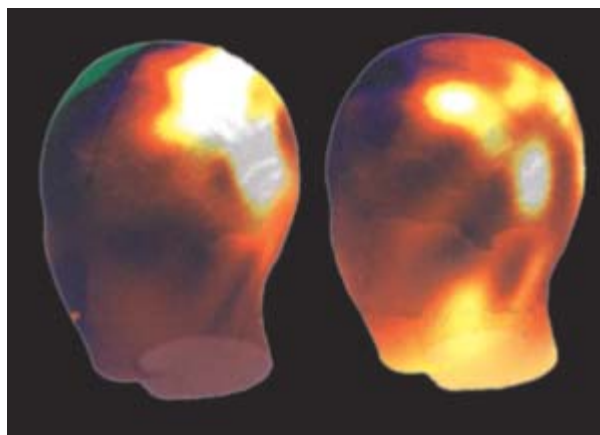


sémantique, par exemple *éléphant-LION*, ou encore à une catégorie sémantique différente, telle *vélo-LION*. La tâche des sujets est, soit de dénommer les objets représentés par le dessin cible, soit de les classer dans deux catégories : vivant ou manufacturé. Lorsque le dessin amorce appartient à la même catégorie sémantique que le dessin cible (*éléphant-LION*), les réponses sont plus rapides que lorsque le dessin amorce n'appartient pas à la même catégorie sémantique (*vélo-LION*). Par ailleurs, les performances sont identiques, quand l'amorce appartient à la même catégorie sémantique (*éléphant-LION*) ou quand elle est identique à la cible (*lion-LION*).

Cela suggère que l'activation sémantique subliminale ne considère pas les détails. Après cette expérience, les expérimentateurs ont demandé aux mêmes sujets de classer, cette fois, les amorces subliminales (vivant ou manufacturé) et ils ont vérifié que les sujets répondent au hasard ; autrement dit, ils sont incapables d'identifier de façon consciente les amorces, alors qu'elles influent sur leurs performances.

Imagerie cérébrale

Dans une expérience récente, Stanislas Dehaene du Service hospitalier Frédéric Joliot du CEA à Orsay et ses collègues ont abordé le problème de la perception subliminale en utilisant une tâche de comparaison de nombres. Dans cette expérience, on présente des chiffres à des sujets, qui doivent décider, le plus rapidement possible, si le nombre-cible présenté est plus grand ou plus petit que 5. S'il est plus petit, ils doivent appuyer sur un bouton situé à gauche de l'écran, et s'il est plus grand, sur un autre, à droite. Avant la présentation de ce nombre, et sans que le sujet n'en soit averti, on présente une amorce subliminale. Par exemple, la cible 7 peut être précédée par l'amorce 9 (l'essai est dit congruent, car 9 et 7 sont tous les deux plus grands que 5), ou encore par l'amorce 3 (l'essai est dit non-congruent, car, contrairement à 7, 3 est plus petit que 5). Les temps de réponse sont plus courts pour les essais congruents que pour les essais non-congruents.



3. LES ZONES DU CERVEAU impliquées dans le traitement de l'information subliminale (à gauche) sont liées aux processus sensoriels, mais le cortex moteur, responsable de la commande des mouvements, intervient aussi (zone blanche à gauche), comme le montrent ces clichés d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, obtenus par S. Dehaene du Service hospitalier Frédéric Joliot du CEA à Orsay et ses collègues. Les zones activées sont comparables à celles impliquées lors du traitement de l'information consciente (à droite).

L'analyse de l'activité cérébrale par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, sensible aux variations de débit sanguin cérébral dues à une action mentale, indique, par ailleurs, que la présentation du stimulus non perçu consciemment suscite une activation de la région qui commande la main donnant la réponse (voir la figure 3). Ainsi, si le nombre présenté est 3, la commande de la main gauche est activée, puisqu'elle est associée à la réponse «plus petit». Un tel résultat indique que l'amorce elle-même a été classée comme étant supérieure ou inférieure à 5. On conçoit que les temps de réponse soient supérieurs dans les cas des essais non-congruents : l'amorce est, par exemple, inférieure à 5 de sorte que la main gauche est «pré-

activée». Puis vient un signal contradictoire puisque la cible est supérieure à 5. La préactivation doit être inhibée et la main droite activée. Dans ces conditions de conflit entre l'amorce et la cible, les temps de réaction s'allongent.

