

lisé chez Genie. Après plusieurs mois de travail, nous avons obtenu des souris capables de produire la forme mature de la protéine C dans leur lait. Nous avons alors commencé les travaux qui nous donneront un porc doté des gènes humains de la protéine C et de la furine. Nous espérons avoir bientôt une truie qui produira trois fois plus de protéine C active que Genie.

Perspectives imaginaires

Il y a quelques années seulement, l'idée de fabriquer de grandes quantités de protéines humaines à un coût raisonnable aurait paru fantaisiste : depuis plus de 20 ans, les biologistes moléculaires et les biochimistes s'acharnaient à résoudre les difficultés que pose la production de ces protéines dans des bioréacteurs, et la fabrication de substances biologiques à usage thérapeutique dans de vastes cuves en acier inoxydable contenant des cellules génétiquement modifiées était restée très difficile.

La construction de ces bioréacteurs est très coûteuse, et leur rendement dépend beaucoup de la température et de la composition du milieu où poussent les cellules. Les animaux transgéniques, eux, sont des bioréacteurs que l'on fabriquera par des croisements de parents transgéniques et que l'on élèvera comme n'importe quel animal de ferme : en les protégeant des maladies et en leur donnant à manger, on obtiendra les protéines voulues à des concentrations bien supérieures à celles que l'on obtient dans les bioréacteurs.

Bien que l'on ne puisse exclure le risque que des agents pathogènes ne

se transmettent de l'animal à l'homme, des méthodes rigoureuses permettent d'obtenir des animaux indemnes des maladies répertoriées.

Les protéines humaines ainsi produites devront, comme n'importe quel nouveau médicament, être testées. Les premiers essais cliniques ont commencé, il y a quelques mois, pour une protéine anticoagulante, l'antithrombine III, fabriquée à partir de chèvres transgéniques de la Société Genzyme Transgenics.

Les cellules humaines et les cellules animales n'opèrent pas tout à fait les mêmes modifications post-traductionnelles, ce qui modifie peut-être le fonctionnement et la stabilité des protéines : certaines protéines sanguines sont rapidement dégradées par le foie, de sorte que leur concentration efficace diminue rapidement. On espère que les protéines fabriquées par l'animal, qui n'auront pas subi les mêmes modifications post-traductionnelles, seront dégradées moins rapidement, ce qui augmentera d'autant leur durée d'action.

Si les animaux transgéniques se révèlent finalement un succès du génie génétique, on ne devra pas oublier que ce succès est dû au génie de la nature. La glande mammaire contient de nombreuses cellules capables de produire des protéines thérapeutiques, et elle est bien plus efficace que n'importe quel système de culture cellulaire. En dépit de tous les efforts consacrés au perfectionnement des bioréacteurs industriels, toute une génération de biochimistes n'a pu atteindre, avec cette méthode de fabrication des protéines, les potentialités qu'offre la nature.

William VELANDER est professeur de génie biochimique à l'Institut polytechnique de Virginie. Henryk LUBON travaille au Laboratoire de la Croix-Rouge américaine. William DROHAN dirige le Département des dérivés sanguins, dans ce laboratoire.

Charles T. ESMON, *The Regulation of Natural Anticoagulant Pathways*, in *Science*, vol. 235, pp. 1348-1352, 13 mars 1987.

Rudolf JAENISCH, *Transgenic Animals*, in *Science*, vol. 240, pp. 1468-1474, 10 juin 1988.

Rekha PALEYANDA, Janet YOUNG, William VELANDER et William DRO-

HAN, *The Expression of Therapeutic Proteins in Transgenic Animals*, in *Recombinant Technology in Hemostasis and Thrombosis*, sous la direction de L.W. Hoyer et W.N. Drohan, Plenum Press, 1991.

Tulin MORCOL, Robert M. AKERS, John L. JOHNSON, Barry L. WILLIAMS, Francis C. GWAZDAUSKAS, James W. KNIGHT, Henryk LUBON, Rekha K. PALEYANDA, William N. DROHAN et William H. VELANDER, *The Porcine Mammary Gland as a Bioreactor for Complex Proteins*, in *Recombinant DNA Technology*, vol. 2 : numéro spécial de *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 721, pp. 218-233, 2 mai 1994.

Comment les aveugles dessinent

JOHN KENNEDY

Pour dessiner, les aveugles utilisent les mêmes conventions que ceux qui voient. L'analyse des dessins exécutés par les aveugles révèle que le cerveau traite de la même façon des informations provenant de la vue et du toucher.

