

tions, la vente de bulbes atteints par des virus étant interdite. Néanmoins, les virus existent toujours et, en 2011, la dynamique des pucerons a été étudiée de près afin d'améliorer les méthodes de protection des champs de tulipes.

Toujours est-il qu'au XVII^e siècle, les tulipes infectées par des potyvirus étaient devenues des produits de luxe ! Les arts de l'époque se sont emparés de la « tulipomania », parfois pour la dénoncer à travers de nombreuses vanités, des tulipes cassées accompagnant les crânes et les autres symboles de la fugacité de la vie humaine. Ces mêmes tulipes étaient de

plus en plus nombreuses dans les bouquets des peintres flamands et néerlandais. De son côté, Jan Bruegel le Jeune peignit une *Satire de la tulipomanie* où des singes plantent, récoltent, vendent des tulipes... illustrant la folie des hommes.

Puis la spéculation cessa du jour au lendemain le 6 février 1637, à Haarlem (une ville ravagée par la peste bubonique). Alors que la veille, les bulbes pouvaient changer dix fois de main dans la même journée, les acheteurs se montrèrent soudain plus réticents. En quelques jours, les cours se sont effondrés d'un facteur 100 et la bulle éclata.

Les conséquences sur l'économie du pays sont l'objet de débats entre économistes. Selon certains, la débâcle a entraîné une longue stagnation de l'économie des Pays-Bas. Pour d'autres, ce ne fut qu'un artefact sans grandes conséquences.

Toujours est-il que la leçon a été difficile à retenir, car un siècle plus tard, toujours aux Pays-Bas, une spéculation effrénée eut lieu, cette fois à propos des jacinthes ! ■

M. de Kock et al., Non-persistent TBV transmission in correlation to aphid population dynamics in tulip flower bulbs, *Acta Horticulturae*, vol. 901, pp. 191-198, 2011.

Le duel à la tulipe, de Jean-Léon Gérôme (1824-1904).



IDÉES DE PHYSIQUE

Le mirage aux deux miroirs

Avec une paire de miroirs paraboliques se faisant face, on crée une remarquable illusion optique. L'effet pourrait être exploité pour réaliser une interface 3D inédite.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Fin des années 1960, entrepôts du Département de physique de l'Université de Californie à Santa Barbara. L'employé Caliste Landry n'en croit pas ses yeux : la poussière qui recouvre l'un des grands miroirs dont il a la charge est « impossible à nettoyer ». Il montre le phénomène au physicien Virgil Elings, qui comprend qu'ils ont affaire à une illusion d'optique. Tous deux brevètent alors un dispositif qui prendra le nom de Mirage® ou mirascope.

Cet objet, composé de deux miroirs paraboliques se faisant face, donne l'illusion qu'un petit objet, placé à l'intérieur, flotte en l'air sans qu'on puisse le saisir [voir la figure 2]. Le mirascope a longtemps été considéré comme une curiosité. Mais il pourrait être à la base d'un dispositif de

projection d'images à trois dimensions que l'on peut manipuler du bout des doigts.

Comment fonctionne le mirascope ? Pour le comprendre, commençons par nous rendre dans notre galerie des glaces personnelle, la salle de bains. Mettons-nous face au plus simple d'entre eux, le miroir plan. On a l'impression qu'il est une fenêtre ouvrant sur une pièce symétrique de celle où nous nous trouvons.

Devant ou derrière le miroir ?

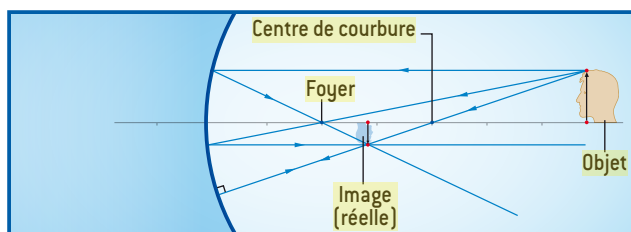
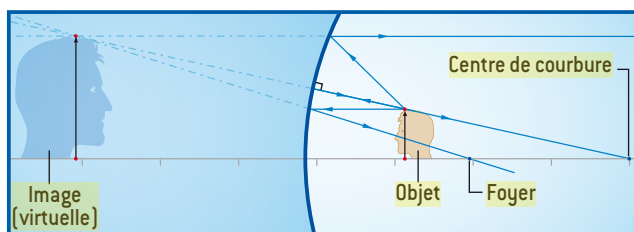
Les tout jeunes enfants s'y laissent prendre et attribuent une existence matérielle à ce qu'ils y voient. Mais rapidement, nous comprenons que seuls les objets se trouvant devant le miroir sont bien réels ; ceux que

nous percevons derrière sont des images virtuelles. C'est cet apprentissage, bien ancré en nous, qui va nous tromper. Le mirascope crée en effet une image devant lui et non derrière, d'où notre tendance à considérer ce que nous voyons comme réel et non comme une illusion.

Passons au miroir courbe grossissant, bien pratique pour se maquiller ou sculpter sa barbe. La surface d'un tel miroir est en général une calotte de sphère. En raison de la courbure, des rayons lumineux parallèles sont réfléchis dans des directions différentes en fonction de l'endroit où ils frappent le miroir. La fenêtre que constitue ce dernier est donc déformante, mais où se trouve l'image ? Quelques positions particulières permettent de comprendre ce qui se passe.



1. LORSQU'ON SE REGARDE de près dans un miroir sphérique, l'image est formée derrière le miroir, par le prolongement des rayons. Elle grossit quand on s'approche du foyer. Lorsqu'on se place loin, au-delà du centre de courbure du miroir, l'image se forme devant le miroir ; elle est petite et inversée. Les schémas montrent les trajets de trois rayons lumineux particuliers issus d'un point du sommet de la tête. Le point image est le point de convergence, réel ou virtuel, des rayons.



