

□ ART & SCIENCE

Les yeux de Rembrandt

Le maître flamand jouait sur les textures, associant zones détaillées et zones plus floues, pour guider le regard des spectateurs.

Loïc MANGIN

Lorsque nous regardons un paysage ou une œuvre d'art, nous n'en avons pas une vision uniformément détaillée. En effet, la rétine ne dispose que d'une petite zone (de la taille de l'ongle du pouce vu au bout du bras tendu) où la densité de cellules réceptrices est suffisante pour nous fournir une image précise. Aussi, nos yeux doivent-ils parcourir, par une série de mouvements rapides alternant avec des moments fixes, l'ensemble d'une scène pour que nous en ayons une perception globale. Le regard est donc un processus interactif dans lequel l'image mentale d'un tableau dépend notablement de la succession des phases de fixation.

Plusieurs artistes contemporains exploitent ce fonctionnement de la vision dans la conception de leurs œuvres. Par exemple, le peintre américain John Howard Sanden explique qu'il joue sur le niveau de détail dans certains de ses portraits pour diriger l'œil du spectateur vers une zone particulière de son choix. Ce faisant, il insisterait sur des traits de caractère du modèle qu'il souhaite mettre en avant. Le peintre utilise également de grands coups de pinceaux qui, orientés dans une direction privilégiée, guident le regard vers une zone accentuée, plus riche en détails.

Ce type de stratagème est-il réservé aux peintres de notre époque au fait des travaux des neurobiologistes et des spécialistes de la perception ? D'autres peintres ont-ils exploité la texture et le niveau de détail dans une peinture pour diriger le regard du public ? Selon Steve DiPaola, de

l'Université Simon Fraser, à Vancouver, et ses collègues du *Vision Lab* de l'Université de Colombie-Britannique, au Canada, le pionnier serait Rembrandt !

Pour le montrer, ils ont analysé plusieurs portraits et autoportraits du maître flamand (page ci-contre, portrait daté de 1659) afin d'identifier les facteurs qui expliqueraient leur attrait. Une de leurs expériences a consisté à « recréer » quatre des plus

attarde beaucoup plus longuement qu'ailleurs, ralentissant la succession de saccades : le regard se pose. En outre, la transition de zones au contraste marqué vers celles moins tranchées guiderait le regard à travers le portrait. On parle de technique aux « bords perdus et retrouvés ». De plus, les observateurs ont préféré les portraits où leur regard est pris en charge plutôt que les photographies uniformes. L'emploi de tex-



célèbres portraits de l'artiste avec des photographies (voir a, b, c et d). Sur ces copies, un programme informatique permettait d'accentuer le détail de certaines zones, par exemple les yeux ou le bas des joues (e), et d'en rendre plus floues d'autres de façon à retrouver la texture des œuvres originales (f et g), ou bien, à l'inverse de s'en éloigner.

Ces différents portraits, « à la Rembrandt » ou non, ont ensuite été présentés à des spectateurs dont les mouvements oculaires étaient enregistrés avec des caméras ultrarapides. Qu'ont révélé ces instruments ?

Face à un portrait reproduisant la technique du peintre, les yeux atteignent plus rapidement la zone riche en détails qu'avec une photo uniformément accentuée. De plus, une fois cette zone précise perçue, l'œil s'y

attarde beaucoup plus longuement qu'ailleurs, ralentissant la succession de saccades : le regard se pose. En outre, la transition de zones au contraste marqué vers celles moins tranchées guiderait le regard à travers le portrait. On parle de technique aux « bords perdus et retrouvés ». De plus, les observateurs ont préféré les portraits où leur regard est pris en charge plutôt que les photographies uniformes. L'emploi de tex-

tures différentes selon les régions du tableau est peut-être un des secrets du plus célèbre des peintres du XVII^e siècle. Rembrandt a probablement développé cette technique par tâtonnements, en suivant son intuition, et peut-être en réfléchissant aux mouvements de ses propres yeux. Néanmoins, l'examen d'autres tableaux montre que l'adoption du procédé a été progressive. En effet, un de ses autoportraits, peint en 1929, est uniforme et détaillé de la même façon quelle que soit la région. À l'inverse, sur un autoportrait plus tardif daté de 1661, les textures varient.

S. Di Paola et al., *Rembrandt's textural agency: A shared perspective in visual art and science*, dans *Leonardo*, MIT Press, à paraître, 2010.



