

acides forts et concentrés, et 14, pour les bases fortes et concentrées).

Chez les primates non humains, les seuils de perception connus pour l'acide citrique (présent dans le citron) diffèrent peu de ceux qui ont été relevés chez des populations humaines, dont la médiane est comprise entre 1,5 et 4 millimoles par litre. Le cas du singe de nuit (*Aotus trivirgatus*), qui consomme de nombreux fruits acides, semble singulier : il apprécie spécifiquement la saveur de l'acide citrique, évitée par les autres espèces.

De subtiles différences entre espèces vivant à Sumatra dans un même habitat ont été observées par Peter Ungar, de l'Université de l'Arkansas : alors que les gibbons *Hylobates lar* consomment des fruits extrêmement acides (pH jusqu'à 1,5), les orangs-outans *Pongo pygmaeus* et les macaques *Macaca fascicularis* utilisent surtout des fruits dont le pH est compris entre 4 et 5, et les langurs *Presbytis thomasi* évitent les fruits acides, ne choisissant que des espèces dont le pH est supérieur à 5. Pourquoi ces différences ? Chez les langurs, comme chez toutes les espèces dont l'estomac compartimenté se rapproche de celui des ruminants, une acidification détruirait la flore symbiotique nécessaire à la digestion de la cellulose.

Sachant que le pH augmente (l'acidité diminue) à mesure que les sucres s'accumulent au cours de la maturation des fruits et que l'addition de sucre à une solution acide en diminue l'acidité apparente, on comprend que les pulpes des fruits mûrs soient aussi attractives pour de nombreux primates que le sont les boissons gazeuses acidulées pour les jeunes humains. Cette préférence pour les produits sucrés légèrement acides pourrait favoriser la recherche de l'acide ascorbique (vitamine C).

Alimentation et médecine

Cette dualité de la perception gustative, pouvant conduire selon les environnements et les concentrations en substances toxiques et en nutriments, soit à l'évitement, soit à la consommation, permet d'introduire une nouvelle dimension dans l'analyse des aliments et des médicaments. Ainsi Thomas Struhsaker et de ses collègues de l'Université de Duke ont observé la consommation de charbon de bois par une population de colobes : ces animaux survivent dans un habitat appauvri, où des espèces végétales les plus abondantes renferment des



7. LE SINGE HURLEUR de la forêt tropicale d'Amérique centrale, consomme le feuillage d'un arbre du genre *Cecropia*. Les feuilles ont un faible pouvoir nutritif, mais l'espèce, peu mobile, a des besoins énergétiques limités. Les pétioles de ces feuilles contiennent, par ailleurs, des quantités importantes de chlorure de sodium, couvrant les besoins nutritionnels.

concentrations élevées en tanins dans leur feuillage. L'adsorption des tanins par les charbons, analogue au mécanisme décrit pour les argiles, semble la seule possibilité pour parvenir à l'équilibre nutritionnel et à la colonisation de tels habitats.

Peut-on parler d'utilisation médicamenteuse des produits de l'environnement ? M. Huffman a montré que les chimpanzés apprennent que des substances amères, généralement à

éviter, ont parfois des effets bénéfiques, en leur permettant de se débarrasser des parasites intestinaux. Le terme de « pharmacognosie » a d'ailleurs été introduit pour décrire le fait que les animaux se soignent.

En fait, une explication satisfaisante de ces comportements doit d'abord rendre compte des mécanismes du conditionnement opérant par l'effet bénéfique de l'ingestion, sans nécessairement faire appel aux hypothèses cognitivistes que le terme de pharmacognosie implique. Jusqu'à présent, la relation de la sensibilité gustative avec les préférences alimentaires chez l'homme n'a pu être établie que pour des composés amers : les individus les plus sensibles à l'amertume sont ceux qui manifestent le plus souvent des aversions alimentaires.

Le déterminisme socioculturel des comportements n'a pas toujours été pris en compte à sa juste mesure. La subtilité des comportements alimentaires des primates non humains et la plasticité des systèmes sensoriels à la base de ces comportements sont difficiles à préciser. L'impact des apprentissages précoces, notamment au cours de la maturation du jeune primate, est mal connu, alors que ces apprentissages pourraient se révéler déterminants dans l'orientation des préférences et des aversions alimentaires ultérieures. La référence au modèle des primates non humains reste une approche indispensable à la reconnaissance des caractéristiques biologiques de notre propre perception et de ses fondements évolutifs. Sans cette connaissance du fond commun à tous les primates, il semble difficile de prendre la mesure exacte des différences culturelles entre les populations humaines.

Bruno SIMMEN est chercheur CNRS (Eco-Anthropologie) au Laboratoire d'écologie générale du Muséum national d'histoire naturelle, à Brunoy. Claude-Marcel HLADIK est professeur au Muséum national d'histoire naturelle.

D. GLASER et al., *The Taste Responses in Primates to the Proteins Thaumatin and Monellin and their Phylogenetic Applications*, in *Folia Primatologica*, n° 29, 1978.

J. E. STEINER et D. GLASER, *Differential Behavioral Responses to Taste Stimuli in Non-Human Primates*, in *Journal of Human Evolution*, n° 13, 1984.

