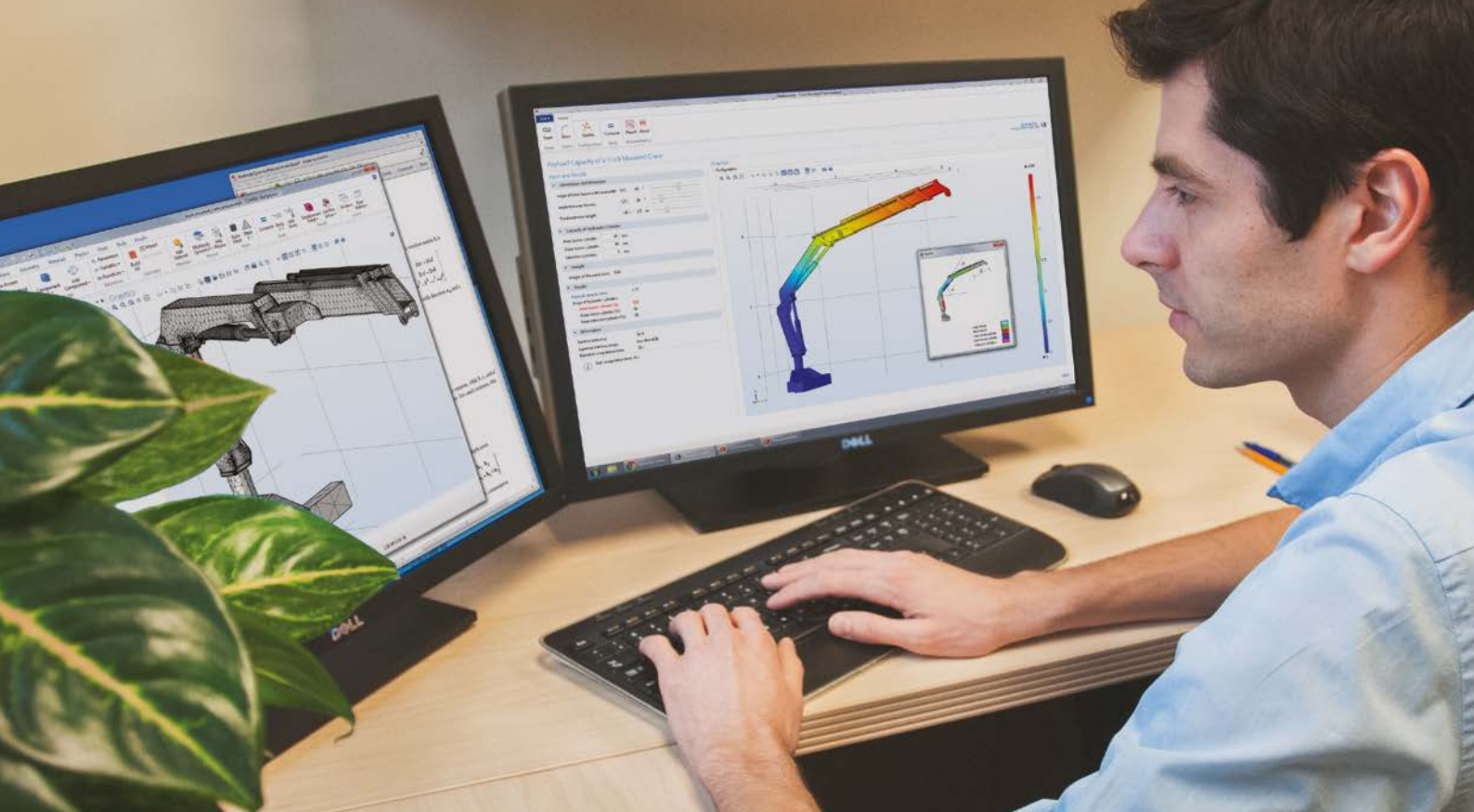




LA MULTIPHYSIQUE POUR TOUS

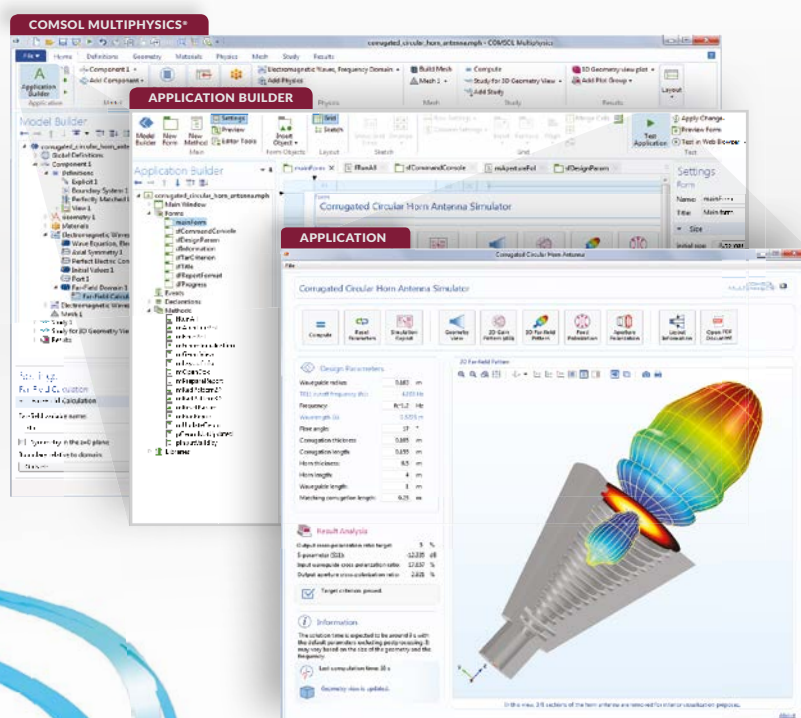
L'évolution des outils de simulation numérique vient de franchir un cap majeur.

Des applis spécialisées sont désormais développées par les spécialistes en simulation avec l'application Builder de COMSOL Multiphysics®.

Une installation locale de COMSOL Server™, permet de diffuser les applis dans votre organisme et dans le monde entier.

Faites bénéficier à plein votre organisme de la puissance de l'outil numérique.

comsol.fr/application-builder



IDÉES DE PHYSIQUE

Des valves à lumière dans les écrans

Comment fonctionnent les écrans à cristaux liquides, ou LCD ?

Le principe consiste à contrôler la polarisation de la lumière, au moyen d'un champ électrique appliqué aux cristaux.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Chaussez des lunettes polarisantes et regardez votre écran de télévision, de tablette ou de téléphone mobile : l'écran s'assombrit. Pourquoi ? Parce que, comme nous allons le voir, la lumière qui émerge des pixels actifs de l'écran est elle-même polarisée, mais dans une direction différente de celle des lunettes.

En fait, les pixels des écrans actuels constituent des « valves » qui bloquent ou laissent passer de la lumière émise en permanence à l'arrière de l'écran. Ces valves fonctionnent grâce à un champ électrique qui établit un lien entre deux propriétés *a priori* bien éloignées : la polarisation de la lumière et l'orientation des molécules organiques dont sont constitués les « cristaux liquides ». Quel est ce lien ?

Des molécules orientables à volonté