IDÉES DE PHYSIQUE

Une tornade réfrigérante : le tube à vortex

Une tornade d'air créée le long d'un tube permet de séparer l'air chaud de l'air froid. Un effet qui reste encore un peu mystérieux.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Un gilet réfrigérant, qui utilise juste de l'air comprimé, pour ouvriers travaillant au chalumeau ? Cela existe. C'est l'une des applications du tube de Ranque-Hilsch, aussi nommé tube à vortex. Il s'agit d'un petit réfrigérateur sans pièce mobile ni échangeur de chaleur, qui fonctionne avec de l'air comprimé à température ambiante. Ce dispositif crée un flux d'air froid et un flux d'air chaud, dont la différence de température peut atteindre 200 °C ! Le tube à vortex a des applications industrielles ; et pourtant, son fonctionnement reste mal compris et semble même violer une loi physique fondamentale.

Un dispositif simple

Cela fait près de 80 ans que le métallurgiste et physicien français Georges Ranque, qui a déposé un brevet en 1932, a inventé un peu par hasard le tube à vortex. Ce dispositif était tellement incroyable qu'à l'époque, les scientifiques et les ingénieurs n'y ont pas cru. Il serait resté dans l'oubli si, après la Seconde Guerre mondiale, l'ingénieur allemand Rudolf Hilsch ne l'avait étudié en détail et amélioré ses performances.

Ce réfrigérateur se présente sous la forme d'un simple tube de longueur 30 à 50 fois supérieure à son diamètre. À l'une de ses extrémités, on injecte de l'air comprimé, à quelques atmosphères, avec une vitesse

perpendiculaire à l'axe du cylindre et tangente à sa circonférence [voir la figure 1]. Il se crée alors une véritable tornade interne dont la vitesse de rotation atteint un million de tours par minute. À mesure que l'air se détend dans le tube, la pression chute rapidement à une valeur proche de la pression atmosphérique et l'air accélère jusqu'à des vitesses proches de celle du son. L'ac-

tion de la force centrifuge concentre alors l'écoulement au voisinage des parois du tube.

Séparer les températures

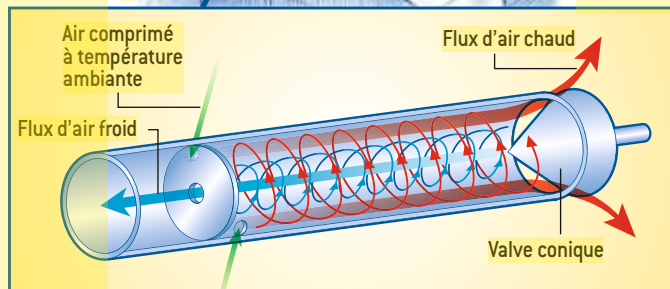
Arrivé à l'extrémité du tube, la partie externe de l'écoulement s'échappe à travers une valve conique, dont on ajuste l'enfoncement pour régler le débit sortant (typiquement 30 à 70 pour cent du débit initial). Quant à la partie interne du flux, elle rebondit sur le cône et s'écoule en sens inverse, au voisinage de l'axe du tube. Cet air s'échappe par une petite ouverture pratiquée au niveau de la zone d'injection, sur l'axe du tube. En régime permanent, on constate que l'air « périphérique », qui sort du côté de la valve, est plus chaud que l'air « axial », qui émerge de l'autre côté (dans une autre version du tube à vortex, l'échappement de l'air froid se fait du même côté que l'air chaud, par un trou central percé dans la valve).

Les performances du tube à vortex sont spectaculaires : la différence de température entre l'air chaud et l'air froid est de l'ordre de 150 °C. En pratique, le flux d'air froid peut atteindre -40 °C, et celui d'air chaud, dans un autre régime de fonctionnement, va jusqu'à environ 190 °C !

De prime abord, un physicien ne peut être que déconcerté par un comportement qui semble violer l'un des principes de la thermodynamique. Car si l'uniformisation des tem-



Dessins de Bruno Vacaro



1. EN INJECTANT DE L'AIR COMPRIMÉ dans un tube à vortex, ou tube de Ranque-Hilsch, on obtient un jet d'air chaud et un jet d'air froid, ce dernier servant par exemple à refroidir des pièces usinées par une machine-outil. Dans un tel tube, l'air est injecté de façon à créer un tourbillon ou vortex, qui progresse le long du tube. La partie périphérique du tourbillon s'échauffe et sort du tube grâce à une valve conique, tandis que la partie plus interne du flux d'air se refroidit, est bloquée par la partie centrale de la valve, repart dans l'autre sens et émerge par un trou circulaire percé dans la cloison, près des points d'injection.