Dessins de Bruno Viatro

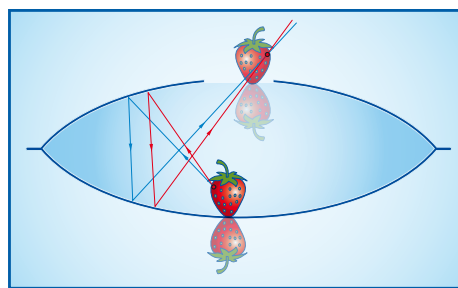
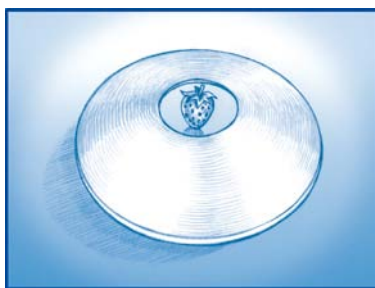
Quand on place un petit objet lumineux au centre de courbure du miroir sphérique, tous les rayons émis arrivent perpendiculairement à la surface du miroir : par conséquent, ils rebroussent chemin, de sorte que l'image se forme à l'endroit où se trouve la source lumineuse. Cette image n'est cependant pas observable, car l'objet empêche les rayons d'atteindre un observateur placé plus loin.

Considérons maintenant une source lumineuse placée très loin du miroir, sur l'axe. Ses rayons arrivent parallèles à l'axe ; après réflexion, ils convergent en un point unique, le foyer du miroir, situé à mi-chemin entre le sommet et le centre de courbure du miroir. Inversement, les rayons d'une source placée au foyer émergent parallèles à l'axe.

On peut maintenant expérimenter plus librement. Regardons-nous dans le miroir sphérique au fur et à mesure que nous nous en éloignons (voir la figure 1). Lorsque nous sommes tout près, tout se passe comme avec un miroir plan : nous nous voyons en simple réflexion derrière le miroir. Quand on s'éloigne, la courbure se fait de plus en plus sentir : notre image reste derrière le miroir, mais elle grossit peu à peu, jusqu'à devenir démesurée lorsqu'on arrive au foyer. En pratique, nous ne voyons plus rien à ce stade, et cela persiste tant que notre œil se trouve entre le foyer du miroir et son centre de courbure. L'image formée se trouve en effet derrière nous, sans que personne ne puisse la voir puisque nous bloquons les rayons.

Puis, quand on se place au-delà du centre de courbure, notre image, plus petite et inversée, se forme entre le foyer et le centre de courbure, toujours devant le miroir. C'est ce type d'image que nous voyons lorsque nous nous regardons dans le creux d'une cuillère métallique (pour autant, on a toujours la sensation que l'image est derrière le miroir, ce qui reste un mystère pour les deux auteurs de cette rubrique).

Revenons au mirascope. Il est composé de deux miroirs paraboliques identiques et accolés en vis-à-vis, de telle sorte que le sommet de chaque miroir coïncide avec le foyer du second. En pratique, l'un des deux miroirs est évidé au centre afin que la lumière puisse rentrer et sortir du dispositif (voir



2. LE MIRASCOPE EST CONSTITUÉ DE DEUX MIROIRS PARABOLIQUES en vis-à-vis, de telle façon que le sommet de l'un coïncide avec le foyer de l'autre. Quand on place un petit objet près du sommet du miroir inférieur, son image (ainsi que celle de sa réflexion dans le miroir inférieur) se forme au niveau de l'ouverture du miroir supérieur. La droite et la gauche y sont inversées. L'objet paraît comme s'il flottait en l'air.

la figure 2). Cette géométrie peu naturelle n'aurait sans doute pas été imaginée si les miroirs que nettoyait C. Landry n'avaient été des miroirs de projecteurs de défense anti-aérienne datant de la Seconde Guerre mondiale : ils étaient en effet découpés en leur milieu pour placer le support de la lampe du projecteur.

Un face à face renversant

Que se passe-t-il si l'on place une source lumineuse au sommet central du miroir inférieur du mirascope ? Cette source (qui peut être un objet éclairé à travers l'ouverture par la lumière ambiante) se situe au foyer du miroir supérieur. Les rayons qui en sont issus partent dans toutes les directions vers le haut et frappent le miroir supérieur où ils sont réfléchis vers le bas, parallèles à l'axe vertical. Leur réflexion sur le miroir inférieur les focalise au foyer de ce dernier, c'est-à-dire au sommet du miroir supérieur, d'où ils semblent émerger aux yeux d'un observateur extérieur.

Si l'on déplace la source hors de l'axe, les rayons émergents sont renvoyés parallèles par le miroir du haut, mais inclinés, et ce d'autant plus que le point est décalé : ils seront focalisés au voisinage du sommet du miroir supérieur. Grâce à des constructions géométriques, les férus d'optique pourront se convaincre que si l'on dispose un objet plat sur le miroir inférieur, son image réelle, symétrique de l'objet par rapport à l'axe, apparaîtra comme flottant en l'air dans l'ouverture du miroir supérieur. La beauté

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTLY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

BIBLIOGRAPHIE

L. Bu, Modeling the mirascope using dynamic technology, *Loci*, mai 2011 (<http://tinyurl.com/n3nrmkm>).

A. Butler et al., Vermeer : Direct interaction with a 360° viewable 3D display, *UIST'11, Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 569-576, ACM, 2011.

A. Sieradzan, Teaching geometrical optics with the "optic mirage", *The Physics Teacher*, vol. 28, pp. 534-536, 1990.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr

