

Au menu de nos cousins :

diversité, perception gustative et chimie des aliments des primates

Il est intéressant de connaître le comportement alimentaire de nos cousins primates, dont les chimpanzés sont les plus proches de l'homme, et ainsi de peut-être comprendre comment, à travers l'histoire de l'évolution des espèces, nous a peu à peu été légué notre manière de nous nourrir et de percevoir le goût des aliments. Derrière les mécanismes adaptatifs qui se sont mis en place sur des millions d'années se dessinent aussi des comportements appris...

Découvrons donc dans un premier temps le menu des primates, la diversité et les structures et propriétés chimiques de leurs aliments. Les chercheurs anthropologues et chimistes nous emmènent sur le terrain où ils mènent avec patience une étude passionnante sur les comportements alimentaires de ces grands singes, qui sembleraient bien se nourrir avec intelligence, mais aussi avec un certain plaisir.

En plaçant les résultats observés dans le cadre de

l'évolution des espèces, ces mêmes chercheurs se sont interrogés sur la façon dont notre régime alimentaire a pu évoluer, notamment avec l'apparition de la cuisson...

1 À la découverte du menu de nos cousins primates

1.1. La forêt tropicale, un paradis alimentaire

Partons en Afrique, dans la forêt tropicale du sud-ouest de l'Ouganda, et approchons-nous silencieusement des chimpanzés sauvages du parc national de Kibale¹. Nous les apercevons perchés sur de grands arbres tel le *Ficus natalensis*, généreux en figes mûres et sucrées. Un

1. Le Parc National de Kibale en Ouganda couvre une superficie de 795 km² et abrite aujourd'hui environ 1 000 chimpanzés (recensement de l'*Uganda Wildlife Authority*, 2005), ce qui représente environ un cinquième de la population de chimpanzés en Ouganda. Les aires protégées ougandaises, leur faune et leur flore sont gérées par l'*Uganda Wildlife Authority*.



Figure 1

Les chimpanzés adorent se nourrir de fruits sucrés qu'ils se procurent dans les arbres.

plaisir évident accompagne leur arrivée sur ces arbres ; ils émettent des vocalisations caractéristiques et accueillent en général les nouveaux arrivants bruyamment. En effet, selon le mode de fonctionnement des communautés de chimpanzés (le système de « fission-fusion »), les chimpanzés forment des groupes plus importants au sein de la communauté lorsque la nourriture est abondante. Leurs cris appellent leurs congénères à venir partager ce repas calorifique de fruits (Figure 1 et Encart : « Les chimpanzés, des animaux très sociaux »).

LES CHIMPANZÉS, DES ANIMAUX TRÈS SOCIAUX

Physiquement et génétiquement, les chimpanzés sont les primates les plus proches de l'humain ; ils vivent en groupe selon une organisation sociale très élaborée (Figure 2). Ils utilisent en particulier un système dit de **fission-fusion** : à l'intérieur d'une communauté, de petits sous-groupes peuvent se former, se défaire et se reformer. La taille des communautés varie d'une dizaine d'individus à plus de 150 membres. Les territoires sont aussi de surface variable allant jusqu'à plus de 100 km². À la découverte d'une source alimentaire telle qu'un arbre aux fruits abondants, un grand concert de cris alerte les chimpanzés les plus proches, qui viennent alors s'y rassembler. Les « pant-hoot »* résonnent à travers la forêt et sont un élément essentiel de la communication très complexe des chimpanzés.



Figure 2

Les chimpanzés vivent en communauté avec un système de communication élaboré.

* Pant-hoot : ensemble des signaux sonores qui permettent aux grands singes de communiquer entre eux, en jouant notamment sur la modulation des sons.



Figure 3

*Les chimpanzés se nourrissent principalement de baies et de fruits trouvés sur les plantes et dans les arbres, mais également des parties végétatives, telles que des tiges ou des feuilles. À gauche : un chimpanzé consomme des feuilles de *Baphia leptobotrys*, riches en protéines végétales.*

Les grands singes vivent uniquement en forêt tropicale, et très rarement en milieu plus secs tels que les savanes arborées dans le cas des chimpanzés. Ces forêts tropicales sont des *hotspot* de biodiversité², concentrant à elles seules entre 50 et 90 % de la diversité biologique terrestre. On peut dès lors se demander si le régime alimentaire des grands singes, et en particulier des chimpanzés, pourrait refléter cette diversité biologique. Étant principalement frugivores, ils passent 80 % du temps dévolu à l'alimentation à consommer des baies et des fruits, mais ils consomment également des parties végétatives, telles que des tiges ou des feuilles (Figure 3). Dix années d'étude sur le terrain en Ouganda nous ont ainsi permis d'enregistrer une diversité tout à fait étonnante, avec plus de trois cents aliments au menu ! Cette diversité est certes calculée sur une période très longue, mais sur une même journée, on dépasse déjà largement les cinq fruits et légumes qui

2. Un *hotspot* est une zone géographique, terrestre ou marine, représentative de la biodiversité qui concentre une grande quantité d'espèces animales et végétales différentes.

sont préconisés pour l'espèce humaine.

Parmi tous ces aliments, il a été constaté qu'une très faible part, en termes de pourcentage de temps consacré, correspond à d'autres aliments soit hautement caloriques – d'origine animale comme de la viande, des larves d'insecte ou encore du miel – soit au contraire pas du tout riches en valeur calorique et nutritive. Ainsi, sur trois cents parties de plantes consommées, nous dénombrons soixante-quinze parties – feuilles, tiges ou écorces d'espèces différentes – mangées rarement ou en faibles quantités, avec des comportements particuliers observés chez ces chimpanzés. Par exemple, sur une période de trois ans, les écorces de certaines espèces ont été consommées moins de dix fois.

Mais alors pourquoi les chimpanzés s'intéressent-ils tout de même à ces écorces, alors qu'une abondance de fruits mûrs et sucrés est disponible ? Cela est d'autant plus surprenant que ces consommations n'interviennent pas seulement en période de faible disponibilité alimentaire ; de plus, pour arracher ces écorces et pour mastiquer ces aliments très

riches en fibres, il leur faut déployer beaucoup d'effort, pour un bénéfice calorique finalement faible.

Tout cela suscite bien des interrogations...

1.2. Les plantes, pour la santé des chimpanzés ?

Les relations qui unissent les chimpanzés et les plantes en termes d'alimentation et de nutrition, mais aussi en termes d'activité biologique, sont au cœur de nos travaux de recherche. Quand on parle d'activité biologique, on pense tout particulièrement aux effets possibles de ces plantes sur les maladies.