2. EN MILIEU INDUSTRIEL, où l'air comprimé est aisément disponible, les ouvriers confrontés à des températures élevées peuvent être équipés d'une combinaison refroidie à l'aide d'un tube à vortex.

pératures d'un corps chaud mis en contact avec un corps froid nous est familière, nul n'a jamais vu des différences de température apparaître spontanément au sein d'un corps de température initiale uniforme !

En réalité, le processus n'a ici rien de spontané. Les flux d'air chaud et froid s'échappent du tube à vortex à une pression proche de la pression atmosphérique, tandis que l'air injecté l'est à une pression de plusieurs atmosphères (entre deux et huit environ). En d'autres termes, le dispositif ne fonctionne que parce que l'on a préalablement comprimé l'air, donc fourni un travail.

Le tube à vortex apparaît alors pour ce qu'il est vraiment : un réfrigérateur (ou une pompe à chaleur) qui prélève de l'énergie à l'air froid pour la transférer à l'air chaud, grâce à un apport extérieur d'énergie. De ce point de vue, le tube à vortex est d'une efficacité médiocre : sa puissance de réfrigération (jusqu'à trois kilowatts quand même) atteint à peine le cinquième de la puissance fournie, alors que les machines thermiques ordinaires arrivent à échanger trois fois plus d'énergie que celle fournie.

Toutefois, les économies d'énergie ne sont pas tout et le tube à vortex a prouvé

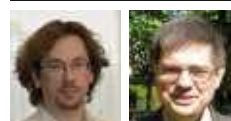
son intérêt dans l'industrie : simple, compact, léger, silencieux, il n'utilise pas de fluide réfrigérant (et polluant). Il n'y a aucune pièce mobile, d'où un entretien réduit ; pas d'électricité, donc moins de risques d'étincelles. L'air comprimé étant aisément disponible en milieu industriel, le tube de Ranque-Hilsch est très commode pour refroidir des dispositifs électroniques, des machines-outils en fonctionnement ou la combinaison d'ouvriers soumis à des températures extrêmes (voir les figures 1 et 2).

Un mécanisme pas totalement élucidé

Comment une différence de température naît-elle dans le tube à vortex ? Le refroidissement dû à la détente de l'air n'est pas suffisant pour expliquer l'effet : on n'atteint pas $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en laissant de l'air sous pression s'échapper d'un tuyau. En outre, des expériences ont montré un effet du même type avec de l'eau. L'explication du phénomène fait l'objet d'âpres discussions entre physiciens.

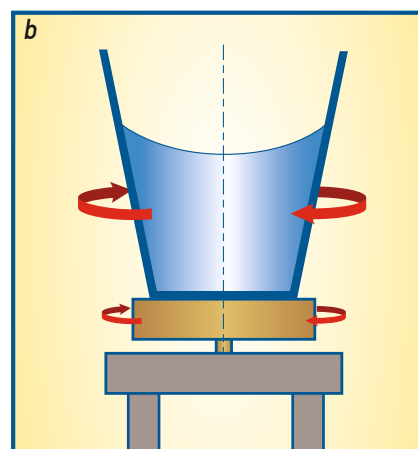
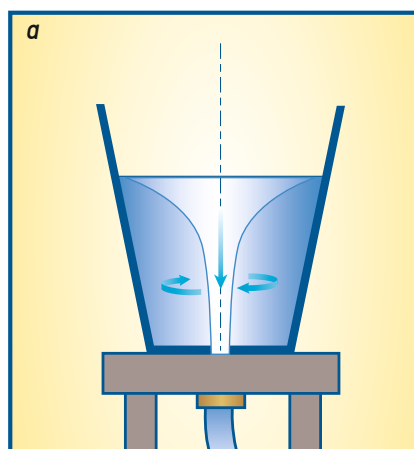
Pourquoi cette difficulté ? La principale raison est que la vitesse de l'écoulement est proche de la vitesse du son. Or cette vitesse macroscopique est du même ordre que les vitesses microscopiques associées

LES AUTEURS



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

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



3. QUAND UN SEAU REMPLI D'EAU se vide par un trou central percé au fond [a], un tourbillon se forme, la vitesse de rotation de l'eau étant maximale près de l'axe, minimale au niveau des parois. Dans la zone d'injection de l'air comprimé dans un tube à vortex, l'écoulement est analogue. À l'autre extrémité du tube, l'écoulement ressemble plus à celui de l'eau d'un seau mis en rotation constante autour de son axe [b], où l'eau tourne en bloc, c'est-à-dire avec une vitesse angulaire uniforme, la vitesse de translation du fluide étant maximale au niveau de la paroi et nulle au niveau de l'axe.