C.-M. HLADIK et B. SIMMEN, *Taste Perception and Feeding Behavior in Non-*

Human Primates and Human Populations, in *Evolutionary Anthropology*, vol. 5, n° 2, 1996.

C.-M. HLADIK, *Composition chimique des fruits et perception gustative : interactions et tendances évolutives dans les forêts tropicales*, in *L'alimentation en forêt tropicale*, UNESCO, Paris, 1996.

B. SIMMEN et C.-M. HLADIK, *Sweet and Bitter Taste Discrimination in Primates : Scaling Effects across Species*, in *Folia Primatologica*, n° 69, 1998.

C.-M. HLADIK, *Aliments et médicaments : des « traditions » chez les chimpanzés et de leurs interprétations*, in *La culture est-elle naturelle ?*, Éditions Errance, Paris, 1998.

Les molécules biologiques dans l'eau

1. MODÉLISATION D'UNE PROTÉINE (l'inhibiteur de la trypsine pancréatique bovine) entourée d'eau (sphères vertes et blanches). Bien que l'eau complique beaucoup les calculs, elle est indispensable à la bonne compréhension du fonctionnement des molécules biologiques.

Les modélisations par ordinateur montrent l'influence de l'eau sur la structure et la dynamique des molécules biologiques.

MARK GERSTEIN • MICHAEL LEVITT

Au cours de l'été 1986, l'un de nous (M. Levitt) a dépensé plus de deux millions de francs pour une minuscule goutte d'eau. Il avait à peine de quoi mouiller une tête d'épingle, et l'eau n'était même pas réelle : à l'aide d'un puissant ordinateur, il calcula pendant deux semaines comment des molécules d'eau interagissent avec une protéine, modifiant sa structure et son mouvement.

La protéine étudiée était l'inhibiteur de la trypsine pancréatique bovine. Elle intéresse beaucoup les biologistes, car elle est petite, donc plus facile à étudier que la plupart des autres protéines. En 1977, Martin Karplus et ses collègues de l'Université Harvard avaient modélisé cette protéine, mais seulement dans le vide, sans interaction avec d'autres molécules. Personne ne savait comment l'inhibiteur de la trypsine pancréatique bovine se comporte quand la protéine est entourée de milliers de molécules d'eau, dans les cellules vivantes.

M. Levitt et sa collègue Ruth Sharon ont finalement découvert que le modèle dans le vide était inapproprié. Après eux, plusieurs équipes ont étudié la structure d'autres molécules biologiques dans leur milieu aqueux naturel.

Aujourd'hui, les ordinateurs de bureau mettent moins de deux heures pour modéliser des protéines telles que l'inhibiteur de la trypsine pancréatique bovine et ses molécules d'eau associées (l'expérience coûte alors moins de dix francs). Les biologistes ont simulé les structures dans l'eau de plus de 50 protéines et acides nucléiques tels que l'ADN.

Pourquoi la compréhension des effets de l'eau sur la forme des molécules biologiques est-elle si importante? D'une part, les mécanismes moléculaires essentiels à la vie dépendent de la structure moléculaire et de ses interactions avec son milieu. D'autre part, la compréhension de la structure des molécules biologiques en milieu aqueux aidera les pharmaciens à concevoir de nouveaux médicaments capables de bloquer ou de faciliter diverses réactions biochimiques.

L'eau virtuelle

Une molécule d'eau (H_2O) est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Chaque atome d'hydrogène apporte un électron sur une couche externe qui en contient jusqu'à deux, et l'atome d'oxygène apporte huit électrons, dont six électrons sur sa couche externe, qui en comporte huit au maximum. Les atomes se lient en mettant en commun leurs électrons, ce qui complète leur couche externe : l'atome d'oxygène met en commun deux électrons, chacun avec un atome d'hydrogène, de sorte que l'atome d'oxygène a alors huit électrons sur sa couche externe et que chaque atome d'hydrogène a alors deux électrons sur sa couche externe. Les quatre électrons restants de l'atome d'oxygène se regroupent par paires. Au total, la molécule d'eau a une forme de tétraèdre dont l'atome d'oxygène occupe le centre. Les deux atomes d'hydrogène et les deux paires d'électrons s'orientent chacun vers un des quatre sommets (voir la figure 3). Comme les électrons des atomes d'hydrogène sont plus souvent autour de l'atome d'oxygène qu'autour de leurs propres noyaux chargés, la molécule est polaire : elle a deux «nuages» de faible charge négative autour de l'atome d'oxygène, et ses deux atomes d'hydrogène restent avec de faibles charges positives. Au total, toutefois, ces deux types de charges s'équilibrent, et les molécules d'eau sont électriquement neutres.

Les chimistes représentent souvent les molécules d'eau sous forme d'un V (voir la figure 4). Chaque côté du V correspond à une liaison oxygène-hydrogène d'environ un dix-millionième de millimètre de longueur. L'angle formé par les deux cotés du V est proche de 105 degrés.

La polarité de l'eau favorise certaines interactions entre les molécules d'eau : chaque atome d'hydrogène, chargé positivement, d'une molécule d'eau est attiré par un atome d'oxygène, chargé négativement, d'une autre molécule. Ces interactions sont des liaisons