1.2.1. Des comportements d'automédication

Poursuivons donc la découverte des plantes en forêt tropicale. Cette étude donne l'occasion d'explorer la diversité végétale, laquelle est aujourd'hui estimée à près de 400 000 espèces sur la planète ! Seule une poignée d'entre elles ont pour l'instant été étudiées du point de vue de l'activité biologique et des propriétés chimiques. Plantes, agents pathogènes et animaux « prédateurs » des plantes interagissent entre eux, et c'est une interaction en perpétuelle évolution. Aussi, il est important d'essayer de mieux cerner, sur le plan écologique, quels effets peuvent avoir ces plantes sur la santé de leurs consommateurs. L'étude sur les chimpanzés sauvages n'est cependant pas aisée à mener, car ils sont une espèce très menacée et en voie d'extinction ; il a donc fallu éviter tout

prélèvement invasif (nécessitant une anesthésie ou une manipulation). On passera plutôt par le biais d'observations directes, ou par les selles et les urines auxquels on a accès.

Premières évidences qui sont apparues aux chercheurs : les chimpanzés pouvaient avoir un comportement d'**automédication** ! C'est ce que rapporte pour la première fois, en 1983, l'anthropologue britannique Richard Wrangham et son collègue japonais Toshisada Nishida, qui ont constaté que les chimpanzés consommaient des feuilles rugueuses. On peut effectivement dès l'aube observer, par exemple, des chimpanzés femelles rouler ces feuilles rugueuses dans leur bouche, pour les avaler tout rond, sans les mastiquer. Ces feuilles vont se retrouver intactes dans les selles, entraînant avec elles des parasites et accélérant le transit digestif. On peut penser qu'il ne s'agit là que d'un simple usage mécanique des feuilles, puisque le chimpanzé ne les a pas préalablement mâchées... pas d'effet chimique et biologique donc ? Or on s'aperçoit par ailleurs que des tiges amères servent aussi de vermifuges³ à ces primates : c'est en 1989 que le chercheur américain Mike Huffman a, le premier, montré qu'un chimpanzé malade pouvait utiliser des tiges amères de *Vernonia*, et il ne tarda pas à en isoler des molécules actives, vermifuges.

3. Un vermifuge est un médicament permettant d'éradiquer les parasites intestinaux ou les vers chez les hommes ou les animaux.

1.2.2. Des parties de plantes aux vertus thérapeutiques

Une autre preuve d'un rôle éventuel des plantes dans le maintien de la bonne santé de nos cousins primates peut être leur utilisation en usage externe. On a par exemple observé un mâle adulte en train de cueillir des feuilles pour nettoyer sa plaie. Au cours de travaux menés en laboratoire, nous avons cherché à connaître quels pouvaient être les effets d'extraits de plantes récoltées en forêt tropicale sur différentes cibles telles que des parasites, des bactéries, des virus ou encore des cellules cancéreuses. Des tests pharmacologiques réalisés sur des cultures de *Plasmodium falciparum* ont montré qu'à des concentrations de seulement 10 µg/mL d'extraits, les plantes consommées rarement par les chimpanzés permettaient en moyenne d'inhiber de 45 % la croissance de ce parasite responsable du paludisme ! Les résultats sont encore meilleurs avec des **extraits d'écorces**, avec 57 % d'inhibition en moyenne. Ces pourcentages d'inhibition sont significativement plus élevés pour les parties de plantes consommées que pour celles non consommées. On commence ainsi à réaliser comment ces écorces de plantes peuvent contribuer à la santé des populations de chimpanzés dans les forêts tropicales (Figure 4). Et aussi combien il est important de préserver cette biodiversité pour la survie des grands singes, mais aussi peut-être pour la santé des hommes...

Certains de nos résultats les plus probants sont issus d'études menées sur des cas

particuliers. Ainsi nous avons suivi Kilimi, une jeune femelle chimpanzé qui présentait des troubles digestifs, associés à une charge parasitaire élevée. Trois jours après le début des symptômes, elle s'est écartée de sa mère et des autres enfants pour aller consommer, avec beaucoup d'efforts, des écorces et de la résine d'*Albizia grandibracteata*, très rarement consommées par les chimpanzés. Dans les jours suivants, le transit de Kilimi est redevenu normal et ses selles ne présentaient plus de parasite.

Nous nous sommes alors intéressés à cette plante, qui, par ailleurs, est utilisée en médecine traditionnelle locale, à la fois par les Ougandais mais aussi en République Démocratique du Congo, comme vermifuge, ou pour traiter les maux d'estomac et les ballonnements. Elle a été récoltée, et des extraits, testés au laboratoire, ont montré qu'ils tuaient des parasites intestinaux ainsi que des cellules cancéreuses en culture. Par la suite, ont été isolées à partir de ces plantes de nouvelles molécules de la famille des saponosides⁴, qui se sont effectivement révélées significativement actives sur

4. Les saponosides constituent une famille de molécules formées par l'association de deux parties, dont l'une appartient à la famille des sucres. Elles sont très fréquentes dans les végétaux supérieurs, surtout dans les tissus riches en substance nutritive, comme les racines, les tubercules, les feuilles, les fleurs et les graines. On les trouve dans les légumes comme le soja, les petits pois, les épinards, ou encore dans des herbes aromatiques comme le thé et le ginseng.



Figure 4

Les écorces consommées par les chimpanzés présentent plus fréquemment des activités biologiques que les autres parties de plantes testées au laboratoire. Des chimpanzés collectent de petites proies (un oisillon) consommées en mélange avec des feuilles ou des écorces.

des parasites intestinaux et sur des cellules cancéreuses.

Un autre comportement particulier nous a interpellés : un chimpanzé est parti s'isoler pour consommer des feuilles de *Trichilia rubescens*. Une étude poussée a de nouveau révélé une forte **activité anti-paludique** chez cette plante, à partir de laquelle deux molécules de la famille des limonoïdes⁵ jusqu'alors inconnues ont été isolées, dont une concentration de 0,3 µg/mL suffit à tuer 50 % des agents du paludisme en culture, ce qui correspond à la dose efficace de l'antipaludique chloroquine, et témoigne ainsi d'une activité tout à fait significative. En outre, un lien a été établi entre la quantité consommée par le chimpanzé, la présence circulante des molécules dans l'organisme et l'activité antipaludique observée sur des cultures, semblant indiquer que ces molécules pourraient avoir une activité biologique sur l'organisme de l'animal. Et l'on a pu vérifier que les chimpanzés pouvaient souffrir du paludisme : leurs symptômes sont moindres que chez l'homme, mais ils sont bien porteurs du parasite plasmodium, en particulier du *Plasmodium reichenowi*, très proche du *Plasmodium falciparum* qui infecte les hommes.

Tous ces résultats ne laissent-ils pas penser que les chimpanzés auraient leur propre pharmacopée ? L'étude des nombreuses autres plantes

consommées par nos cousins primates devrait permettre bien d'autres découvertes...

