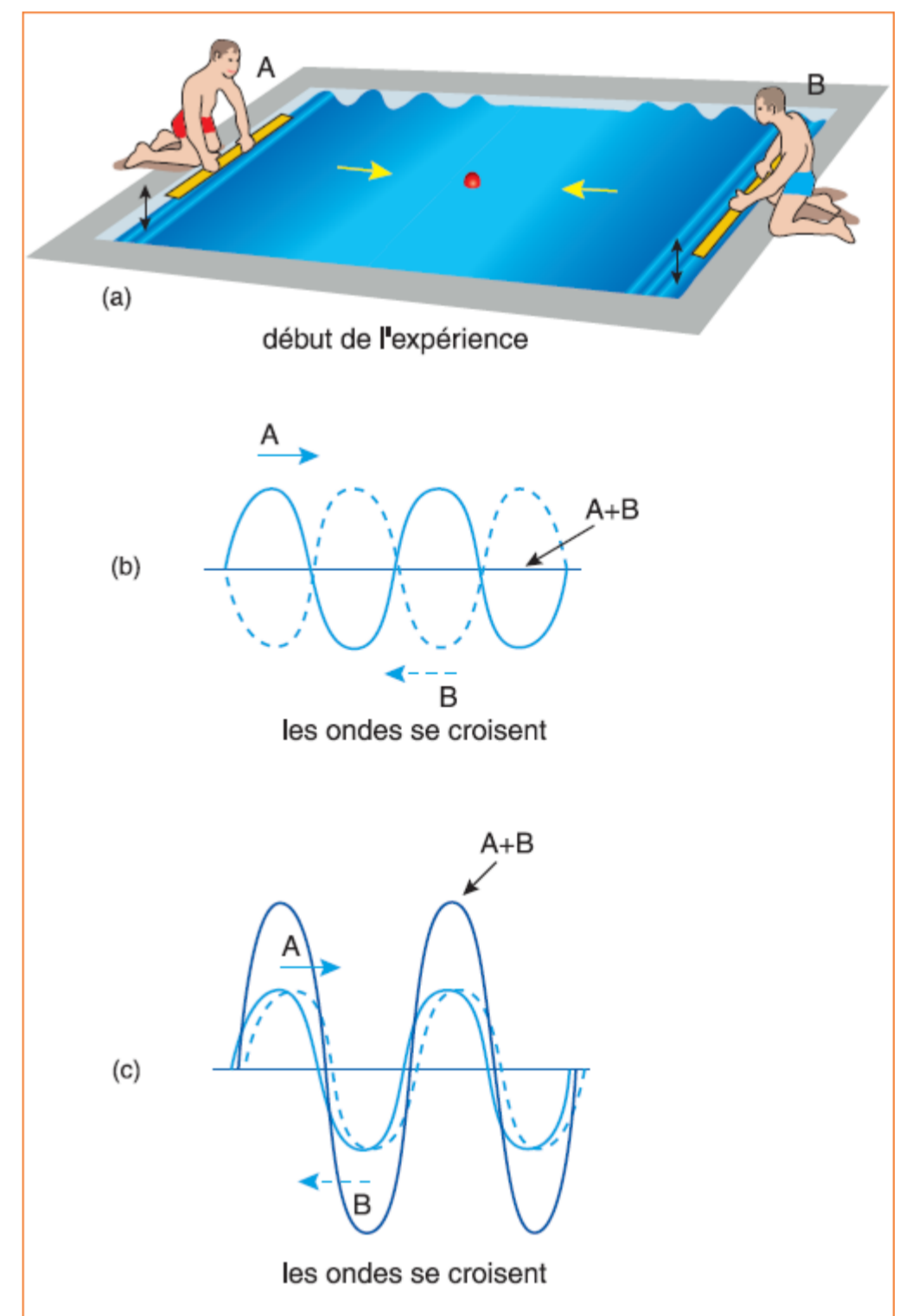
cessé d'inspirer les scientifiques et reste actuelle.