Commençons par les cristaux liquides, plus précisément ceux qualifiés de nématiques. Ces liquides sont composés de molécules organiques allongées, sans ordre dans leurs positions, mais avec la même orientation (comme des allumettes dans une boîte). Leurs propriétés physiques, et notamment électriques et optiques, dépendent donc de la direction considérée par rapport à cette orientation privilégiée, comme dans un solide cristallin.

Au début du XX^e siècle, le physicien français Charles-Victor Mauguin a découvert qu'il

était possible de contrôler mécaniquement cette orientation. En effet, quand les molécules du cristal liquide sont au contact d'une surface striée, elles s'alignent dans la direction des stries. Les forces intermoléculaires ont alors pour résultat d'orienter l'ensemble des molécules du liquide parallèlement aux molécules en contact avec la surface.

Plus subtilement, si l'on coince une couche de cristal nématique entre deux surfaces, l'une striée dans une direction, l'autre striée dans la direction perpendiculaire, on obtient un cristal nématique dit

torsadé : l'orientation des molécules varie continuellement le long de l'épaisseur de la couche, en adoptant la structure d'une hélice qui fait un quart de tour. Nous verrons que cette structure joue un rôle crucial dans les dispositifs d'affichage.

Intéressons-nous maintenant à la lumière, et plus précisément à sa polarisation. Comme toutes les ondes électromagnétiques, une onde lumineuse est formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui oscillent de concert en se propageant. Les deux champs sont perpendiculaires entre eux et à l'axe de propagation. Par définition, la polarisation caractérise la direction du champ électrique.

