

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 palpent. 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.

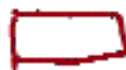
Selon les travaux de Morton Heller, de l'Université Winston-Salem, les sujets qui ont perdu la vue tardivement, les « aveugles tardifs », interprètent les contours en relief avec plus de facilité que les voyants ou que les aveugles précoces. Ils bénéficieraient d'un double avantage : ils sont plus habitués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