Un cadre de carton léger, environ de 6 x 6 cm (extérieur) et 4 x 4 (intérieur) sur lequel est scotchée une feuille de papier aluminium. Le tout est placé contre une surface assez dure (plastique) et, avec la pointe d'une aiguille fine, on fait dans le papier aluminium trois trous aussi égaux que possible (pression égale de l'aiguille) : l'un isolé (T_0), les deux autres (T_1 et T_2) adjacents et proches (moins d'un millimètre si possible : faire plusieurs essais et garder le meilleur). La source de lumière est très commodément une de ces petites lampes de poche dites Maglite®, dont on a ôté le réflecteur, pour obtenir une source blanche, intense et de très petite taille. On regarde d'un seul oeil, en mettant la plaque tout près de l'oeil, la source étant placée à quelques mètres de distance : tantôt au travers du trou T_0 , tantôt au travers des deux autres trous à la fois (c'est-à-dire au travers de la paire T_1 - T_2 , placée horizontalement). L'aspect observé est le suivant : au travers de T_0 , la source apparaît circulaire, plus ou moins entourée d'anneaux. Au travers de la paire, la source est semblable, mais traversée de fines lignes verticales, alternativement noires et claires, dont le contraste diminue lorsqu'on s'éloigne du centre. Ce sont les franges de Young, qui disparaissent si l'on bouche l'un des trous T_1 ou T_2 . Elles tournent si l'on fait tourner la paire, devenant horizontales si celle-ci est verticale. On en améliore le contraste en utilisant un filtre coloré.



Jean. — Voici qui me surprend : tout à l'heure, nous disions que des corpuscules de lumière, s'ils existaient, n'agissaient jamais l'un sur l'autre. Et voici qu'ajoutant de la lumière à de la lumière, nous faisons tantôt de l'obscurité, tantôt de la lumière, obtenant ces lignes alternativement lumineuses et noires. Ces corpuscules-là, s'ils existent vraiment, ne ressemblent guère à ce que nous appelons « corpuscules ». **Sophie.** — On appelle les lignes que tu vois des franges d'interférence, et on dit que la lumière passée par le trou T_2 interfère, sur ta rétine, avec la lumière passée par le trou T_1 . Pour des corpuscules, ce comportement serait effectivement surprenant, mais, pour des ondes, il ne l'est guère.

Sophie et Jean se rendent au bord de la piscine, chacun à une extrémité de celle-ci. Chacun tient une planchette parallèle à la surface de l'eau et frappe celle-ci de façon périodique, ce qui met l'eau en mouvement (cf. le dessin ci-contre, à gauche). Deux ondes, d'égale amplitude, se propagent alors en sens opposé (a). Un bouchon, au milieu de la piscine, manifeste le passage de ces ondes par son mouvement vertical. Les ondes A et B atteignent les extrémités de la piscine, s'y réfléchissent et reviennent en sens inverse : on observe qu'alors la surface de l'eau présente des bandes parallèles et fixes, selon lesquelles, alternativement, l'eau demeure au repos, ou bien ne cesse d'être en mouvement. Si l'onde A possède une crête, au point où l'onde B qui la croise possède un creux, le bouchon ne s'élève ni ne s'abaisse : les deux ondes se neutralisent (b). En revanche, lorsqu'une crête de A croise une crête de B, le bouchon s'élève davantage, les crêtes s'ajoutant, et, de même, lorsqu'un creux de A croise un creux de B, le bouchon s'enfonce davantage, les creux s'ajoutant (en négatif) (c). Deux ondes, chacune provoquant le mouvement de l'eau, parviennent donc à se neutraliser pour rendre l'eau immobile.

