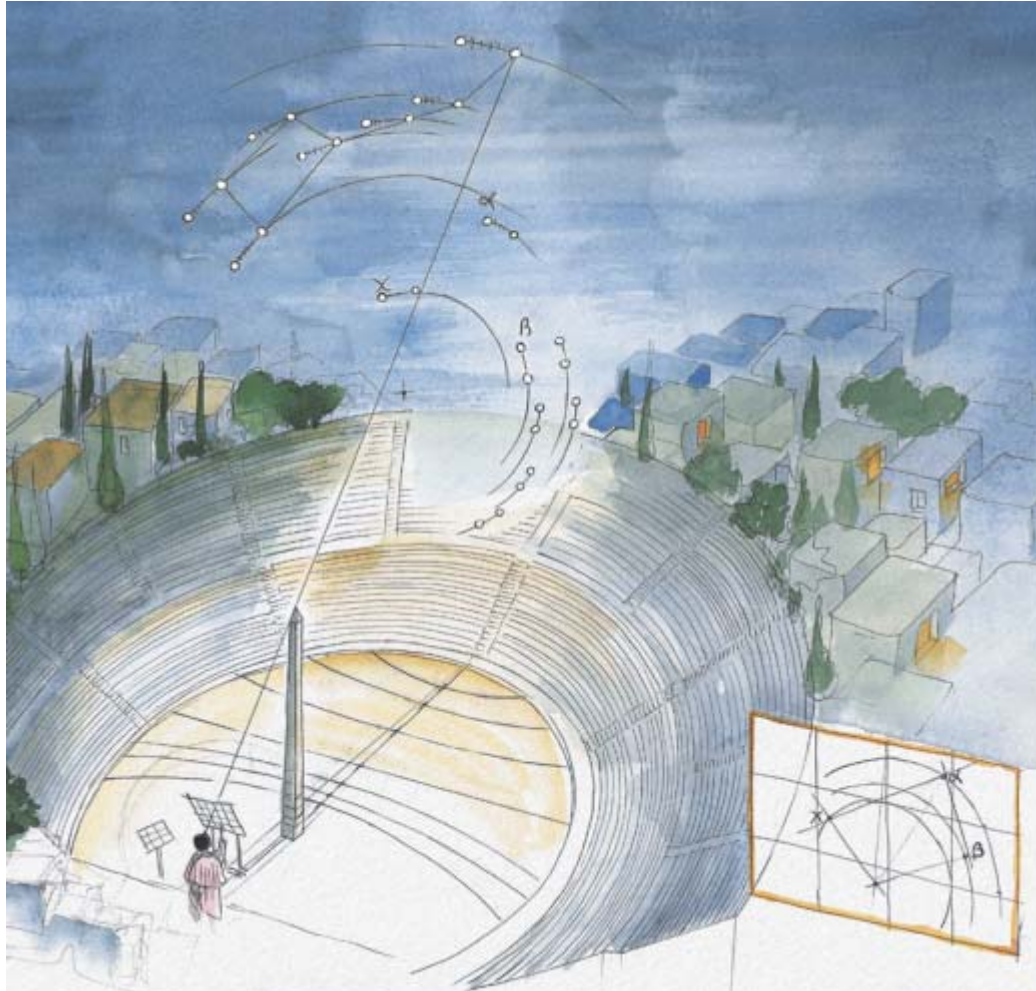


qu'ils égrènent et travaillent de façon à y trouver nourriture. Pour ce qui est de leur caractère, ce sont des gens très simples et bien éloignés de cet esprit vif et méchant qui est celui des gens d'aujourd'hui. Leur façon de vivre est rudimentaire et n'a rien à voir avec cette vie molle et voluptueuse qui naît de la richesse. On dit aussi que l'île est peuplée et que l'air y est tout à fait froid, comme il est naturel pour un pays qui se trouve sous l'Ourse même. Ils ont de nombreux rois et chefs et généralement vivent en paix les uns avec les autres.»

La mesure du méridien

Une fois encore, Strabon a sauvé, de l'œuvre perdue d'Hipparque, un passage sur les latitudes mesurées par Pythéas en Celtique et en (Grande) Bretagne. Hipparque, se fiant à Pythéas, rapporte qu'«à 6 300 stades de Marseille pendant les journées d'hiver, le Soleil ne s'élève qu'à 6 coudées et à 4 coudées seulement à 9 100 stades de Marseille, à moins de 3 coudées dans les régions au-delà...» La lecture du texte complet nous permet d'identifier ces trois points de latitude et, sachant qu'un angle de une coudée vaut deux degrés, on constate la précision des mesures effectuées par Pythéas : le premier point, en Celtique, est à 6 300 stades. Le Soleil en hiver est à 12° au-dessus de l'horizon au lieu de 23° à Marseille. Pythéas a donc parcouru 11° vers le Nord depuis Marseille (situé à la latitude 43°) : il se trouve à 54° de latitude.

C'est bien la presqu'île de Jütland, limite de la Celtique. Le deuxième point, au septentrion de la (Grande) Bretagne, est à 9 100 stades. Le Soleil est à 8° seulement au-dessus de l'horizon, ce qui correspond à la latitude de 58°. C'est, à demi-degré près, le cap Orcas, au Nord de la Grande-Bretagne. Le troisième point, le Soleil à moins de 3 coudées, correspond à la latitude de 60°. Ce sont les îles Shetland, situées entre 59,8° et 60,8°. Pour Thulé, la massive Islande qui s'étend entre les parallèles 63,4° et 66,5°, la distance et la latitude sont également justes. L'astronome marseillais nous rapporte aussi des durées de nuits au solstice d'été, d'où l'on déduit d'autres latitudes de ces contrées nordiques. Toutes ces mesures de latitude serviront de base, pour l'Europe du Nord, à la carte du monde qu'établira Ératosthène.



6. POUR DESSINER LA CARTE DU PÔLE CÉLESTE, Pythéas dresse une lucarne, une grille, au Sud du gnomon. Il profite de la lueur d'une nuit de pleine lune et d'une longue nuit d'hiver. Heure après heure, il vient repérer les arcs de cercles décrits par les étoiles les plus proches du pôle céleste et affirme : «Au pôle, il n'y a aucun astre, mais un endroit vide, près duquel se trouvent trois étoiles, avec lesquelles le signe qu'on mettrait au pôle constitue à peu près un quadrilatère.» C'était les étoiles alpha et kappa de la constellation du Dragon et bêta de la Petite Ourse.

Strabon précise : «Pythéas dit que Thulé est à une distance de six jours de navigation de la (Grande) Bretagne en direction du Nord et qu'elle est proche de la mer gelée.» Pline confirme, qu'à [...] «six jours de navigation [...] la plus reculée de toutes les îles est Thulé», c'est le pays des confins, l'*Ultima Thule*, selon la formule de Virgile.

Là, à ce point du voyage se situe le célèbre épisode du «poumon marin». Pythéas utilise cette expression bien connue des Grecs (qui signifie méduse) pour décrire à ses concitoyens le phénomène étrange dont il fut le témoin. Résumant Pythéas, Pline écrit : «À un seul jour de navigation de Thulé se trouve la

mer figée», et Strabon précise : «Pythéas parle en outre des parages de Thulé et de ces lieux, dans lesquels il n'existe plus de terre proprement dite, ni de mer ni d'air, mais un mélange fait de ces choses, semblable au poumon marin, dans lequel il dit que la terre et la mer et toutes choses sont comme en suspension, comme si ce quelque chose était un lien entre tous les éléments, ne permettant ni de marcher ni de naviguer.»

Le voyageur a atteint la banquise. L'exploration s'achève aux confins du monde habité. Pythéas est contraint de faire demi-tour, auteur d'une expédition dont on mesurera, longtemps après, la dimension historique et scientifique.

