



Pour réagir aux articles : [courrier@pouirlascience.fr](mailto:courrier@pouirlascience.fr)  
ou directement sur les pages correspondantes du site [www.pouirlascience.fr](http://www.pouirlascience.fr)

### ✓ MULTIPLICITÉ DES TEMPS

**Votre numéro spécial sur le temps (Pour la Science n° 397, novembre 2010) est très intéressant. Mais à la lecture des différents articles, j'ai l'impression que le temps « biologique », le temps « psychologique » et le temps « physique » sont des grandeurs distinctes. Existe-t-il réellement une multiplicité de temps différents ?**

Florence Dumard

### → RÉPONSE D'ÉTIENNE KLEIN

L'horloge biologique est un mécanisme endogène et autonome permettant à la majorité des êtres vivants de rythmer certains processus sans recours à des cycles temporels extérieurs, notamment ceux liés à la rotation de la Terre. Comment fonctionne-t-elle ? La réponse n'est pas claire. Mais on peut se demander si le terme d'« horloge » biologique n'est pas abusif. En effet, cette prétendue horloge ne fait qu'imposer des rythmes et asservir certains mécanismes à l'œuvre dans l'organisme : il s'agit donc d'un « oscillateur », dont la période se mesure en unités de temps physique, plutôt que d'une horloge proprement dite.

Quant au « temps biologique », qui s'écoulerait de façon autonome en marge du temps physique, il relève sans doute lui aussi d'un abus de langage : les phénomènes biologiques ont des rythmes et une dynamique spécifiques, mais comme tous les autres phénomènes temporels, ils se déroulent dans le temps, et se mesurent en secondes, minutes, heures, années, etc.

De la même façon, le constat selon lequel divers facteurs psychologiques influencent et distordent notre perception des durées ne prouve pas l'existence d'un temps psychologique indépendant, mais bien plutôt que notre rapport au temps est soumis à toutes sortes d'influences, notamment d'ordre psychologique.

À force de supposer que le temps a les propriétés des processus temporels, on en vient à admettre implicitement l'existence d'une multiplicité de temps : il y aurait en somme autant de sortes de temps qu'il y a de temporalités différentes. Et c'est ainsi que le temps se trouve affublé de divers qualificatifs qui précisent le type de phénomènes auquel on l'associe : temps psychologique, temps biologique, ou temps subjectif, temps historiques multiples... Une telle

prolifération laisse sceptique : il y aurait un temps des pierres et des roches ? Un temps des cellules et des bactéries ? Un temps des atomes et molécules ? Et un temps des étoiles et des galaxies ? L'amalgame que nous ne cessons de faire entre le temps et les phénomènes temporels enrobe le premier d'une métaphorisation inspirée des seconds qui, en définitive, ne nous engage guère à penser le temps pour ce qu'il est.



### ✓ LENTEURS POSTALES

**Dans l'article *La mission jésuite en Chine : tempêtes, science et politique***

**(Pour la Science n° 397, novembre 2010, <http://bit.ly/pls397-ricci>), l'auteur écrit qu'une lettre de Matteo Ricci, missionnaire jésuite en Chine, a mis 17 ans pour arriver à son père, en Italie. Pourquoi autant de temps ?**

Georges Wattelse

### → RÉPONSE DE ISAÏA IANNACCONE

Pour expliquer pourquoi une lettre de Matteo Ricci est arrivée après 17 ans, ou plus généralement, pourquoi le courrier de la Chine vers l'Europe pouvait aller aussi lentement, il faut prendre en considération plusieurs facteurs. Tout d'abord, au vu des adversités de la traversée marine – typhons, naufrages, pirates, etc. – les jésuites écrivaient souvent deux copies de leurs courriers. Les deux copies étaient d'abord envoyées à Macao, où elles prenaient la route de la mer. Or pour arriver à Macao, il fallait, depuis Pékin, traverser toute la Chine.

L'une des copies voyageait ensuite sur la route maritime portugaise (l'océan Indien), l'autre sur la route espagnole (l'océan Pacifique). Arrivé dans un port intermédiaire (par exemple Goa, en Inde, pour les bateaux portugais, ou Manille, aux Philippines, pour les espagnols), le cour-

rier changeait souvent de bateau, car les marchandises étaient prioritaires. Les lettres restaient donc fréquemment dans des dépôts de courrier avant de continuer leur route.

À l'arrivée en Europe, la distribution du courrier était tributaire de toutes sortes de circonstances contingentes et plus ou moins imprévisibles : moyens de transport lents et irréguliers, routes souvent infréquentables (brigands, guerres, épidémies, etc.), erreurs de distribution. Un véritable voyage infernal, comme celui des jésuites !

### ✓ FLÈCHE DU TEMPS ET EXPANSION

**Selon l'article *Le paradoxe de l'irréversibilité* (Pour la Science n° 397, novembre 2010, <http://bit.ly/pls397-irreversibilite>), le sens du temps en thermodynamique est celui pour lequel l'entropie, c'est-à-dire le désordre, augmente. Or, en cosmologie, à mesure que le temps passe, c'est au contraire l'ordre qui s'accroît dans l'Univers, sous l'effet de la gravité. N'y a-t-il pas une contradiction ?**

Patrice Leterrier

### → RÉPONSE D'ALAIN RIAZUELO

En poussant la matière à s'agréger, la gravité structure effectivement le cosmos au cours du temps. Mais, aussi paradoxal que cela puisse paraître, cette structuration ne s'accompagne pas d'une baisse du désordre, bien au contraire. L'exemple extrême est donné par les trous noirs, stades ultimes de la structuration de la matière sous l'influence de la gravité.

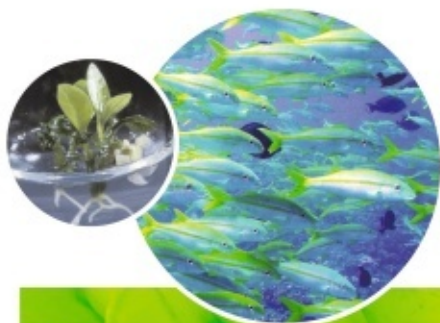
Un trou noir d'une masse solaire possède une entropie de  $1,5 \times 10^{54}$  joules / kelvin, soit plus de dix ordres de grandeur de plus que le Soleil ! Les calculs montrent d'ailleurs que l'entropie d'un trou noir augmente bien plus vite avec sa masse que n'augmente l'entropie d'une étoile. Ainsi, sous couvert d'une structuration apparente du cosmos, la gravité est en fait le plus grand pourvoyeur d'entropie du cosmos : si, peu après le Big Bang, le gros de l'entropie de l'Univers était porté par le rayonnement électromagnétique et les neutrinos, cette part a décliné avec l'expansion cosmique, et aujourd'hui ce sont les trous noirs qui en sont les plus gros détenteurs. Une telle situation perdurera encore plus de  $10^{100}$  ans, le temps que les plus gros trous noirs s'évaporent et dissipent enfin leur entropie par rayonnement de Hawking.