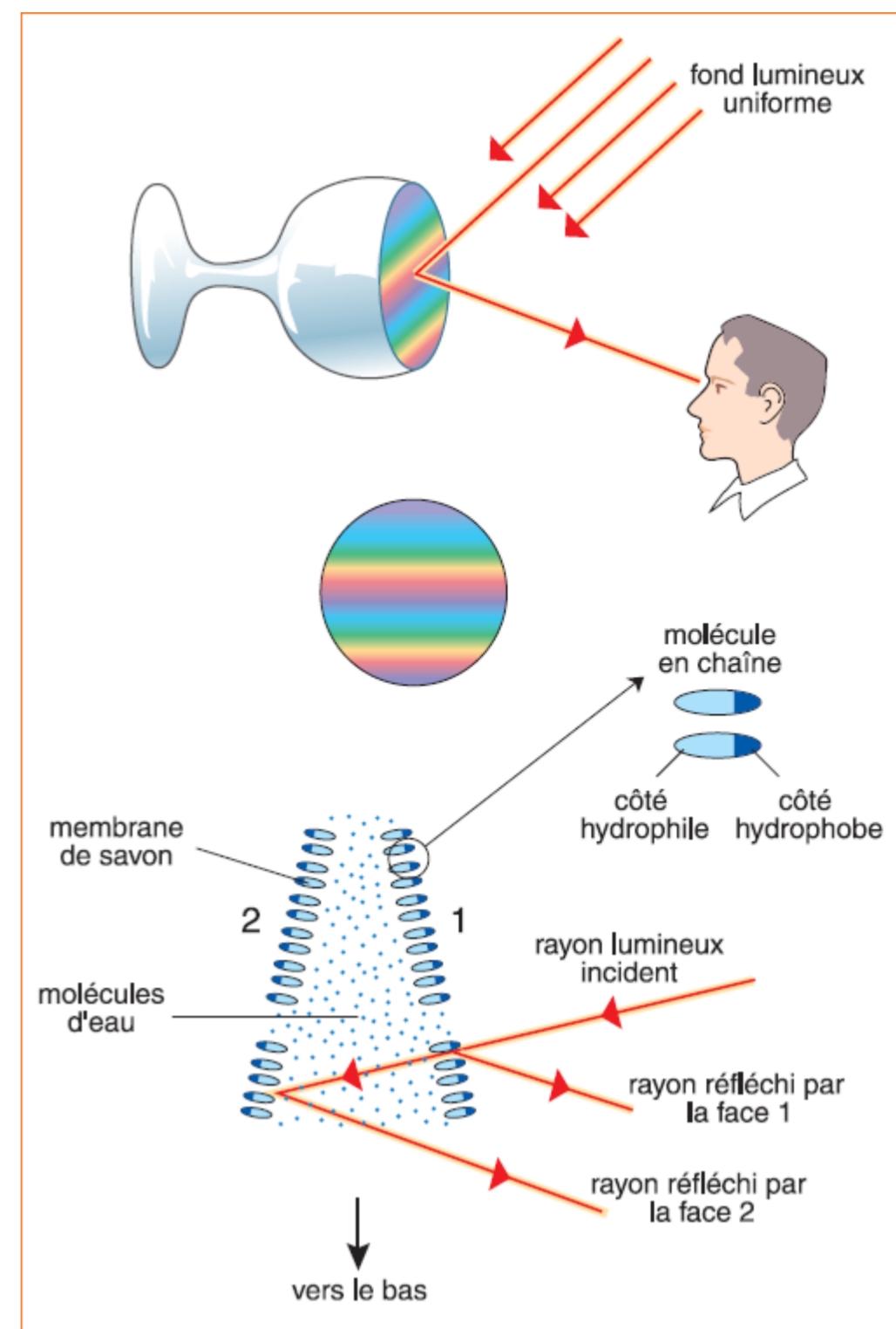


Au bord de la piscine.

Sophie. — Je vais te proposer une autre expérience, tout aussi intéressante.