Pour la plupart des lumières (naturelle ou d'une lampe à filament), cette direction est aléatoire et varie sans cesse au cours du temps. On parle de lumière non polarisée.

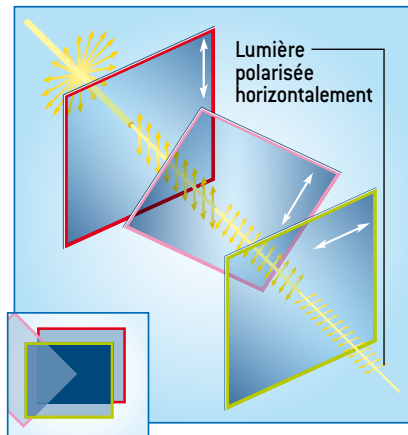
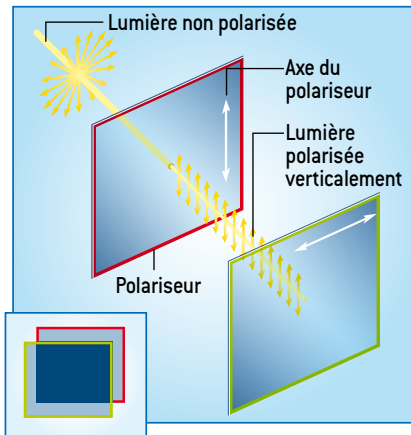
Dans certaines situations, en revanche, la direction de polarisation est fixe. On parle alors de polarisation rectiligne. Le moyen le plus simple d'obtenir une polarisation rectiligne est d'utiliser un filtre polarisant (à base de matériaux cristallins). Ce polariseur laisse intégralement passer la lumière lorsque le champ électrique de cette dernière est parallèle à une direction donnée (l'axe du polariseur) et l'absorbe totalement si le champ est porté par l'axe perpendiculaire. Ainsi, lorsque de la lumière non polarisée traverse un polariseur, elle se polarise selon l'axe de ce dernier.

Comment changer la direction de polarisation de cette lumière ? Si l'on place un



Dessins de Bruno Vazaro

LES ÉCRANS D'AFFICHAGE à cristaux liquides comportent deux films polarisants. La lumière qui en émerge est de polarisation rectiligne. Si l'on retire le film polarisant externe d'un écran allumé, la partie découverte apparaît uniformément éclairée.



LA LUMIÈRE NATURELLE ou émise par une ampoule n'est pas polarisée. Un filtre polarisant ne laisse passer que les composantes de la lumière dont la polarisation est de même direction que l'axe du polariseur. La lumière qui traverse deux polariseurs dont les axes sont orthogonaux est ainsi totalement bloquée (à gauche). Mais si l'on intercale un troisième polariseur dont l'axe fait 45° avec les deux autres, une partie (25 %) de l'intensité lumineuse est transmise (à droite).

second polariseur dont l'axe fait un angle α avec celui du premier, on récupère à la sortie uniquement la partie du champ électrique alignée avec ce second axe. L'amplitude du champ est donc réduite d'un facteur $\cos \alpha$, et la puissance lumineuse (proportionnelle au carré de cette amplitude) d'un facteur $\cos^2 \alpha$.

Faire tourner la polarisation

Il est impossible d'obtenir de cette façon une polarisation ayant tourné d'un quart de tour ($\alpha = 90^\circ$), car les deux polariseurs croisés constituent un système opaque (comme $\cos 90^\circ = 0$, l'intensité sortante est nulle). Mais tout n'est pas perdu ! Intercalons entre ces polariseurs un troisième, dont l'axe est la bissectrice des deux autres (donc à 45°). Après son passage à travers le premier film, la polarisation de la lumière n'est pas orthogonale à l'axe du polariseur intermédiaire ; une partie de la lumière est donc transmise. Et on a le même effet entre le polariseur intermédiaire et le dernier polariseur.

Ainsi, grâce à l'ajout du polariseur intermédiaire, on est passé de l'opacité à une transmission partielle d'une lumière (un quart de l'intensité lumineuse) dont la polarisation a tourné de 90°. Avec cinq polariseurs d'axes orientés à 0°, 22,5°, 45°, 67,5° et 90°, l'intensité transmise atteindrait 53 %. Et si l'on augmente le nombre de polariseurs dont les axes sont régulièrement décalés, on s'approchera d'une transmission totale d'une lumière dont l'axe de polarisation

tourne continûment au fur et à mesure de sa propagation.