1.3. Consommer la terre pour améliorer la santé ?

1.3.1. Améliorer la disponibilité des molécules thérapeutiques

Une autre étude tout aussi intéressante porte sur un autre comportement observé chez ces chimpanzés. En effet, il arrive parfois que, juste après avoir mangé des feuilles de *Trichilia rubescens*, ils se mettent à consommer de la terre rouge. Mais pas n'importe laquelle : de la terre qu'ils vont chercher, soit entre les racines d'arbres tombés, soit de terriers qui ont été creusés par des animaux, mais jamais de la terre de surface. Il se trouve que cette même terre est également utilisée par les populations humaines locales pour traiter les diarrhées hémorragiques. Mais que recèlerait-elle donc pour être ainsi consommée en association avec les plantes ?

Nous avons donc comparé les caractéristiques physiques et chimiques des terres consommées par les chimpanzés et celles des populations locales, et avons constaté qu'elles étaient identiques. Au cours d'expériences réalisées en laboratoire, nous avons testé l'effet de la consommation de *Trichilia rubescens* seule d'une part, et d'autre part en association avec soit de la terre consommée par les chimpanzés, soit de la terre utilisée par les hommes, ou soit encore avec du kaolin (la composition chimique de la terre consommée par les chimpanzés est très proche

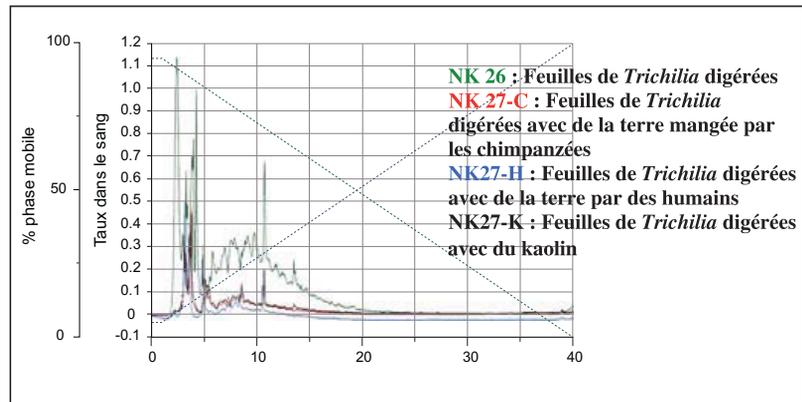
5. Les limonoïdes sont une famille de composés abondants dans les agrumes, responsables de l'odeur caractéristique de leurs pelures.

du kaolin) : elle contient de la kaolinite, utilisée comme pansement digestif en médecine humaine et vétérinaire. Les résultats montrent que les feuilles consommées seules avaient une bonne activité sur le parasite plasmodium et que la terre seule n'en avait aucune. Mais chose intéressante : l'association des deux augmente l'activité antipaludique (Figure 5). Une hypothèse serait que les molécules les moins actives se trouveraient adsorbées sur la terre (correspondant à la partie en dessous de la courbe verte de la Figure 5), et que ne resteraient disponibles que les molécules les plus actives. Ainsi, l'adjonction de terre aurait non seulement pour but d'améliorer la digestion des chimpanzés, mais aussi de potentialiser l'activité biologique des plantes.

Alors non seulement nos cousins primates se montreraient bons médecins, mais ils auraient également accès aux secrets de l'enrobage des principes actifs pour améliorer l'efficacité des médicaments !

1.3.2. Les chimpanzés savent associer les aliments

Cette pratique d'associer de la terre avec des aliments chez les chimpanzés nous engage à mieux examiner leur régime alimentaire en terme d'associations d'aliments, et c'est une problématique assez nouvelle, car on a généralement l'habitude de considérer les aliments de façon séparée. Une étude intéressante a porté sur un groupe de chimpanzés à la suite d'une chasse



au colobe bai⁶, partageant la proie. Les huit chimpanzés ayant participé à la chasse ont consommé soit les viscères, soit les muscles, soit la carcasse du colobe. Mais dans tous les cas, ils y ont associé des feuilles d'espèces différentes, qui sont des feuilles jamais consommées ordinairement. Elles ne le sont qu'en association avec de la viande issue de la chasse : elles sont alors mastiquées en même temps que la viande, pour former une chique (une sorte de gomme à mâcher).

Comment interpréter cette pratique alimentaire ? Est-ce pour faciliter la mastication et favoriser l'assimilation et la digestion des chimpanzés ? Mais l'on ne peut s'empêcher également de penser à un autre rôle de ces feuilles, dont le goût est très prononcé, parfois avec une amertume très marquée : peut-être auraient-elles un rôle dans la perception gustative, servant d'arômes ? On pourrait

6. Le colobe bai est un singe d'Afrique occidentale de taille moyenne, aux longues pattes, au dos arqué et à l'abdomen volumineux. Totalement arboricole, il est très dépendant de la présence des grands arbres de la forêt tropicale dense humide.

Figure 5

Sur ce chromatogramme, la courbe verte correspond à la digestion des feuilles de *Trichilia rubescens* seules ; les autres courbes correspondent à la digestion de ces feuilles en association avec de la terre. Les extraits de la feuille ont été réalisés dans des conditions mimant la digestion (et non en présence de solvants comme est habituellement pratiquée l'extraction chimique de molécules à partir des plantes).

dès lors se demander si les chimpanzés ne chercheraient pas, tout comme l'homme, à pimenter leurs repas, exciter leur appétit et trouver du plaisir à manger ?

1.4. L'alimentation des chimpanzés : un comportement appris et adapté ?

Toutes ces observations, souvent surprenantes, nous conduisent à nous poser des questions de fond sur le comportement alimentaire des primates. On ne peut en effet qu'être fascinés par une scène où une mère chimpanzé tapote sa jeune fille qui essaye de prendre des fruits immatures ; ou au contraire une autre mère, qui, avec bienveillance, laisse sa fille se saisir de sa chique, puis calme l'enfant en la berçant.

Ainsi les travaux des chercheurs s'orientent aujourd'hui vers la compréhension de l'acquisition de ce comportement. Avec la question qui, à la lumière des nouvelles découvertes, interpelle de plus en plus : les chimpanzés sélectionnent-ils des plantes à activité biologique, simplement en fonction adaptative, ou bien effectuent-ils un véritable choix, et dans ce cas, l'intentionnalité est-elle guidée par une maladie ? Quel est alors le rôle exact de la transmission de la part de la mère : y a-t-il un apprentissage, comme il a déjà été montré pour l'utilisation d'outils ?

Sont-ce des encouragements ? La mère facilite-t-elle la consommation ou bien la freine-t-elle ? Ces premiers indices concordent pour une

sélection apprise et adaptée au contexte (maladie ou bonne santé) chez les chimpanzés.