J'ai rencontré Betty en 1973, lorsque j'interrogeais des candidats à une étude sur la perception par le toucher. Betty, alors adolescente, était aveugle depuis l'âge de deux ans. Comme elle avait perdu la vue avant d'avoir appris à dessiner, je fus étonné qu'elle m'annonce qu'elle aimait dessiner le profil des membres

de sa famille : j'avais toujours pensé que les images étaient des reproductions du monde visible et je pensais que les personnes aveugles avaient peu d'intérêt ou de talent pour créer des images. Betty me montra que je me trompais. Se fiant à son imagination et à son toucher, elle prenait plaisir à dessiner la silhouette reconnaissable des visages.

Était-elle exceptionnelle? Les aveugles peuvent-ils interpréter les symboles graphiques utilisés par ceux qui voient? Les aveugles accèdent à l'univers graphique à l'aide de maquettes, de dispositifs d'affichage à fil et, surtout, d'appareils à dessiner en relief, constitués d'une tablette rigide recouverte d'une couche de



Abraham Menashe

1. DES ARTISTES AVEUGLES se fient à leur toucher pour observer des objets. Tracy, qu'un cancer de la rétine a totalement privée de vision à l'âge de deux ans, détermine la forme d'un verre en le palpant. En tâtant le papier placé sur un support de feutre, elle sait où son stylo

a laissé une marque. Les tracés, dans la plupart des dessins simples, indiquent les contours des surfaces, qui sont aussi facilement repérables par le toucher que par la vision. Les dessins exécutés par les aveugles sont donc aisément reconnus par les personnes voyantes.

caoutchouc et d'une mince feuille de plastique sur laquelle la pression d'un banal stylo à bille trace un sillon. Des études menées grâce à cet équipement ont modifié notre compréhension de la perception sensorielle, montrant qu'aveugles et voyants dessinent souvent de la même façon : ils représentent les limites des surfaces avec des lignes ; ils donnent une impression de profondeur avec des fuyantes qui convergent et des formes de tailles différentes selon leur distance au dessinateur. Les aveugles, comme les voyants, dessinent des paysages à partir d'un point de vue et ils expriment le mouvement par des tracés prolongés ou irréguliers ; ils utilisent aussi des formes symboliques, tels des cœurs ou des étoiles, pour représenter des idées abstraites. Ainsi des représentations, même simples, contiennent bien davantage que ce que l'œil perçoit.

Toucher, c'est voir

Tous les aveugles reconnaissent-ils des profils de visages dont ils ne peuvent palper que les contours ? Avec Yvonne Eriksson, de l'Université de Linköping, nous avons testé neuf adultes, trois hommes et six femmes. Quatre d'entre eux étaient aveugles de naissance, trois avaient perdu la vue après l'âge de trois ans, et deux étaient malvoyants. Chacun devait examiner quatre profils en relief, fabriqués par collage de fils plastifiés sur une tablette métallique plane (voir la figure 3).

Nous leur avons demandé de désigner le caractère principal de chaque silhouette parmi une liste de quatre : sourire, cheveux bouclés, barbe, gros nez. Cinq d'entre eux, dont un homme totalement aveugle de naissance, ont identifié correctement les quatre images, et un seul n'en a reconnu aucune. Le score moyen du groupe a ainsi été de 2,8 sur 4. Un groupe témoin de 18 étudiants voyants à qui l'on avait bandé les yeux eut un résultat à peine meilleur, avec une moyenne de 3,1.

De nombreux travaux, par des équipes de plusieurs pays, confirment que les aveugles reconnaissent les contours d'objets familiers. Comment ceux qui ont toujours été privés de la vue ont-ils acquis une notion de l'apparence qu'ont des visages ou d'autres objets ? Dans des dessins simples, les traits ne correspondent

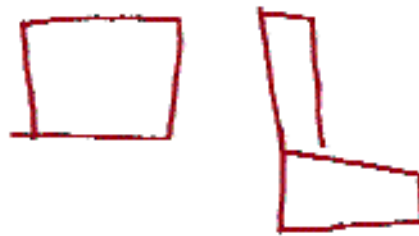
qu'à deux cas : le chevauchement de deux surfaces ou leur jonction suivant un angle. Ni l'un ni l'autre n'ont besoin d'être vus pour être perçus : le toucher suffit.