Yvon GEORGELIN est astrophysicien à l'Observatoire de Marseille. François HERBAUX est journaliste.

Jean-Baptiste DELAMBRE, *Histoire de l'Astronomie Ancienne*, Mathieu, Paris, 1817.

Paul-Émile VICTOR, *L'homme à la conquête des pôles*, Plon, 1962.

Christina ROSEMAN, *Pytheas of Massalia, On the Ocean*, Are publishers, Chicago, Illinois, 1994.

Pythéas, explorateur et astronome, texte de Hugues JOURNÈS et Yvon GEORGELIN, aquarelles de Jean-Marie GASSEND, Éditions de la Nerthe, Ollioules (Var), 2000.

La reconnaissance des et ses anomalies

PATRICK VERSTICHEL

Comment reconnaît-on des centaines de visages à la fois similaires et différents ? Dans le cerveau droit, des réseaux de neurones spécialisés assurent plutôt l'analyse visuelle et d'autres, dans le cerveau gauche, l'analyse sémantique, c'est-à-dire la restitution des données biographiques et des noms.

Brusquement, on est entouré d'inconnus dans sa propre maison, on voit se refléter un étranger dans son miroir... Non, il ne s'agit pas d'un film de fiction, où des « envahisseurs » auraient pris le contrôle de la planète, mais de la sensation qu'éprouvent certaines personnes victimes de lésions cérébrales. Mentionné pour la première fois en 1867 par deux ophtalmologistes italiens, Antonio Quaglino et Giambattista Borelli, ce trouble a été, en 1947, qualifié par le neuropsychiatre J. Bodamer de prosopagnosie (du grec *prosôpon* qui signifie visage et *agnôsia*, ignorance). Les personnes atteintes ne peuvent plus identifier leurs proches par leur face. Tous les visages connus de longue date paraissent tout à coup des visages d'étrangers.

Dans le pire des cas, leur propre visage subit le même sort : « Au club, j'ai vu quelqu'un d'étrange qui me regardait et j'ai demandé au maître d'hôtel qui c'était. Vous allez rire... je me regardais dans un miroir. » Ils identifient leur entourage par la voix, les vêtements, la coupe de cheveux ou toute autre particularité. Dans certains cas, ce trouble de reconnaissance ne concerne que les visages : les objets et les lieux familiers sont parfaitement identifiés. Plus surprenant encore, certains patients gardent le souvenir intact des visages connus avant leur trouble et peuvent même dessiner de mémoire un visage, tout en étant incapables de reconnaître la personne concernée quand ils la croisent.

Pourtant, la faculté de reconnaître les autres par leur physionomie, d'un

simple coup d'œil, semble si aisée, si automatique ! Quasi instantanée, une telle opération relève de mécanismes complexes qui font intervenir de vastes zones cérébrales. L'importance que chacun accorde au visage d'autrui (et au sien propre !) est une preuve de la complexité des mécanismes en jeu.

On commence à comprendre les différentes étapes de la reconnaissance des visages et l'origine des troubles de cette reconnaissance. Selon un modèle récemment proposé, les visages sont gravés dans des réseaux de neurones spécialisés et interconnectés ; l'analyse visuelle et la confrontation avec les visages mémorisés sont essentiellement l'œuvre du cerveau droit, la mémorisation des informations biographiques et le rappel de ces informations, celle du cerveau gauche

Qu'est-ce qu'un visage ?

Un visage est une structure tridimensionnelle possédant une configuration « externe » – le contour de la face modelé par les saillies osseuses et souligné par les cheveux – où s'inscrit une configuration « interne » formée par l'assemblage des traits : les yeux, les sourcils, le nez et la bouche. Certaines particularités s'y ajoutent, telles que la pilosité, des lunettes, la texture et la coloration de la peau, les accidents cutanés (une verrue, un grain de beauté, etc.). Sauf exception, tous les visages ont une architecture générale voisine et ne diffèrent que par de subtiles modifications de la configuration externe ainsi que de

la forme des éléments internes et de leurs rapports.

Malgré les faibles différences existant entre chaque visage, on reconnaît et on identifie des centaines (voire des milliers) de visages. Cette performance est d'autant plus extraordinaire qu'un visage donné ne se présente jamais identique à lui-même : l'angle sous lequel il est perçu varie (il est de face, de profil ou de trois quarts) ; selon l'éclairage les motifs faciaux changent ; les expressions font bouger les traits, qui évoluent avec l'âge. Pourtant, on reconnaît un visage quelles que soient ces conditions : notre cerveau sait en dégager un « invariant physiognomique » sous-jacent, qu'il conserve en mémoire.

Chaque membre d'une espèce sociale doit distinguer ses congénères les uns des autres : c'est une condition nécessaire à toute relation interindividuelle. Dans l'espèce humaine, comme dans d'autres espèces animales, le visage est l'élément qui convoie le plus d'informations et assure une telle distinction. Par là même un visage n'est jamais neutre. Nous pouvons le classer selon qu'il est connu ou inconnu, le définir en termes affectifs (il est sympathique ou antipathique, attrayant ou repoussant, amical ou menaçant) ou lui attribuer divers qualificatifs (c'est un visage aristocratique ou plébéien, intelligent ou stupide...). Nous pouvons enfin lui attribuer une dimension particulière : la beauté. Les connaissances récemment acquises sur les traitements cérébraux des visages ont montré que ces divers aspects dépendent de systèmes neurologiques différents.

visages

Dès la naissance, le visage a une valeur toute particulière : des nouveau-nés de quelques minutes orientent plus volontiers leur regard vers un visage que vers toute autre configuration comportant les mêmes traits arrangés autrement. L'aspect de la face semble donc éveiller dès le début de la vie une connaissance innée, une sorte de représentation schématique « préformée » de visage. Puis, par un apprentissage automatique, le bébé apprend à distinguer les visages les uns des autres. Dès le premier mois de vie, le nouveau-né discrimine le visage de sa mère de celui des autres personnes. La reconnaissance semble se fonder sur la configuration externe du visage, sa forme et la coupe de cheveux, davantage que sur les traits internes : quand un bonnet cache les cheveux de sa mère, l'enfant ne la reconnaît plus. L'apprentissage contraint progressivement la reconnaissance à s'effectuer dans des conditions perceptives naturelles : à partir de six ans, l'enfant ne reconnaît que des visages présentés à l'endroit. Quand les visages sont présentés « tête en bas », la reconnaissance est beaucoup plus lente, parfois impossible : c'est l'effet d'inversion. L'inversion des visages perturbe non seulement la reconnaissance, mais aussi la capacité à repérer des difformités ou des monstruosité. L'effet d'inversion n'est pas observé entre deux

1. LA PROSOPAGNOSIE est une anomalie de la reconnaissance des visages. Les personnes qui en sont atteintes n'identifient plus les visages, même ceux de leurs proches. Elles parviennent parfois à les identifier grâce à des attributs caractéristiques (ici le chapeau ou les moustaches). En revanche, il arrive qu'elles ne distinguent aucune physionomie, voire même, exceptionnellement, que le visage soit tellement déformé qu'il soit méconnaissable.

Morton Beebe/CORBIS



Delphine Bailly

2. UN VISAGE est caractérisé par trois «configurations». D'abord une configuration externe définie par le contour du visage modelé par les saillies osseuses (les pommettes et les arcades sourcilières, par exemple) et souligné par les cheveux. Puis une configuration interne, c'est-à-dire l'ensemble des traits, tels les yeux, les sourcils, le nez et la bouche. Enfin, une configuration «accessoire» constituée des particularités de chacun : moustache, barbe, lunettes, grain de beauté, couleur de peau.

et quatre ans ; on a même montré que les enfants de cet âge repèrent plus facilement le visage d'un personnage de livre d'images lorsque ce visage est présenté à l'envers plutôt qu'à l'endroit.