C'est ce que réalise naturellement une couche mince de cristal nématique torsadé. Pour comprendre pourquoi, il faut d'abord savoir que les propriétés optiques d'un nématique non torsadé, notamment son indice de réfraction, diffèrent beaucoup selon que la lumière qui le traverse est polarisée parallèlement ou perpendiculairement à l'orientation de ses molécules.

Considérons une lumière dont la polarisation a la même orientation que les premières molécules rencontrées. Que se passe-t-il lorsqu'elle se propage ensuite dans une couche de cristal nématique où les molécules ont légèrement tourné ? Le champ électrique comporte une composante principale selon la nouvelle orientation et une petite composante perpendiculaire. Or, à cause de la forte différence d'indice de réfraction, cette petite composante n'est plus en phase avec la première. Quand la lumière traverse plusieurs couches de molécules dont l'orientation tourne peu à peu, on montre que la petite composante du champ est détruite par les interférences avec les contributions des couches précédentes. On retrouve ainsi une rotation de la polarisation avec transmission parfaite.

Nous sommes désormais prêts à réaliser l'écran LCD (*Liquid Crystal Display*, « affichage à cristaux liquides »). Plaçons une couche mince, de quelques micromètres d'épaisseur, d'un cristal nématique torsadé d'un quart de tour entre deux polariseurs perpendiculaires et éclairons cette « dalle » par derrière. Le premier polariseur confère à la lumière une polarisation rectiligne ; la couche de cristal liquide fait tourner la polarisation d'un quart de tour pour l'aligner avec le second polariseur, qui transmet donc toute la lumière.

Disposons ensuite un ensemble d'électrodes transparentes de part et d'autre du cristal liquide afin d'y définir une matrice de pixels. Appliquons une tension suffisante sur un pixel donné : ses molécules nématiques s'alignent selon la direction du champ électrique externe, c'est-à-dire perpendiculairement à la couche, comme l'avait montré dans la première moitié du XX^e siècle le