# L'institut de recherche pour le développement

L'IRD MET EN ŒUVRE DES  
RECHERCHES MULTIDISCIPLINAIRES  
DANS LA ZONE INTERTROPICALE

EAU • CHANGEMENTS CLIMATIQUES • MALADIES ÉMERGENTES • MIGRATIONS • LUTTE CONTRE LA PAUVRETÉ • ÉCOSYSTÈMES

L'IRD conduit des **recherches**  
avec ses **partenaires** du Sud  
et les acteurs du développement dans  
trois grands domaines :



**Ressources vivantes**



**Milieux et  
environnement**



**Sociétés  
et Santé**



L'IRD met ses  
capacités d'**expertise**  
et de **valorisation** au service  
de multiples partenaires

L'IRD participe au  
renforcement des capacités  
scientifiques du Sud par  
la **formation**

FRANCE • MÉDITERRANÉE • ROM COM • AFRIQUE • ASIE • AMÉRIQUE LATINE • PACIFIQUE  
ÉTABLISSEMENT CRÉÉ EN 1944 • BUDGET : 231 MILLIONS D'EUROS • EFFECTIFS : 2 210 AGENTS, DONT 830 CHERCHEURS



Institut de recherche  
pour le développement

44, bd de Dunkerque, CS 90009  
13572 Marseille cedex 02  
Tél. 33 (0)4 91 99 92 00 • Fax 33 (0)4 91 99 92 22

**www.ird.fr**

# La vision

# INCONSCIENTE

## des aveugles

**Certaines personnes souffrant de cécité ont une « vision aveugle » : sans le savoir, elles se déplacent en évitant les obstacles. Une structure cérébrale participe à cette vision inconsciente.**

**Beatrice de Gelder**

**U**n homme aveugle se fraye un chemin dans un couloir encombré de boîtes, de chaises et d'autres accessoires de bureau. L'homme ignore la présence des obstacles. Pourtant, il les évite, se faufilant prudemment entre la poubelle et le mur, contournant le trépied d'un appareil photo, sans se rendre compte qu'il a fait des manœuvres particulières. Cet homme est l'un de nos patients ; il est aveugle, mais il est doté d'une « vision aveugle ». En d'autres termes, il réagit à ce que ses yeux détectent sans savoir qu'il peut voir.

La cécité de ce patient est d'un type très rare. Elle est la conséquence de deux accidents vasculaires cérébraux dont il a été victime en 2003. Ces accidents ont détruit une région à l'arrière de son cerveau, nommée cortex visuel primaire ; la première lésion concernait l'hémisphère gauche, puis, cinq semaines plus tard, la seconde a touché l'hémisphère droit. Ses yeux sont fonctionnels, mais comme son

### L'ESSENTIEL

✓ Des personnes souffrant de cécité due à une lésion de leur cortex visuel primaire peuvent réagir face à des objets et des images qu'elles ne voient pas consciemment.

✓ La vision aveugle peut détecter de nombreuses caractéristiques visuelles : par exemple des couleurs, un mouvement, des formes simples et des émotions exprimées sur un visage.

✓ Les chercheurs étudient les régions cérébrales impliquées et les limites de cette remarquable capacité inconsciente.

cortex visuel ne reçoit plus de signaux, il est devenu aveugle.

Cette étude où le patient se déplace dans un couloir est probablement la démonstration la plus spectaculaire de vision aveugle jamais publiée. D'autres patients ayant perdu la vision après des lésions du cortex visuel primaire sont des cas moins impressionnants, mais tout aussi mystérieux ; ils réagissent à des choses qu'ils ne peuvent pas voir consciemment, par exemple de simples formes géométriques ou des images d'un visage humain qui exprime une émotion. Aujourd'hui, on sait provoquer un effet semblable chez des sujets voyant normalement, par exemple en « éteignant » temporairement leur cortex visuel.

Les scientifiques cherchent à comprendre l'étendue des capacités perceptives susceptibles d'être préservées chez les personnes présentant une cécité corticale ; ils tentent en outre d'identifier les régions cérébrales et les circuits neuronaux responsables de la vision aveugle. Ces connaissances leur permettront de savoir quelles fonctions cérébrales inconscientes sont à l'œuvre, même chez une personne qui voit.

Dès 1917, des médecins ont rapporté des cas de vision aveugle – nommée alors vision résiduelle – chez des soldats blessés lors de la Première Guerre mondiale. Mais un demi-siècle s'est écoulé avant que



ne commencent des recherches sur cette capacité. En 1967, les Britanniques Lawrence Weiskrantz et Nicholas Humphrey ont étudié des singes qui avaient subi une lésion du cortex visuel. Puis, en 1973, les psychologues américains Ernst Pöppel, Richard Held et Douglas Frost ont mesuré les mouvements oculaires d'un patient et découvert qu'il avait tendance à regarder en direction de stimulus qu'il ne voyait pas consciemment.

Ces travaux annoncèrent d'autres études, surtout réalisées par L. Weiskrantz et ses collègues, sur des modèles animaux dépourvus de cortex visuel primaire (aussi nommé V1). Ces recherches ont montré que les animaux conservent des capacités visuelles après ablation de leur cortex visuel (par exemple, ils détectent un mouvement ou distinguent des formes).

## Prendre conscience de la vision aveugle

En 1973, L. Weiskrantz et ses collègues ont entrepris une série d'études avec un patient qui avait subi une ablation partielle du cortex visuel pour éliminer une tumeur. Mais la communauté scientifique a accueilli ces travaux avec scepticisme. L'incrédulité face à la vision aveugle n'est pas surprenante : le phénomène semble contre-intuitif, voire contradictoire. Comment une personne pourrait-elle voir sans savoir qu'elle voit ? De la même façon qu'il n'est guère cohérent de dire qu'on ne sait pas qu'on a mal, suggérer qu'une personne se disant aveugle peut voir quelque chose sans en avoir conscience semble *a priori* dénué de sens.