Mélanger dans une bouteille deux cuillerées à soupe de liquide lave-vaisselle, une cuiller à café de glycérine (vendue en pharmacie) et deux cuillers à soupe d'eau, puis verser un peu de ce liquide dans une soucoupe. Retourner un verre à pied sur le liquide : une membrane de savon se forme sur l'ouverture du verre (cf. le dessin ci-dessous, à droite). Mettre verticale cette membrane, en lui faisant réfléchir vers l'oeil une lumière diffuse (écran blanc, rideau, fond du ciel) et la regarder soigneusement jusqu'à ce qu'elle claque... et recommencer autant de fois que nécessaire. Des lignes horizontales, alternativement sombres et lumineuses, colorées, apparaissent et se déplacent jusqu'à ce que la membrane claque. Si l'on regarde les bandes au travers d'un filtre coloré (filtre photo, par exemple), on ne voit plus que des bandes alternativement noires et brillantes, qui sont naturellement de la couleur transmise par le filtre.

La solidité de la membrane vient de l'organisation des molécules de détergent : comme dans la membrane d'une cellule vivante, ces très longues molécules sont des chaînes dont une extrémité est attirée par l'eau et l'autre la fuit. Entre les deux membranes, l'eau coule sous son propre poids, si bien que la lame de savon est plus épaisse vers sa base, présentant ainsi un aspect prismatique. La lumière se réfléchit en partie sur une des faces, en partie sur l'autre, et ces deux lumières interfèrent. Lorsque l'épaisseur de la membrane est telle qu'à un sommet de l'une correspond toujours un creux de l'autre, nous voyons une ligne noire, et, alternativement, l'opposé.



Couleurs d'une membrane de savon..

Sophie. — Comment décrire ce que tu viens de voir, quelles hypothèses proposerais-tu pour en donner une explication ?

Jean. — C'est très joli, et cela me rappelle toutes sortes de couleurs qui ressemblent à ce phénomène : bulles de savon, mais aussi taches d'huile sur l'eau ou encore les brillantes couleurs des ailes de scarabées. Ces couleurs, comme celles de l'arc-en-ciel, paraissent bien plus pures que celles de la palette du peintre, et surtout elles sont changeantes, elles sont produites avec des corps incolores, transparents, auxquels ne semble pas attachée une couleur particulière, tel le liquide dans cette soucoupe. Seraient-elles produites par la lumière elle-même ?

Sophie. — Tu dis juste, mais souvenons-nous que la lumière blanche est en fait un mélange, comme nous l'apprennent l'arc-en-ciel ou la réflexion d'une lumière blanche à la surface d'un DVD ou d'un cédérom : le blanc n'est qu'une sensation fabriquée par notre rétine et notre cerveau. Il vaut mieux regarder la lame réfléchissant une lumière simple, formée d'une seule couleur, et les lignes sombres et claires sont alors tout à fait évidentes.

Jean. — Je comprends : il semble cette fois que nous tenions le bon modèle ! Mais si la lumière est une onde, comme les vagues elle possède une longueur d'onde, c'est-à-dire la distance qui sépare deux crêtes successives. Je n'ai aucune idée de la valeur de cette quantité, disons pour cette lumière rouge que nous venons d'utiliser : peut-on la mesurer en centimètres, en millimètres ?