Cette constatation est surprenante dans la mesure où ce visage a d'abord été observé dans le sens normal. B de Gelder et W. Rouw, de l'Université de Tilburg, aux Pays-Bas, ont émis l'hypothèse que l'analyse des visages dans leur sens naturel s'effectue à partir de caractères généraux, dans une sorte de perception globale du visage, tandis qu'elle se fait à partir de caractéristiques locales, principalement les traits faciaux, en condition d'inversion. La découverte de l'effet d'inversion a amélioré notre compréhension des mécanismes de la reconnaissance faciale ; cet effet révèle que le même arrangement de traits et de formes subit des traitements cérébraux différents selon son orientation. Traitement local, ou encore analytique, et traitement global (ou holistique) relèvent de systèmes distincts, activés selon la situation. La reconnaissance instantanée, automa-

tique, met vraisemblablement en jeu un système cérébral d'analyse globale, pour lequel l'hémisphère droit a une disposition innée. L'apparition de l'effet d'inversion chez l'enfant témoigne de la mise en jeu, à mesure de sa confrontation avec autrui, des dispositifs permettant l'analyse globale.

Comment peut-on déterminer si le traitement des visages est effectué de façon globale ou locale ? Diverses expériences ont été menées, mais, lorsqu'on manipule les traits des faces présentées, on décide difficilement s'il s'agit d'une analyse globale ou d'une analyse locale : plus on modifie les traits (la bouche, le menton, les yeux...), plus on change aussi la configuration générale du visage. Toutefois, une expérience semble montrer que les formes sont traitées globalement lors de la reconnaissance des visages : on parvient généralement à identifier un visage même lorsque les traits ne sont pas précis. Ainsi, même sur une reproduction très floue du visage de Mona Lisa, on reconnaît la Joconde (voir la figure 4). Il est vraisemblable que l'un

et l'autre des mécanismes – global et local – coexistent et se complètent dans le fonctionnement normal du cerveau.

Les singes, eux aussi, savent reconnaître leurs congénères d'après leur visage : ils repèrent, par exemple, les photographies de la face d'un singe donné, prises sous des angles différents, parmi des photographies d'autres singes. On a également découvert que, par un phénomène d'empreinte, les poussins et les canetons s'attachent au premier objet mobile auquel ils sont exposés. Cependant, s'ils peuvent choisir entre une boîte en rotation ou une poule en peluche, les oisillons préfèrent le second objet. Ce choix paraît s'effectuer à partir de la configuration de la tête et du cou de la poule, comme si les jeunes oiseaux possédaient eux aussi une certaine représentation innée de cette partie du corps qui leur permet de la «reconnaître» et de la choisir.

La reconnaissance d'un visage par le cerveau

Globalement, le traitement d'un visage par le cerveau ne diffère pas de celui de n'importe quel objet observé. En s'appuyant à la fois sur les performances des sujets ayant des lésions cérébrales et sur les expériences neuropsychologiques effectuées chez des sujets sains, Vicki Bruce, de l'Université de Nottingham, et Andrew Young, de l'Université de Durham, ont proposé, en 1986, un modèle théorique. L'identification des visages suit une séquence de plusieurs étapes. Les opérations préliminaires sont communes à toute perception visuelle. Elles consistent en un traitement des formes (l'encodage structurel) qui aboutit à la création d'une représentation mentale (le percept) intégrant les caractéristiques physiques du stimulus dans une configuration d'ensemble. La



Delphine Bailly

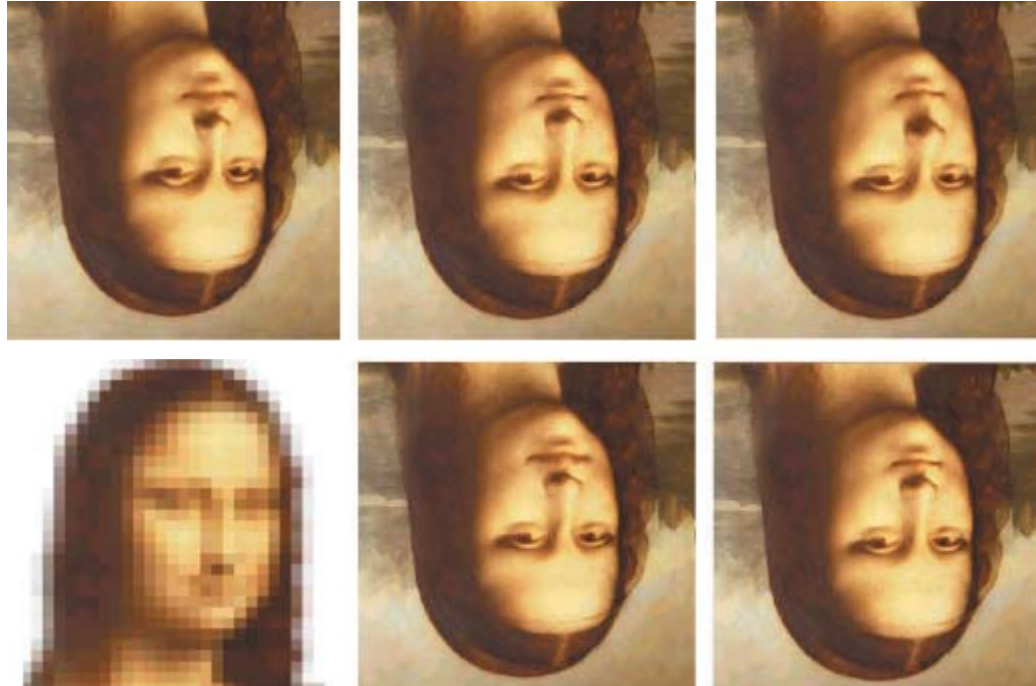
3. LES CARICATURES renforcent les traits des visages qui nous permettent de classer du premier coup d'œil un visage dans diverses

catégories : plébéien ou aristocratique, agressif ou jovial, sympathique ou antipathique.

représentation de visages ainsi constituée dégage l'invariant physiognomique propre à chaque visage ; elle est le support d'un certain nombre d'opérations qui dépendent de systèmes différents, opérant en parallèle. Des propriétés générales, tels l'âge ou le sexe, peuvent être déterminées. L'expression faciale est appréciée. Enfin, le visage est repéré sous des angles de vue variés ou sous divers éclairages.

Cet encodage, le traitement de ces différentes données, n'autorise pas encore à dire si le visage perçu est connu ou non et, à plus forte raison, de quelle personne il s'agit. Au cours de l'étape suivante, des représentations de visages déjà rencontrés, codées et «répertoriées» en mémoire, sont activées. Le sujet est alors capable de préciser si le visage qu'il perçoit correspond ou non à un individu connu et s'il éprouve un sentiment de familiarité. On ignore comment le cerveau «stocke» en mémoire les représentations des visages, mais on sait qu'il en fait un traitement complexe. Par exemple, on reconnaît une personne vieillie dont on n'a gardé que le souvenir du visage jeune. Plus impressionnant encore, la faculté de reconnaître un visage de profil, alors qu'on ne l'a jamais vu que de face (on identifierait Mona Lisa de profil, alors qu'on ne l'a jamais vue que de trois quarts face, l'image du visage subissant une rotation mentale).