Tous les aveugles n'interprètent pas aussi bien les dessins en relief ; l'âge auquel ils ont perdu la vue semble déterminer leurs capacités. Des personnes aveugles de naissance ou dès la prime enfance, aveugles précoces, trouvent quelquefois que ces dessins en relief sont une épreuve difficile. En 1993, toutefois, une équipe japonaise a constaté que 60 pour cent des aveugles précoces qu'ils avaient testés savaient reconnaître les contours d'objets courants, tels un poisson ou une bouteille. Le pourcentage de reconnaissance était un peu supérieur pour des sujets voyants aux yeux bandés, qui sont plus habitués aux images.

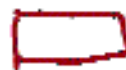
Selon les travaux de Morton Heller, de l'Université Winston-Salem, les sujets qui ont perdu la vue tardivement, les « aveugles tardifs », interprètent les contours en relief avec plus de facilité que les voyants ou que les aveugles précoces. Ils bénéficieraient d'un double avantage : ils sont plus habitués aux images que les aveugles précoces, et ils sont plus habitués que les voyants à utiliser le toucher.

La perspective

Une autre aveugle qui aimait dessiner, Kathy, m'orienta vers un autre problème : la représentation de la perspective. Kathy, qui avait 30 ans lorsque je l'ai rencontrée, était devenue complètement aveugle à l'âge de trois ans, sans avoir jamais eu une vision précise, à cause d'un cancer de



2. LES DESSINS réalisés par Kathy, complètement aveugle depuis l'âge de trois ans, prouvent que les dessinateurs aveugles et voyants se servent des mêmes représentations. Ils utilisent des lignes pour représenter des surfaces, comme le montre le dessin d'un aigle (en haut). Les aveugles représentent les objets, une maison par exemple, à partir d'un seul point de vue (au milieu). Pour faire passer des messages abstraits, les artistes aveugles utilisent des formes : Kathy a dessiné un cœur autour d'un berceau pour exprimer l'amour dont un enfant est entouré. Enfin, ils font appel au rétrécissement pour suggérer la perspective : Kathy a dessiné le bloc en forme de L et le cube en leur donnant la même taille lorsqu'ils étaient côte à côte, mais elle a dessiné le cube plus petit quand il était plus éloigné d'elle (en bas).



John Kennedy

la rétine apparu à moins d'un an. Pourtant elle réalisait des dessins en relief avec une certaine habileté. Notamment Kathy dessina un jour un cube et un bloc en forme de L dans différentes positions relatives. Lorsque les deux objets étaient côte à côte, elle les avait représentés de la même taille, mais lorsque le cube était plus

éloigné que l'autre bloc, elle l'avait dessiné plus petit.

Ce deuxième dessin contenait un principe fondamental de la perspective : un objet est vu sous un angle d'autant plus faible qu'il est plus éloigné (ainsi, les piquets tous identiques d'une barrière qui se prolonge devant nous semblent de plus en plus courts). L'utilisation par Kathy de ce principe m'incita à penser que les aveugles ont des notions de perspective. Là encore, cette étonnante capacité était compréhensible. Après tout, lorsque nous palpons un objet, les articulations de notre corps mesurent des angles, comme ceux que forment les rayons lumineux qui convergent des bords de l'objet vers notre œil.

Pour confirmer cette intuition, nous avons préparé cinq dessins en relief : l'un représente une table et les quatre autres des cubes (*voir la figure 4*). Le dessin de la table est composé d'un carré et de quatre segments (chacun figure un pied) qui partent des sommets. Nous avons montré ces dessins à 24 volontaires, aveugles de naissance, et nous leur avons dit qu'un aveugle avait dessiné la table en disant : « Je l'ai dessinée de cette façon pour montrer qu'elle est symétrique des quatre côtés », et qu'un autre avait dessiné la table de la même façon en fournissant une explication différente : « Je l'ai dessinée vue de dessous pour bien montrer la forme du plateau et des quatre pieds. Si vous montrez la table vue du dessus ou latéralement, vous ne pouvez pas vraiment montrer à la fois le plateau et les quatre pieds. »

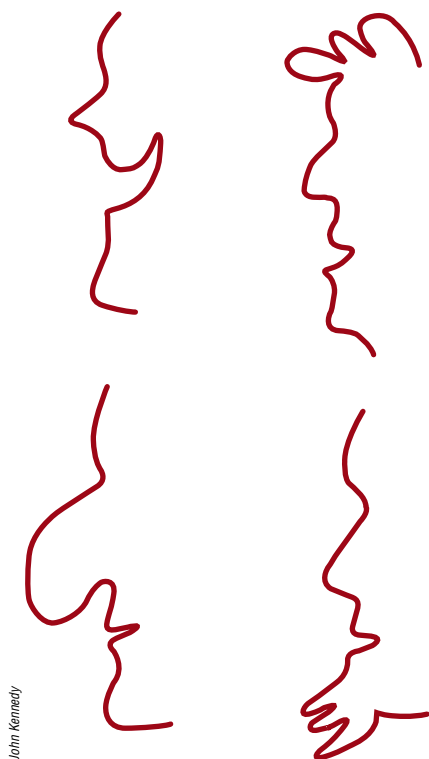
Nous avons alors demandé quel dessin de cube avait été fait par chacun de ces deux dessinateurs. Pour répondre, ils devaient comprendre