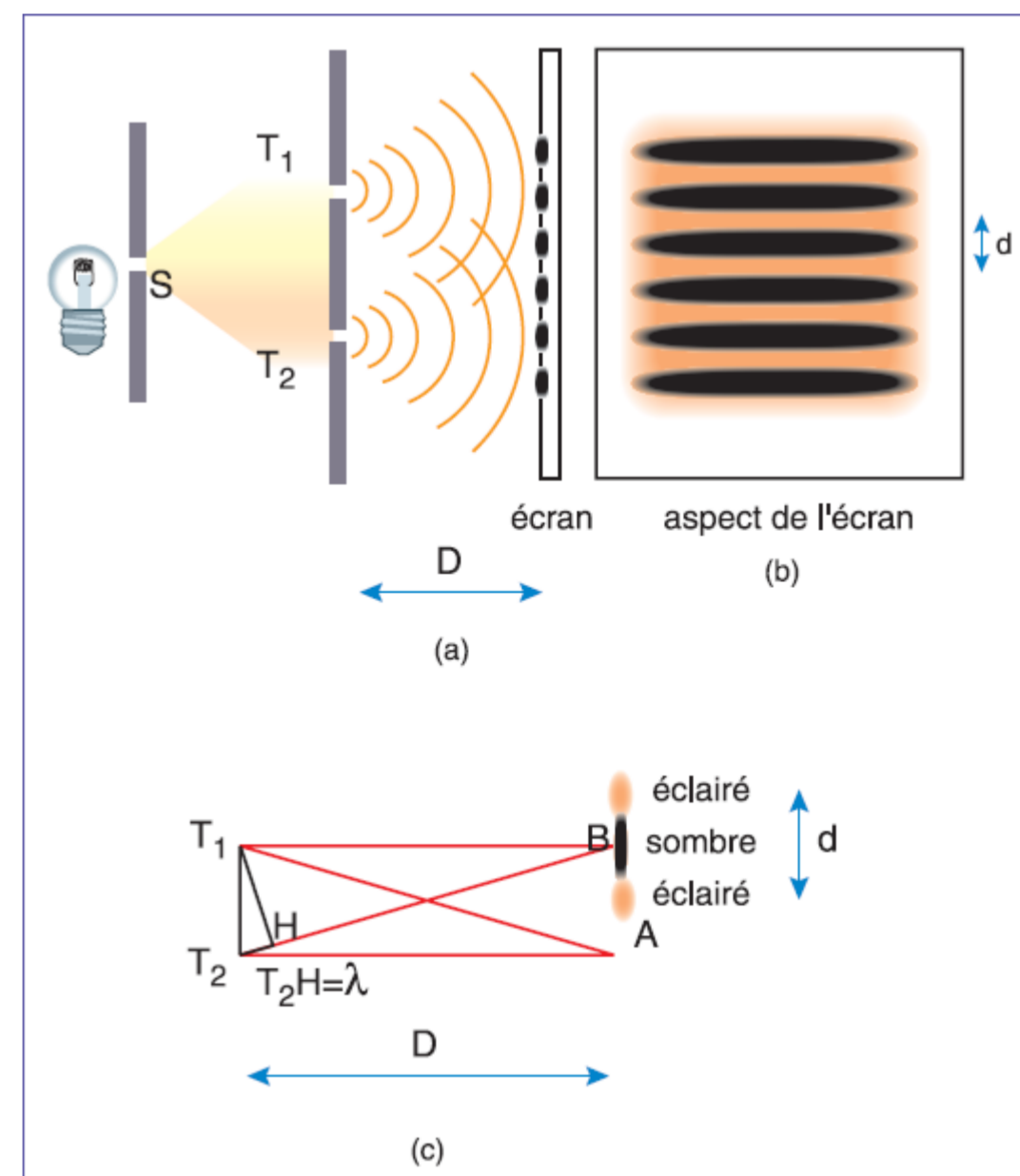
Sophie. — Bravo : c'est là que Young a vraiment été brillant. Il montre que les franges faites en lumière rouge sont moins serrées que celles faites en lumière bleue (comme tu peux le vérifier toi-même), et a déduit, par un peu de géométrie élémentaire (cf. le dessin p. 285) que : longueur d'onde de la lumière bleue ? 0,4 ?m ; longueur d'onde de la lumière rouge ? 0,7 ?m. (Un micromètre vaut un millième de millimètre : c'est petit, mais pas tant que cela...) Par là même, Young comprend, et nous avec lui, que ce qui distingue les différentes couleurs de la lumière est simplement leur longueur d'onde. À chaque couleur correspond une longueur d'onde, et même les lumières auxquelles nos yeux sont insensibles sont parfaitement caractérisées par une longueur d'onde particulière : l'infrarouge, par exemple, c'est de la lumière dont les longueurs d'onde sont un peu plus grandes que celles du rouge, puisqu'elles valent quelques micromètres.

