

■ LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY
et Édouard KIERLIK
sont professeurs
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie, à Paris.
Leur blog : www.scilogs.fr/idees-de-physique

Leur dernier livre s'intitule :
En avant la physique !
(Belin-Pour la Science, 2017).

John Pepper, un chimiste, britannique lui aussi, simplifia grandement le dispositif en le réduisant à une simple plaque de verre, placée devant la scène fortement éclairée. Cette plaque réfléchit le contenu d'une pièce obscure cachée sur le côté (*voir l'illustration page précédente*). Quand la lumière de la pièce cachée est allumée et que celle de la scène est réduite, une forme lumineuse apparaît brusquement devant l'auditoire ! Succès assuré pour cette technique, que l'on retrouve aujourd'hui sous une forme adaptée dans les maisons hantées et autres trains fantômes des parcs d'attraction.

Une image projetée

Le procédé que l'on vient de décrire fait apparaître l'image d'un objet (ou d'un personnage) réel situé à proximité de la scène, mais caché du public. Comment faire apparaître une image de synthèse ou celle d'une personne absente ? En remplaçant la pièce cachée par un écran sur lequel est projetée l'image que l'on veut faire apparaître (*voir l'illustration ci-dessous*). La luminosité des projecteurs actuels permet en effet d'obtenir une image aussi lumineuse qu'une personne réellement sur scène.

Toutefois, de nombreux problèmes pratiques sont à régler pour créer l'illusion de volume et de la profondeur. Il faut pour

ce faire s'appuyer à la fois sur des astuces de physique et sur une bonne compréhension de nos perceptions.

Tout d'abord, il est hors de question d'utiliser une vitre. Outre la difficulté à la fabriquer en très grand format et à la transporter, une vitre présente une épaisseur et deux faces. Lorsqu'elle est fortement éclairée, se créent alors deux reflets, donc deux images, malgré les traitements antireflets qui ne font qu'atténuer un peu l'effet. Ce dédoublement n'est pas forcément gênant pour un fantôme, car cela accentue son immatérialité. En revanche, pour figurer une personne réelle, c'est rédhibitoire.

C'est pourquoi on préfère aujourd'hui aux vitres des films souples semi-transparents de type Mylar. Les difficultés ne sont hélas pas supprimées : d'une part le film doit être sans pli et suffisamment tendu pour ne pas vibrer au moindre courant d'air. D'autre part, sur le plan optique, le film doit se comporter de la même manière avec toutes les composantes de la lumière blanche, et cela tant en réflexion, pour ne pas perturber les couleurs de l'image, qu'en transmission, pour ne pas affecter celles des personnes ou du décor placés derrière le film.

Les meilleurs films s'approchent de plus en plus de ce comportement, mais il est bien souvent nécessaire de compenser certains défauts en ajustant savamment l'éclairage. Il faut ensuite ajuster la géométrie afin que le reflet de la projection se trouve au bon endroit pour le spectateur, notamment si l'on souhaite faire interagir la personne projetée avec une personne réelle présente sur scène.

Tout se passe alors comme si le projecteur renvoyait directement l'image sur un écran situé sur la scène. Mais comment fait-on pour donner l'impression d'avoir devant soi une personne en chair et en os dans ses trois dimensions ?

Premier point : il faut faire oublier la présence d'un écran. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel que la personne projetée soit, dans l'image, sur fond noir, ce qu'on réalise lors de la prise de vue ou par un traitement d'image. Il faut ensuite veiller à ce qu'il n'y ait aucune réflexion parasite

UNE IMAGE PROJETÉE sur un plan horizontal, invisible des spectateurs, et qui se reflète dans un film semi-transparent incliné verticalement à 45 degrés permet de donner l'illusion qu'un personnage est présent sur scène.





LE PRINCIPE DES DISPOSITIFS D’AFFICHAGE TÊTE HAUTE est le même que celui des fantômes de Pepper et effets apparentés. S’y ajoute un système optique permettant de former l’image à une distance appropriée devant la personne, de telle façon qu’elle n’ait pas à accommoder ses yeux pour lire les informations affichées.

sur l’écran. Cela étant réglé, nous disposons alors d’une image bidimensionnelle au centre de la scène, dont on s’assure qu’elle respecte les règles de la perspective (taille et position de l’image par rapport au sol).

De la lumière en relief

Mais d’où vient l’illusion du relief ? À quelques mètres de distance et sur fond noir, la parallaxe (chacun de nos yeux perçoit des images différentes, ce qui nous aide à localiser l’objet regardé dans son environnement) et l’accommodation (qui permet de voir net à courte distance) jouent peu. Elles ont des rôles mineurs, au contraire de l’éclairage et des ombres propres : ce sont les différences de luminosité entre les diverses parties du visage ou du corps et la manière dont ces écarts de luminosité varient lorsque la personne se tourne ou se déplace qui fournissent à notre cerveau des indices sur sa forme et son volume.

Cela signifie que les éclairages de la scène de projection et de la scène de prise

de vue doivent être rigoureusement identiques. En choisissant qui plus est des éclairages qui marquent bien les reliefs, nos sens sont dupés et l’illusion devient parfaite.

Aujourd’hui, on utilise aussi la superposition d’une image dans une scène dans les « affichages tête haute » destinés aux pilotes d’avions ou aux conducteurs de véhicules. Il s’agit de dispositifs qui affichent, dans le champ de vision de la personne au volant ou aux manettes, des informations sous une forme transparente, qui ne masquent pas la scène située au-delà (voir l’illustration ci-contre). Le pilote ou le conducteur n’a ainsi pas besoin de tourner la tête ou les yeux pour les lire, contrairement à la situation où les informations sont lues sur le tableau de bord.

Affichage accommodant

Le grand avantage de ces dispositifs est que l’on peut former l’image à bonne distance devant le conducteur, de façon que celui-ci n’ait pas besoin d’accommoder sans cesse ses yeux lorsque son regard passe de la route aux informations affichées et inversement. Ces efforts d’accommodation se révèlent en effet encore plus fatigants que les mouvements oculaires.

Le principe de l’affichage tête haute est exactement le même que pour les fantômes de Pepper. Ainsi, pour les automobilistes, la projection a lieu soit sur une lame semi-transparente inclinée et placée dans le champ de vision, soit directement sur le pare-brise.

Toutefois, les contraintes géométriques sont différentes, car il faut former l’image à une distance appropriée du conducteur. En pratique, on choisit une distance de l’ordre de 2,5 mètres pour les informations telles que la vitesse et les limitations de vitesse. Pour les nouveaux affichages, qui incluent des informations de type « réalité augmentée », l’image est formée à plusieurs mètres pour qu’elle soit bien intégrée à la scène. Cela exige des dispositifs optiques assez élaborés qui agrandissent l’image et décalent sa position à l’aide de lentilles ou de miroirs courbes, mais le confort d’utilisation est devenu remarquable. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

S. W. Patterson et K. P. Zetie, *Exorcising Pepper's ghost*, *Physics Education*, vol. 52(2), article 023007, 2017.

M. K. Hedili *et al.*, *Micro lens array-based high-gain screen design for direct projection head-up displays*, *Applied Optics*, vol. 52(6), pp. 1351-1357, 2013.