quelle stratégie avait été utilisée pour dessiner la table et chaque cube. L'un des cubes ressemble à une boîte dépliée : la face avant du cube est entourée des faces supérieure, inférieure, gauche et droite. Un autre dessin montre deux carrés, les faces avant et supérieure du cube. Un troisième dessin montre un carré pour la face avant du cube, surmonté d'un rectangle pour la face supérieure, comme si le cube était vu de face, d'une faible hauteur. Le quatrième montre deux trapèzes accolés par leur plus grande base, qui est l'arête la plus proche de l'observateur.

En réponse à la question : « Quel cube a été dessiné par la personne qui a montré la table vue de dessous ? », la majorité des aveugles ont désigné le dessin aux deux trapèzes, qui fait l'usage le plus élaboré de la perspective, tandis qu'ils jugeaient que le dessin du cube déplié, qui n'utilise pas du tout la perspective, était le moins vraisemblable. De surcroît, ils ont majoritairement pensé que ce dessin avait été fait par la personne qui voulait montrer la symétrie de la table.

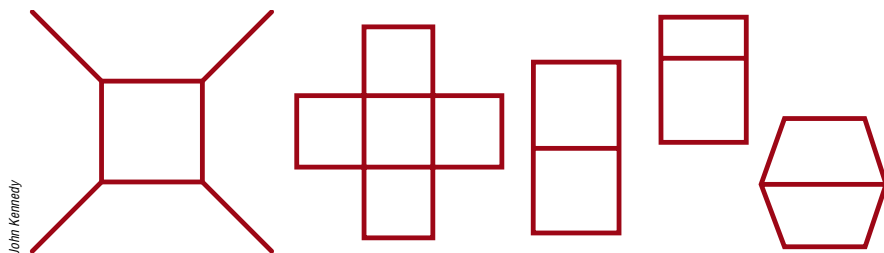
Avec M. Heller, pour prouver que les aveugles comprennent et utilisent la perspective, nous avons mis en œuvre un autre test, que le psychologue suisse Jean Piaget appelait « test des trois montagnes » (*vous pouvez le faire vous-même, voir la figure 5*). Sur une table rectangulaire, nous disposions une sphère, un cône et un cube. Les sujets aveugles s'asseyaient toujours du même côté de la table. Nous leur demandions de dessiner les objets vus de là où ils étaient assis, puis d'imaginer comment on les voyait de quatre autres points d'observation : de chacun des trois autres côtés de la table, et du dessus. Beaucoup d'adultes et d'enfants trouvent ce problème difficile. Pourtant les sujets aveugles l'ont aussi bien réussi que des sujets voyants d'un groupe de contrôle : ils ont dessiné correctement en moyenne 3,4 images sur les cinq.

Nous avons ensuite demandé à nos sujets de déterminer le point d'observation de cinq dessins des trois objets ; nous leur avons présenté les dessins deux fois, dans un ordre aléatoire, de sorte que le score maximum était de dix réponses exactes. Les sujets aveugles ont donné 6,7 bonnes réponses, en moyenne, tandis que les sujets voyants obtenaient une moyenne de 7,5, à peine supérieure.



John Kennedy

3. DES PROFILS réalisés avec des fils plastifiés collés sur une tablette métallique ont été proposés à neuf sujets aveugles qui devaient décrire chaque modèle en utilisant l'un des quatre qualificatifs suivants : sourire, cheveux bouclés, barbe ou gros nez. En moyenne, le groupe a identifié correctement 2,8 des quatre profils : les aveugles reconnaissent les contours d'objets simples. Des sujets de contrôle voyants, mais qui avaient les yeux bandés, obtinrent un résultat à peine meilleur.



John Kennedy

4. LA PERSPECTIVE est une notion qu'ont les aveugles. 24 volontaires aveugles de naissance ont examiné un dessin d'une table (*à gauche*) et quatre dessins d'un cube. On leur avait dit qu'une personne aveugle avait dessiné la table en forme d'étoile pour montrer comment on la voyait de dessous, et qu'une autre personne aveugle l'avait dessinée de façon identique, pour montrer sa symétrie. Ils devaient indiquer celui des dessins de cube qui correspondait à la table vue de dessous. La plupart d'entre eux désignèrent l'image composée de deux trapèzes (*à l'extrême droite*), c'est-à-dire le dessin pour lequel la perspective était la plus élaborée.