Disposons T_1 et T_2 à même distance de la source S , de façon à ce que la lumière issue de S les atteigne au même instant. Chacun des trous éparpille la lumière (parce qu'elle se comporte comme une onde), formant ainsi deux cônes de lumière qui vont se recouvrir partiellement sur l'écran (a). Un point quelconque de l'écran est donc éclairé simultanément par T_1 et T_2 , mais ses distances à T_1 et T_2 sont différentes, la lumière ne met donc pas le même temps à l'atteindre : selon sa position, une crête peut toujours s'y superposer à une crête, et l'écran y sera toujours éclairé, ou bien une crête toujours s'y superposer à un creux, et l'écran y sera toujours sombre. Voici pourquoi l'écran présente des lignes alternativement claires et sombres (b), comme dans les observations précédentes. La figure géométrique (c) montre la relation de proportionnalité très simple qui existe alors entre trois grandeurs faciles à mesurer : la distance (T_1T_2), la distance D des trous à l'écran, l'intervalle d entre deux franges brillantes et la grandeur inconnue qui nous intéresse, la longueur d'onde de la lumière utilisée (traditionnellement appelée ?, lettre grecque lambda).

$$\frac{T_1T_2}{D} = \frac{d}{\lambda}$$

$$AT_1 = AT_2$$

$$BT_2 = BT_1 + \lambda$$



Jean. — Donc, tout va bien : la lumière n'est pas faite de corpuscules, mais d'ondes. Nous avons trouvé. Mais il me reste une question : les ondes requièrent un milieu matériel pour se propager, l'air pour les sons, la surface de l'eau pour les vagues. Quel est le milieu qui propage la lumière, puisque nous avons vu que, contrairement au son, elle se déplace même dans le vide... qui, par définition, est vide de toute matière ?

Sophie. — Cela non plus n'avait pas échappé à Newton : il avait même dénommé ce milieu, en l'appelant « éther ». Il usait d'un terme qui n'avait rien à voir avec l'éther de pharmacie, produit chimique, mais qui se rapportait plutôt, dans son étymologie grecque, à l'air le plus pur possible, aux espaces célestes, à quelque chose de parfaitement subtil et insaisissable. Inutile de te dire que les physiciens ont cherché à mettre en évidence cet éther. Ils n'y sont jamais parvenus et, vers la fin du siècle dernier, il a bien fallu admettre qu'il était si insaisissable qu'il n'existait pas...

Jean. — Mais alors, qu'est-ce qui vibre ? Devons-nous renoncer à nos ondes ?

Sophie. — Oui, en partie au moins, mais pas seulement pour la raison que tu crois. Faisons encore un détour : je vais te décrire ce qui se passe lorsque de la lumière tombe sur une cellule photoélectrique ; tu vois de quoi il s'agit, de ce petit morceau de silicium qui équipe ton appareil photo et produit un courant électrique lorsqu'il est éclairé. Ce courant est d'autant plus important que la lumière est intense : il suffit donc de mesurer le courant avec un ampèremètre et le calculateur de l'appareil photographique en déduit quelle exposition choisir.

Jean. — Je suis perdu. La lumière serait-elle comme la chauve-souris de la fable de La Fontaine, tantôt oiseau, tantôt mammifère : « Je suis une onde, voyez mes franges ; je suis une particule, voyez mes quanta d'énergie » ?

Sophie. — Hé bien ! oui, il va falloir t'y résigner. Car réfléchis : nous cherchions à nous représenter la lumière d'une façon concrète, parlante, de manière à élaborer un modèle qui lèverait une partie du voile de mystère qui entourait sa nature. Pour construire ce modèle, nous avons pris ce que nous avons sous les yeux : des boules de billard ou des balles de ping-pong comme particules, des vagues sur l'eau

Addons

comme ondes. C'est nous qui avons voulu forcer la lumière à rentrer dans ces habits-là : de fait, elle l'a accepté d'assez bonne grâce, nous n'avons pas été entièrement déçus. Si, en revanche, nous avons cherché à la représenter autrement, par exemple comme un petit animal, gageons que cela nous aurait conduits à un échec complet !

Jean. — Je crois que je vois mieux maintenant ce qu'est un modèle adéquat pour les scientifiques.

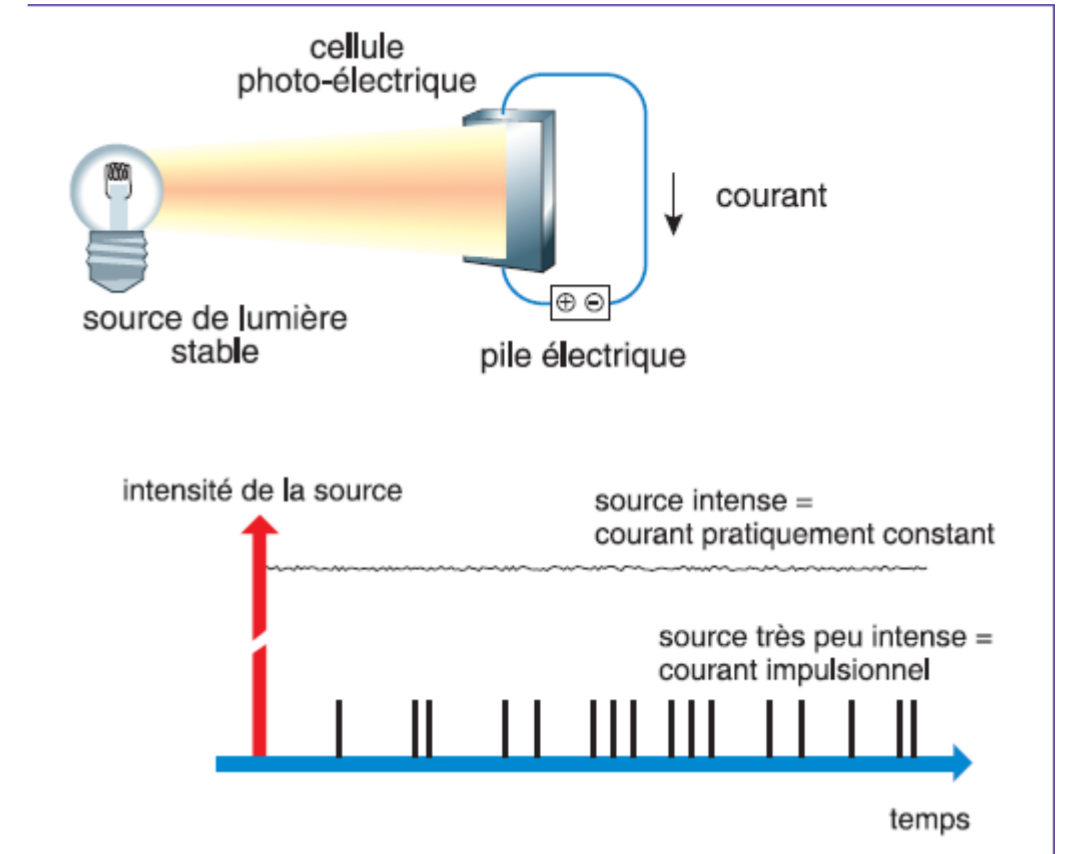
Sophie. — Néanmoins, ces habits, construits sur notre expérience du monde et à notre échelle, n'étaient pas vraiment les bons. Après Einstein, il a fallu travailler encore beaucoup pour en tailler de meilleurs, faits sur mesure. Malheureusement, ces habits de bonne confection n'appartiennent pas à notre expérience courante : je ne saurais t'en parler avec des mots simples. Nous allons nous quitter sur une frustration, et tu devras retenir ce côté chauve-souris de la lumière. Rassure-toi : avec quelques règles simples, énonçant quand il faut retenir l'aspect « onde » ou l'aspect « corpuscule », on parvient très convenablement à apprivoiser la lumière.