La confrontation entre le visage vu et les représentations mentales effectuée, le sujet n'est pas encore en mesure de savoir de quel individu il s'agit. Certes, ce dernier est reconnu comme une personne familière, ou tout au moins déjà rencontrée, mais il reste encore privé de tout ce qui lui confère une personnalité. Un certain nombre d'informations biographiques doivent encore être activées. Ces différentes informations sont récupérées en mémoire : quelle est sa profession ? Comment et où l'a-t-on connu ? Quel rapport entretient-on avec lui ? Une fois les informations biographiques disponibles, le visage appartient désormais à une personne particulière, qui a sa propre histoire, son existence autonome. L'étape ultime, qui achève de définir l'individu à nos yeux, est l'attribution d'un nom. La pathologie nous enseigne que chacune de ces étapes est susceptible de subir des défaillances qui interfèrent différemment avec la reconnaissance des



4. ON RECONNAÎT MONA LISA instantanément même lorsque le visage de la Joconde est artificiellement dégradé (*en bas à gauche*), à condition que le visage soit présenté dans le bon sens. En revanche, le système de synthèse de formes est moins efficace lorsque les faces sont orientées à l'envers, comme ici : sur les cinq visages nets, trois ne sont pas Mona Lisa, pourtant on identifie difficilement les «intruses». Au contraire, quand on retourne la revue, on repère du premier coup d'œil les trois «fausses» Joconde. Cela semble indiquer que le traitement des informations relatives au visage est global.

visages. Selon le stade du dysfonctionnement cognitif, les perturbations de la reconnaissance faciale diffèrent. Chacune des étapes précédentes peut être sélectivement perturbée par une lésion cérébrale.

Les troubles de l'identification des visages

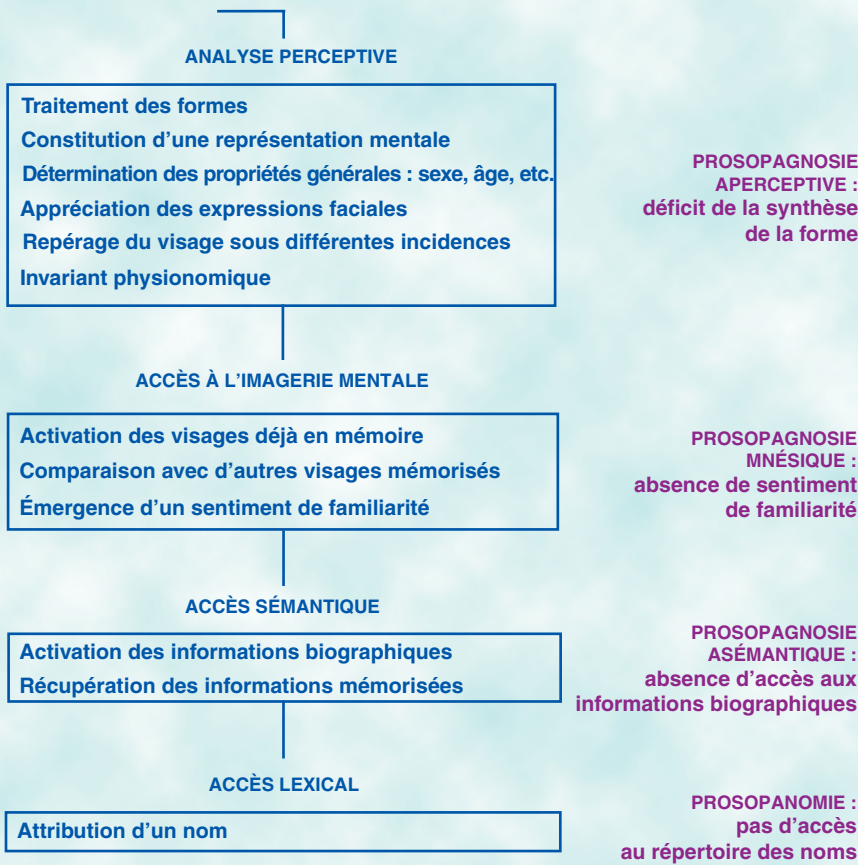
Lorsque le déficit touche la synthèse de la forme, on parle de prosopagnosie aperceptive : le malade ne reconnaît plus la forme générale du visage. Si ce sont des étapes précoces du traitement de l'information qui sont atteintes, le visage paraît très déformé et, au pire, ne possède plus les caractéristiques habituelles d'un visage, lequel peut alors être comparé par le malade à un «Picasso». Ce type de prosopagnosie est très rare et découle de lésions bilatérales des systèmes visuels cérébraux. Les difficultés de reconnaissance sont alors les mêmes quels que soient les stimulus visuels.

Bien entendu, aucun sentiment de familiarité ne se dégage du visage, et aucune connaissance biographique ne peut être récupérée en mémoire. Parfois, la synthèse visuelle s'effectue de façon fragmentaire, trait par trait, le patient ne pouvant saisir d'un coup d'œil la forme globale du visage. Même s'il n'y a pas de déformation à proprement parler du visage, le malade tente de le reconstituer comme

un puzzle, à partir de petits morceaux qu'il tente d'assembler : un œil, le nez, la bouche, des cheveux. Une telle méthode est vouée à l'échec, tant la perception d'un visage dépend de mécanismes d'intégration globale. Les performances des malades sont améliorées quand on leur présente des caricatures, car l'accentuation de certains traits caractéristiques leur fournit des indices précieux. Là encore, le déficit concerne tant la reconnaissance des objets (agnosie) que celle des mots, qui ne peuvent être lus que lettre par lettre (alexie pure). Ce sont des lésions bilatérales des régions visuelles associatives qui sont en cause.

Même lorsque la synthèse visuelle se réalise pleinement, l'étape de confrontation entre le percept et les représentations mentales des visages peut être altérée. On parle alors de prosopagnosie associative, ou mnésique. Les patients voient bien un visage, ils n'ont pas de difficultés à le reconnaître sous divers aspects (angles, éclairage), à le repérer parmi d'autres visages, mais celui-ci n'éveille aucun souvenir. Cela ne signifie pas nécessairement que la mémoire des visages soit détériorée : dans certains cas, le patient est capable de décrire un faciès d'après ses images mentales de visages. Dans ces circonstances, le visage perçu est déconnecté des réseaux codant les visages répertoriés en mémoire : le patient ne peut plus comparer le visage observé

ÉTAPES DE LA RECONNAISSANCE



5. LES DIFFÉRENTES ÉTAPES de la reconnaissance d'un visage : l'analyse perceptive correspond au traitement des formes, et trois systèmes différents opèrent simultanément pour produire un invariant physiognomique. Puis, les différentes étapes de l'imagerie mentale permettent d'identifier que l'on connaît ou non la personne observée, mais, même si la personne est connue, elle est encore dépourvue d'identité. Le traitement sémantique lui attribue des informations biographiques et l'accès lexical permet de la nommer. Chaque étape du traitement peut être perturbée, donnant une maladie et des symptômes différents (en violet à droite).

(et dont l'analyse visuelle peut être parfaite) à ses propres souvenirs de visages. Comme dans la prosopagnosie aperceptive, il n'y a aucun sentiment de familiarité.

Ainsi, les malades sont incapables de départager parmi plusieurs visages ceux des personnalités, ceux des membres de leur entourage et ceux des anonymes : la reconnaissance visuelle des objets ou des mots est respectée, mais les sujets ne reconnaissent plus les visages. Si les lésions en cause recouvrent en partie celles de la prosopagnosie aperceptive, c'est-à-dire des destructions bilatérales des régions occipito-temporales internes (voir la figure 6), on peut parfois rencontrer des lésions unilatérales de l'hémisphère droit, localisées dans les régions occipito-temporales, notamment dans le gyrus fusiforme.

Dans le troisième type de déficit, la prosopagnosie asémantique, il ne s'agit plus à proprement parler d'un problème

de reconnaissance, mais plutôt d'identification. Dans cette situation, les patients analysent parfaitement la structure des visages. Lorsque ceux-ci sont connus, ils déclenchent normalement un sentiment de familiarité et sont identifiés sans erreurs quand ils sont mélangés à des visages anonymes (une différence essentielle avec les prosopagnosies). Toutefois, ces personnes sont incapables de donner des informations biographiques satisfaisantes, telles que l'activité professionnelle de l'individu ou sa nationalité. Ainsi, l'opération de confrontation entre le perçue et les souvenirs de visages s'effectue normalement, et le résultat de cette opération est suffisant pour faire naître le sentiment de familiarité.