Pourtant, nous ignorons parfois que nous pouvons voir. Comme nous ignorons parfois que nous ne le pouvons pas. La relation entre voir et savoir est complexe. Par exemple, en condition normale, nous avons tous une tache aveugle dans notre champ visuel ; elle correspond à la région de la rétine d'où partent les fibres du nerf optique, région dépourvue de récepteurs sensoriels. Pourtant, cette tache ne nous handicape pas et nous n'en sommes pas conscients.

De surcroît, les données chez l'homme sont rares : il y a peu de sujets présentant une vision aveugle. Le cortex visuel primaire de l'adulte ne mesure que quelques centimètres de large, et les lésions cérébrales se limitent rarement à cette aire. Néanmoins, on sait désormais que



Darren Braun

## L'AUTEUR



Beatrie de GELDER, professeur de neurosciences cognitives, dirige le Laboratoire de neurosciences cognitives et affectives, à l'Université de Tilburg, aux Pays-Bas.

le nombre de patients ayant une lésion du cortex visuel et conservant une vision aveugle est plus important qu'on ne le pensait. Le scepticisme s'estompe.

Le cortex visuel primaire de la plupart de ces patients conserve quelques fonctions. Chez nombre d'entre eux, la lésion ne concerne qu'une petite région du cortex visuel primaire, ce qui entraîne un petit îlot de cécité dans leur champ visuel. D'autres perdent la moitié droite ou gauche du cortex visuel primaire: ils sont aveugles dans la moitié correspondante (à savoir opposée) de leur champ visuel. Dans ce cas, la vision aveugle implique la détection d'objets ou d'images présentés dans la région aveugle, où le patient ne les voit pas consciemment (*voir l'encadré ci-dessous*).

Comment étudie-t-on la vision aveugle de ces patients? Dans les méthodes classiques, le sujet explique lui-même ce qu'il perçoit: il déclare ne rien voir dans la partie aveugle de son champ visuel. Mais des méthodes indirectes permettent aux scientifiques de savoir si les sti-

mulus visuels non vus influent sur la façon dont un patient répond.

Dans certaines expériences, les sujets présentent des changements physiologiques, telle la constriction de la pupille, qui indiquent une vision inconsciente. Et ils peuvent réagir différemment à des stimulus présentés dans leur champ visuel intact, selon ce qu'ils ont perçu simultanément dans leur champ aveugle. Quand on leur demande de deviner quelle figure, parmi plusieurs possibles, est présentée dans leur champ aveugle, les patients répondent correctement presque à chaque fois.

## Une vision résiduelle

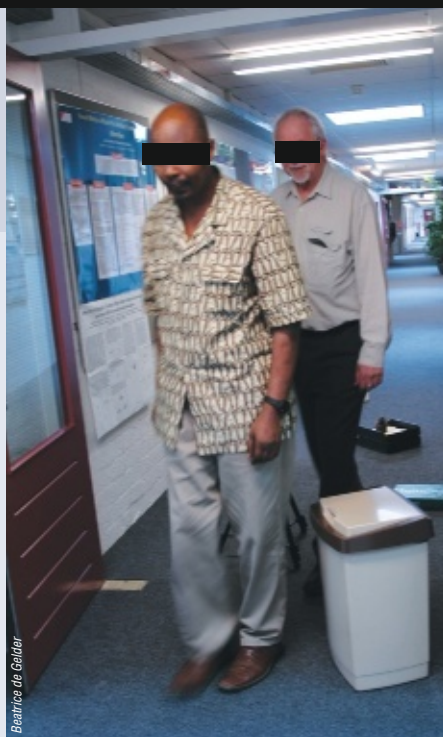
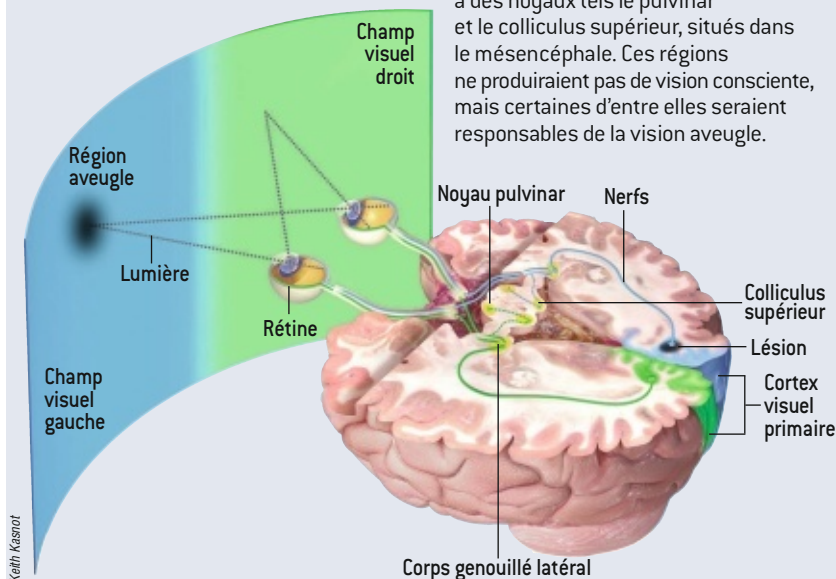
Qui plus est, l'imagerie cérébrale révèle les régions impliquées dans la vision aveugle, ainsi que les circuits empruntés par l'information visuelle. Elle a permis aux scientifiques encore dubitatifs de balayer leurs dernières hésitations: des régions corticales épargnées expliqueraient la vision résiduelle.

## VOIR SANS LE SAVOIR

Chez l'homme, la vision consciente dépend d'une région cérébrale nommée cortex visuel primaire (*ci-dessous*). Une lésion de cette région provoque une cécité dans les parties correspondantes du champ visuel. On parle de « vision aveugle » quand les patients réagissent d'une façon ou d'une autre à des stimulus présentés dans leur champ aveugle, où ils ne voient pas consciemment. Dans une démonstration de ce phénomène, un patient traverse un parcours d'obstacles malgré sa cécité totale (*ci-contre*).

### Les circuits visuels

Les signaux émis par la rétine atteignent le cortex visuel primaire via les corps genouillés latéraux, des noyaux localisés dans le mésencéphale, et des régions supérieures de traitement conscient. Les nerfs optiques transmettent aussi les informations visuelles à des noyaux tels le pulvinar et le colliculus supérieur, situés dans le mésencéphale. Ces régions ne produiraient pas de vision consciente, mais certaines d'entre elles seraient responsables de la vision aveugle.