Les neuf aveugles tardifs du groupe avaient un peu mieux réussi que les aveugles précoces et que les voyants, atteignant un résultat de 4,2 pour le test de dessin et de 8,3 pour celui de reconnaissance. Là encore, leur bon score provenait sans doute de leur plus grande habitude des images et de leur toucher plus développé.

Figurer le mouvement

Les divers résultats prouvent que les aveugles peuvent utiliser les contours et la perspective pour décrire la disposition d'objets et de surfaces dans l'espace. Les dessins, toutefois, ne sont pas des représentations à la lettre des objets. Ce sont des interprétations. Ainsi, au cours de l'une de mes études, une femme aveugle a dessiné une roue en train de tourner. Je fus stupéfait d'observer que, pour exprimer le mouvement, elle traçait une courbe à l'intérieur du cercle : de telles représentations du mouvement sont une invention récente dans l'histoire de l'illustration. Par exemple, les dessins de Wilhelm Busch, caricaturiste allemand du XIX^e siècle, créateur de Max et Moritz, ne contiennent quasiment aucun tracé exprimant le mouvement avant 1877.

Lorsque j'ai demandé à d'autres sujets aveugles de dessiner une roue en rotation, un symbole a été utilisé à plusieurs reprises : les rayons de la roue étaient des lignes incurvées. Interrogés à propos de ces courbes, ils déclaraient que cette incurvation devait donner une idée du mouvement.

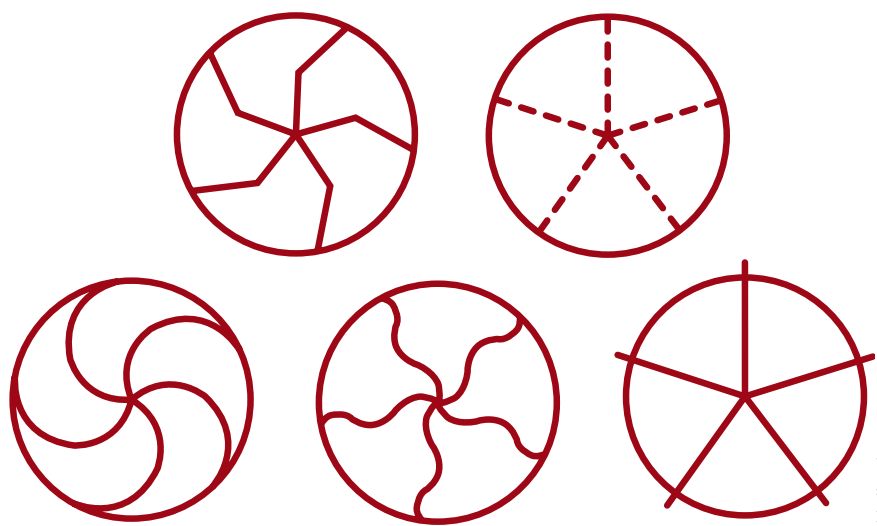
On a le sentiment que le mouvement est bien représenté de cette façon, mais des lignes courbes sont-elles un meilleur indicateur de mouvement que des lignes brisées ou ondulées ? Y a-t-il une convergence sur le sens de différents types de lignes ou celui-ci dépend-il de l'observateur ? Les aveugles et les voyants interprètent-ils de la même façon les lignes exprimant le mouvement ?

Pour le savoir, nous avons dessiné en relief cinq roues différentes, avec des rayons dont les tracés sont respectivement courbés, en lignes brisées, ondulés, en tirets, ou droits et dépassant du périmètre de la roue (voir la figure 6). Nous avons demandé à 18 volontaires aveugles d'attribuer un mouvement à chaque roue : oscillation, rotation rapide, rotation régulière, mouvement saccadé ou freinage.

Quelle est la roue qui s'accorde avec chaque mouvement ? Comme les dispositifs en mouvement ne sont pas familiers aux aveugles, cette question était difficile. Tous les sujets aveugles, sauf un, attribuèrent pourtant un mouvement différent à chaque roue. En outre, le choix majoritaire des aveugles était le même que celui du groupe de contrôle formé de voyants. Enfin l'accord était à peine meilleur parmi les voyants que parmi les aveugles.