Les résultats sont identiques que les stimulus soient des nombres ou des mots, par exemple, neuf et ensuite sept, ou une combinaison telle que neuf et ensuite 7. Le cerveau classe les chiffres selon leur valeur, soit selon leur «signification» en quelque sorte. L'effet observé constitue donc une démonstration de perception subliminale de nature sémantique.

Ces travaux expérimentaux sont destinés à mettre à l'épreuve l'hypothèse de la perception subliminale. Ils portent sur le traitement des propriétés formelles (visuelles, orthographiques, phonologiques...) et sémantiques des stimulus (mots, objets, nombres). La convergence des résultats obtenus à l'aide de nombreuses procédures expérimentales étaye le phénomène de la perception subliminale. Ces découvertes ont été rendues possibles grâce à l'amélioration de la méthodologie en psychologie cognitive, mais les interprétations théoriques restent à élaborer. La multiplicité des recherches actuelles, conduites aussi bien en Europe qu'aux États Unis, montre combien psychologues et neurobiologistes veulent élucider les mécanismes cérébraux de ce phénomène étonnant.

Ludovic FERRAND mène des recherches au Laboratoire de Psychologie Expérimentale (UMR 8581), CNRS et Université René Descartes, dirigé par Juan SEGUI.

BAARS B. (1997). *In the theater of consciousness: The workspace of the mind*. New York : Oxford University Press.

CHANNOUF A. (2000). *Les images subliminales*, Paris : Presses Universitaires de France.

DEHAENE S. et al. (1998). *Imaging unconscious semantic priming*, *Nature*, 385 (8 octobre), 597-600.

DIXON N. (1981). *Preconscious processing*, New York : Wiley.

DELL'ACQUA R., & GRAINGER J. (1999).

Unconscious semantic priming from pictures, *Cognition*, 73, B1-B15.

FERRAND L., Grainger J., & Segui J. (1994). *A study of masked form priming in picture and word naming*, *Memory & Cognition*, 22, 421-441.

KIHLSTROM J. (1987). *The cognitive unconscious*. *Science*, 237 (septembre), 1445-1452.

MERIKLE P., JOORDENS S., & STOLZ, J. (1995). *Measuring the relative magnitude of unconscious influences*, *Consciousness and Cognition*, 4, 422-439.

WEISKRANTZ L. (1997). *Consciousness lost and found : A neuropsychological exploration*, Oxford, UK : Oxford University Press.

Les secrets des poussières d'étoiles

J. MAYO GREENBERG

De minuscules grains de poussière flottent dans l'espace interstellaire : ils ont eu une influence notable sur l'évolution de la Galaxie.

Angle-Australian Observatory/Royal Observatory, Edinburgh



1. LA NÉBULEUSE DE LA TÊTE DE CHEVAL (*à droite*) est un immense nuage de poussières et de gaz situé dans la constellation d'Orion, à environ 1 000 années-lumière de la Terre. L'étoile brillante (*à gauche*) est Zêta Orionis, l'étoile la plus orientale de la ceinture d'Orion.

Regardez le ciel par une nuit claire et observez la Voie Lactée, ce voile laiteux formé des milliards d'étoiles de notre Galaxie : dans certaines zones, vous verrez des taches sombres. Selon William Herschel, astronome anglais du XVIII^e siècle, ces taches étaient des «trous» dans le ciel, c'est-à-dire des zones vides. Puis, au début du XX^e siècle, les astronomes ont découvert que ces taches obscures étaient d'énormes nuages de poussières qui interceptent la lumière des étoiles situées derrière eux. Les particules de cette poussière cosmique sont minuscules : leur diamètre est de l'ordre du centième de celui des particules qui s'accumulent sur les meubles. Pourtant, cette poussière a eu une influence notable sur l'évolution de la Galaxie et sur la formation des étoiles dans l'Univers.

Jusque vers 1950, de nombreux astronomes ne voyaient dans cette poussière qu'un obstacle à l'observation des étoiles lointaines. Au contraire, depuis quelques années, ces grains de matière interstellaire sont étudiés assidûment à l'aide de télescopes terrestres ou spatiaux : grâce aux données ainsi recueillies, les astronomes ont décrit l'évolution de cette poussière d'étoiles. Comment est-elle apparue ? De quoi est-elle formée ? Comment évolue-t-elle ? Avec Aigen Li, aujourd'hui à l'Université de Princeton, nous avons élaboré une théorie, nommée modèle unifié de la poussière, qui, même si elle n'est pas encore validée, explique les récentes observations.