### Naviguer à l'aveugle

Pensant que ce patient (*au premier plan*) présentait une vision aveugle, l'auteur et ses collègues lui ont demandé de marcher dans un couloir encombré, en lui disant qu'il était vide. Le patient a évité tous les obstacles, sans se rendre compte qu'il les contournait.



Toutes ces expériences ont montré que les patients peuvent détecter inconsciemment une large gamme de caractéristiques visuelles, dont la couleur, des formes simples telles que X et O, des mouvements et l'orientation de lignes ou de grilles. Les formes de grande taille, ainsi que les détails très fins, seraient plus difficiles à percevoir. Par exemple, les patients détectent mieux les caractéristiques d'une grille si ses lignes sont semblables à celles d'un store vénitien vu d'une distance de 1,5 à 4,5 mètres.

Dans les années 1970, L. Weiskrantz et N. Humphrey ont filmé un singe privé de cortex visuel primaire qui se déplaçait sans se cogner dans une pièce encombrée d'objets. D'où l'idée de faire naviguer notre patient dans un couloir. Nous avons été stupéfaits de le voir parcourir tout le couloir sans heurts. Grâce à des tests psychophysiques préalables, nous avons évalué sa vision consciente : il ne détectait rien, même pas de gros objets.

La capacité de ce patient n'était pas sans rappeler le somnambulisme, un autre phénomène où les individus peuvent agir, ou se déplacer, sans avoir conscience de leurs actes. En effet, lorsque nous avons interrogé notre patient, il a affirmé qu'il s'était contenté de marcher le long du couloir : non seulement il n'était pas conscient d'avoir vu quoi que ce soit, mais il n'était même pas conscient d'avoir contourné des objets. Il était incapable d'expliquer ou même de décrire ses actes.

Le contournement d'obstacles est l'une des tâches fondamentales auxquelles sont confrontés les animaux ; il ne serait donc pas surprenant que le cerveau soit capable d'assurer la navigation même quand le cortex visuel primaire et la vision consciente sont défaillants.

En tant qu'espèce sociale, la survie des êtres humains dépend aussi de la communication avec autrui. Ils doivent reconnaître les autres, ainsi que leurs gestes et les signaux reflétant ce qu'ils pensent. C'est avec cette idée à l'esprit que nous nous sommes demandé vers la fin des années 1990 si des personnes présentant une cécité corticale pouvaient détecter des stimulus visuels tels qu'une émotion sur un visage ou la signification d'une posture corporelle, dans la partie aveugle de leur champ visuel.

En 1999, nous avons réalisé des tests avec des films de visages. Les spécialistes de la vision considèrent que les visages sont complexes, car ils sont plus difficiles

à traiter que des grilles ou d'autres formes élémentaires. Mais un visage est une forme naturelle pour le cerveau humain.

L'un de nos sujets, dont la totalité du cortex visuel primaire gauche avait été lésé dans l'enfance (ce qui l'avait rendu aveugle du côté droit de son champ visuel), était capable de deviner de façon fiable l'expression de visages qu'il ne percevait pas consciemment. En revanche, il semblait réellement aveugle à diverses caractéristiques faciales non émotionnelles, telles que l'identité d'une personne ou son sexe.

## Une réaction non consciente aux émotions

Afin d'approfondir ces travaux sur la vision aveugle des émotions, nous avons exploré en 2009 un phénomène nommé contagion émotionnelle, c'est-à-dire la tendance à adopter les expressions faciales des personnes que nous voyons. Pour mesurer la contagion émotionnelle, nous avons utilisé une technique d'électromyographie faciale : des électrodes placées sur le visage d'un sujet enregistrent les signaux envoyés aux muscles impliqués dans le sourire ou le froncement des sourcils. Nous avons testé nos deux patients, celui qui a navigué dans un couloir et celui qui a perdu son cortex visuel primaire gauche, et nous leur avons présenté des photographies de visages et de corps entiers exprimant la joie ou la peur.

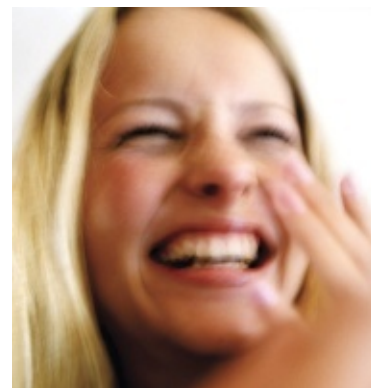
Résultat : tous les stimulus engendraient des réactions émotionnelles, que la photo soit présentée du côté voyant ou du côté aveugle du champ visuel des patients. En fait, les photos non vues provoquaient même une réponse plus rapide que celles vues consciemment. Nous avons aussi enregistré la dilatation de la pupille, une mesure de l'éveil physiologique. Les photos non vues représentant une expression de peur produisaient l'effet le plus fort : nous en déduisons que plus nous sommes conscients d'un signal émotionnel, plus notre réaction serait lente et faible.

Selon un modèle théorique, la contagion émotionnelle a lieu parce qu'on imite inconsciemment les expressions qu'on voit, sans forcément prendre conscience de l'émotion. Toutefois, comme ces patients réagissaient non seulement aux visages, mais aussi aux corps (dont les visages

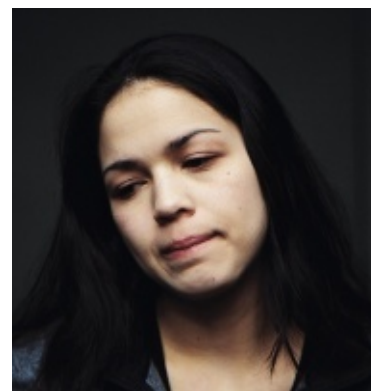
## Ce que voit l'aveugle

**Une personne présentant une vision aveugle distingue des détails de l'ordre de la taille d'une pièce de un euro vue d'une distance de 1,5 à 4,5 mètres. Elle peut détecter diverses propriétés visuelles telles que :**

- ✓ Des formes simples
- ✓ Des séries de lignes
- ✓ Des objets apparaissant et disparaissant
- ✓ Un mouvement
- ✓ Une couleur
- ✓ L'orientation de lignes



© Getty Images/Anthony Marsland



© Getty Images

**Un sujet présentant une vision aveugle reconnaît les émotions exprimées par un visage ou une posture, mais pas l'identité d'une personne ni son sexe.**

## Des patients aveugles « voient » à nouveau consciemment

Dans le domaine de la perception, la vision peut devenir déficitaire après une lésion survenant dans l'œil, le long des voies visuelles qui relient l'œil au cerveau, ou encore dans les aires visuelles cérébrales. Quand la lésion concerne le cortex visuel primaire, elle engendre une amputation du champ visuel proportionnelle à l'étendue de cette lésion.