5. ON TESTE LA PERCEPTION de l'espace en disposant une sphère, un cône et un cube sur une table. Le dessin de droite montre cette disposition vue de dessus. Parmi les autres dessins, lequel montre les solides vus du bord de la table qui est en bas ? Quel est celui des dessins qui les montre vus du bord opposé ? Vus du bord situé à gauche ? Situé à droite ? Aveugles et voyants donnent des réponses similaires : c'est la preuve que les aveugles savent déterminer de quelle manière des objets apparaissent de divers points d'observation.



6. LE MOUVEMENT peut être représenté à l'aide de tracés irréguliers. Des volontaires aveugles et voyants auxquels on avait proposé cinq représentations de roues en mouvement les ont interprétées de la même manière. La plupart ont estimé que les rayons courbés correspondent à une roue en rotation régulière ; selon eux, les rayons ondulés suggèrent que la roue oscille, et les rayons en lignes brisées signifient que la roue a un mouvement saccadé. De même, les rayons qui dépassent du périmètre signifient généralement que la roue ralentit, et les rayons en tirets indiquent une rotation rapide.

demandé de sélectionner, dans chaque paire, le mot qui correspond le mieux à un cercle et celui qui correspond le mieux à un carré (voir la figure 7).

Par exemple, nous avons demandé : qu'est-ce qui s'accorde avec «mou»? Un cercle ou un carré? Quelle forme

MOTS ASSOCIÉS À CERCLE-CARRÉ	ACCORD PARMIL LES RÉPONDANTS (EN POUR CENT)
MOU-DUR	100
MÈRE-PÈRE	94
HEUREUX- MALHEUREUX	94
BIEN-MAL	89
AMOUR-HAINE	89
VIVANT-MORT	87
LUMINEUX-SOMBRE	87
LÉGER-LOUD	85
CHAUD-FROID	81
ÉTÉ-HIVER	81
FAIBLE-FORT	79
RAPIDE-LENT	79
CHAT-CHIEN	74
PRINTEMPS- AUTOMNE	74
CALME-BRUYANT	62
MARCHE-IMMOBILITÉ	62
IMPAIR-PAIR	57
LOIN-PROCHE	53
VÉGÉTAL-ANIMAL	53
PROFOND- SUPERFICIEL	51

7. DES PAIRES DE MOTS ont été utilisées pour tester le symbolisme qu'expriment les formes abstraites, et vérifier si aveugles et voyants font les mêmes analogies. Dans chaque paire de mots, les participants devaient en associer un au cercle et l'autre au carré. Par exemple, quelle forme décrit le mieux le mot «mou»? Il y eut unanimité pour dire que c'était le cercle. Les pourcentages de la colonne de droite montrent le degré d'accord obtenu avec des participants qui étaient tous voyants. Des sujets aveugles ont fait les mêmes choix.

correspond à «dur»? Pour tous nos sujets, le cercle correspondait à «mou» et le carré à «dur». Pour 94 pour cent d'entre eux, «heureux» était attribué au cercle, et «malheureux» au carré. Pour d'autres paires, l'accord était moins parfait : 79 pour cent ont fait correspondre «rapide» et «lent» au cercle et au carré respectivement, et seulement 51 pour cent ont associé «profond» au cercle et «superficiel» au carré.

Les choix de quatre volontaires complètement aveugles ont été très proches de ceux effectués par les voyants. Un homme, aveugle de naissance, ne s'écarta qu'une seule fois du résultat d'ensemble : comme près de la moitié des voyants, il avait attribué «loin» au carré et «près» au cercle. Les aveugles interprètent donc les formes abstraites de la même manière que les voyants.

Vue, toucher et traitement cérébral

Au total, nos expériences montrent que le toucher peut transmettre une grande partie des informations sur les surfaces et les volumes que nous percevons visuellement. Ce n'est pas très surprenant : quand nous voyons quelque chose, nous savons plus ou moins ce que nous ressentirions au toucher, et réciproquement. Toutefois le toucher et la vue sont deux sens très différents : le premier perçoit des variations de pression, et le second des variations de lumière. Comment ces informations de nature différente conduisent-elles, pour un objet aussi simple qu'une ligne, à la même interprétation par le cerveau? Pour répondre à cette question, nous devons examiner quelles informations nos sens retirent d'un contour.