En revanche, l'étape suivante, c'est-à-dire l'accès aux informations biographiques, est déficiente. Les patients accèdent alors aux connaissances sémantiques sur les personnes grâce à d'autres voies d'accès : ils ne peuvent fournir aucun renseignement quand on

leur soumet une photographie du général de Gaulle, mais répondront aisément à la question : « Qui était de Gaulle ? » Parfois, ce sont les informations biographiques elles-mêmes qui sont détériorées par une lésion : ces informations ne peuvent être récupérées d'aucune manière. Un tel trouble sémantique est souvent le symptôme des maladies dégénératives qui touchent les régions antérieures des lobes temporaux. Il y a alors une atteinte plus générale des « savoirs », qui déborde souvent le champ des individus et dégrade la signification des objets, des animaux, des aliments, des lieux et des mots.

Dans tous les cas, l'incapacité de reconnaître un visage doit être distinguée de celle de dénommer l'individu correspondant. Dans cette dernière situation, ou prosopagnosie (« anomie » signifie impossibilité de retrouver les mots), les patients savent parfaitement de quelle personne il s'agit : ils peuvent donner toutes les informations biographiques possibles sur elle, démontrant de la sorte qu'ils l'ont parfaitement reconnue et identifiée, mais c'est l'accès au répertoire des noms qui est perturbé. Chacun de nous a déjà fait accidentellement l'expérience d'un tel déficit anémique, lorsqu'il nous arrive de rechercher désespérément le nom d'une personne, que nous connaissons par ailleurs parfaitement. Il s'agit d'un défaut d'accès au lexique des noms, mémoire spécialisée à cet effet, et non à la mémoire des visages ou à la mémoire sémantique. Dans le schéma cognitif, c'est l'ultime étape du processus d'identification qui est perturbée.

La prosopagnosie est un symptôme et non une maladie propre. Elle relève de troubles variés : des accidents vasculaires cérébraux, des traumatismes crâniens, des tumeurs ou des séquelles d'encéphalite infectieuse. Elle se rencontre aussi au cours de la maladie d'Alzheimer, expliquant pourquoi les patients deviennent incapables de reconnaître leurs proches, et lors d'atrophies temporales.

Le prosopagnosique semble avoir perdu l'aptitude à reconnaître ses semblables d'après leur visage. Toutefois, on a montré que si la reconnaissance consciente est généralement abolie, il n'en était pas de même de la reconnaissance inconsciente. Ainsi, en réalisant des enregistrements des potentiels évoqués à la surface du scalp (des ondes cérébrales produites en réaction à une stimulation sensorielle, ou

lors d'une tâche mentale), on a observé que lorsqu'on soumet, dans certaines conditions, des visages familiers à certains prosopagnosiques, une onde cérébrale témoignant d'une reconnaissance inconsciente (ou « implicite ») apparaît, exactement comme chez les sujets sains, alors même que ces personnes affirment ne pas les reconnaître. De même, contrairement aux visages inconnus, les visages familiers entraînent la production d'une réponse cutanée, enregistrée dans la paume de la main, prouvant qu'il se produit chez les patients une réaction affective, alors qu'aucun des visages n'est perçu comme familier.

La prosopagnosie, une porte sur l'inconscient

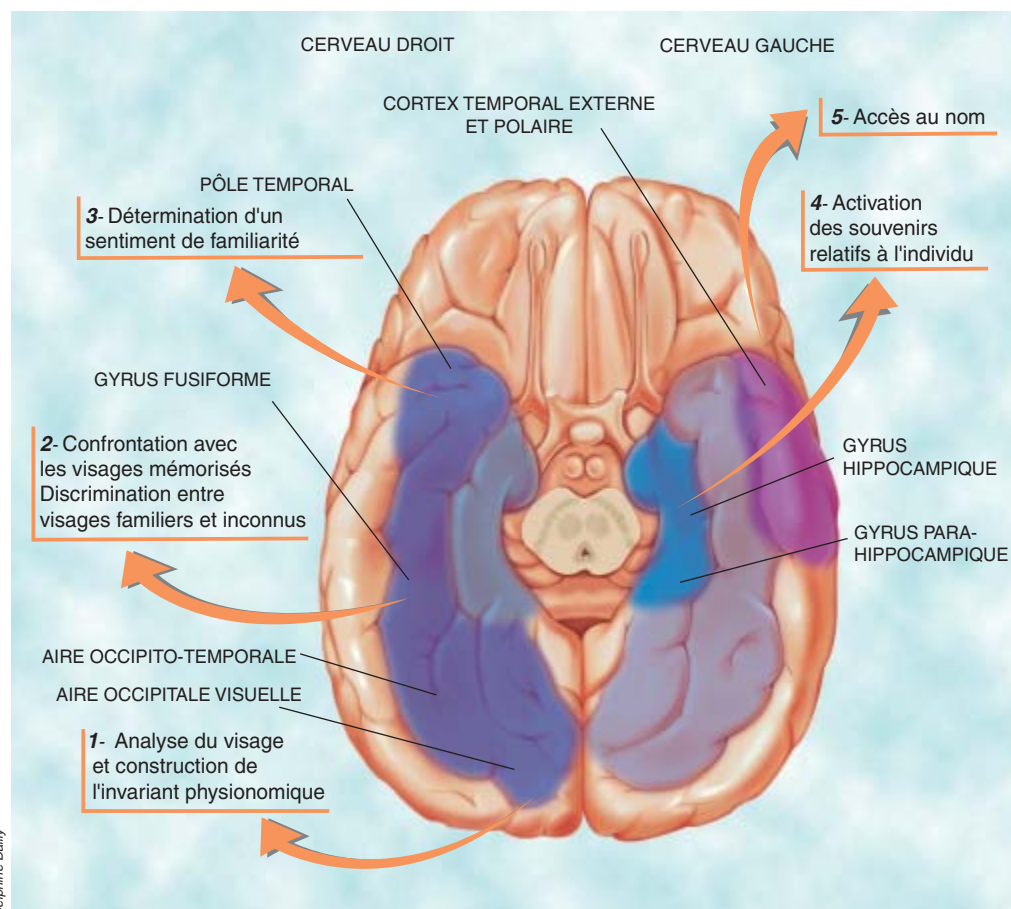
Enfin, dans certains tests neuropsychologiques, les prosopagnosiques démontrent une reconnaissance implicite : tout en n'identifiant aucun visage célèbre, il leur est plus difficile d'apprendre à associer un visage connu et un nom qui ne lui correspond pas (par exemple, le visage de François Mitterrand associé au nom *Chirac*) que d'apprendre à associer un couple visage/nom concordant (par exemple le visage de Raymond Barre associé au nom *Barre*). Cette difficulté traduit une interférence dans l'apprentissage, produite par une reconnaissance implicite. Ce phénomène reflète la dissociation entre le processus de reconnaissance qui peut appartenir au champ de l'inconscient et le sentiment de familiarité, nécessairement conscient, absent au cours de la reconnaissance implicite. Ainsi, l'implicite (l'inconscient neurologique) est intégré au fonctionnement naturel des circuits cérébraux et ne fait pas intervenir les mécanismes psychodynamiques de l'inconscient psychanalytique.