L'hémianopsie latérale homonyme (HLH) correspond alors à la perte du champ visuel du côté opposé à la lésion cérébrale; elle est sans aucun doute l'une des conséquences les plus fréquentes d'une lésion cérébrale. En effet, 30 pour cent des accidents vasculaires cérébraux et 70 pour cent des accidents vasculaires impliquant les artères cérébrales postérieures entraîneraient une telle amputation du champ visuel.

La pathologie est particulièrement handicapante pour les patients, car la vision est le mode perceptif le plus utilisé dans les activités quotidiennes. Dans 38 pour cent des cas, les patients récupèrent spontanément leur vision, mais seulement dans une faible partie de leur champ visuel.

Jusqu'à présent, on traitait uniquement les patients hémianopsiques en les aidant à compenser l'amputation de leur champ visuel : on leur apprenait notamment à modifier la direction des saccades oculaires – les mouvements très rapides des yeux – vers le champ aveugle. Aujourd'hui, on sait que le phénomène de vision aveugle, si on le stimule, permettrait une récupération de la vision dans le champ visuel aveugle.

Malgré l'absence de vision consciente dans l'hémichamp visuel aveugle de singes et de chats cérébrolésés ou même de patients hémianopsiques, on a montré que des capacités de perception persistent. Il est entendu qu'il s'agit d'une vision non consciente, car les patients affirment ne pas voir la cible présentée alors qu'ils peuvent néanmoins agir sur cette cible (l'attraper, l'éviter, etc.). Les amputations du champ visuel, telles les hémianopsies, seraient donc à considérer

non pas comme une absence totale de vision dans l'hémichamp aveugle, mais plutôt comme un défaut de vision consciente.

Conscients du potentiel que représente l'existence de vision aveugle chez les patients hémianopsiques, nous avons récemment tenté d'entraîner les patients afin qu'ils retrouvent une vision « consciente » à partir de cette vision inconsciente. En 2008, nous avons ainsi montré

vaient localiser une cible, déterminer son orientation, comparer des formes ou reconnaître des lettres, parfois en comparant ce qui apparaissait dans leurs deux champs visuels – le voyant et l'aveugle.

Pour la première fois, nous avons montré qu'une récupération significative existe : elle est mesurable à l'examen des champs visuels chez des patients présentant une hémianopsie chronique et pour lesquels aucune

gle. Cette technique, qui fait aussi ses preuves chez l'enfant et chez l'adulte dans la cécité corticale – l'amputation des deux champs visuels –, est en passe d'être systématisée afin d'être plus largement utilisée.

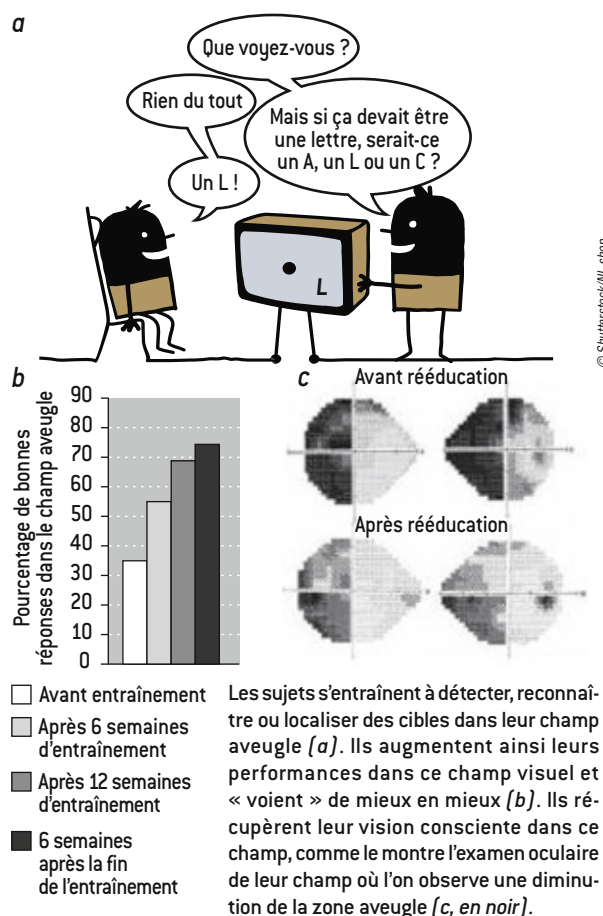
Quel mécanisme neurologique participe à l'entraînement de la vision inconsciente et à la récupération de la vision consciente ? En 2007, Linda Henriksson et ses collègues, de l'Université de technologie à Helsinki, en Finlande, ont montré qu'une réorganisation corticale existe après une stimulation intensive dans le champ visuel aveugle. Ils ont notamment prouvé que les aires cérébrales autour de la lésion, et celles du cortex visuel primaire de l'hémisphère sain, s'activent lors de la stimulation du champ visuel aveugle avec des cibles en forme de damier noir et blanc. En outre, les voies sous-corticales – de la rétine au corps genouillé latéral et de la rétine au colliculus supérieur – interviendraient dans ces différentes activations.

Les recherches que nous menons actuellement en neuro-imagerie fonctionnelle auprès des patients avant et après rééducation confirment ces données préliminaires ; elles nous permettront peut-être de déterminer les facteurs pronostiques de la récupération de la vision dans le champ aveugle, ainsi que les régions neuro-anatomiques d'une telle récupération.

L'entraînement de la vision inconsciente pour améliorer la vision « consciente » soulève une autre question : quel est le lien entre les processus perceptifs inconscients et conscients ? L'enjeu de ces recherches est donc de taille, que ce soit dans le domaine clinique ou fondamental. Étant donné que nous avons montré l'efficacité de cette prise en charge, nous œuvrons aussi à un meilleur dépistage de ces troubles, en particulier chez l'enfant.