L'hypothèse la plus évidente est que, sur un dessin, chaque ligne représente la limite physique d'une surface ou d'une forme. Ce n'est pourtant

pas aussi simple, car toutes les lignes, aussi fines soient-elles, ont deux bords. Il en résulte que nous percevons différemment des lignes épaisses et des lignes minces. Quand le tracé d'un profil est assez épais, on voit deux profils qui regardent dans la même direction, un sur chaque bord (voir la figure 8) ; en revanche, lorsque la ligne est mince, nous ne voyons qu'un seul visage. Le toucher procure un effet semblable. J'ai réalisé une série de dessins de profils où les deux bords du tracé étaient en relief. Lorsqu'ils n'étaient écartés que d'un millimètre, une volontaire aveugle ne percevait qu'un seul profil ; lorsque l'écart atteignait huit millimètres, elle percevait deux visages.

Selon une autre théorie, les lignes expriment n'importe quelle frontière perceptible, y compris celles qui ne sont pas réelles, telles les ombres. Cette théorie est contredite par les deux images de la figure 9. À gauche, des ombres, définies par un seul contour épais entre les zones claires et les zones sombres, traversent le visage. Sur l'autre, les mêmes zones d'ombre sont délimitées par des lignes plus fines. Bien que les formes dessinées sur les deux images soient identiques, nous identifions facilement un visage sur la première, pas sur la seconde.

Notre système visuel et notre système tactile ne lisent pas les deux contours d'un trait épais comme un seul trait. La région du cerveau responsable de l'interprétation des contours à partir des informations sensorielles est donc un système général de perception des surfaces. La discrimination qu'elle assure ne repose pas sur des critères purement visuels, tels la brillance ou la couleur, mais prend en compte les deux bords d'un trait épais et les traite comme des indicateurs de la position d'un seul bord d'une surface. Si, pour des personnes voyantes, ce sont des fron-



8. LA PERCEPTION DES CONTOURS dépend de leur épaisseur : selon l'épaisseur, on voit un ou deux profils. La variation est identique dans le cas du toucher. Des sujets aveugles considèrent deux

tracés en relief situés l'un près de l'autre comme un unique contour de surface, ou au contraire comme deux contours distincts s'ils sont éloignés l'un de l'autre.



9. LES OMBRES et les autres frontières immatérielles ne sont pas reconnaissables seulement à leurs contours. À gauche, un seul trait noir épais représente les ombres : nous reconnaissons un visage. Ce n'est pas le cas sur le dessin de droite, où les mêmes formes sont dessinées par des contours fins.

tières de brillance qui sont traitées comme des indicateurs de limite de surfaces, pour les aveugles ce sont les frontières de pression qui sont traitées de la même façon.

Les principes qui sont ici en jeu ne sont pas seulement visuels : la région du cerveau qui les accomplit pourrait donc être qualifiée d'amodale. Un tel système amodal reçoit à la fois des informations visuelles et tactiles et les considère comme des informations relatives à des caractéristiques telles que recouvrement, avant-plan, arrière-plan, surfaces planes ou courbes, et points de perspective. Chez les voyants, les signaux visuels et les signaux tactiles sont coordonnés par ce système amodal.

Ce système reste capable d'interpréter les limites des surfaces même lorsqu'il ne reçoit aucun signal visuel. C'est pour cette raison que les aveugles savent identifier des dessins et des symboles graphiques. Cette découverte devrait encourager les spécialistes et les éducateurs à mettre au point pour les aveugles des systèmes utilisant des images. Plusieurs organismes sont sur cette voie. Par exemple, Éducation artistique des aveugles, une organisation associée au Musée Whitney d'art américain et au Musée d'art moderne de la ville de New York, a réalisé des versions en relief de tableaux d'Henri Matisse et d'œuvres de l'art des cavernes. Les images en relief seront-elles bientôt aussi répandues que les textes en braille ?

John KENNEDY est professeur de psychologie à l'Université de Toronto.

Y. HATWELL, *Toucher l'espace. La main et la perception tactile de l'espace*, Presses universitaires de Lille, 1986.

M.A. HELLER, *Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind : The Advantage of the Late Blind*, in *Perception*, vol. 18, n° 3, pp. 379-389, 1989.

J.M. KENNEDY, *Drawing and the Blind : Pictures to Touch*, Yale University Press, 1993.

J.M. KENNEDY et Y. ERIKSSON, *Profiles and Orientation of Tactile Pictures*, European Psychology Society, Tampere, 2-5 juillet 1993.

C.H. LIU et J.M. KENNEDY, *Symbolic Forms and Cognition*, in *Psyke & Logos*, vol. 14, n° 2, pp. 441-456, 1993.