Les frontières qui séparaient la médecine de l'alimentation, l'animal de l'homme, se dissipent peu à peu ...

2 Les plantes et les primates : une co-évolution ?

Ainsi que nous l'avons vu, nos cousins primates se nourrissent principalement de fruits sucrés, généreusement apportés par les arbres de la forêt tropicale. De nombreuses études éthologiques⁷ l'ont montré, les animaux grimpent sur les arbres aux fruits les plus sucrés, les consomment, et les graines sont répandues dans leurs fèces puis germent ; ce sont au final les arbres avec les meilleurs fruits qui poussent préférentiellement.

Une sélection s'est ainsi opérée sur des millions d'années, et les plantes qui peuplent actuellement les forêts en sont le résultat. Les primates agissent ainsi comme de véritables jardiniers de la forêt en améliorant les espèces, comme l'ont fait les agriculteurs pendant des milliers d'années, par la sélection massale : cela consiste à sélectionner les plantes qui semblent les plus intéressantes et à utiliser leurs graines comme semences pour la culture suivante, en renouvelant l'opération de génération en génération,

7. L'éthologie est la science qui étudie le comportement des êtres vivants dans leur milieu naturel.

dans l'objectif d'améliorer la performance de la culture.

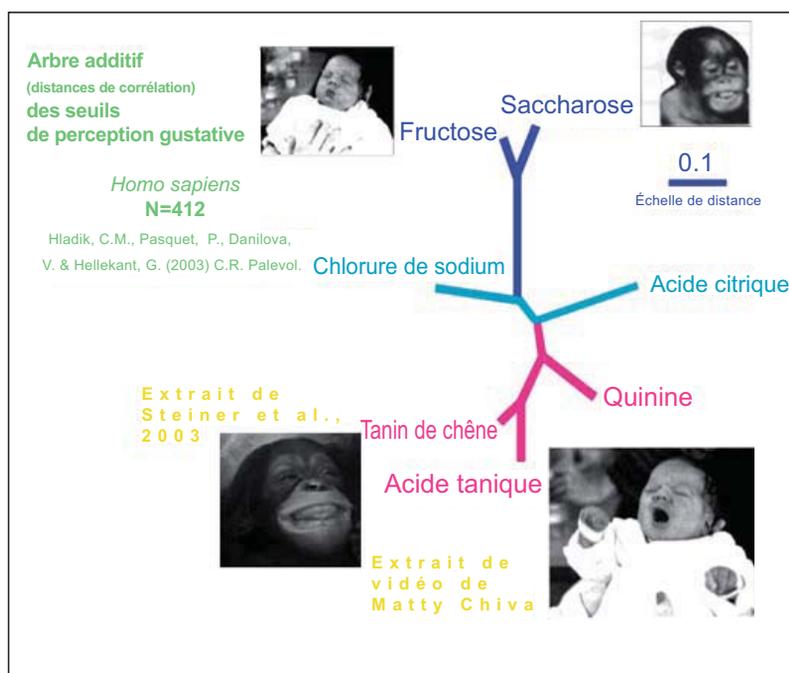
Simultanément, un phénomène de co-évolution s'est produit au cours de l'Ère Tertiaire entre les plantes produisant les fruits sucrés, et les primates non humains. Nous avons vu que le goût des aliments semblait avoir de l'importance pour les primates, et cette perception gustative a vraisemblablement évolué au cours du temps. Les scientifiques ont cherché à étudier en détail cette évolution, qui pourrait donner des éléments d'explication aux adaptations gustatives observées actuellement...

2.1. La perception du goût chez les primates

2.1.1. Les seuils de discrimination du goût

Au cours de leurs études sur la perception des saveurs, les chercheurs peuvent notamment se pencher sur les seuils de discrimination, c'est-à-dire les niveaux de concentration à partir desquels les aliments sont perçus.

Dans le cadre de programmes européens de recherche, des mesures de réactivité ont été réalisées sur l'homme puis sur l'animal. Les seuils de goût sont déterminés en donnant à chaque personne testée toute une série de solutions diluées de sucre, de chlorure de sodium, d'acide, de produits amers (comme le chlorhydrate de quinine, ou le propylthiouracyle), ou des tanins. On détermine les concentrations à partir desquelles chaque personne déclare percevoir le goût.



Cela est évidemment plus compliqué quand on passe aux primates non humains. Dans ce cas on va leur donner le choix entre la solution et de l'eau, et, après de nombreux tests, on calcule si, statistiquement, ils font une différence, par exemple entre une solution amère, qu'ils vont rejeter plus souvent, et de l'eau pure.

Le protocole est extrêmement long, mais fournit des résultats significatifs, à partir desquels des « **arbres additifs** » ont pu être tracés (Figure 6). Ce sont des schémas permettant d'établir des corrélations entre les perceptions des différents produits, lesquels ont chacun une signature très particulière en termes d'impulsions sur les fibres du nerf gustatif. L'analyse de ces corrélations entre les perceptions a apporté des renseignements importants, d'autant que l'on sait combien les aliments sont complexes : ce sont des

Figure 6

L'arbre additif permet d'établir des corrélations entre différentes perceptions gustatives : on parvient à bien discriminer les différents goûts sucrés, salés, acides, amers, ou les goûts astringents des tanins.

mélanges de composés, tous perçus de manière différente, par de multiples récepteurs qui sont souvent activés en même temps (les récepteurs du goût sont décrits dans le *Chapitre de P. Etiévant*).

Ces arbres additifs montrent notamment que la perception désagréable des tanins ou des molécules très amères donne des signaux totalement différents de ceux des sucres. Au contraire, la distance mise en évidence par cet arbre entre le fructose et le saccharose est très courte, ce qui montre que beaucoup de fibres du nerf gustatif sont communes aux signaux correspondants, mais l'on arrive quand même à discriminer ces deux types de sucres. Les hommes, comme tous les primates non humains, sont en effet capables de faire la différence entre de nombreuses molécules de différents sucres ou des molécules qualifiées globalement d'amères mais dont on peut distinguer les différentes saveurs.

2.1.2. Le réflexe gusto-facial

Pour comprendre ce que représente l'évolution des perceptions gustatives chez les primates, les chercheurs font référence à ce qu'on appelle le « **réflexe gusto-facial** ». Des études réalisées par le professeur et psychologue Matty Chiva ont montré qu'à sa naissance, un bébé fait preuve d'un réflexe de décontraction musculaire dès qu'on lui pose sur la langue une goutte de solution sucrée, alors que le dépôt d'un composé amer comme la quinine provoque un réflexe d'intense contraction des

muscles faciaux qui l'amène à recracher ce qu'il a en bouche. C'est ce réflexe qui nous conditionne à rejeter d'emblée des molécules potentiellement toxiques telles que des alcaloïdes, dont beaucoup sont des poisons. Ce réflexe est adaptatif, il n'est pas du tout intégré au niveau du cortex et existe même chez des enfants anencéphales. Mais il peut progressivement s'associer au plaisir, à l'éducation, ainsi qu'au contexte socioculturel associé à l'alimentation. Le signal gustatif passant par l'hypothalamus, se projette dans l'aire orbitofrontale⁸ et se combine donc avec des éléments des connaissances que nous acquérons au fil de notre vie. Cela permet une évolution du goût, à tel point que le comportement peut parfois même s'inverser, comme l'illustre la perception de l'amertume de la bière, que l'on peut finir par aimer !