Dans la Voie Lactée, les nuages de poussières sont concentrés dans le plan de la Galaxie, surtout le long des bords internes de ses bras spiraux. Dans ces zones hétérogènes, les étoiles forment des amas denses dispersés parmi des nuages de poussières. Ces derniers absorbent davantage les longueurs d'ondes bleues et ultraviolettes de la lumière stellaire que les rouges et les infrarouges. Aussi, quand les astronomes observent des étoiles à travers la poussière, elles apparaissent plus rouges qu'elles ne le sont en réalité. De même, le Soleil est plus rouge quand il est proche de l'horizon, car les poussières et le gaz de l'atmosphère terrestre dispersent sa lumière.

Rencontre des trois types

On a étudié comment l'intensité lumineuse diminue en fonction de la longueur d'onde et des substances traversées et l'on en a déduit qu'il existe trois types de grains de poussière. Les plus gros sont allongés, ils ont un diamètre de l'ordre de 0,2 micromètre et une longueur double, c'est-à-dire qu'ils sont de la taille des particules de la fumée de cigarette. Ces particules, qui arrêtent la lumière visible, représentent environ 80 pour cent de la masse totale des poussières interstellaires. Chaque grain comporte un noyau «rocheux», entouré d'un manteau de matériau organique et de glace (voir la figure 3).

Sur la courbe d'extinction, on observe un pic d'absorption dans l'ultraviolet, qui correspond à la présence de grains plus petits. Ils ont un diamètre de l'ordre de 0,005 micromètre et constituent 10 pour cent de la masse totale des poussières. Ces grains sont sans doute constitués de carbone amorphe et d'hydrogène, mais sont vraisemblablement dépourvus d'azote et d'oxygène.

Enfin, les particules du troisième type, qui composent encore 10 pour cent de la masse des poussières cosmiques, sont encore plus petites (0,002 micromètre de diamètre) : elles interceptent l'ultraviolet lointain. Ces grains seraient constitués de molécules proches des

hydrocarbures polycycliques aromatiques, présents dans les gaz d'échappement des automobiles.

Très éloignés des étoiles, ces grains de poussière sont extrêmement froids : leur température ne dépasse parfois pas cinq degrés au-dessus du zéro absolu, soit -268 °C. Dès les années 1940, l'astronome hollandais Henk van de Hulst a proposé une théorie, aujourd'hui surnommée le modèle de la glace sale, selon laquelle une partie des atomes présents dans l'espace interstellaire (l'hydrogène, l'oxygène, le carbone et l'azote) adhérerait à la surface froide des grains et formerait des couches de glace d'eau, de méthane et d'ammoniaque.

Toutefois, ce n'est qu'au début des années 1970 que ce modèle a été confirmé. En étudiant les spectres infrarouges de la lumière stellaire traversant les nuages de poussière, les astrophysiciens ont détecté les raies d'absorption caractéristiques des silicates (constitués de silicium, de magnésium et de fer), qui composent le cœur des grains de poussière du premier type. À la même époque, ils ont également observé la raie d'absorption de l'eau gelée dans le spectre infrarouge. Ultérieurement, on a montré que ces grains contenaient du monoxyde et du dioxyde de carbone, du formaldéhyde et d'autres composés. Ces substances sont volatiles : elles gèlent au contact des grains de poussière froids, mais elles s'évaporent lorsque la poussière se réchauffe. À l'inverse, les substances qui constituent les noyaux des grains de poussière sont réfractaires : elles restent solides même aux températures élevées.

... poussière tu redeviendras

Les poussières interstellaires constituent environ un millième de la masse de la Voie Lactée, soit des centaines de fois la masse totale de toutes les planètes de la Galaxie ! Cependant, la densité de ces poussières est faible : en moyenne, on trouve un grain de poussière par million de mètres cube d'espace. Toutefois, même si la densité des poussières est faible, la lumière stellaire qui les traverse sur des milliers d'années-lumière finit par être partiellement absorbée. Pourquoi notre Galaxie est-elle si poussiéreuse ?

Au début de l'Univers, il y a environ 15 milliards d'années, la poussière n'existait pas. Comme toutes les autres galaxies, la Voie Lactée n'était qu'un mélange d'hydrogène, d'hélium et de



Anglo-Australian Observatory/Royal Observatory, Edinburgh

2. LES NUAGES DE POUSSIÈRES, tels ceux de la nébuleuse de la Rosette sont des pouponnières d'étoiles. Les grains de poussière qu'ils contiennent empêchent le rayonnement d'y pénétrer et facilitent ainsi l'effondrement gravitationnel de ces nuages qui formeront les étoiles. Lors d'un tel effondrement, l'essentiel des poussières est éjecté vers des régions vides de l'espace.