J'éclaire avec une source de lumière d'intensité réglable une cellule photoélectrique et observe un courant électrique. Je diminue l'intensité de la lumière et le courant, logiquement, diminue. Si je diminue encore, le courant se met à prendre une étrange apparence. Au lieu de poursuivre sa décroissance, il devient très irrégulier, formé de brèves pointes de courant à certains instants. Ces instants sont répartis tout à fait au hasard, tantôt espacés, tantôt proches, et ces pointes de courant sont séparées par un courant nul. Si je diminue encore l'intensité, les pointes de courant subsistent, identiques, mais deviennent de plus en plus rares. Toutefois, aussi longtemps que la source n'est pas totalement éteinte, il y aura, à des intervalles de temps longs, des pointes isolées et réparties parfaitement au hasard au cours du temps.

On ne peut mieux résumer la réaction d'Einstein à ce résultat qu'en le citant : « C'est sur ce point, à notre avis, que la théorie ondulatoire [de la lumière] n'est pas juste. Il semble que, de ce point de vue, la théorie de l'émission de Newton [c'est-à-dire des particules] recèle plus de vérité que la théorie ondulatoire puisque, d'après elle, l'énergie qui est conférée à une particule de lumière lors de son émission n'est pas dispersée dans l'espace infini, mais reste disponible pour un processus élémentaire d'absorption. » Ce processus élémentaire, c'est la pointe de courant produite par l'absorption de la lumière. Einstein obtint, en 1921, le prix Nobel de physique – ce fut le seul qui lui fut décerné – pour cette explication de l'effet photoélectrique : lorsque la lumière interagit avec de la matière ordinaire (les atomes de silicium de la cellule photoélectrique, les molécules de rhodopsine de notre rétine, etc.), elle le fait de façon aléatoire et discontinue, en transférant par paquets l'énergie qu'elle transporte – on appelle ces paquets des quanta ou, encore, des « photons » (ce dernier nom ne fut donné qu'en 1926).

Cela rappelle un autre phénomène, celui de la désintégration d'une substance radioactive (qui n'a rien à voir avec la lumière). Si nous observons le comportement d'un certain nombre (disons un million) d'atomes d'uranium (isotope 238) absolument identiques et indiscernables, placés dans un récipient, nous constatons que, de temps à autre, un de ces atomes disparaît en se transformant en un autre atome. Les instants auxquels ces événements ont lieu, de même que le choix des atomes qu'ils concernent, sont entièrement répartis au hasard.

Voilà deux phénomènes qu'on appelle « quantiques », et qui se produisent à l'échelle microscopique de la structure de la matière, mettant en jeu des comportements bien différents de ceux que nous observons à notre échelle.



Les curieuses propriétés du courant photoélectrique : en haut, le montage comprenant une source de lumière et une cellule photoélectrique, dont on mesure le courant ; en bas, le courant en fonction du temps, dans le cas d'une source intense et dans celui d'une source très faible.

Jean. — Je suis ébloui...

Le jour est maintenant tout à fait tombé dans la bibliothèque. Par la fenêtre, on aperçoit quelques étoiles, un ver luisant dans l'herbe, les feux clignotants d'un avion.

Rideau

Voir Aussi
Aucun résultat

Du même auteur
[29 notions-clefs : la lumière](#)
11/08/09

Commentaires
Aucun commentaire

Source URL: <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/21097/acte-iv-la-nature-des-choses>