Le réflexe gusto-facial, observé chez tous les jeunes primates, nous vient donc du plus profond des âges. Au bout de cinquante millions d'années de co-évolution entre les primates et les plantes à fleurs donnant des fruits sucrés (les angiospermes), auxquels ils se sont adaptés, ce réflexe est associé aux perceptions bénéfiques vis-à-vis de la plante. Ainsi, les primates ont fondamentalement quelque chose en eux qui les détermine à préférer les produits en fonction desquels ils ont évolué, et à en éviter d'autres.

8. Le cortex orbitofrontal est une région du cerveau qui entre en jeu dans les processus de décision.

2.2. Le mystère de la perception du sel

2.2.1. Comment les primates perçoivent-ils le sel ?

Dans l'étude des perceptions gustatives, le chlorure de sodium représente un cas bien particulier. Chez l'homme, le signal gustatif correspondant à la perception du sel est partiellement analogue à la fois à celui de substances appréciées comme les sucres et à ceux déclenchés par les substances généralement évitées comme les acides et les alcaloïdes ; et le goût salé, souvent préféré, peut aussi être perçu comme très désagréable, notamment par les Inuits du Groenland. Qu'en est-il réellement de la perception du sel chez les primates non humains ?

Leurs seuils de perception du chlorure de sodium ont été déterminés grâce aux tests de discrimination des solutions à diverses concentrations par comparaison à de l'eau pure. Ces longues études ont abouti à la mesure des caractéristiques des différentes espèces (**Figure 7**), où l'on montre que les singes ne perçoivent pas le sel à une faible concentration, notamment autour de 1 mM (1 millimole par litre). Par exemple, le macaque rhesus (*Macaca mulatta*) possède un seuil bas (il perçoit bien le sel) mais seulement au-dessus de 5 mM ; chez les lémuriens, primates plus primitifs, le seuil est nettement plus élevé. Par ailleurs, les études réalisées sur l'homme (avec la méthode de réponse directe permettant de tester rapide-

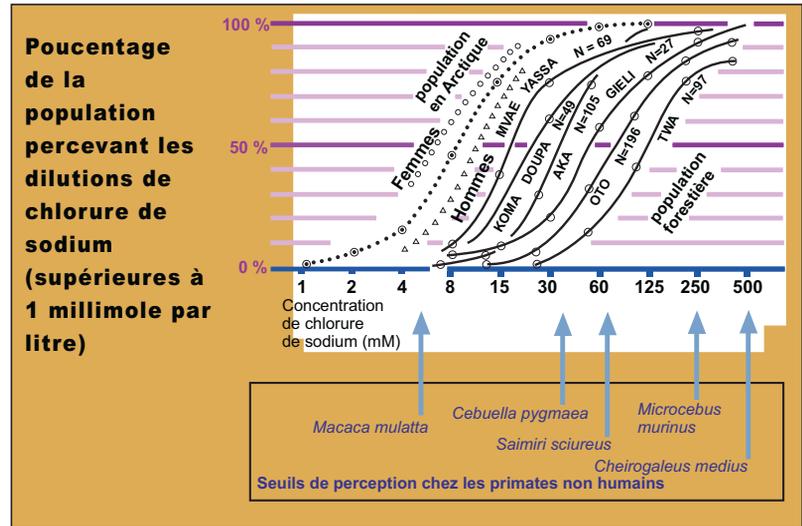


Figure 7

Seuils de perception gustative du sel (chlorure de sodium, NaCl), sur une échelle logarithmique par quelques espèces de primates non humains et par des populations humaines (illustrées par les courbes de pourcentages cumulés des sujets percevant le goût salé au-dessus de chacune des concentrations des solutions utilisées pour les tests).

ment de nombreux individus) ont mis en évidence des variations marquées entre différentes populations : alors que certaines populations, notamment les peuples forestiers d'Afrique, perçoivent peu le sel, d'autres comme les Inuits du Groenland arrivent à en percevoir des concentrations extrêmement faibles. Mais en moyenne, l'homme possède un seuil de perception aux alentours de 10 à 100 mM, très analogue à celui de la plupart de nos cousins primates.

En fait, les chercheurs se sont rendus compte que les concentrations en sel disponibles dans la nourriture des primates sont loin d'atteindre leurs seuils de perception ! C'est ce dont témoigne une multitude d'analyses réalisées sur des milliers d'aliments prélevés dans les environnements naturels des primates non humains. On a par exemple prélevé des fruits du *Ficus amplissima*, usuellement consommés par des primates du Sri Lanka, dont on a calculé les concentrations en sodium du poids sec ; les chiffres obtenus sont

	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Zn	Mn	Cu
Terre d'une colonie de termites	257	565	1290	773	148	25 000	59	970	22
<i>Walsura picidia</i> jeunes feuilles	2580	2290	1540	32 060	87				
feuilles matures	1250	10 250	2400	18 000	87,5				
<i>Drypetes sepiata</i> jeunes feuilles	1600	9900	3700	22 100	930				
feuilles matures	2000	10 000	4200	27 000	840				
<i>Schleichera oleosa</i> feuilles matures	1900	23 000	1850	7500	285				
<i>Ficus amplissima</i> fruits	1810	9630	3400	21 970	240				

* Par poids sec (ppm)



Tableau 1

Comparaison des quantités de minéraux dans la terre et dans des aliments consommés par *Presbytis entellus* au Polonnaruwa.

généralement de l'ordre du ppm, soit du milligramme par kilogramme ! (Tableau 1).

Ainsi, les primates ne peuvent pas percevoir le goût salé dans la nourriture à leur disposition dans la nature. Cela suggère qu'il ne peut pas y avoir eu de co-évolution de cette partie de notre système de perception, contrairement à ce qui est encore publié dans des livres de physiologie (où il est souvent écrit que la perception du sel permet de réguler les besoins en sodium ; ou éventuellement en chlorures). Notre perception du goût salé n'est donc pas une adaptation à la recherche des sels de sodium, qui ont toujours été imperceptibles dans le milieu naturel (sauf en bord de mer, évidemment, mais les primates étudiés ont évolué dans les forêts continentales). Il s'agit donc, pour le sel d'un cas totalement différent de celui des sucres des fruits

d'angiospermes, très prisés par nos cousins primates, et qui suscitent un plaisir évident accompagné d'un réflexe gusto-facial.