**Sylvie Chokron,**

Laboratoire de Psychologie et neurocognition à Grenoble et Équipe TREAT Vision à la Fondation ophtalmologique Rothschild de Paris



qu'il est possible de récupérer une vision consciente dans le champ visuel aveugle après l'utilisation intensive des capacités de vision aveugle chez des patients présentant des lésions du cortex visuel primaire. Comment avons-nous rééduqué les patients ? Nous avons stimulé les phénomènes de vision aveugle dans leur champ aveugle en les forçant à effectuer des jugements sur des stimulus qu'ils n'avaient pourtant pas perçus consciemment. Ils de-

récupération spontanée n'était *a priori* attendue (voir la figure ci-dessus). Au cours de l'entraînement qui a duré 12 semaines, les patients avaient d'abord la sensation de deviner plus que de percevoir, puis ils disaient sentir quelque chose, avant de voir réellement le stimulus présenté.

On peut donc entraîner les capacités de vision aveugle, inconscientes chez ces patients hémianopsiques, et cela afin de restaurer la vision consciente dans le champ visuel aveu-

étaient masqués), nous en avons conclu qu'ils réagissent aux émotions et ne font pas que les imiter inconsciemment.

Le nombre de patients susceptibles de participer à des études sur la vision aveugle étant faible, la possibilité d'engendrer temporairement le phénomène chez des sujets sains est un outil expérimental précieux. Dans une technique de « masquage » visuel, on utilise des images subliminales : un stimulus visuel est présenté brièvement au sujet et immédiatement suivi d'une texture qui apparaît au même endroit. La texture interfère avec le traitement conscient de l'image subliminale, de sorte que le sujet n'a pas conscience de l'avoir vue, mais des expériences permettent aux scientifiques de prouver qu'elle l'a été. On peut aussi inactiver temporairement le cortex visuel en appliquant des champs magnétiques sur l'arrière de la tête – une technique nommée stimulation magnétique transcrânienne.

Plusieurs études ont montré que des personnes saines peuvent deviner la nature d'un stimulus même s'il est présenté trop brièvement pour être perçu consciemment, ou quand une stimulation magnétique transcrânienne inactive leur cortex visuel. D'autres travaux ont évalué la réaction de participants à des stimulus émotionnels qu'ils ne voyaient pas consciemment.

## Des régions cérébrales de la vision aveugle

Avant même que de telles expériences de vision aveugle n'aient commencé, des études chez l'animal et chez l'homme suggéraient déjà que des structures sous-corticales – des régions cérébrales plus profondes et plus anciennes que le cortex d'un point de vue évolutif – peuvent déclencher des réactions appropriées avant que des aires corticales, tel le cortex visuel, n'aient analysé en détail le stimulus. Ce système non conscient agirait en parallèle des voies corticales. Et il pourrait participer au traitement des émotions détecté dans la vision aveugle chez des patients vraiment non-voyants.

Pourtant, les scientifiques se demandent encore si ces formes temporaires de cécité provoquées chez des sujets voyant normalement sont semblables à la vision aveugle des patients ayant une lésion corticale permanente. En particulier, les techniques de masquage visuel permettent au cortex visuel de traiter l'information normalement, mais interfèrent avec l'analyse

consciente qui suit. En conséquence, la « vision aveugle » d'images subliminales se distinguerait de la vision aveugle des patients, qui implique un ensemble caractéristique de régions cérébrales. La stimulation magnétique transcrânienne mime certainement la lésion, mais pour savoir si la vision aveugle qui en résulte implique les mêmes circuits neuronaux, il faut combiner cette technique avec l'imagerie cérébrale.

À l'inverse, après une lésion, le cerveau d'un patient (même adulte) peut se réorganiser pour compenser la perte. Cette plasticité neuronale pourrait créer des circuits de vision aveugle qui n'existent pas chez les personnes voyant normalement... Jusqu'à ce que ces questions soient résolues, l'étude des patients souffrant de lésions cérébrales reste essentielle pour

## APRÈS UNE LÉSION, LE CERVEAU D'UN PATIENT, même adulte, peut se réorganiser pour compenser la perte. Cette plasticité neuronale pourrait créer des circuits de vision aveugle.

comprendre comment les régions non corticales produisent la vision résiduelle.

On n'a pas encore identifié l'ensemble des structures neuronales responsables de la vision aveugle chez les patients ayant une cécité corticale. Toutefois, on pense qu'une région nommée colliculus supérieur et située dans une aire sous-corticale, nommée mésencéphale, joue un rôle central.

Chez des animaux autres que les mammifères, tels les oiseaux et les poissons, le colliculus supérieur est la principale structure cérébrale qui reçoit des signaux en provenance des yeux. Chez les mammifères, il est éclipsé par le cortex visuel, mais participe notamment aux mouvements oculaires. La vision aveugle exploiterait les informations qui transitent de la rétine vers les colliculus supérieurs sans passer par le cortex visuel primaire.

En 2009, nous avons montré que la région du mésencéphale est essentielle pour traduire en actes les signaux visuels qui ne peuvent pas être perçus consciemment. Nous avons demandé à un patient d'appuyer sur un bouton quand nous lui présentions un carré dans son champ visuel voyant. Dans certains essais, nous propositions simultanément un carré dans son champ aveugle. Certains carrés étaient gris, d'autres violets. Nous avons choisi une nuance de violet qu'un seul type de

## ✓ SUR LE WEB

Le film du patient doté de vision aveugle qui navigue dans un couloir encombré : [www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight](http://www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight).

Le film du singe privé de cortex visuel en 1971, **Helen, a blind monkey who sees everything** : [bit.ly/blindsightmonkey](http://bit.ly/blindsightmonkey)

Le site de la fondation ophtalmologique Rothschild de Paris : <http://www.ebdrf.com/>

Le film sur la cécité corticale et sa rééducation : [www.france5.fr/a-vous-de-voir/archives/51100435-fr.php?page=2](http://www.france5.fr/a-vous-de-voir/archives/51100435-fr.php?page=2)

## ✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Tamietto *et al.*, Collicular vision guides nonconscious behavior, *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 22, pp. 888-902, mai 2010.

C. Cavézan *et al.*, Assessment of visuo-attentional abilities in young children with or without visual disorder : toward a systematic screening in the general population, *Research in Developmental Disabilities*, vol. 31, pp. 1102-1108, 2010.

M. Tamietto *et al.*, Unseen facial and bodily expressions trigger fast emotional reactions, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 106, pp. 17661-17666, octobre 2009.