On n'a pas encore bien établi si les systèmes qui traitent les visages dans le cerveau sont uniquement dédiés à cette tâche ou s'ils peuvent être aussi utilisés pour traiter d'autres stimulus visuels, par exemple des objets ou des lieux. Il semble, sur la foi de nombreuses observations cliniques, que l'impossibilité de reconnaître des objets – ou agnosie – puisse survenir indépendamment de la prosopagnosie, et inversement. Toutefois, les deux déficits (agnosie et prosopagnosie) sont souvent simultanés, en raison de la taille importante des lésions cérébrales responsables.

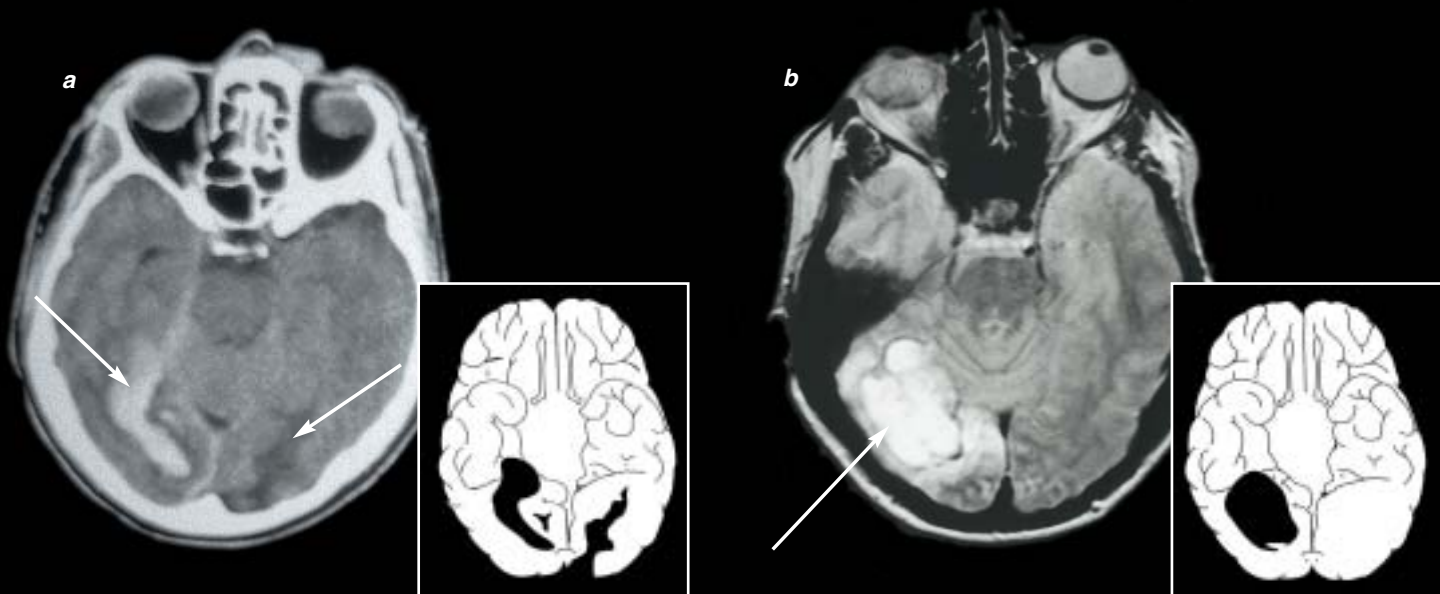
La véritable question est en réalité de savoir si la prosopagnosie ne traduit pas un déficit plus général de la capacité à identifier des entités particulières au sein de diverses catégories. Il ne s'agit pas de la capacité à différencier une face humaine d'un bilboquet, d'une automobile ou d'une face animale, mais de distinguer précisément, parmi la multitude des visages, celui d'une personne particulière. Certains prosopagnosiques, s'ils n'éprouvent pas de difficultés à reconnaître, par exemple, des lunettes ou des voitures, sont en revanche incapables de repérer une paire de lunettes spéciale (la leur, par exemple) parmi d'autres, ou la photographie de leur propre voiture mêlée à des photographies d'autres voitures, ou un monument particulier parmi divers monuments. Cependant, cette constatation n'est pas la règle et, si l'on peut observer un défi-

cit touchant la reconnaissance d'entités particulières, autres que des visages, le déficit ne touche jamais toutes les catégories d'objets.

On a même montré qu'il existe un système indépendant dévolu à l'identification des faces humaines. Un premier prosopagnosique n'en demeurerait pas moins capable d'identifier ses vaches ; un autre, qui avait acquis un troupeau de moutons après être devenu prosopagnosique, pouvait différencier ses bêtes alors qu'il n'identifiait plus les visages humains. Ces arguments cliniques confortent l'hypothèse selon laquelle la prosopagnosie est un déficit sélectif concernant seulement les visages humains. Chez les sujets sains, en utilisant des techniques d'imagerie fonctionnelle du cerveau, c'est-à-dire en visualisant les modifications qui surviennent dans le cerveau durant des tâches mentales,



6. UN MODÈLE DE RECONNAISSANCE DES VISAGES a été récemment proposé. La construction de l'invariant physiognomique a lieu dans les aires occipitales visuelles postérieures (1). Puis les aires occipito-temporales droites assurent la confrontation de l'invariant physiognomique avec les visages mémorisés, et, dans le gyrus fusiforme, visages familiers et inconnus sont différenciés (2) ; de cette confrontation naît ou non un sentiment de familiarité (3) dans le pôle temporal. Toutes ces étapes d'analyse morphologique sont plutôt traitées par les aires du cerveau droit. Au contraire, les étapes d'activation des informations biographiques concernant la personne (4) et la production du nom associé au visage (5) sont davantage commandées par les aires du cerveau gauche (ici le cerveau est vu de dessous, de sorte que l'hémisphère droit est à gauche).



7. DES TROUBLES DE LA RECONNAISSANCE DES VISAGES peuvent résulter de lésions siégeant en différents endroits du cerveau. On a représenté l'image radiologique du cerveau (*coupes dans un plan horizontal*) et un schéma de cerveau vu de dessous, où figurent les lésions responsables de chacun des déficits (*le côté droit du cerveau est sur la gauche des figures et inversement*). Certaines lésions sont bilatérales (*a*) ; sur cette image, on observe une cicatrice d'hématome (*en sombre*) et un hématome récent (*à gauche, en blanc*). Les lésions touchent la région occipitale gauche et les aires asso-

ciatives occipito-temporales droites, notamment le gyrus fusiforme. Le patient perçoit les visages et les objets par fragments, et lit les mots lettre par lettre : il a une prosopagnosie aperceptive, de type intégrative. Lors d'un hématome occipito-temporal droit touchant le gyrus fusiforme (*b*), cette malade a acquis une prosopagnosie associative. Elle perçoit correctement les visages, mais ceux-ci n'éveillent aucun souvenir, et ils lui semblent être des visages d'étrangers. Lorsque la lésion touche les aires temporales internes, le gyrus para-hippocampique et le gyrus hippocampique (*c*), les visages sont

Katsuki Nakamura et ses collègues de l'Université de Kyoto, ont montré que la reconnaissance de lieux familiers ne fait pas intervenir les mêmes régions cérébrales que la reconnaissance des visages familiers. Ainsi, il y aurait des circuits différents, spécifiques d'un type donné de stimulus.

