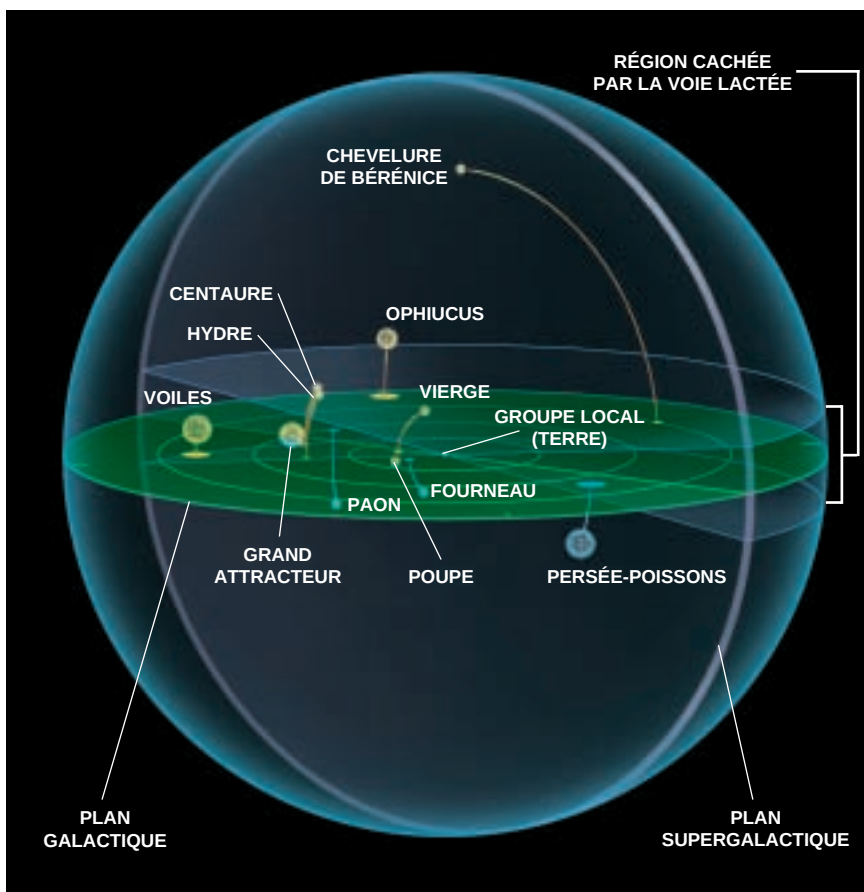




7. CETTE REPRÉSENTATION TRIDIMENSIONNELLE de l'Univers local montre la distribution irrégulière des amas de galaxies. Le rayon de la sphère bleue représente 400 millions d'années-lumière ; le plan vert est celui de notre Galaxie, étendu à l'espace intergalactique ; les petits groupes de points sont les amas de galaxies, et les cercles sont leurs projections sur le plan galactique. De nombreux amas de galaxies se trouvent dans le plan supergalactique ou près de lui (en violet). Certains sont dissimulés dans la zone d'exclusion (secteur de part et d'autre du plan galactique).

de l'amas de la Poupe permet un meilleur accord entre le mouvement attendu du Groupe local et le mouvement théorique déduit par le rayonnement du fond cosmologique.

Ces observations pourraient-elles préciser la nature du Grand Attracteur ? Bien que la densité de galaxies visibles augmente dans la direction présumée de cette structure, son cœur a échappé aux recherches. Dans les années 1980, George Abell, alors à l'Université de Californie, a identifié un amas de galaxies situées à peu près à la bonne position ; c'était à l'époque le seul amas connu dans la zone d'exclusion. Toutefois, comme il ne comprenait que 50 galaxies, il ne pouvait s'agir d'un attracteur, encore moins d'un grand attracteur.

Cet amas était pourtant plus massif qu'on ne le pensait : avec Patrick Woudt, de l'Observatoire européen austral à Garching, en Allemagne, nous y avons découvert 600 autres galaxies. Avec des collègues en France

et en Afrique du Sud (voir l'encadré page 81), nous avons obtenu des spectres de ces objets au moyen de divers télescopes situés dans l'hémisphère Sud. Les vitesses mesurées des galaxies suggèrent que l'amas est très massif – équivalant à l'amas de la Chevelure de Bérénice (Coma), un regroupement 10 000 fois plus massif que notre Galaxie. Ainsi les astronomes ont enfin vu le centre du Grand Attracteur. Avec d'autres amas

voisins, cette découverte pourrait expliquer complètement les mouvements galactiques observés dans l'Univers proche.