C. Perez *et al.*, Plasticité des aires visuelles corticales : effets de la latéralisation de la lésion et du type de tâche, *Revue de Neuropsychologie, Neurosciences Cognitives et cliniques*, vol. 1, pp. 1-7, 2009.

S. Chokron *et al.*, From blindsight to sight : a cognitive rehabilitation of visual field defects, *Restor. Neurol. Neurosciences*, vol. 26, pp. 305-20, 2008.

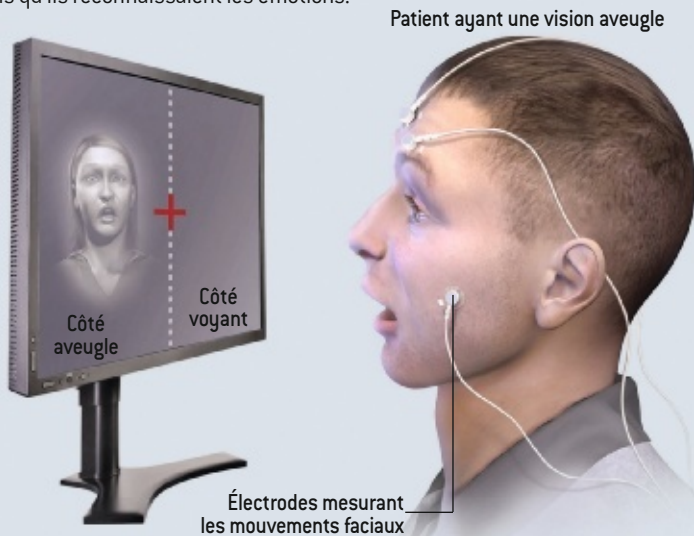


## ÉTUDIER LA VISION AVEUGLE

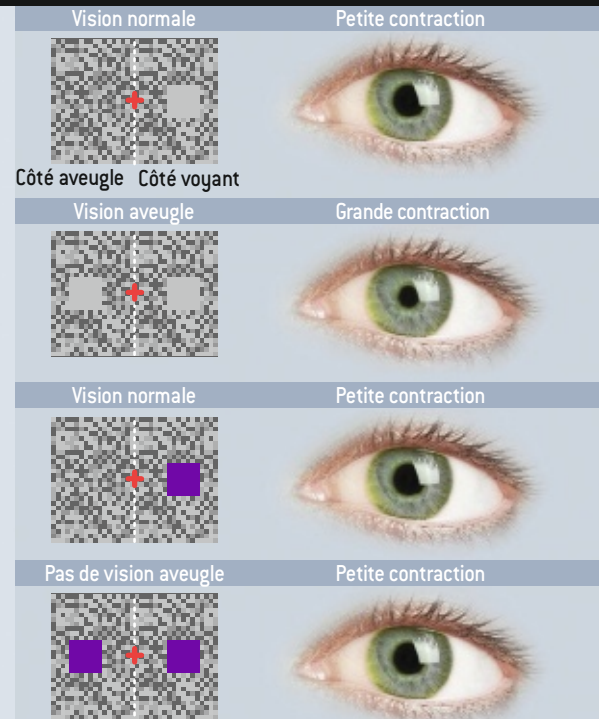
Comme la cécité corticale totale est rare, les spécialistes de la vision aveugle travaillent souvent avec des patients aveugles d'un côté de leur champ visuel. Les patients fixent un point tandis que des images sont présentées de part et d'autre. On peut demander au sujet de « deviner » ce qui se trouve du côté aveugle, ou de presser un bouton quand il voit des stimulus du côté voyant. Diverses techniques mesurent l'activité cérébrale et les réactions involontaires, telles de légères mimiques ou la dilatation des pupilles.

### La vision aveugle voit-elle les émotions ?

Lorsque l'auteur et ses collègues ont projeté des images de personnes exprimant des émotions dans le champ aveugle des patients, ces derniers ont le plus souvent deviné l'émotion. Les muscles faciaux sollicités pour sourire ou froncer les sourcils s'activaient en accord avec le type d'émotion non vue (*ci-dessous, exagéré*). En conséquence, les émotions étaient reconnues sans vision consciente. Le même effet était obtenu avec des images de corps sans visage, ce qui suggère que les patients ne faisaient pas qu'imiter inconsciemment les expressions faciales, mais qu'ils reconnaissaient les émotions.



Patient ayant une vision aveugle



### Quelles sont les régions cérébrales impliquées ?

L'auteur et ses collègues ont montré des carrés gris et violets à des patients, sachant que le colliculus supérieur dans le mésencéphale ne reçoit pas de signaux rétiniens correspondant aux objets violets. Les carrés gris, mais pas les violets, déclenchaient des signes de vision aveugle – par exemple une contraction de la pupille plus importante. Ces résultats, avec ceux obtenus en imagerie cérébrale fonctionnelle, suggèrent que le colliculus supérieur joue un rôle majeur dans la vision aveugle.

Keith Kasrat, Lucy Reading-Ikanda

cônes rétiniens peut détecter – les cônes étant un des types de cellules réceptrices de la rétine –, sachant que le colliculus supérieur ne reçoit pas de signaux de ces cônes. Le colliculus supérieur est aveugle à ce violet.

Un carré gris projeté sur le champ aveugle du patient accélérât sa réaction et provoquait une constriction plus importante de ses pupilles – ce qui indique un traitement inconscient du stimulus ; le carré violet n'avait aucun effet. En d'autres termes, le patient présentait une vision aveugle pour les carrés gris, mais pas pour les violets (*voir l'encadré ci-dessus*).

Grâce à des scanners cérébraux, nous avons montré que seuls les carrés gris présentés dans son champ aveugle activaient davantage son colliculus supérieur. D'autres régions du mésencéphale seraient impliquées dans la vision aveugle, mais dans notre expérience, leur activité ne semblait pas liée à la vision aveugle.

Chez l'homme, le colliculus supérieur intervient entre le traitement sensoriel (la vision) et le traitement moteur (aboutissant à l'action du patient) ; il participe ainsi au comportement guidé visuellement, mais de façon apparemment indépendante aux circuits corticaux et sans expérience visuelle consciente. La vision aveugle des émotions implique aussi le colliculus supérieur, ainsi que d'autres aires du mésencéphale, tel le noyau amygdalien.

