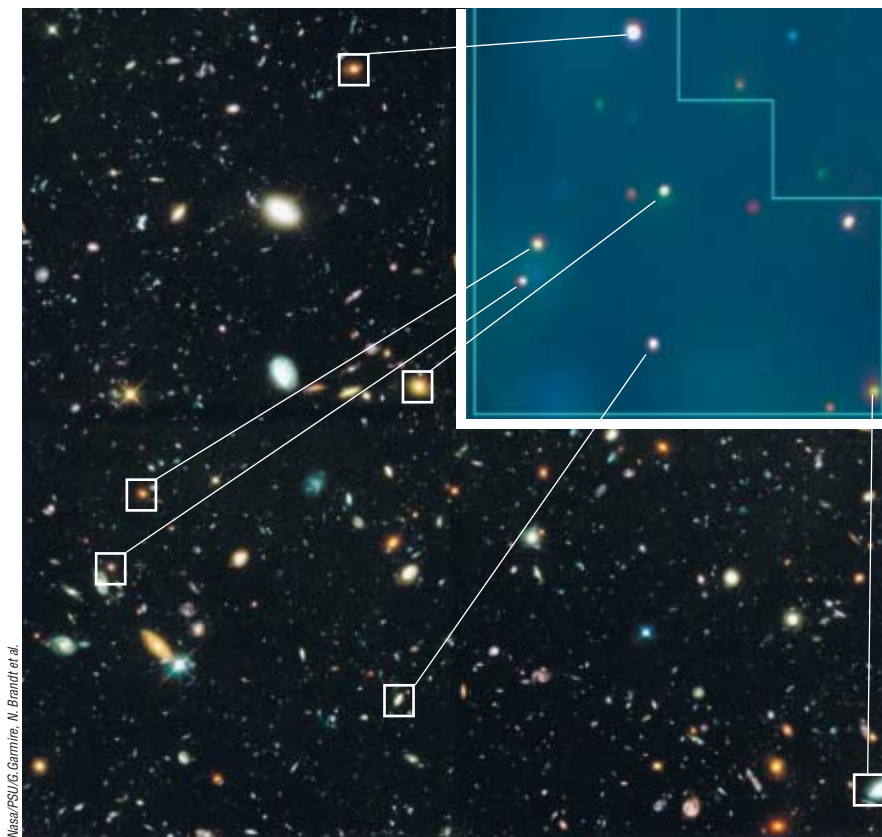




NASA/PSU/G. Garmire, M. Brandt et al.

6. DES GALAXIES DISTANTES dont on sait maintenant qu'elles sont pleines de poussière interstellaire apparaissent sur cette image connue sous le nom de **champ profond de Hubble**. Sur l'image de la même région réalisée par le satellite **Chandra** sensible aux rayons X (**dans le cartouche**) apparaissent des sources très brillantes – probablement des trous noirs supermassifs – auxquelles on peut associer des galaxies apparaissant sur l'image reprise dans le domaine visible.

d'entre nous (G. Hasinger) a utilisé le télescope spatial sensible aux rayons X, *XMM-Newton*, et le satellite sensible à l'infrarouge *ISO*, pour estimer que les noyaux actifs contribuent à environ 15 pour cent du fond infrarouge.

Elise Archibald et ses collègues du Centre d'astronomie de Hilo, à Hawaï, ont expliqué ces découvertes par une séquence naturelle de formation galactique. Selon leur scénario, chaque galaxie se forme autour d'un petit trou noir d'environ 1 à 1 000 masses solaires qui lui sert de graine. À ce moment, le flux de la galaxie est essentiellement dû à la lumière stellaire. Par la suite, le trou noir croît rapidement en avalant de la matière. Après environ 500 millions d'années, le trou atteint un milliard de masses solaires et devient si brillant qu'il masque l'éclat des étoiles : un quasar est né. Après une période d'intense activité, ce quasar ayant aspiré le combustible disponible s'endort jusqu'à ce que, à la faveur d'une rencontre rapprochée, une autre galaxie lui fournisse du gaz qui tombera à nouveau vers le centre, où que les deux

trous noirs galactiques fusionnent. Simultanément, ces événements déclenchent d'intenses flambées de natalité stellaire qui enrichissent l'ensemble en poussière et se signalent par une émission infrarouge intense.