Y. SHIMIZU, S. SAIDA et H. SHIMURA, *Tactile Pattern Recognition by Graphic Display : Importance of 3-D Information for Haptic Perception of Familiar Objects*, in *Perception and Psychophysics*, vol. 53, n° 1, pp. 43-48, janvier 1993.

A.B. SAFRAN et A. ASSIMACOPOULOS, *Le déficit visuel. De la neurophysiologie à la pratique de la réadaptation*, éditions Masson, 1995.

D. BURGER, *New Technologies in the Education of the Visually Handicapped*, éditions INSERM - John Libbey Eurotext, 1996.

Les réfrigérateurs d'Einstein et de Szilard

GENE DANNEN

Dans les années 1920, deux physiciens théoriciens visionnaires unirent leurs efforts pour perfectionner les réfrigérateurs domestiques.

En juillet 1939, Leo Szilard rendit visite à Albert Einstein, à Long Island, pour discuter des dangers de la bombe atomique. Szilard s'alarmait de la découverte de la fission de l'uranium et de la possibilité de «réactions en chaîne» qu'il avait observée six ans auparavant. Einstein fut persuadé de la faisabilité des armes atomiques et inquiet d'une utilisation éventuelle de telles armes par l'Allemagne nazie ; c'est pourquoi il écrivit à Franklin Roosevelt une lettre célèbre, qui exhortait le président des États-Unis à augmenter les efforts de recherche.

Avec cette visite à Einstein, Szilard renouait une collaboration qui datait de l'âge d'or de la physique à Berlin. On a parfois avancé que Szilard et Einstein avaient déposé de nombreux brevets communs pour des réfrigérateurs domestiques sans pièces mobiles, dans les années 1920, mais on avait peu d'informations sur ces brevets. Intéressé par la vie de Szilard, j'ai retrouvé l'histoire détaillée de cette collaboration. À Stockholm, par exemple, le fabricant d'appareils électroménagers *Electrolux* possédait les dossiers de deux brevets déposés par Einstein et par Szilard. Et, à Budapest, l'ingénieur Albert Korodi conservait des souvenirs précieux de l'entreprise. Récemment décédé, à l'âge de 96 ans, Korodi avait conservé des copies des rapports techniques – y compris les seules photographies connues des prototypes d'Einstein et de Szilard – qu'on a longtemps crus perdus. Ces sources, la correspondance de Szilard conservée à l'Université de San Diego et les archives sur Einstein conservées à l'Université hébraïque de Jérusalem révèlent com-

bien Einstein et Szilard furent proches. Leur projet était plus vaste, plus lucratif et techniquement plus ambitieux qu'on ne l'imaginait. Einstein apparaît sous un jour nouveau, avec des pré-occupations d'application des sciences.

Les débuts d'une collaboration

Szilard et Einstein s'étaient rencontrés à Berlin en 1920. Einstein, alors âgé de 41 ans, était déjà le physicien le plus célèbre du monde. Szilard, âgé de 22 ans, était un étudiant bulgare brillant, qui préparait sa thèse de physique à l'Université de Berlin ; il parvint notamment à étendre la thermodynamique classique à des systèmes fluctuants, appliquant la théorie d'une façon qu'Einstein avait jugée impossible. Impressionné, le «Herr Professor» se prit d'amitié pour son cadet. Après la soutenance de thèse, Einstein conseilla à Szilard d'entrer à l'Office des brevets : «Ce n'est pas une bonne chose pour un scientifique de dépendre de la ponte d'œufs en or. Je n'ai jamais été aussi heureux que lorsque je travaillais à l'Office des brevets.» Pourtant Szilard choisit de faire carrière à l'Université, où il résolut bientôt le problème du démon de Maxwell : ce petit diable, imaginé par James Clerk Maxwell, semblait violer le deuxième principe de la thermodynamique en triant les molécules lentes et rapides, déjouant leur tendance naturelle au désordre ; il alimentait alors en énergie une machine à mouvement perpétuel. Szilard démontra que le démon ne pouvait fonctionner comme Maxwell l'avait imaginé, parce que l'ordre gagné

nécessitait de l'information. Son idée devait ultérieurement devenir la base de la théorie de l'information.

À la fin de 1924, le physicien Max von Laue (prix Nobel en 1914) proposa à Szilard un poste d'assistant à l'Institut de physique théorique. À cette époque, Szilard était devenu un visiteur habituel de la maison d'Einstein. Les deux hommes étaient très diffé-



1. LE CHÂSSIS DU RÉFRIGÉRATEUR (au centre), vu de l'arrière, attend l'installation de la pompe électromagnétique inventée par Leo Szilard (à gauche)