### Traiter les patients ?

Les philosophes s'intéressent à la vision aveugle, tout intrigués qu'ils sont par l'idée paradoxale de voir sans savoir que l'on voit. À l'évidence, cette idée n'est un paradoxe que si « voir » signifie « voir consciemment ». Or cette conception a rendu sceptiques bon nombre de scientifiques et a retardé notre compréhension du rôle de la vision inconsciente dans la cognition humaine.

Ce scepticisme peut aussi être un obstacle pour les patients qui souffrent d'une perte de vision dépendante du cortex ; cela les empêche de mettre à profit le potentiel de leurs capacités visuelles résiduelles dans leur vie quotidienne.

Par exemple, notre patient naviguant dans un couloir encombré se considère aveugle et restera totalement dépendant de sa canne blanche tant qu'il ne sera pas convaincu qu'il peut voir sans le savoir. La pratique est pourtant utile. Après trois mois de stimulations quotidiennes, des patients ayant une cécité corticale avaient amélioré leur capacité à détecter des cibles dans leur champ aveugle... Savoir si l'entraînement améliore vraiment les capacités de navigation reste, comme d'autres aspects de la vision aveugle, une question ouverte. Toutefois, les premières études françaises montrent qu'une récupération de la vision « consciente » dans le champ aveugle est envisageable (*voir l'encadré page 30*). ■



**Charles D. est médecin**  
**Et il sait que c'est grâce**  
**à la recherche**  
**qu'il peut mieux soigner**

**Toutes les maladies**  
**doivent bénéficier**  
**de la recherche**

Photo : Christian Chamourat - Agence : beezart.com



## **Comme Charles, donnez à la *Fondation pour la Recherche Médicale***

**La Fondation pour la Recherche Médicale agit dans tous les domaines de la recherche médicale :** cancers, maladies neurologiques, maladies infectieuses, maladies cardiovasculaires, maladies des os, maladies du système immunitaire, maladies du sang... Forte d'une expérience de 63 ans et de sa connaissance des besoins et des urgences de la recherche médicale, elle soutient des chercheurs couvrant tous les domaines de recherche. Fin 2009, les projets de plus de 750 équipes de recherche étaient financés. Ces projets sont sélectionnés par son Conseil scientifique car porteurs de grands espoirs de progrès médical. Totalement indépendante de l'État, reconnue d'utilité publique, la Fondation accomplit sa mission grâce à la générosité de ses donateurs.

**En soutenant la Fondation pour la Recherche Médicale, vous participez au développement d'une recherche médicale de pointe, au service de votre santé, de celle de vos proches ; de la santé de tous.**



**FONDATION POUR LA RECHERCHE MÉDICALE - [www.frm.org](http://www.frm.org)**  
**54, rue de Varenne 75007 Paris - 01 44 39 75 75**





**1. LE PÉTILLEMENT DES BULLES** à la surface de la coupe de champagne provoque l'expulsion de minuscules jets de liquide qui se scindent en plusieurs gouttelettes. L'aérosol formé est chargé en molécules aromatiques.



**L**e champagne, vin pétillant qui a été notablement amélioré à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle sous l'impulsion du moine dom Pierre Pérignon (1639-1715), à l'abbaye de Hautvillers, près d'Épernay, est devenu synonyme de fête et de réussite. L'effervescence des bulles n'est pas étrangère à la notoriété de ce breuvage. Mais c'est seulement depuis quelques années que l'on commence à déterminer les mécanismes de la formation des bulles et leur rôle gustatif.

Quels sont les principaux acteurs responsables de l'effervescence du champagne ? Le dioxyde de carbone dissous est-

ouverte, est commune à tous les vins) qui a lieu en bouteille close, dans la fraîcheur des caves. Lors de cette seconde phase, dite prise de mousse, des levures sont ajoutées et transforment les sucres en alcool et en dioxyde de carbone.

Une bouteille de 75 centilitres contient environ neuf grammes de dioxyde de carbone dissous, ou cinq litres à pression atmosphérique, ce qui représente six fois le volume de la bouteille ! Sous le bouchon, du dioxyde de carbone s'accumule : la pression partielle de ce gaz atteint  $6 \times 10^5$  pascals ou six bars, soit six fois la pression atmosphérique.

# Champagne : l'arôme au cœur des bulles

G. Liger-Belair, R. Gougeon et Ph. Schmitt-Kopplin

**Lorsqu'elles éclatent, les bulles dispersent au-dessus de la coupe de champagne un brouillard de minuscules gouttelettes, où se concentrent les molécules aromatiques.**

il perçu par le consommateur ? Quel est le rôle joué par les bulles dans la perception des arômes du champagne ? Des analyses chimiques ont permis de répondre à ces questions. Nous préciserons les mécanismes physico-chimiques liés à l'éclatement des bulles à la surface d'une flûte et nous analyserons leur rôle dans la libération des arômes.

Rappelons comment les bulles se forment dans une flûte. Sous le bouchon de liège, le liquide est calme, aucune bulle ne se forme. Le champagne n'a pourtant rien d'un vin tranquille (appellation donnée aux vins non effervescents). Il contient en réalité du dioxyde de carbone dissous, mais ce n'est qu'au moment où l'on débouche la bouteille que les bulles apparaissent. C'est l'effervescence.

Le dioxyde de carbone se forme lors de la seconde fermentation alcoolique (la première fermentation alcoolique, en cuve

Selon la loi de Henry, à température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz. En appliquant cette loi, on trouve que sous six bars de dioxyde de carbone, le champagne peut dissoudre 12 grammes par litre de ce gaz. Dès l'ouverture, la surface du liquide est au contact de l'air extérieur, c'est-à-dire à la pression atmosphérique. La solubilité du gaz diminue brusquement et les premières bulles apparaissent.

Si l'effervescence est la seule visible à l'œil nu, elle ne représente que 20 pour cent de la totalité du dégazage. Dans une flûte classique, environ 80 pour cent du dioxyde de carbone dissous s'échappent par diffusion à travers la surface, à l'interface liquide-air. Cette forme de dégazage est plus importante dans une coupe que dans une flûte.

## L'ESSENTIEL

✓ Au-delà de leur aspect plaisant, les bulles favorisent la concentration des arômes du champagne.

✓ L'éclatement des bulles à la surface de la coupe forme un brouillard de gouttelettes chargées en molécules volatiles odorantes.

✓ Les bulles exercent un picotement mécanique et chimique lorsqu'elles éclatent sur la langue.

✓ L'aérosol créé lors de l'explosion des bulles rappelle les embruns qui se forment à la surface des océans.

Alain Cornu/Collection CIRC