2.2.2. Le sel, dans l'évolution de la perception du goût chez les espèces

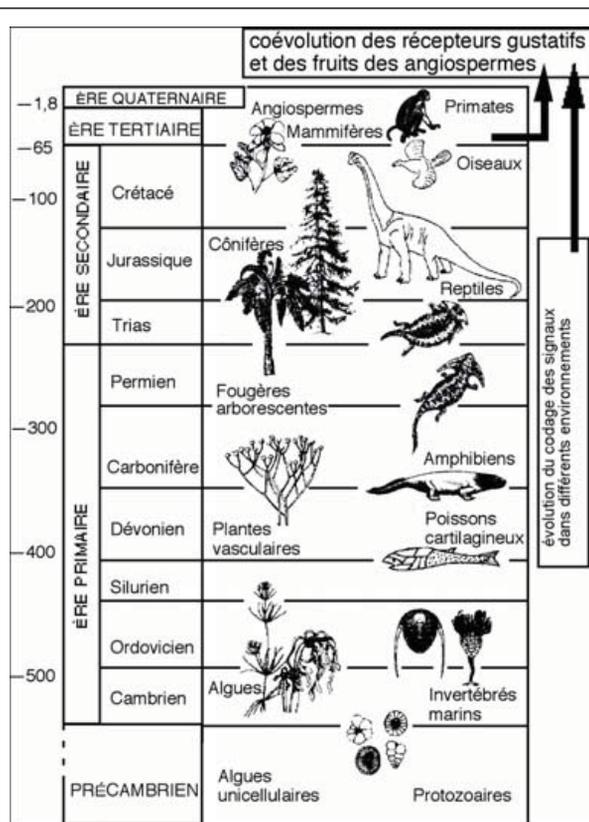
Mais alors, sans co-évolution entre les primates et les aliments salés, comment l'homme en est-il arrivé à percevoir le sel et en apprécier la saveur aujourd'hui ? Il faut examiner tous les scénarios qui ont pu se dérouler de l'Ère Primaire à nos jours. Les espèces ont évolué de manière parallèle : des plantes sont sorties de l'eau et se sont développées sur terre au cours de l'Ère Secondaire ; puis au cours de l'Ère Tertiaire sont apparus les angiospermes, ces plantes qui portent les fruits sucrés tant convoités par les singes ; en même temps, de nombreuses

La coévolution des primates avec les angiospermes a sélectionné une grande acuité de perception des sucres...mais le système gustatif reste sensible aux sels concentrés

Les chémorécepteurs ne sont restés que dans la cavité buccale des vertébrés terrestres

Avant la sortie des eaux des premiers vertébrés, les poissons avaient des chémorécepteurs sur la surface de la peau

—200



espèces de vertébrés se sont adaptées à la vie terrestre, ouvrant l'ère des grands reptiles (Ère Secondaire) ; puis sont apparus les mammifères, dont les primates (Figure 8).

L'évolution des espèces s'est nécessairement accompagnée d'une évolution de leurs systèmes gustatifs (Figure 8). Par exemple, avant la sortie de l'eau, il existait des formes de poissons qui percevaient parfaitement le sel à travers leur peau, et c'est encore le cas actuellement pour les vairons, des poissons d'eau douce qui possèdent sur leur peau des récepteurs du goût très semblables aux bourgeons du goût de la surface de notre langue. Répartis sur la surface de leur corps, ces récepteurs leur permettent de percevoir le sel deux cents fois mieux que nous.

Au cours du temps, les gènes qui déterminent les perceptions gustatives ont permis une adaptation à la perception des goûts des plantes dont s'alimentent les animaux. Chez les vertébrés qui sont sortis du milieu aquatique, les bourgeons du goût n'ont persisté qu'à l'intérieur de la cavité buccale et leur ont permis de détecter le goût des plantes également sorties de l'eau. Ces plantes contenaient de grandes quantités de polyphénols comme les tanins, molécules qui leurs permettaient de résister aux fortes concentrations de rayons ultraviolets à une époque où le soleil était encore relativement jeune. Les herbivores qui avaient la capacité à choisir les plantes les moins riches en tanins sont les seules espèces qui ont survécu.

Figure 8

L'évolution parallèle des végétaux et des animaux illustre la co-évolution, au cours de l'Ère Tertiaire, des perceptions gustatives des primates en fonction de la composition des fruits des angiospermes (âges en millions d'années).

Mais c'est bien plus tard, il y a seulement soixante-cinq millions d'années, que sont apparus les mammifères et les angiospermes. Leur co-adaptation fut aussi nécessairement basée sur l'élimination des formes les moins aptes à percevoir les sucres à partir du potentiel génétique dont il avaient hérité, de la même façon que, simultanément, l'élimination des plantes donnant les fruits les moins riches en sucres a laissé en place les formes que nous connaissons, dont les graines sont efficacement dispersées par les primates frugivores. Dans ce processus de co-adaptation, le système de perception des singes qui persiste chez l'homme nous permet de distinguer parfaitement différents aliments sucrés ; et souvent, des animaux perçoivent les sucres bien mieux que l'homme, en fonction des milieux où ils vivent.

Mais cela explique aussi pourquoi ce système gustatif, qui est fait à partir des mêmes bases génétiques, est resté sensible au sel, comme il l'était à l'origine. Bien que beaucoup moins sensible aux sels dissous dans l'eau que le système de perception des poissons, notre système gustatif nous permet toujours de détecter le sel quand celui-ci est à une concentration suffisante pour dépasser notre seuil de perception, condition qui n'existe pas dans les aliments disponibles dans la nature !

2.2.3. Le sel, premier additif alimentaire

Pourtant, les premiers hommes qui ont fréquenté les

bords de mer n'ont certainement pas tardé à ramasser ce produit blanc qu'est le sel, et à le mélanger à de la nourriture. Ils auraient alors découvert son effet sur le goût, en particulier sur celui de la nourriture cuite : ainsi serait né le premier additif alimentaire ! Un additif manifestement extraordinaire, puisqu'il est toujours utilisé et en grande quantité : c'est actuellement, et de loin, le premier additif utilisé dans nos plats cuisinés. Et cela n'a aucunement de lien avec nos besoins en sodium puisque chez nos ancêtres hominiens qui vivaient en forêt, comme chez les primates non humains, tous les besoins en sodium sont couverts grâce à la nourriture disponible dans la nature. Or, force est de constater que le sel est devenu un ingrédient ajouté quasi incontournable sur nos tables ; et une cuisine non salée nous paraît sans goût. Tout cela serait, en fait, le résultat d'une longue adaptation culturelle à l'alimentation cuite.

2.3. La cuisson, un tournant dans l'évolution des espèces

Un autre phénomène qui a caractérisé l'évolution des espèces concerne la sécrétion de ptyaline, cette enzyme présente dans notre salive, et qui permet de décomposer l'amidon cuit, présent dans le pain ou dans le riz, en diverses molécules de polysaccharides (comme le maltose) que l'on perçoit comme sucrées après avoir longuement mâché la nourriture. En revanche, cette enzyme n'agit pas sur l'amidon cru.

Or, la ptyaline préexistait chez tous les primates, du moins ceux de la lignée africaine, c'est-à-dire celle qui a précédé l'homme, et qui ne mangeait évidemment pas de pain cuit ! Ce serait donc par un fabuleux hasard qu'au moment où les grandes cultures de blé ont vu le jour et où nous avons commencé à cuire le pain il y a 8 000 ans, nous possédions déjà l'enzyme qui en permettait une meilleure digestion. Non seulement nous en avons apprécié le goût, mais nous étions déjà équipés pour bien le digérer. Cette sorte de préadaptation serait-elle un heureux hasard qui a favorisé l'utilisation du pain et d'autres aliments amylacés pendant des milliers d'années ?

En fait, toute l'histoire des adaptations de l'humanité à la cuisson des aliments remonte à des origines bien plus lointaines que ce qui avait été envisagé jusqu'à présent. Dans les traités classiques, on estime à environ 500 000 ans le début de l'utilisation du feu pour la cuisson des aliments. Or, des études récentes, effectuées par le biologiste anthropologue Richard Wrangham (Université de Harvard, États-Unis), indiquent que cela remonterait à près de deux millions d'années, c'est-à-dire au temps de l'*Homo erectus*, au moment où la denture s'est progressivement réduite, simultanément d'ailleurs à la croissance du volume cérébral. Car la réduction de la mâchoire ne pourrait avoir été permise et favorisée que par la cuisson des aliments. À partir du moment où la denture était réduite, il était quasiment impossible

de mâcher suffisamment les aliments crus, comme le font les chimpanzés, car cette denture n'aurait pas permis de réduire ces aliments crus en particules assez fines pour permettre une digestion efficace et l'obtention de suffisamment de calories pour couvrir les besoins métaboliques (**Encart « L'évolution de l'homme et la cuisson des aliments »**).

Alors au final, la cuisson des aliments pourrait peut-être être à l'origine de notre nature humaine ?

L'ÉVOLUTION DE L'HOMME ET LA CUISSON DES ALIMENTS Une suite de Darwin à l'inverse de Lévi-Strauss

C'est toute l'histoire de l'émergence de l'homme qui est remise en cause par un livre* et les articles récemment publiés par Richard Wrangham dans des revues scientifiques incluant la très célèbre *Current Anthropology*. Jusqu'à présent, la plupart des anthropologues et des paléontologues s'accordaient pour faire remonter à environ 500 000 ans les premières utilisations du feu pour la cuisson des aliments par le genre *Homo*. Cela se situait donc déjà bien avant l'apparition d'*Homo sapiens*. Mais les données soigneusement documentées et les arguments présentés par Wrangham dans son dernier ouvrage nous font faire un spectaculaire bond en arrière et remonter aux deux derniers millions d'années. Plusieurs espèces auraient, à la suite d'*Homo erectus*, très vraisemblablement utilisé le feu et inventé la cuisson des aliments, ce qui explique la pression de sélection vers une mâchoire réduite et un encéphale dont le volume n'a cessé d'augmenter.

L'argumentation de R. Wrangham – qui devrait amener beaucoup de scientifiques à réécrire la plupart des ouvrages concernant l'évolution de l'espèce humaine – est basée sur la paléontologie, l'anthropologie physique et culturelle, et surtout sur des données biologiques incontournables mises en évidence au cours de la dernière décennie. Concernant la paléontologie, Wrangham et ses collègues avaient publié, dès 1999, les résultats de fouilles au cours desquelles des charbons de bois, datant de 1,7 millions d'années, étaient présents sur des sites à *Homo erectus*. L'interprétation d'une maîtrise du feu très précoce fut

alors remise en cause car la présence de traces de feu peut évidemment être le résultat du passage des incendies naturels. Cependant je fus moi-même tout à fait convaincu de son interprétation, au cours de discussions avec l'auteur, connaissant les campements des Pygmées dans les forêts africaines, sur lesquels la trace des feux est rapidement effacée après leur abandon ; car cela correspond bien aux restes ténus pouvant subsister pendant des millions d'années, que nos collègues archéologues ont découverts.

Depuis cette époque, Wrangham a continué à se documenter, et, comme les longues et difficiles fouilles des archéologues n'apportent toujours pas de résultats suffisamment convaincants, ce sont les arguments biologiques qui constituent la plus grande partie de son dernier ouvrage. Ce livre passionnant, basé sur les comptes rendus d'expérimentations rigoureuses, se lit comme un véritable roman policier. Dans les premiers chapitres, l'auteur part à la recherche des « *raw foodists* », ces amateurs actuels de nourritures crues qui pensent revenir à la nature et rester en bonne santé en ne cuisant pas leurs aliments. Les résultats significatifs d'une vaste expérimentation sur des volontaires (avec un lot témoin) ont montré l'impossibilité d'obtenir un apport calorique suffisant, le régime à 100 % de crudités étant d'ailleurs une excellente méthode pour perdre du poids... De plus, un tel régime, bien qu'incluant les variétés actuelles de plantes cultivées beaucoup plus riches que leurs homologues sauvages, s'est avéré totalement inapte à la reproduction d'une population humaine actuelle, car les sujets féminins étaient en aménorrhée**.

De nombreuses autres observations à propos de la nécessaire cuisson des aliments sont passées en revue, incluant les aventures d'explorateurs perdus et des références à des textes peu connus. C'est notamment l'histoire d'un chirurgien américain qui, après l'avoir sauvé d'un accident, a pu observer sur son patient la digestion des aliments par une ouverture partiellement cicatrisée permettant de voir directement l'intérieur de l'estomac !

En définitive, Wrangham démontre une fois de plus que la cuisson des aliments permet d'obtenir, grâce à une meilleure utilisation digestive, une énergie beaucoup plus grande qu'à partir de crudités. En cassant les liaisons des molécules d'amidon des tubercules ou en gélifiant les fibres conjonctives des viandes, la chaleur permet une mastication plus facile et plus efficace d'aliments devenus plus facilement assimilables. C'est d'ailleurs souvent l'effet physique de réduction en fines particules qui est évoqué, un effet qui fut mis en évidence par le simple broyage mécanique de la nourriture distribuée à des rats : ceux dont la nourriture était passée au mixeur sont devenus obèses, alors que les témoins – nourris des mêmes aliments qu'ils devaient mâcher – ne grossissaient pas.