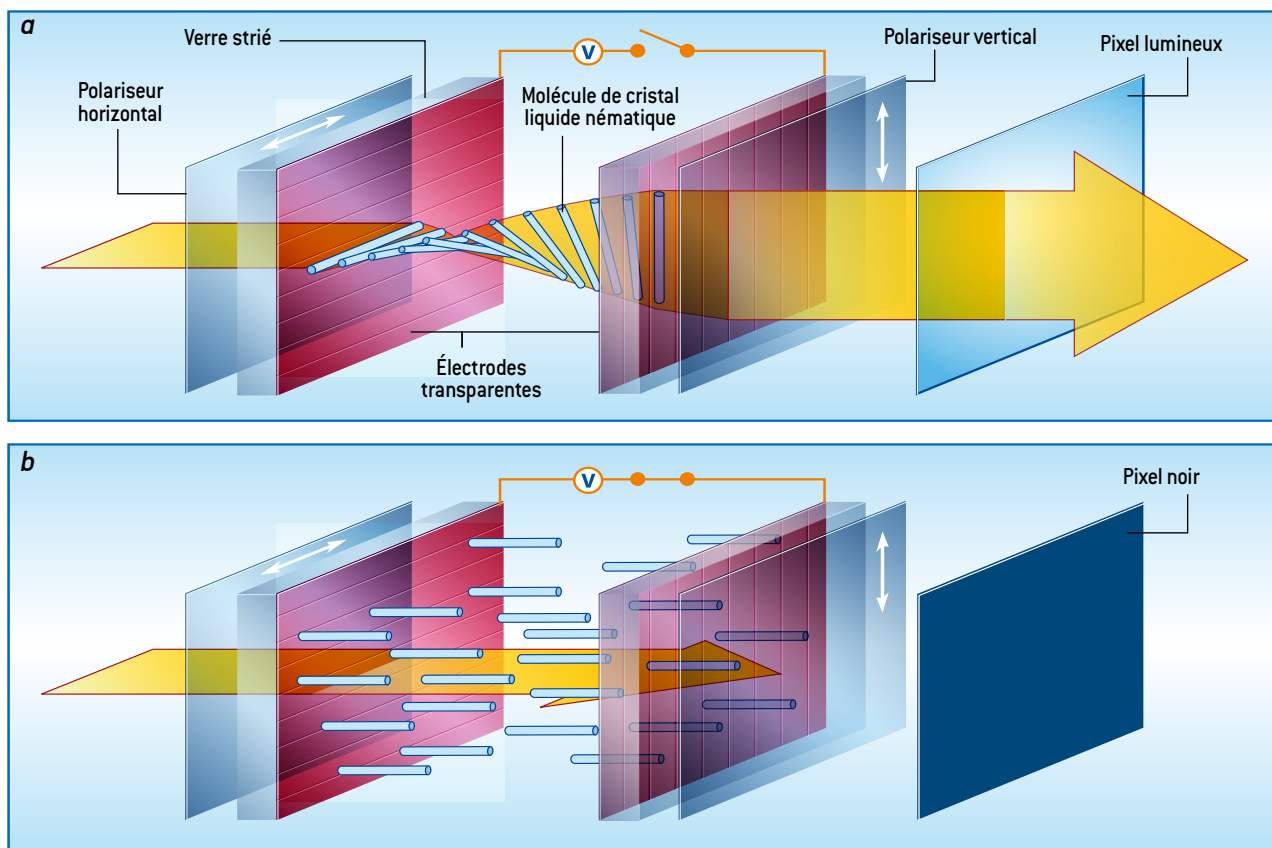
LES AUTEURS



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



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr



physicien russe Vsevolod Frederiks. Dans cette géométrie, les molécules n'agissent plus sur la polarisation lumineuse. Celle-ci ne tourne plus, et le second polariseur bloque la lumière : on a réalisé une valve à lumière.

Quand on annule la tension, les molécules se réalignent dans les stries, les forces internes reconstituent l'hélice et le pixel redevient lumineux. Le second film polariseur est donc essentiel : si on l'enlève, la dalle restera lumineuse en permanence pour l'œil, qui n'est pas sensible à la polarisation.

Que se passe-t-il si l'on regarde à travers des lunettes polarisantes la dalle dépourvue de ce second film ? En orientant convenablement la tête (pour rendre orthogonaux les axes de polarisation des lunettes et du film arrière de l'écran), on obtient l'image originale. En la tournant ensuite de 90° (pour rendre ces axes parallèles), on reçoit uniquement de la lumière des pixels soumis à une tension : le blanc devient noir et le noir blanc. Autrement dit, on voit le négatif. À 45° ,

on a une égale proportion de l'image originale et de son négatif, et tout est blanc.

En pratique, chaque pixel est composé de trois éléments à cristaux liquides avec des filtres colorés pour réaliser la trichromie : en tournant la tête, on passera donc de l'image originale en couleurs à un écran blanc, jusqu'à obtenir de nouveau l'image... mais dans les couleurs complémentaires.

Notons que la plupart des afficheurs ont un axe de polarisation oblique, orienté à 45° par rapport à la verticale. Pourquoi ? Pour éviter que, vu à travers des lunettes polarisantes dont l'axe est généralement vertical, l'écran apparaisse entièrement noir là où il devrait être lumineux ! Ainsi, à travers des lunettes polarisantes (en gardant la tête droite), l'écran apparaît deux fois moins brillant – c'est l'assombrissement que nous évoquions au début. En penchant la tête d'un côté, on assombrit encore plus l'image, jusqu'à l'éteindre ; en l'inclinant de l'autre côté, l'image devient plus lumineuse. ■

QUAND LA TENSION APPLIQUÉE à un élément de l'écran est nulle (a), la lumière traverse les deux polariseurs croisés, car sa polarisation tourne de 90° grâce à l'ordre moléculaire en hélice adopté par le cristal liquide. Lorsque l'élément d'affichage est sous tension (b), les molécules du cristal liquide s'alignent avec le champ électrique créé par la tension. Elles n'agissent alors plus sur la polarisation de la lumière, et celle-ci ne peut franchir le second polariseur : le pixel est noir.

■ BIBLIOGRAPHIE

D. Dunmur et T. Sluckin, *Soap, Science, and Flat-Screen TVs - A History of Liquid Crystals*, Oxford University Press, 2010.

QUESTION AUX EXPERTS

La dopamine est-elle la molécule du plaisir ?

Oui. Plus elle est libérée en quantité importante dans un endroit particulier du cerveau, plus on éprouve de plaisir.