Des neurones dédiés à la reconnaissance des visages

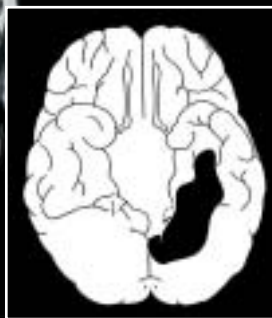
Existe-t-il dans le cerveau des cellules spécialisées dans la reconnaissance des visages ? Pour répondre à cette question, nous devons employer une technique délicate qui consiste à enregistrer les cellules à l'aide de microélectrodes implantées dans le cerveau. On a ainsi mis en évidence chez le macaque et chez le mouton que certains neurones répondent spécifiquement à des visages de congénères, mais non à d'autres formes, qu'il s'agisse de figures géométriques d'assemblages de traits ou d'arrangements désordonnés d'éléments de faces de leur espèce. Plus encore, certains neurones ne réagissent qu'au visage d'un individu particulier. D'autres cellules encore sont activées par l'orientation des visages (face, trois quarts, profil) indépendamment de leur identité. Certaines ne sont activées que par un des éléments de la face, par exemple la bouche ou l'œil. Enfin, certains neurones sont sensibles à

l'orientation du regard, ou encore aux expressions de la physionomie. Ainsi, de nombreuses variétés de cellules nerveuses sont activées spécifiquement par les visages, parmi lesquelles cinq à dix pour cent seulement détectent l'identité d'un individu.

Des résultats proches ont été obtenus chez l'homme, mais ces expérimentations ne peuvent naturellement être réalisées que dans des conditions très particulières, par exemple lors d'enregistrements intracérébraux chez des épileptiques, où une ouverture chirurgicale de la boîte crânienne doit être pratiquée. Ces neurones siègent pour la plupart dans le cortex temporal, mais existent aussi dans le cortex frontal ou dans des structures profondes, telles que le noyau amygdalien ou les noyaux gris de la base, situés dans la profondeur du cerveau. Au sein du lobe temporal, ceux qui réagissent à l'identité sont localisés dans le cortex temporal inférieur, alors que ceux qui réagissent à l'orientation des yeux sont plutôt dans le sillon temporal supérieur, c'est-à-dire sur la face externe de ce lobe. Tous ces neurones réactifs aux visages forment des réseaux étendus dans l'espace, qui ont leur propre spécificité (ils réagissent à l'identité, à l'orientation de la tête et/ou des yeux, aux émotions exprimées, etc.). Aucune des cellules nerveuses qui codent, par exemple, l'identité, ne suffit à elle

seule pour former une représentation des visages : il n'y a pas une cellule qui a « mémorisé » le visage de la grand-mère, ni une cellule pour le visage du président de la République. Notre mémoire des visages est gravée dans des réseaux de cellules spécialisées et interconnectées.

On sait que l'hémisphère cérébral gauche domine pour le langage, et l'on s'interroge : puisque des cellules sont dédiées à la représentation mentale des visages, un hémisphère est-il dominant dans les mécanismes de reconnaissance des visages ? Oui, mais cette dominance n'est pas aussi prononcée que pour le langage. L'hémisphère droit semble avoir un rôle prépondérant dans ce domaine. En pathologie humaine, la plupart des prosopagnosies résultent de lésions bilatérales des structures occipito-temporales internes. Plus celles-ci sont postérieures, proches des aires occipitales primaires, plus le caractère aperceptif de la prosopagnosie est marqué. Dans un certain nombre de tâches de nature perceptive (on doit, par exemple, déterminer le sexe d'un individu à partir de son visage ou appairer des visages d'inconnus vus sous des angles différents), les deux hémisphères sont activés chez les sujets sains, mais c'est le droit qui prédomine. Grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM), on a montré



normalement perçus. Le patient a le sentiment de les connaître, mais il ne peut fournir d'informations les concernant : ni la profession de la personne, ni sa nationalité, ni si elle est morte ou vivante... En revanche, quand on prononce le nom de cette même personne, le patient fournit de nombreuses informations biographiques. Dans ce cas, on admet que la lésion provoque une déconnexion entre la mémoire des visages et les connaissances sémantiques qui s'y rattachent. Enfin, en présence d'une atrophie progressive des aires temporales antérieures (d), le patient est atteint d'une démence

fronto-temporale. Il éprouve un sentiment de familiarité, mais ne peut indiquer la moindre information biographique. Cela est également vrai quand on lui demande qui est «Alain Delon» : il indique que ce nom lui est familier, mais il ne peut pas récupérer le moindre souvenir s'y référant. De nombreuses personnalités ne sont identifiées ni par leur visage ni par leur nom. On en déduit que les informations relatives aux individus, conservées dans la mémoire sémantique, ont été dégradées. Un patient aussi peut avoir ce type de trouble mnésique quand il veut évoquer des animaux ou des aliments.

que des lésions strictement localisées à l'hémisphère droit suffisent parfois à entraîner une prosopagnosie. Au contraire, une lésion limitée à l'hémisphère gauche ne peut avoir cet effet (sauf chez certains gauchers, où les dominances cérébrales sont inversées). Pourtant la dominance est souvent partielle, dans la mesure où, chez certaines personnes, l'hémisphère gauche peut compenser une lésion de l'hémisphère droit, et qu'il faut des destructions symétriques des aires occipito-temporales pour aboutir à une prosopagnosie.

D'où vient cette prédominance de l'hémisphère droit dans le traitement des visages ? Sans doute du mode de traitement des informations visuelles par l'hémisphère droit : ce dernier perçoit le monde visuel d'une façon plus globale que son homologue gauche, et une telle perception holistique offre un avantage pour traiter un visage. Une approche fondée sur la configuration générale est plus performante qu'une analyse séquentielle des traits : un visage n'est pas simplement un assemblage de traits. Pour autant, l'hémisphère gauche n'est pas dépourvu de compétences : il a notamment un rôle prépondérant dans l'accès aux informations sémantiques, permettant de définir «qui est cet individu». En imagerie métabolique par tomographie par émission de positons (TEP), on a mon-

tré que, dans des épreuves sémantiques, l'hémisphère gauche est activé (on demandait aux personnes testées de dire si le visage présenté était celui d'un homme politique).

Ainsi, nous avons constaté qu'une lésion des régions temporales internes de l'hémisphère gauche empêchait un de nos patients de retrouver les informations biographiques des personnes dont on lui montrait le visage ; en revanche, il retrouvait ces mêmes informations biographiques quand on lui indiquait le nom de ces personnes. Dans ce cas, le déficit cognitif résulterait d'une déconnexion entre la mémoire des visages, respectée, et les connaissances sémantiques sur les individus. Un tel lien dépend des structures temporales internes, tels le gyrus para-hippocampique et le gyrus hippocampique, qui constituent des aires de convergence pour de multiples régions corticales, permettant de mettre en relation des informations de natures variées (visuelles ou verbales, par exemple).

Grâce à l'étude neuropsychologique minutieuse des patients atteints de lésions cérébrales, mais aussi grâce aux techniques récentes d'imagerie fonctionnelle qui renseignent sur le fonctionnement du cerveau de sujets sains lors de diverses tâches, on peut proposer un schéma de reconnaissance des visages.

Vers un modèle de reconnaissance des visages

Les premières étapes – la formation du percept et l'identification des invariants physiognomiques – dépendent des régions occipitales associatives. Les structures droites pourraient, dès ce stade, dominer partiellement et apprécier globalement la forme générale de la face. L'étape suivante de confrontation entre le percept et la mémoire des visages met en jeu les aires associatives occipito-temporales antérieures. La dominance droite y est sans doute plus franche. K. Nakamura et ses collègues ont observé que la discrimination entre visages familiers et inconnus active surtout, dans l'hémisphère droit, le cortex temporal inférieur (gyrus fusiforme) et la partie la plus antérieure du lobe temporal, ou pôle temporal.