Certaines pièces manquent encore à ce puzzle. Aurions-nous, par exemple, oublié, dans notre recensement, des galaxies trop diluées et trop étendues pour que nos instruments les détectent ? Par ailleurs, nous ne savons pas expliquer le fond diffus gamma. Nous ne connaissons principalement qu'un type de source susceptible de le produire : les blazars. Ce sont des noyaux actifs de galaxies, plus gros et plus turbulents encore que ceux qui contribuent au fond diffus X. Toutefois, les synthèses de population que l'on réalise à partir de ce que nous savons des blazars ne rendent pas compte de tout le flux gamma du fond diffus. De nouveaux relevés, plus complets, seront nécessaires. Des instruments dans les domaines infrarouge, radio et X, devraient bientôt voir le jour, qui nous aideront dans cette tâche.

La clarté nocturne

Il n'y a pas si longtemps, les astronomes se demandaient pourquoi le ciel nocturne est noir. En effet, dans un univers infini empli d'étoiles, toute direction prise au hasard devrait, à un moment ou un autre, rencontrer une étoile. Certes, plus cette étoile est lointaine et plus son éclat nous paraît faible. Toutefois, cet effet est exactement compensé par le fait que, si les étoiles sont réparties de façon assez uniforme dans l'Univers, le nombre d'étoiles vues croît comme le carré de la distance à laquelle on regarde. De ce fait, le ciel devrait être aussi lumineux que la surface du Soleil. En 1848, ce mystère, connu sous le nom de paradoxe d'Olber, fut résolu par... Edgar Allan Poe ! Dans un poème en prose intitulé *Eurêka*, il suggéra que la noirceur de la nuit prouve que l'Univers n'a pas toujours existé et que les étoiles n'ont pas eu le temps de l'emplir de leur lumière. Cette hypothèse a résisté à l'épreuve du temps et elle est considérée, désormais, comme une des grandes observations cosmologiques sur lesquelles repose la théorie du Big Bang. Toutefois, nous savons aujourd'hui que le ciel nocturne est imprégné d'un faible fond diffus constitué de toutes les longueurs d'onde. Grâce, en partie, à la théorie du Big Bang et au modèle standard de la cosmologie, nous avons fait beaucoup de progrès dans l'explication de ce fond diffus... mais il est amusant de penser que, tandis que les penseurs du XIX^e siècle ont expliqué pourquoi la nuit n'est pas d'une clarté aveuglante, nous devons, quant à nous, comprendre pourquoi elle n'est pas totalement noire.

Günther HASINGER est astronome à l'Institut Max Planck de Garching, en Allemagne. Roberto GILLI est astrophysicien à l'Observatoire de Florence, en Italie.

G. HASINGER, R. BURG, R. GIACCONI, M. SCHMIDT, J. TRÜMPER et G. ZAMORANI, *The ROSAT Deep Survey I : X-ray Sources in the Lockman Field*, in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 329, n° 2, pp. 482-494, janvier 1998.

R. GILLI, M. SALVATI et G. HASINGER, *Testing Current Synthesis Models of the X-ray Background*, in *Astronomy and Astrophysics*, vol. 366, n° 2, pp. 407-417, février 2001.

G. LAGACHE et B. GUIDERDONI, *La face cachée des galaxies*, in *Pour la Science*, n° 296, pp. 52-59, juin 2002.

La correction des erreurs de raisonnement

OLIVIER HOUDÉ • SYLVAIN MOUTIER • LAURE ZAGO • NATHALIE TZOURIO-MAZOYER

Pour la première fois, on a mis en évidence que les erreurs de raisonnement ont un support cérébral : l'activation des «mauvaises» aires cérébrales entraîne des erreurs. Quand on apprend à inhiber ces activations perturbatrices, la déduction logique se met en place.