Et cette observation constitue un argument-clé dans la démonstration de Wrangham car la réduction de l'appareil masticateur (dents et maxillaire) observée chez les différentes espèces du genre *Homo* qui ont suivi *Homo erectus* n'aurait pas permis de couvrir les besoins en énergie à partir des aliments crus disponibles dans leur environnement. D'autant moins que l'accroissement du volume de l'encéphale – un tissu gros consommateur d'énergie – qui accompagnait cette réduction de la mâchoire augmentait considérablement le métabolisme de base. L'argumentation s'appuie donc sur des données métaboliques, en ajoutant d'ailleurs que de la réduction du tractus digestif aurait diminué les possibilités d'absorption. Toutefois, je réfute cette dernière remarque qui fait référence à mes propres travaux cités dans cet ouvrage, car les mesures des surfaces absorbantes du tractus digestif des hommes actuels sont très comparables (compte tenu des rapports allométriques des surfaces et des volumes) à celles des chimpanzés sauvages : notre appareil digestif a conservé sa forme primitive, ce qui permet la grande flexibilité du régime alimentaire. *Nobody is perfect*, et je reste admiratif devant tout le reste du travail de documentation effectué par Richard Wrangham et pour son interprétation globale de l'évolution du genre *Homo*.

Ainsi, avec une énorme mâchoire comparable à celle d'un chimpanzé, les pré-humains que Wrangham nomme « *habilines* » (pour éviter de prendre position sur leur statut d'*Homo habilis* ou d'*Australopithecus habilis*) trouvaient un équilibre énergétique en ne consacrant qu'une faible partie de leur temps à une mastication efficace de nourritures crues. L'auteur étant un spécialiste de l'observation des chimpanzés dans leur milieu naturel, il connaît parfaitement leur régime alimentaire incluant des fruits, des graines et des feuillages, et probablement des tubercules sauvages facilement accessibles et généralement comestibles à l'état cru, comme ceux que l'on connaît actuellement. Un appareil masticateur de plus faible taille ne peut fonctionner, d'un point de vue de l'équilibre énergétique, qu'avec des aliments ramollis par le feu (ou éventuellement broyés avec un pilon). Wrangham cite des observations récentes de chimpanzés qui, après le passage d'un feu de brousse, vont collecter dans les cendres, pour les manger, des graines de légumineuses qu'il serait quasi impossible de mâcher à l'état cru. Le goût amélioré de l'aliment cuit peut être ainsi occasionnellement découvert. *Homo erectus* qui, avec un cerveau sensiblement plus développé, a succédé aux « *habilines* » pouvait évidemment avoir la même expérience alimentaire de graines accidentellement cuites et il a certainement été beaucoup plus loin dans son utilisation du feu, ce qui aura permis de subsister aux individus dont la taille de la denture était sensiblement réduite.

La maîtrise du feu s'applique nécessairement à d'autres domaines que la cuisson des aliments pour ces premiers ancêtres des hommes qui ne grimpaient aux arbres que difficilement et devaient se protéger des prédateurs. Dans leur ouvrage *Man the Hunted* paru juste avant celui de Wrangham, Donna L. Hart et Robert W. Sussman ont insisté sur les dangers que les prédateurs font courir à tous les primates. Les petits groupes d'Homininae qui ont peuplé l'Afrique au cours des deux derniers millions d'années étaient des proies particulièrement exposées aux grands carnivores nocturnes ; et l'idée que la maîtrise du feu en vue de leur protection fut très précoce permet aussi de comprendre en quel sens la pression de sélection était en faveur des formes dont le volume de l'encéphale correspondait à une maîtrise des techniques.

Vers la fin de son livre, à propos des conséquences socioculturelles impliquées par la cuisson des aliments, Wrangham a repris les arguments qu'il avait présentés dans *Current Anthropology* avec des collègues ethnologues, à propos de la nécessité du groupement et des associations entre mâles et femelles afin d'éviter le vol des aliments cuits dans le campement. C'est une discussion ouverte qui restera sans doute du domaine des hypothèses.

Néanmoins, le traitement des aliments par la chaleur d'un feu nous apparaît, à la lueur de la démonstration de Richard Wrangham, comme l'élément-clé de notre évolution. La réduction de la denture – que la cuisson des aliments autorise – est liée à l'accroissement du volume de la boîte crânienne chez tous les fossiles qui ont précédé les néanderthaliens et *Homo sapiens*, avec des apports caloriques permettant le développement d'un tissu cérébral gourmand en énergie. L'observation de la réduction de la denture des fossiles permet de dater, en fait, le début de l'utilisation d'une alimentation cuite.

Charles Darwin, ainsi que le fait remarquer Wrangham, n'avait pas envisagé cette hypothèse car il ne disposait pas des données adéquates. Il se référait à un usage du feu relativement récent et culturel. Mais il faudrait aussi revoir les idées de Claude Lévi-Strauss à propos du cru et du cuit : la cuisson des aliments est davantage un phénomène biologique que culturel et symbolique, bien que l'humanité ait vraisemblablement évolué à partir ce phénomène vers les formes actuelles et ses diverses cultures.

Claude-Marcel Hladik

Directeur de recherche émérite au Muséum national d'histoire naturelle

* Wrangham R. (2009). *Catching Fire. How Cooking Made Us Human*. Basic Books (Perseus Books Group), New York, 309 pages.

** Aménorrhée : absence de règles, donc reproduction difficile.

Dites-nous comment mangent les singes et nous vous dirons d'où nous venons !

Les récentes découvertes réalisées sur l'alimentation des grands singes éclairent de mieux en mieux notre compréhension d'un comportement acquis pendant des millions d'années d'évolution. Tout semble indiquer que les primates non humains et les premières espèces du genre *Homo* nous ont transmis de génération en génération la capacité de nous adapter à divers milieux en sélectionnant judicieusement des aliments contenant des principes actifs qui permettent de se nourrir et se préserver des maladies. Les perceptions gustatives qui résultent d'une co-évolution plus ancienne avec les formes végétales ont favorisé les espèces qui pouvaient trouver les meilleurs apports caloriques et développer ainsi leurs populations.

C'est précisément en étudiant ces apports caloriques en fonction de la composition et de la nature physique et chimique des aliments disponibles dans les milieux naturels qu'a été révélé un tournant majeur, qui situerait à près de deux millions d'années le début de la cuisson des aliments par les anciennes formes humaines, très antérieures à *Homo sapiens*. La cuisson des aliments permet d'obtenir un apport calorique adapté aux besoins énergétiques accrus d'un humain, dont le volume cérébral est grand mais dont la taille des dents, alors réduite, n'aurait pas permis l'utilisation efficace des aliments crus. Ce saut qualitatif vers une alimentation complexe serait-il donc à l'origine de notre nature humaine ?