La hiérarchie des structures cosmiques ne s'arrête pas là. Les recherches dans la zone d'exclusion ont identifié des regroupements encore plus grands. Kenichi Wakamatsu, de l'Université de Gifu, au Japon, a identifié un superamas à 370 millions d'années-lumière, dans la constellation d'Ophiucus. Bien que cet amas se trouve derrière le centre galactique, une région extrêmement dense en étoiles, K. Wakamatsu a identifié, sur des relevés photographiques du ciel, des milliers de galaxies qui font partie de cet amas. Le superamas d'Ophiucus pourrait être relié à un autre superamas, situé dans la constellation d'Hercule, ce qui suggère l'existence de structures cohérentes sur des échelles défiant l'imagination, même celle des astronomes.

La zone d'exclusion a gêné des générations d'astronomes. Elle bloquait l'étude de la formation de la Voie lactée, de l'origine du mouvement du Groupe local, de la connexion de chaînes de galaxies, et du nombre réel de galaxies de l'Univers. Les efforts des dix dernières années ont transformé la zone d'exclusion en l'une des régions les plus intéressantes du ciel extragalactique : le mystérieux Grand Attracteur est aujourd'hui bien cartographié, la découverte de la galaxie naine du Sagittaire a montré comment la Voie lactée s'est formée, et les vastes filaments cosmiques posent des questions sur les théories de la matière sombre et de la formation des grandes structures. Derrière ce voile, d'autres surprises attendent peut-être les astronomes, mais les pièces manquantes du ciel extragalactique se mettent en place.

Renée KRAAN-KORTEWEG enseigne au département d'astronomie de Guanajuato, au Mexique. Ofer LAHAV travaille à l'Institut d'astronomie de l'Université de Cambridge, en Angleterre.

Unveiling Large-Scale Structures behind the Milky Way, sous la direction de Chantal Balkowski et R.C. Kraan-Korteweg, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, vol. 67, janvier 1994.

R.A. IBATA, G. GILMORE et M.J. IRWIN, *A Dwarf Satellite Galaxy in Sagittarius*, in

Nature, vol. 370, pp. 194-196, 21 juillet 1994.

Avishai DEKEL, *Dynamics of Cosmic Flows*, in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 32, pp. 371-418, 1994.

R.C. KRAAN-KORTEWEG et al., *A Nearby Massive Cluster behind the Milky Way*, in *Nature*, vol. 379, pp. 519-521, 8 février 1996.

D. ALLOIN, *Les galaxies*, Flammarion, 1998.

Les choix alimentaires des primates

BRUNO SIMMEN • CLAUDE-MARCEL HLADIK

La comparaison des populations de primates et des populations humaines révèle le fondement biologique des comportements alimentaires de notre espèce.

Pourquoi les divers peuples mangent-ils si différemment ? Parce que leurs comportements alimentaires sont forgés par la culture, l'environnement et les adaptations physiologiques. Afin de cerner l'origine des différences, nous rapprocherons des analyses biologiques des systèmes de perception, des explorations cognitives, des études sociologiques et des études ethnologiques. Nous explorerons notamment les bases biologiques du comportement alimentaire humain en nous fondant sur celles des animaux les plus proches de l'homme : les primates. Pour toutes nos analyses, nous tenons compte du contexte dans lequel notre espèce et les autres espèces de primates ont évolué. En effet, à la diversification des espèces qui accompagne celle des habitats correspond une adaptation des systèmes sensoriels aux milieux colonisés.

Dans quelle mesure la perception gustative des populations humaines actuelles reflète-t-elle alors notre héritage de primates ? Cette question générale renvoie à une foule de questions particulières : pourquoi aimons-nous généralement les aliments sucrés ? Pourquoi l'amer a-t-il une connotation déplaisante ? Pourquoi certains d'entre nous sont-ils plus sensibles que d'autres à des molécules sapides ?

Les mécanismes adaptatifs ne pouvant être étudiés en action, les comportements alimentaires des primates actuels sont une source d'information irremplaçable. La sélection naturelle ne conserve que les primates qui optimisent leur approvisionnement énergétique, en même temps qu'ils évitent les produits toxiques. Ces comportements

ont été renforcés par l'ajustement de la perception gustative à des environnements qui ont varié au cours des temps géologiques. En retour, les espèces végétales se sont adaptées, par des variations de leur composition en matières nutritives ou en produits toxiques, aux possibilités de discrimination gustative des animaux qui les consommaient et, qui agissaient ainsi comme des disséminateurs de semence et comme des agents déprédateurs.

Les composés végétaux sont bénéfiques ou dangereux, selon les doses consommées, et c'est le rapport coût/bénéfice de ces produits qui doit être pris en compte dans les comparaisons des choix alimentaires des primates non humains, des premiers hominidés ou des populations humaines qui vivent aujourd'hui en économie de subsistance.

Perception et comportement

Plusieurs types de capteurs sensoriels participent à la perception des aliments, mais les voies nerveuses de la gustation, de l'olfaction et de la vision convergent vers certaines zones du cerveau, dites « intégratives ». Nous nous limiterons ici à la présentation de certaines caractéristiques de la perception gustative, notamment des seuils de perception et des réactions comportementales aux stimuli plus forts.

Lors de notre examen des diverses perceptions gustatives, nous n'oublierons pas que les avancées les plus récentes de la physiologie du goût, notamment les travaux d'Annick Fauvion, de l'ENSIA, à Massy, ont démontré l'obsolescence de la théorie des

quatre saveurs de base (salé, sucré, acide, amer), qui a prévalu pendant plus d'un demi-siècle : la réglisse n'est ni amère, ni acide, ni sucrée, ni salée ; le monoglutamate de sodium a également un goût original ; et les divers sucres n'ont pas tous la même saveur, par exemple. Les cellules sensorielles des bourgeons du goût réagissent généralement à des molécules de plusieurs types, mais elles se distinguent par une plus ou moins grande affinité pour certaines d'entre elles. Le nerf gustatif périphérique, groupe de fibres nerveuses issues de ces cellules, transmet au cerveau les signaux détectés par toutes les cellules réceptrices, donnant une sorte de signature complexe, qui diffère selon les substances.

Il existe néanmoins des molécules qui engendrent des signaux gustatifs voisins (pour certains sucres, par exemple, ou pour les acides), ce qui rend difficile la discrimination entre les substances, même à forte concentration, aussi bien pour l'espèce humaine que pour les primates non humains.

L'une des réactions gustatives les plus constantes chez les primates est le réflexe gusto-facial, étudié par Jacob Steiner, de l'Université hébraïque d'Hadassa (Israël), en 1984 : chez tous les primates nouveau-nés, les bébés humains compris, une solution amère est toujours rejetée, avec une mimique stéréotypée de la bouche, tandis qu'une solution sucrée est acceptée avec un réflexe de succion et une expression faciale relaxée.

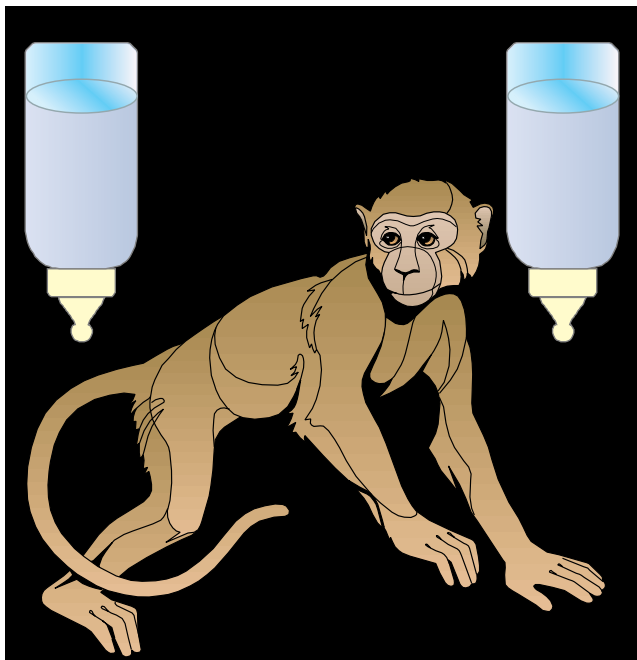
L'apprentissage ou la familiarisation à des stimuli perçus commencent *in utero*. Bien que les recherches dans ce domaine soient encore peu avancées, on observe, par exemple, l'activité du



C-M. Hasek/Museum

1. CE CHIMPANZÉ *Pan troglodytes troglodytes* vit dans la forêt du Gabon. Ce jeune animal, dont la mère mâche des pulpes de fruits, a un oisillon dans la main. Il se prépare à le consommer lentement, avec

des morceaux d'écorce d'arbre. La mère tend à obtenir une quantité d'énergie suffisante, tandis que le choix du jeune, dans ce cas, se fonde davantage sur la récompense associée au plaisir gustatif.