Depuis Aristote, on sait que l'essence du raisonnement humain est le *logos*, c'est-à-dire à la fois la raison (logique) et le langage. Toutefois, au XVII^e siècle, René Descartes nous a aussi montré, dans sa *Méthode*, que l'homme doit apprendre à rediriger son esprit, des erreurs de raisonnement vers la pensée logique.

Selon Jean Piaget (1896-1980), psychologue de l'enfant à l'Université de Genève, c'est à l'adolescence, vers 14-15 ans, que se met en place la pensée logique ou formelle, dite hypothético-déductive. Piaget s'est attaché à montrer que la logique est la forme optimale de l'adaptation biologique, construite par étapes successives, du cerveau du bébé à celui de l'adolescent, c'est-à-dire des adaptations sensorielles et motrices élémentaires aux adaptations cognitives, d'abord concrètes, puis formelles. La clé du développement et du fonctionnement cognitifs est alors la coordination logique des informations. Si Piaget, biologiste de formation, mais psychologue de profession, envisageait bien une réalité cérébrale correspondant au stade des opérations formelles, il lui manquait les méthodes d'imagerie cérébrale pour l'observer. Il s'est donc limité à l'étude expérimentale des mécanismes psychologiques des opérations logiques.

Contrairement à cette théorie, la psychologie cognitive du raisonnement a démontré durant les années 1960-1980 que, dans certaines situations, les adolescents et les adultes – logiques selon Piaget – font systématiquement des erreurs de déduction, nommées biais de raisonnement, ce qu'avait pressenti Descartes. Dès lors, un enjeu important des neurosciences cognitives, de la psychologie du développement et des sciences de l'éducation est l'étude des bases cérébrales des erreurs ou des biais de raisonnement, et celle des mécanismes qui permettent de rediri-

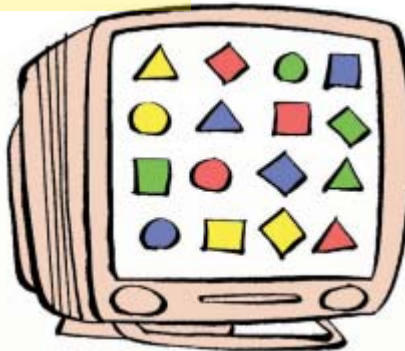
ger l'esprit vers la pensée logique. Pour ce type d'étude, on utilise la procédure de l'apprentissage expérimental – une sorte de «pédagogie de laboratoire», qui modifie la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction contrôlée avec l'environnement.

Du cerveau perceptif au cerveau logique

C'est ce que nous avons entrepris dans des expériences d'imagerie cérébrale fonctionnelle utilisant la technique de la tomographie par émission de positons, laquelle donne accès à l'activité cérébrale. Ces études ont été réalisées dans le Groupe d'imagerie neurofonctionnelle dirigé par Bernard Mazoyer. On demande, par exemple, aux participants de lire, sur un écran d'ordinateur, une règle déductive du type : «S'il y a un carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite», puis de sélectionner avec la souris de l'ordinateur deux formes parmi diverses figures affichées (des formes géométriques simples de couleurs variées), celles qui rendent la règle vraie : la totalité des personnes placent un carré rouge à gauche et un cercle jaune à droite. On peut aussi introduire une négation dans le consé-

quent (la deuxième proposition) : «S'il y a un losange bleu à gauche, alors il n'y a pas de carré vert à droite.» Dans ce cas aussi, tous les participants réussissent (voir la figure 2).

Rien d'étonnant. En revanche, on est davantage surpris par le résultat d'un autre test. La nouvelle règle déductive est : «S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite», et l'on doit sélectionner avec la souris deux formes géométriques qui rendent la règle fausse. Les psychologues et les logiciens nomment ce type de test une tâche de réfutation de règles conditionnelles.



1. LES DIFFÉRENTES EXPÉRIENCES réalisées sur des volontaires par les auteurs utilisent un ordinateur. On doit sélectionner les formes et les couleurs qui répondent à des «règles déductives».