Jean Costentin



Caféine, nicotine, alcool, cannabis, héroïne, bon repas et ébats sexuels ont un point commun : ils procurent du plaisir. Mais comment créent-ils cette sensation dans le cerveau ?

Un début de réponse est venu d'une étude pionnière réalisée par les neurobiologistes canadiens James Olds et Peter Milner il y a plus de cinquante ans. Ces chercheurs ont implanté un couple d'électrodes à différents endroits du cerveau de rats. En appuyant sur une pédale, les animaux faisaient passer un courant entre ces électrodes et stimulaient ainsi les neurones à leur proximité. Pour certaines implantations, les rats appuyaient sur la pédale des milliers de fois par heure, dédaignant de boire s'ils avaient soif, de manger s'ils avaient faim, négligeant même la jolie ratte en chaleur introduite dans leur cage. Ils éprouvaient manifestement un plaisir des plus intenses, oubliant tous les autres. Seul l'épuisement les arrêtaient...

Or les neurones ainsi stimulés libéraient de la dopamine (un neuromédiateur, c'est-à-dire une substance qui intervient dans la communication entre certains neurones) dans le noyau accumbens, une toute petite structure enfouie profondément dans le cerveau. Ces neurones, qui naissent dans l'aire tegmentale ventrale (au sommet du tronc cérébral), constituent la pierre angulaire de ce qu'on appelle désormais le système de la récompense. Ce système favorise la survie et la pérennité de l'espèce, car c'est grâce à lui qu'un animal a du plaisir à étancher sa soif, à

satisfaire sa faim et à s'accoupler. Le plaisir éprouvé garantit la mise en œuvre régulière de ces comportements, ce qui explique que le système de la récompense ait été conservé au cours de l'évolution.

Depuis ces travaux, on considère la dopamine comme le médiateur du plaisir. Grâce à une technique nommée microdialyse intracérébrale, qui consiste à introduire une sonde dans le cerveau, on a mesuré sa concentration cérébrale dans différentes situations. Ainsi, l'injection intraveineuse de glucose à un animal affamé suscite une intense libération de dopamine dans le noyau accumbens, de même que l'injection de nicotine ou d'alcool à un animal qui n'y a jamais été exposé.

Plaisir ou désir ?

En rupture (toute relative) avec cette assertion, quelques neurobiologistes, tel Morten Kringelbach, de l'université d'Oxford, voient plutôt en la dopamine le médiateur du désir. Ils s'appuient notamment sur des expériences où des rats privés de dopamine ne se déplacent plus vers des aliments, comme s'ils n'éprouvaient plus de désir. Des biais ne sont cependant pas à exclure dans leurs travaux, car la dopamine a de multiples fonctions et est notamment impliquée dans la motricité (son déficit dans certaines structures cérébrales est par exemple associé à la maladie de Parkinson).

En outre, le désir ne me semble pas une sensation directement liée à la libération d'une molécule, mais plus une construction psy-

chique bâtie sur les fondations d'un plaisir éprouvé ou imaginé : on se souvient du plaisir et on cherche à le revivre. Chez un alcoolique, un fumeur ou une autre victime de toxicomanie, la sensation de manque et le désir d'une nouvelle dose sont d'ailleurs associés à une hypodopaminergie, c'est-à-dire à une concentration anormalement basse de dopamine : celle-ci chute en effet dans le noyau accumbens à mesure que les « drogues » sont éliminées de l'organisme. Le consommateur chemine alors dans la vallée du déplaisir, dévoré par l'impatience de fumer une autre cigarette ou de boire un autre verre. Il présente à un certain degré des troubles de la dépression.

Des chercheurs ont réussi à corriger ces troubles dépressifs au moyen de médicaments intensifiant la libération de dopamine, telles des amphétamines, mais le plaisir qu'ils faisaient réapparaître était si fort qu'ils ont à leur tour déclenché des phénomènes de dépendance. Le mieux étant l'ennemi du bien, ces traitements ont été abandonnés.

Désir et plaisir sont en tout cas intimement liés. Le manque du second peut provoquer le premier, mais ils vont parfois aussi de pair, l'anticipation d'un moment agréable ayant déjà une certaine saveur : « le plaisir de l'amour débute en gravissant l'escalier », dit-on... ■

Jean COSTENTIN est professeur émérite de pharmacologie, ancien directeur de l'unité de neurobiologie clinique du CHU de Rouen, et auteur de *La dopamine dans tous ses états* (Docis, 2015).