2. ON TESTE LA SENSIBILITÉ gustative des primates non humains en leur présentant simultanément deux biberons, l'un rempli d'eau et l'autre rempli d'une solution contenant la molécule sapide étudiée. Jour après jour, on change la concentration en molécule sapide (on la met, aléatoirement, dans le biberon de gauche ou dans le biberon de droite), et l'on mesure la plus petite concentration à partir de laquelle le



singe ne manifeste plus de préférence. Pour obtenir une mesure de la sensibilité humaine, on fait goûter en aveugle des rangées de solutions. Dans chaque rangée, les diverses solutions contiennent des molécules différentes ; la concentration augmente régulièrement de la première à la dernière rangée. On demande aux sujets d'indiquer quand ils reconnaissent la molécule sapide.

fœtus quand on injecte des composés *in utero*. Les mimiques faciales du nouveau-né correspondent à un véritable réflexe, puisqu'elles existent même chez des nourrissons «anencéphales», c'est-à-dire dont le cerveau est dépourvu d'aires associatives.

Le caractère hédonique (plaisir ou déplaisir) associé au goût d'un aliment est présent dès la naissance et, probablement, *in utero* ; après plusieurs expériences alimentaires, les animaux apprennent à discriminer les aliments qui suscitent des réactions positives de leur organisme de ceux qui leur nuisent.

Les préférences et les aversions pour un goût ne sont pas fixées une fois pour toutes. Plusieurs mécanismes physiologiques viennent en moduler l'intensité à des phases distinctes après l'ingestion d'un aliment. Les neurophysiologistes ont ainsi beaucoup étudié le phénomène de satiété orale, qui est une altération rapide de la nature plaisante du goût d'un aliment avant même que des capteurs de l'estomac donnent le signal du rassasiement ; autrement dit, la perception d'un goût peut déjà constituer une première forme de rassasiement. D'autre part, dans les minutes ou dans les heures qui suivent, la stimulation des récepteurs du

duodénum par l'aliment ingéré modifie l'appréciation de cet aliment : une préférence peut même se transformer en aversion ; c'est le phénomène d'alliesthésie. Les variations de glycémie (la concentration en glucose dans le sang), associées aux états de faim ou de satiété, modulent également l'appréciation des aliments.

À ces mécanismes génétiquement programmés s'ajoutent toujours des réactions conditionnées, c'est-à-dire résultant d'un apprentissage, qui modifient considérablement la nature de la perception gustative. Le plus extraordinaire de ces mécanismes est celui de l'aversion gustative conditionnée, découvert en 1966 par John Garcia et Robert Koelling : une aversion pour n'importe quel goût particulier survient parfois, naturellement, après une expérience alimentaire désagréable (nausée) ; et l'on peut provoquer une aversion gustative chez le singe si l'on déclenche artificiellement une nausée après la consommation d'un aliment. De tels processus étant communs à tous les mammifères, ce ne sont pas eux qui expliquent les différences de niches alimentaires. Aussi avons-nous recherché chez les primates des mécanismes adaptatifs qui ont conduit à la différenciation de la perception gustative.

Les fruits et les sucres

La plupart des primates non humains se nourrissent de fruits. Leur appareil digestif est adapté, d'un point de vue morphologique et fonctionnel, à l'utilisation des pulpes des fruits des phanérogames (les plantes à fleurs), qui ont évolué parallèlement aux primates depuis la fin de l'ère secondaire. Les pulpes des fruits, malgré leurs compositions variables selon les espèces végétales et selon le degré de maturité, contiennent des sucres solubles, principalement du fructose, du glucose et du saccharose. Les travaux que nous avons effectués sur les seuils de perception du saccharose pour 33 espèces de primates non humains ont été initialement entrepris avec Dieter Glaser, de l'Université de Zurich. Ces seuils, mesurés par des «tests de préférence» sont les concentrations minimales des produits en solution qui restent attrayantes pour les animaux (elles sont comprises entre 6 et 330 millimoles par litre pour les primates testés). Dans notre laboratoire, Göran Hellekant, de l'Université de Madison, a ensuite confirmé que les seuils mis en évidence par ces tests de préférence diffèrent peu des concentrations les plus faibles qui déclenchent une activité électrique d'un des nerfs de la gustation.