Par ailleurs, Nadim Shah et ses collègues de l'Université de Jülich, en Allemagne, ont montré que la familiarité avec les visages (des visages d'individus que les sujets connaissent personnellement) active une région postérieure du «cerveau des émotions» (le système limbique), en l'occurrence le cortex rétro-splénial. Le sentiment de familiarité fait sans doute aussi appel aux structures préfrontales droites : lorsque celles-ci sont lésées, on observe des sentiments

Les mathématiques sur les planches



À l'hôpital Sainte-Anne, le psychiatre qui vient de recevoir dans son service une jeune femme véhémement, disjonctée, trouvée à la rue, laisse tomber son diagnostic : mathématopathie aiguë ! À écouter les bribes du discours décousu de la malade, on découvre que l'exclusion a commencé pour elle à l'école, son échec en mathématique s'avérant catastrophique pour ses études et sa santé mentale. **Dernier numéro**, c'est la pièce, en un acte, d'Olivier Dutailis racontant la folle parade imaginée par cette femme pour régler, à jamais, son compte avec le monde des chiffres, un monde qui, par ailleurs, la fascine comme une inaccessible poésie de l'esprit. Interprété par Joëlle Serane, ce spectacle a été créé, en octobre 1999, au théâtre du Campagnol et présenté au Festival d'Avignon in en juillet 2000. Le 20 octobre 2001, à 15 heures, c'est le Palais de la Découverte* qui ouvre ses portes pour une représentation unique et gratuite donnée dans le cadre de la Fête de la science. Mais ce n'est pas tout ! Mathématopathes et mathématophiles pourront ensuite se retrouver dans un **Bar des sciences** pour rencontrer l'auteur et dialoguer avec **Didier Nordon**, mathématicien et professeur à l'université de Bordeaux 1. Lui tient un autre discours : « Les mathématiques, c'est l'évidence même ! »

*Palais de la Découverte : av. Franklin Roosevelt - 75008 PARIS - Marie-José Loverini : 01 40 74 86 58



POUR LA SCIENCE

inappropriés de familiarité, qui se traduisent par des fausses reconnaissances (les patients croient reconnaître une personne qu'elles voient pour la première fois).

Je n'est pas un autre

La région frontale droite attribuerait le sentiment de familiarité perçu grâce aux aires temporo-lobiques à sa source exacte en « décidant » si le visage qui semble familier est bien celui de la personne correspondante ou celui de quelqu'un d'autre qui lui ressemble. De façon plus précise encore, il semble que l'hémisphère droit soit impliqué dans la reconnaissance du « soi ».

Grâce à un ordinateur, Julian Keenan et ses collègues de la Faculté de médecine Harvard, à Boston, ont ainsi fabriqué une figure chimérique à partir de deux visages : celui d'une personnalité célèbre (Marylin Monroe) et celui du sujet. En inactivant temporairement (quelques minutes) l'hémisphère gauche par injection dans la carotide gauche d'un barbiturique, ils ont montré que les sujets (grâce à l'activité restante de leur hémisphère droit) reconnaissent leur propre visage dans cette image composite ; inversement, quand l'hémisphère droit est temporairement inactivé, ce sont les traits de la personnalité célèbre qui sont identifiés. Ainsi, on ne reconnaît pas autrui comme on se reconnaît soi-même.

Les aires temporales internes (le gyrus para-hippocampique et le gyrus hippocampique) interviennent pour raccorder le visage reconnu à l'ensemble des connaissances dont nous

disposons sur l'individu correspondant. Comme ces informations sont en grande partie codées sous une forme verbale, les régions temporales gauches jouent sans doute là un rôle déterminant. Ces aires temporales internes font partie du système limbique (mémoire et émotions), et sont aussi nécessaires à l'acquisition des nouveaux visages (elles permettent le codage nécessaire à la mémorisation). Enfin, des aires de médiation spécialisées dans le traitement des noms des personnes, localisées dans la région antérieure et externe du lobe temporal gauche ainsi que dans les aires temporales internes, serviraient à activer les zones du langage pour que l'on puisse nommer les individus.

Ainsi, la reconnaissance des visages fait intervenir de façon complémentaire des régions étendues des deux hémisphères. L'hémisphère droit dispose des compétences adaptées à l'analyse visuelle et à la confrontation avec les visages mémorisés. Il attribue le sentiment de familiarité à sa source (je connais ce visage). À l'hémisphère gauche revient de façon préférentielle l'accès aux informations biographiques (je sais qui est cette personne) et la capacité de les verbaliser. Il produit également le nom, qui achève d'individualiser le sujet.

Depuis quelques années, nos connaissances sur le traitement des visages ont fait des progrès considérables, même si bien des questions demeurent ouvertes. Plus qu'une « fonction », la reconnaissance des visages constitue une compétence du cerveau, qui met en jeu des cellules et des aires spécialisées, et une latéralisation cérébrale spécifique.

Patrick VERSTICHEL est neurologue au Centre hospitalier intercommunal de Créteil. En 2000, il a reçu le prix de neurologie Victor et Clara Soriano de l'Académie nationale de médecine pour ses travaux sur les troubles de la reconnaissance des visages.

J. SERGENT, *Face perception and the right hemisphere*, in *Thought without language*, sous la direction de L. Weiskrantz, Oxford University Press, pp. 108-131, 1988.

V. BRUCE et P. GREEN, *La perception visuelle, physiologie, psychologie et écologie*, Presses Universitaires de Grenoble, pp. 416-435, 1993.

H. DAMASIO et al., *A neural basis for lexical retrieval*, in *Nature*, vol. 380, pp. 499-505, 1996.

J. CAMBIER et P. VERSTICHEL, *Le cerveau réconcilié*, Masson, 1998.

P. VERSTICHEL et L. CHIA, *Trouble d'identification des visages après lésion hémisphérique gauche*, in *Revue neurologique*, vol. 155, pp. 937-943, 1999.

B. DE GELDER et W. ROUW, *Paradoxical configuration effects for faces and objects in prosopagnosia*, in *Neuropsychologia*, vol. 38, pp. 1271-1279, 2000.

G. ASSAL, *Prosopagnosie*, in *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, vol. 185, n° 3, pp. 525-536, 2001.

P. VERSTICHEL, *Troubles de la reconnaissance des visages : reconnaissance implicite, sentiment de familiarité, rôle de chaque hémisphère*, in *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, vol. 185, n° 3, pp. 537-553, 2001.

ABONNEZ-VOUS À **POUR LA SCIENCE**

L'univers des sciences tel que vous ne l'avez jamais vu



✓ **Votre 1^{er} avantage**

En vous abonnant au magazine *Pour la Science*, vous accédez tous les mois à une information scientifique de qualité : les chercheurs vous expliquent l'actualité de la recherche internationale.

✓ **Votre 2^e avantage : 25% de remise**
soit 1 an d'abonnement (12 n^{os})
56€ seulement !

✓ **Votre 3^e avantage**

Pendant 1 an vous recevez votre magazine chez vous.
Vous pouvez aussi consulter à tout moment
la version numérique sur

www.pourlascience.fr



BULLETIN D'ABONNEMENT

à retourner accompagné de votre règlement à : Service Abonnements • Pour la Science • 8, rue Férou • 75278 Paris cedex 06

POUR LA SCIENCE

☐ **Oui, je m'abonne au magazine *Pour la Science* pendant 1 an**

soit 12 numéros et leur version numérique **au prix de 56€** (au lieu de 74,70€, prix de vente au numéro).

Offre valable uniquement en France métropolitaine. Participation aux frais de port pour l'étranger à ajouter au prix de l'abonnement : France d'Outre-Mer et Europe 12€ - autres pays 25€.

☐ **Je préfère m'abonner uniquement à la version numérique du magazine *Pour la Science* pendant 1 an**

soit 12 numéros consultables et téléchargeables sur www.pourlascience.fr **au prix de 48€** (au lieu de 74,70€, prix de vente au numéro).

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél.* : _____

*facultatif

☐ Je souhaite recevoir la newsletter *Pour la Science* à l'adresse e-mail suivante :

@ _____

☐ J'accepte de recevoir également les informations des partenaires de *Pour la Science*.

Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

Numéro de carte _____

Date d'expiration _____

Clé _____

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire